

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



EFFECTO EN RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRESA CV ALBIÓN BAJO
ESTRÉS HÍDRICO CON APLICACIÓN DE ANTIESTRESANTES.



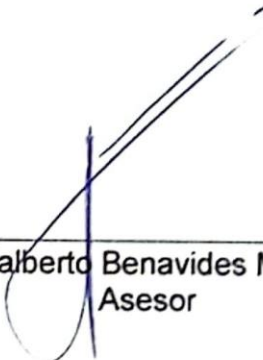

Tesis

Que presenta MARÍA DE LOURDES JAVALERA RINCÓN
como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

EFFECTO EN RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRESA CV ALBIÓN BAJO
ESTRÉS HÍDRICO CON APLICACIÓN DE ANTIESTRESANTES

Tesis

Elaborada por MARÍA DE LOURDES JAVALERA RINCÓN
como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias en
Horticultura con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría


Dr. José Antonio González Fuentes
Director de Tesis
Dr. Armando Robledo Olivo
Asesor
Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Asesor
Dr. Antonio Flores Naveda
Subdirector de Postgrado
UAAAN

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco el apoyo incondicional de mi familia, que me alienta a seguir avanzando, aunque eso implique ir lejos de casa. Especialmente a mi Esposo Antonio Cabral y mi Madre Lourdes Rincón.

A los Doctores, Maestros, Laboratoristas y compañeros, que fueron fundamentales para llegar al culmen de esta etapa, transfiriendo su conocimiento, apoyando en cada momento y por sus buenos consejos. Especialmente mis Asesores, con los que siempre pude contar en cualquier dificultad.

A la Ingeniera Magdalena Briones por su arduo trabajo que fue de gran apoyo, por su experiencia y su actitud solícita y alegre aún en las dificultades. A la encargada del laboratorio de alimentos, Alma Leticia Martínez Herrera, por siempre ser muy atenta y afectuosa.

Finalmente, doy gracias a Dios por permitirme esta oportunidad y darme los medios para llegar hasta este momento.

DEDICATORIAS

A mi Esposo y mi Madre, que sin su aliento y apoyo no hubiese sido posible. Este grado académico es fruto de también de su trabajo, paciencia, amor y esfuerzo. Gracias por siempre ser un pilar y mis compañeros en cada travesía.

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos	ii
Dedicatorias	iii
Índice general	iv
Lista de figuras	vi
Resumen	viii
Abstract	vx
Introducción	1
Objetivo	4
Objetivos específicos	4
Hipótesis	4
Revisión de literatura	5
La fresa en México	5
La fresa y su cultivo	5
Estrés hídrico	6
Metas de desarrollo sostenible	6
Elicitores	6
Mecanismos de resistencia	6
Ácido salicílico	7
Aminoácidos	7
Calidad nutracéutica	9
Antecedentes de reducción de riego	9
Materiales y métodos	10
Ubicación del sitio experimental	10
Manejo del cultivo	10
Diseño experimental	11
Análisis estadístico	11
Variables a evaluar	11
Parámetros agronómicos	11
Parámetros de calidad	12
Resultados	16

Parámetros agronómicos.....	16
Parámetros de calidad	22
Conclusión	32
Referencias.....	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Medición de área foliar	12
Figura 2. Peso de fruto en la interacción de factores.....	17
Figura 3. Diámetro en la interacción de factores	18
Figura 4. Firmeza en los diferentes riegos.....	19
Figura 5. Firmeza en la interacción de factores.....	20
Figura 6. Área foliar en los diferentes riegos.....	21
Figura 7. Área foliar para los tratamientos.....	21
Figura 8. Peso fresco en los diferentes riegos	22
Figura 9. °Brix en los diferentes riegos	23
Figura 10. Capacidad antioxidante en los diferentes riegos	24
Figura 11. Compuestos fenólicos para los tratamientos.....	25
Figura 12. Compuestos fenólicos diferentes riegos	25
Figura 13. Licopeno en los diferentes riegos	26
Figura 14. Antocianinas en los diferentes riegos	27
Figura 15. Prolina en los diferentes riegos	28
Figura 16. % de vitamina C en los diferentes riegos.....	29
Figura 17. % de vitamina C para los tratamientos.....	29
Figura 18. Acides total titulable en los diferentes riegos.....	30
Figura 19. Acides total titulable para los tratamientos.....	31

RESUMEN

EFFECTO EN RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRESA CV ALBIÓN BAJO
ESTRÉS HÍDRICO CON APLICACIÓN DE ANTIESTRESANTES

POR

MARÍA DE LOURDES JAVALERA RINCÓN
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
JOSÉ ANTONIO GONZÁLEZ FUENTES - ASESOR

RESUMEN

A nivel mundial la problemática de recursos hídricos limitados afecta tanto las actividades sociales como los cultivos agrícolas de gran demanda de agua como lo es la producción de fresa. En México la producción e importancia de este cultivo va en incremento anualmente, así como también la demanda hídrica por otros cultivos y los problemas de desertificación, factores que afectan su producción y comercialización, ya que este cultivo es sumamente sensible a la falta de agua, lo cual causa daños tanto en su productividad como en calidad del fruto obtenido. Por lo anterior, este estudio tuvo como objetivo el evaluar tres bioestimulantes con efecto anti estresante hídrico: ácido salicílico 0.125µM/L (AS), ácido glutámico 5g/L (Glu) y cisteína 50mg/L (Cys) aplicándolos de manera quincenal a plantas de fresa con diferentes regímenes de riego, teniendo riego normal durante 15 y 30 días y posteriormente un estrés, además de un testigo con riego regular. El estrés fue hasta alcanzar -10 bares de potencial hídrico del tallo para posteriormente regresar a riego normal (-4 bar) y repetir los ciclos. Los parámetros evaluados fueron peso y diámetro de fruto, °Brix, capacidad antioxidante por el método DPPH, compuestos fenólicos, prolina, vitamina C y acidez total titulable. El bioestimulante que favoreció numéricamente el peso del fruto en cada régimen de riego fue: regular + Glu, 15 días + AS y 30 días + Cys. El diámetro se vio favorecido por el tratamiento AG tanto en régimen de riego regular como por 30 días, manteniéndose el tratamiento de AS como el mejor para el régimen de 15 días. La calidad nutracéutica aumentó por el régimen de riego de 15 días, en los parámetros de °Brix (21%), capacidad antioxidante (3.5%), compuestos fenólicos (59%) y acidez (250%). En estos dos últimos junto con la vitamina C se vio un efecto por el AS el cual incrementó la concentración de estos tres compuestos. Los compuestos fenólicos se incrementaron un 67% por la acción del AS, la vitamina C un 32% y la acidez total titulable, es decir, el ácido ascórbico fue 215 veces superior al testigo. Prolina no varió entre tratamientos. Palabras clave: Ácido glutámico; ácido salicílico; cisteína; nutracéutico, potencial hídrico.

ABSTRACT

EFFECT ON YIELD AND QUALITY OF CV ALBIÓN STRAWBERRY UNDER
WATER STRESS WITH APPLICATION OF ANTI-STRESSORS

BY

MARÍA DE LOURDES JAVALERA RINCÓN
MASTER OF SCIENCE IN HORTICULTURE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
JOSÉ ANTONIO GONZÁLEZ FUENTES - ASSESSOR

ABSTRACT

At a global level, the problem of limited water resources affects both social activities and water-intensive agricultural crops such as strawberry production. In Mexico, the production and importance of this crop is increasing annually, as well as the water demand for other crops and the problems of desertification, factors that affect its production and commercialization, since this crop is extremely sensitive to the lack of water, which causes damage in its productivity and in the quality of the fruit obtained. Therefore, this study aimed to evaluate three biostimulants with an anti-water stress effect: salicylic acid 0.125 μ M/L (AS), glutamic acid 5g/L (Glu) and cysteine 50mg/L (Cys) applying them biweekly to strawberry plants with different irrigation regimes, having a normal irrigation during 15 and 30 days and then a stress. Apart from a control with regular watering. The stress applied was until -10 bar of stem water potential were reached, and then returned to normal irrigation (-4 bar) and repeated the cycles. The parameters evaluated were fruit weight and diameter, °Brix, antioxidant capacity by the DPPH method, phenolic compounds, proline, vitamin C and titratable total acidity. The biostimulant that numerically favored fruit weight in each irrigation regime was: regular + Glu, 15 days + AS and 30 days + Cys. The diameter was favoured by the Glu treatment both in the regular irrigation regime and for 30 days, with the AS treatment remaining the best for the 15-day regime. Nutraceutical quality was increased by 15-day irrigation regime, in the parameters °Brix (21%), antioxidant capacity (3.5%), phenolic compounds (59%) and acidity (2.5 times more). In the latter two, together with vitamin C, an effect was seen by AS which increased the concentration of these three compounds. Phenolic compounds were increased by 67% by the action of AS, vitamin C by 32% and total titratable acidity or ascorbic acid was 2.15 times higher than the control. Proline did not vary between treatments. Index words: Cysteine; glutamic acid; nutraceutical; salicylic acid; water potential

INTRODUCCIÓN

En el 2021 en el territorio mexicano se cultivaron 11,000 hectáreas de fresa. El 52% del área cultivada de fresa, se dedica a la producción de exportación, con una derrama económica de 141 mil millones de pesos (SIAP, 2022).

El cultivo de fresa requiere una humedad del 65 al 70% y temperaturas entre los 15 y 20°C, para su productividad adecuada. Debido a que la mayor parte de la producción es manejada en campo abierto, las plantas de fresas se ubican en un ambiente que favorece el estrés hídrico. La exposición a factores abióticos como cambios de temperatura, radiación solar y viento, afecta la evapotranspiración, que es la principal causa de la pérdida de agua y humedad (InfoAgro, 2000). A pesar de ser un cultivo que se maneja a campo abierto, se colocan macro túneles con el fin de acelerar el proceso de producción por medio del aumento de la temperatura. El uso de estas estructuras plásticas permite la acumulación de calor tanto en el suelo como en la planta, además aminoran la radiación solar. Al aumentar el calor se favorece la pérdida de agua, incrementando el riesgo a padecer el estrés (Domínguez, 2012).

La falta de agua en la fresa causa gran impacto, pudiéndose observar daños desde el nivel celular, afectando la multiplicación y estabilidad de estructuras, hasta la baja productividad, debido a las flores imperfectas y pérdida de flores en general, incluso daña la calidad del fruto por la baja tasa fotosintética y por ende la reducción en la producción de carbohidratos. Lo anterior, se debe al decremento de la parte vegetativa de la planta y el bajo peso del fruto, ya que el 85% del peso del fruto es agua. La baja producción y cambios en la planta se deben al estrés hídrico que se presenta. El estrés hídrico es el estado de un organismo que se encuentra deprimido en su crecimiento, desarrollo o que afecta algún proceso fisiológico a causa de algún factor externo, es decir, no se encuentra en estado de homeostasis y se presenta cuando el agua perdida por medio de la transpiración es superior al agua absorbida (Ojeda, 2015; Raimond, 2015; Peña, 2005; Moreno A., 2015).

Para evitar el problema, los productores prefieren realizar riegos en exceso. Sin embargo, esta práctica puede ocasionar problema de patógenos. A pesar de las razones productivas que llevan al sobre riego, en la actualidad, se busca un desarrollo sostenible, que nos ayude a mantener la producción de bienes y proveer los servicios que se requieren para la población mundial manteniendo un equilibrio con el buen uso de los recursos naturales. Este equilibrio es sumamente importante en el uso del agua, ya que al ser el agua uno de los recursos vitales para los organismos vivos este se desea aprovechar al máximo, sin desperdicios. Se ha incrementado la importancia de reducir el consumo del agua en la actualidad, ya que se presenta una situación de escasez observada a lo largo del globo para las actividades cotidianas y de producción agrícola (FAO; Ojeda L., 2018).

Las plantas en sí mismas, tienen mecanismos para evitar el estrés y poder subsistir, los cuales son los metabolitos secundarios (Pérez, 2006). Para incrementar dichos metabolitos se puede hacer uso del estrés hídrico obteniendo hasta un 40% arriba de la concentración habitual de los compuestos deseados, sin embargo, la falta de agua, que se presenta con un potencial hídrico de tallo mayor a 10 bares, puede afectar a tal grado a la planta que lleve a la muerte de la misma o presentar baja productividad. Por lo anterior, cuidar el nivel de estrés, y conocer la concentración de metabolitos en el fruto y la productividad, es de importancia para lograr un equilibrio, así conocer el nivel de estrés en el cual las fresas puedan obtener su mayor productividad con un fruto de valor agregado por ser nutracéutico y ser más eficientes en el uso del agua (Ojeda, 2015; Luna, 2016).

Con las aplicaciones de ácido salicílico, glutámico y cisteína, se espera favorecer tanto calidad nutracéutica así como producción, ya que estos forman parte de la respuesta anti-estrés propia de las plantas. Otro resultado esperado es una vida de anaquel extendida por lo que se evaluaron los tres sobre de la productividad, la calidad nutracéutica y parámetros de postcosecha en el cultivo de fresa bajo estrés hídrico inducido.

Al aumentar los metabolitos secundarios se obtiene un fruto con una calidad nutracéutica superior, creando un alimento con posibles beneficios a la salud del consumidor. Además del hecho de que los aminoácidos ayudan a aumentar el sabor de la fresa y el ácido salicílico se ha reportado que ayuda a la vida de anaquel de los frutos (Ojeda L., 2018; Muñiz, 2018).

La aplicación del ácido salicílico se debe a que éste es un metabolito secundario que las plantas producen al presentarse un estrés y tiene diferentes aplicaciones fisiológicas en el cultivo. Actúa como un antioxidante, por lo que evita el estrés oxidativo en el área foliar evitando la reducción de la fotosíntesis; funge también como un osmolito, ayudando a la absorción de iones por las raíces y controlando la actividad estomática para así reducir pérdidas de agua por la transpiración; como elicitor, aumenta la producción de otros metabolitos secundarios y, por ende, la calidad nutracéutica, además de ayudar a la producción induciendo floración (Gómez, 2010; Raimond, 2015; Florido, 2014; Chávez, 2012; Bernardo, 2016; Tucuch, 2016; Achondo, 2011).

Por otro lado, los aminoácidos, como el ácido glutámico y la cisteína, son vigorizantes, estimulantes de la vegetación y ayudan al cuajado del fruto sobre todo en tiempos donde se presenta estrés (INTAGRI, 2015).

El ácido glutámico es precursor del aminoácido prolina, el cual es producido regularmente por las plantas en situación de estrés prolongado, en tal condición la planta trata de adaptarse a la condición de estrés que presenta. La prolina, por su parte, es un osmolito que reduce el potencial hídrico de las hojas y provee nutrientes en la rehidratación, además de ayudar en la germinación de los granos de polen (de la O, 2011; Markus, 2019; Castillo, 2005; INTAGRI, 2018).

Aunado a todo lo anterior, el ácido glutámico cisteína junto con otros aminoácidos forman al glutatión, el cual es un fuerte antioxidante y elicitor que ayuda a evitar la disminución de tasa fotosintética, como se mencionó con anterioridad, y bioestimula a planta para activar su mecanismo de defensa aumentando los metabolitos secundarios. La cisteína, por su parte, además de formar el glutatión es precursor de osmolitos que permiten retener el agua en la planta (INTAGRI,

2015; Denzoin, 2013; Cañas, 2002; Ligaretto, 2012; INTAGRI, 2018; INTAGRI, 2017; Vega, 1998).

Objetivo

Evaluar el efecto de la aplicación de tres anti estresantes hídricos: ácido salicílico, ácido glutámico y cisteína en el cultivo de fresa.

Objetivos específicos

Mitigar el estrés hídrico para hacer un uso más responsable del recurso hídrico

Hipótesis

El ácido salicílico, glutámico y/o la cisteína mitigan el daño por estrés hídrico en fresa, evitando la disminución de la productividad e incrementando la calidad nutraceútica

REVISIÓN DE LITERATURA

La fresa en México

La producción de fresa en el país ha ido en aumento a lo largo de los años. En el 2021 se tuvo una producción de 547,590 toneladas, lo cual con el precio del mercado de ese año representa más de treinta y tres mil millones de pesos. De esa producción el 65% fue exportado, lo que genera un gran ingreso para el país (Bastida, 2023).

El precio de la fresa de calidad vendida en México aumenta cada año de manera considerable, ya que del 2021 al 2022 aumentó un 8.3% y varía a lo largo del año, por lo anterior se considera que la fresa es un cultivo económicamente importante para el país (Bastida, 2023).

La fresa y su cultivo

De la familia Rosaceae y del género *Fragaria* se tiene el fruto comúnmente conocido como fresa o frutilla. Éste se obtiene de una planta herbácea de porte rastro, con un sistema radicular fasciculado que se renueva en periodos cortos de tiempo con una longitud habitual de 25 cm. Esta planta tiene la particularidad de generar tallos rastreros que producen raíces adventicias, conocidos como estolones, los cuales son de gran utilidad para la reproducción de la fresa. Sus hojas poseen un peciolo largo y están divididas en tres folíolos. Tanto los estolones como sus hojas se disponen en un tallo central corto de forma cónica llamado corona. Las inflorescencias se tienen en ramificaciones donde se tiene una flor terminal y otras laterales de menor tamaño. Las flores constan de 5-6 pétalos sobre un receptáculo carnosos. Los óvulos fecundados dan un fruto de tipo aquenio (InfoAgro, 2000). Para su adecuada producción se requiere un rango de temperatura de 15-20°C después de haber acumulado una serie de horas frío (bajo 7°C) para su vegetación y fructificación. Respecto a las horas luz tiene un requerimiento de 12 horas diarias. Por último, la humedad requerida oscila entre el 65-70% y el riego es abundante de 2-3 riegos remanales por goteo. El riego por goteo es el tipo de riego que hace uso eficiente del agua, sin embargo se

requiere alrededor de 25 m³ de agua por hectárea de fresa en su etapa de producción (InfoAgro, 2000; Bianchi, 2018)

Estrés hídrico

El estrés es definido como la falta de homeostasis de la planta, es decir, es un desequilibrio del estado fisiológico lo cual impide que se tenga el máximo potencial de rendimiento. (INTAGRI, 2015)

Al no tener un riego eficiente se disminuye la absorción de nutrientes además del agua lo que implica falta de humedad en el suelo que afecta al enraizado y posteriormente al desarrollo vegetativo hasta tener daños en la cantidad y calidad de la producción. (Bianchi, 2018)

Metas de desarrollo sostenible

La meta número 6 de la FAO para el 2030 es tener agua limpia y potable para todos, por lo cual se tiene un indicador nacional del uso eficiente del agua. Al realizar todas las actividades tanto agrícolas como industriales y hogareñas de forma que se use el menor recurso hídrico, bajamos ese indicador y apoyamos a la FAO en sus esfuerzos de lograr un futuro mundial sin escases de agua. Donde todo el globo tenga acceso al fluido vital (FAO)

Elicitores

Debido a que las plantas se encuentran constantemente en situaciones adversas, tanto bióticas como abióticas, éstas mismas tiene diferentes mecanismos de defensa. Dentro de estos se tiene tanto pasivos como barreras químicas, cutículas, tricomas y ceras; como los activos, dentro de los cuales encontramos a los elicitores. Estos son moléculas que inducen en la planta algún tipo de defensa, pueden ser producidos por agentes estresantes bióticos y abióticos o colocados de manera exógena. Al aplicarlos se activa el mecanismo de la planta y se hace más resistente a ataques posteriores. (INTAGRI, 2017)

Mecanismos de resistencia

Además de los elicitores las plantas cuentan con diferentes mecanismos para reducir la pérdida de agua y el estrés. Uno de estos es el cierre estomático, el

cual se tiene por diferentes motivos como la falta de humedad, altas temperaturas, alta tasa respiratoria entre otros. Aunque normalmente no es deseable el cierre de estomas, esto permite a la planta no perder agua en exceso y, a su vez, no perder turgencia. Otro mecanismo es la osmorregulación con osmolitos u osmoprotectantes, los cuales son aminoácidos como la prolina, arginina y asparagina o azúcares como fructosa, sacarosa y galactosa además de algunos alcoholes como el glicerol, manitol y sorbitol. Éstos son sintetizados y acumulados en la planta con el fin de aumentar el potencial hídrico y evitar la deshidratación de la planta, ya que dichos compuestos tienen la capacidad de retener el agua en las células evitando que se pierda humedad del interior al exterior. (INTAGRI, 2015)

Ácido salicílico

Éste compuesto es del grupo de los fenoles y tiene una gran funcionalidad dentro de la planta, ya que es un regulador tanto del crecimiento como de las tasas fotosintéticas y de transpiración, induce cambios en la morfología de las hojas ayuda al transporte de iones e induce floración. Además de ayudar directamente a la defensa contra patógenos al inducir resistencia sistémica adquirida, previene el daño por estrés oxidativo y el estrés osmótico (Gómez, 2010)

Lo anterior se ve demostrado en los resultados de (Vázquez, 2016) donde se obtuvo un mayor rendimiento en el cultivo del tomate al aplicar dosis bajas del ácido salicílico, además de haber sido incrementada la calidad nutracéutica gracias a su acción antioxidante de origen fenólico.

En el cultivo de fresa también se ha aplicado con el fin de incrementar parámetros agronómicos como número de hojas, flores y frutos al igual que la altura de la planta, teniendo como resultado que las dosis bajas incrementan hasta un 23% el número de frutos con relación al control. (Achondo, 2011)

Aminoácidos

En general la aplicación de aminoácidos en los cultivos se debe a que son moléculas intermediarias en principales rutas metabólicas, así favorecen la

síntesis de proteínas específicas en momento de mayor demanda del cultivo. Además, inducen floración, polinización, fecundación y cuajado de fruto. Son capaces de regenerar el estado del cultivo y ayudan al resistir algunos tipos de estrés como la sequía (De Liñán, 2015)

En plantas sometidas a estrés se ha observado un tipo de adaptación bioquímica la cual consta de la acumulación de prolina, siendo esta hasta un 30% de los aminoácidos presentes en la planta. Por lo anterior, se le tiene a la prolina como un indicador del estrés (Castillo, 2005) La acumulación específica de prolina se debe a que es un aminoácido que funge como un osmoprotector, evitando la pérdida de agua (Benítez, 2005)

Como nutrientes también afectan al desarrollo de la planta y la estimulan a iniciar algunos procesos, como la diferenciación de estructuras florales y la activación del crecimiento apical (Ligaretto, 2012). Al ser una fuente de nitrógeno su aplicación puede ver beneficiada a la capacidad antioxidante de la fresa, ya que en el trabajo realizado por (Luna, 2016) se observa que al incrementar el nitrógeno se aumentaba la calidad nutracéutica, específicamente la capacidad antioxidante

Uno de los aminoácidos más utilizados es el ácido glutámico el cual estimula los meristemos radicales, foliares y florales, además de intervenir en el transporte del nitrógeno y en la respuesta antiestrés (INTAGRI, 2015)

La cisteína por su parte es uno de los aminoácidos esenciales, presenta azufre en su estructura y tiene un rol importante en la estabilidad, estructura, regulación de procesos redox, desintoxicación de metales pesados y es un osmoprotector (Markus, 2019) (Vega, 1998)

El glutatión, por su parte, es una molécula esencial para la homeostasis celular y su función principal es la defensa contra el daño oxidativo. Esta molécula es importante para evitar el estrés y se forma de los aminoácidos ácido glutámico, cisteína y glicina en el citosol celular (Denzoin, 2013).

Calidad nutraceutica

Hoy en día la sociedad desea no solo ingerir alimentos que suplan la parte nutricional, sino que también tengan otros beneficios para su salud. Es decir, desean consumir alimentos funcionales que, además de nutrir tengan una serie de elementos no nutricionales que contribuyan a prevenir o retardar enfermedades.

Dichos alimentos son productos nutraceuticos los cuales poseen sustancias químicas o biológicas que se encuentran de manera natural en el alimento o se adiciona para prevenir enfermedades y/o para la mejora de funciones fisiológicas del organismo (Pérez, 2006)

Antecedentes de reducción de riego

La reducción de riego en fresa no es común, ya que el cultivo es poco tolerante a la falta de agua, sin embargo, (Martínez, 2016) demostró que se puede reducir el riego en el cultivo de fresa de un 20-25% ya habiéndose establecido el cultivo sin verse afectada la calidad agronómica ni nutraceutica.

Por otro lado (Luna W., 2012) trabajó con especies arbóreas, sin embargo, empleo diferentes tipos de riego, reduciendo porcentajes de riego hasta solo aplicar el 15% de la capacidad de campo y midió el potencial hídrico de tallo, para conocer qué tan severo fue el estrés, además de aplicar un riego reducido después de un periodo de estrés. Encontró que en estos últimos riegos no había diferencia aun que aumentara los días de estrés y redujera la cantidad de agua, ya que no se llegaba a los niveles de estrés severo donde se afectaba el crecimiento y la eficiencia del uso de agua en la productividad.

Este último experimento se asemeja en el tipo de riego empleado en este estudio, donde se suspende para tener un periodo de estrés moderado y se restablece el riego de manera cíclica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del sitio experimental

El experimento se llevó a cabo bajo invernadero con sistema de pared húmeda y extractores, este se ubica dentro de las instalaciones del departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, donde se inició el experimento con el trasplante en febrero del 2022 y se concluyó en septiembre del mismo año con la cosecha. Durante el experimento se utilizaron fresas cultivar Albión a raíz desnuda, las cuales se trasplantaron en bolsas de 4 litros con sustrato con una proporción de peat moss: perlita 70:30, esta mezcla permitió tener una aireación del 25%.

Manejo del cultivo

La fertilización utilizada fue por medio de fertirriego con solución Steiner modificada la cual fue aplicada a lo largo de las etapas fenológicas de acuerdo a la salinidad específica del cultivo ya que las fresas son sensibles a altos niveles de salinidad. Se mantuvo una conductividad eléctrica (CE) no superior a 1.2 dS/m y el pH en un rango entre 5.7 a 6.3. Para evitar acumulación de sales en el sustrato se mantuvo un drenaje del 30% en cada riego.

A lo largo del cultivo se manejaron dos métodos de control de plagas, iniciando con el control químico que constó de dos aplicaciones de abamectina, seguido de un control biológico, debido a que dentro del invernadero se colocaron abejorros para la correcta polinización de las fresas, para el cual se realizó la elaboración del producto “apichi” para controlar araña roja y el gusano falso medidor, las cuales son las plagas que se presentaron en el cultivo. El producto debe su nombre a los elementos principales que lo conforman, los cuales son: ajo, pimienta y chile. El apichi, también contiene melaza, vinagre, alcohol y agua. Para su elaboración los componentes principales fueron triturados y mezclados con los componentes líquidos. La mezcla se maceró para la adecuada extracción de los compuestos bioactivos de los elementos base, es decir, se dejó reposar durante dos semanas antes de la aplicación en el cultivo. Dichas aplicaciones se realizaron a lo largo de la etapa de producción.

Diseño experimental

El experimento se estableció mediante un diseño factorial completamente al azar. Donde los factores fueron: A tres diferentes regímenes de riegos (regular, durante 15 días y durante 30 días); y B cuatro diferentes tratamientos con aplicaciones foliares (Sin aplicación; ácido salicílico 0.125 μ M (AS); ácido glutámico 5g/L (GLU) y cisteína 50 mg/L (CYS), con 5 repeticiones, siendo cada repetición una maceta con una planta.

Después de los periodos de ambos regímenes de riego (durante 15 días y durante 30 días) siguió un periodo de estrés sin riego hasta alcanzar -10 bares de potencial hídrico del tallo, medido por medio de bomba de Sholander. Una vez alcanzado este nivel de estrés en las plantas se reinició el riego y se repitió el ciclo. Las mediciones del potencial hídrico en peciolo se realizaron de manera constante a lo largo del estrés para conocer el tiempo necesario para alcanzar el nivel deseado y las características que presentan las plantas en dicho nivel de estrés.

Antes del establecimiento de las plantas, marzo 2022, estas se graduaron por diámetro de corona, para mantener uniformidad, para lo cual se utilizó un vernier electrónico marca Mitutoyo.

Análisis estadístico

Los datos fueron examinados mediante un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el software Infostat. La prueba de LSD de Fisher con un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$) fue utilizada para la separación de medias.

Variables a evaluar

Parámetros agronómicos

La evaluación agronómica se realizó durante la etapa de cosecha comprendida entre los meses de febrero a septiembre del 2022. Se realizó el pesado de los frutos de manera individual por planta, por repetición por medio de una báscula marca Truper. La medición del diámetro polar y ecuatorial se realizó con un vernier de la marca Mitutoyo, realizando dos medidas para cada diámetro, ecuatorial y polar, en cada fruto cosechado.

En conjunto con los dos parámetros anteriores, se midió la firmeza del fruto por medio de la resistencia a la penetración con un penetrómetro de frutas GY-2 al momento de la cosecha.

Al concluir con el experimento se procedió a realizar la medición del área foliar. Ya que la fresa posee hojas trifoliadas, la cual es una forma que dificulta la medición del área foliar, se utilizó el método de Demirsoy en 2005 donde se mide la longitud del foliolo superior y el ancho del foliolo izquierdo de cada hoja de la planta de fresa. Demirsoy describe una fórmula para calcular el área foliar de la fresa, la cual fue evaluada en diferentes variedades. El resultado obtenido tiene una alta concordancia con el real, por lo cual se usa la siguiente fórmula para poder calcular el área, donde se colocan los datos medidos junto con las constantes reportadas por Demirsoy et al., 2005

$$\text{Área foliar} = 1.89 + (2.145 \times \text{longitud foliolo superior} \times \text{ancho foliolo izquierdo}) = \text{cm}^2$$

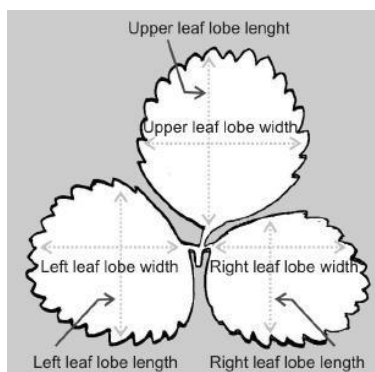


Figura 1. Medición de área foliar *tomada de Demirsoy et al., 2005*

Finalmente, se tomó la parte aérea de cada planta, desde la corona, la cual se pesó con balanza Truper para obtener el peso fresco de la planta.²

Parámetros de calidad

La medición de sólidos solubles se realizó por medio de refractómetro RHB-32ATC midiendo los °Brix al momento de la cosecha. Para la medición se trituraba una sección del fruto para obtener un par de gotas del jugo, el cual se colocaba en el equipo para realizar la lectura.

Para el resto de las determinaciones los frutos se congelaron para su posterior evaluación, manteniéndose siempre bajo refrigeración hasta su uso o hasta su liofilización.

Capacidad antioxidante

La determinación se lleva por medio del método de DPPH descrito por Brand-Williams 1995 con modificación para microplaca.

Las extracciones se realizaron con 1,500 μ L de cada solvente, ya que se tuvieron extracciones lipofílicas, (Hexano:Acetona, a razón 3:2); e hidrofílicas, para estas se tiene como solvente un buffer de fosfatos, el cual se conforma de fosfato de sodio monobásico y dibásico, con una concentración final de 14 mM y 36 mM respectivamente. Se añadieron 5mg de polivinilpirrolidona (PVP) un estabilizador, que se adiciona con el fin de evitar la pérdida de los compuestos y preservar la capacidad antioxidante real. Se llevó a vórtex y se procedió a sonicar 10 minutos. Se centrifugó a 12,500 RPM a 4°C y finalmente se purificó con filtros de politetrafluoroetileno (PTFE). Cada extracción se diluyó en una razón 1:9 para continuar con el procedimiento.

En microplaca se añadieron 235 μ L del reactivo DPPH y se 6 μ L de la muestra a evaluar o blanco, es decir, buffer de fosfatos. Se espera un tiempo de reacción de 30 minutos y se procede a leer en espectrofotómetro a una longitud de onda de 600nm

Para la transformación de los resultados se toma la información obtenida por una curva patrón, provista por el laboratorio donde se efectuó el estudio, es decir, en el Laboratorio de botánica de la UAAAN

Compuestos fenólicos

la determinación sigue el método de Folin-Ciocalteu con modificaciones para microplaca.

Se pesaron 100 mg de muestra liofilizada y mezclaron con solvente agua:acetona 1:1, para la extracción. Posteriormente se sometió a sónica por 5 minutos y finalmente se centrifugó a 12,500 RPM a 4°C.

Para la determinación se tomaron 50µL de la muestra o del patrón para la curva estándar, se coloca en tubos de vidrio donde se agregan 200µL del reactivo de Folin, 500µL de carbonato de sodio y 5 ml de agua. Posteriormente se someten a vórtex por 30 segundos, a baño maría por 45 minutos y se leen a una longitud de onda de 750 nm por medio de microplaca en espectrofotómetro.

Para la transformación de los resultados, se realizó una curva estándar de ácido gálico a concentraciones conocidas (50 a 500 ppm) para obtener la ecuación adecuada para la obtención de los datos

Licopeno

A diferencia de otros de los métodos mencionados, se utiliza 1 g de muestra congelada y no liofilizada, la cual se macera en un mortero previamente refrigerado con 3 ml de buffer de fosfatos. A la mezcla se le añaden 1.5 ml de hexano:acetona (3:2) para someterlo a vórtex y a centrifugación por 10 minutos a 2°C a 3,000 RPM. Se procede a leer a una longitud de onda de 502 nm.

Antocianinas

Se sigue el método del diferencial del pH que se basa en el cambio de color de las antocianinas por el cambio de pH, la fracción coloreada de la reacción es la que se lee a una longitud de onda de 540 nm.

Se tomaron 100 mg de muestra liofilizada en una solución de solvente etanol:agua:HCl (70:29:1) para posteriormente someterse a centrifugación por 10 minutos a 12,000 RPM y finalmente leer en espectrofotómetro.

Para la obtención de los resultados aplica la siguiente formula:

$$Antocianinas\ totales = \frac{ABS \times Pm\ oenin \times 1000}{Factor\ de\ dilución \div (29,600 \times ancho\ celda)}$$

Donde

ABS: la absorbancia medida.

Pm: el peso molecular de la antocianina oenin o maldivin 3 glucósido = 493.43 g/mol

Prolina

El método seguido es el descrito por Bates et al (1973) donde se tomaron 50 mg de muestra liofilizada que son disueltos con 2 ml de ácido sulfosalicílico y sometidos a vórtex 1 minuto y a centrifugación por 30 minutos a 3,500 RPM

En la determinación se tomaron 500µL del extracto y se mezclaron con 500µL de ninhidrina y 500µL de ácido acético glaciado tibio. La mezcla se agita 20 segundos y se procede a un baño de ebullición durante una hora.

Pasado el tiempo de reacción se coloca en un baño de hielo por 15 minutos y se añaden 1.5 ml de tolueno. Se agita por última vez y se deja en reposo 5 minutos para finalmente leer a una longitud de onda de 520 nm en celdas de cuarzo.

Vitamina C

Para la extracción se maceran 10 g de la muestra congelada, no liofilizada, con 10 ml de HCl al 2%, posteriormente se filtra por medio de una gasa fina y se afora a 100 ml. Del extracto se toma una alícuota de 10 ml.

Al ser un método volumétrico, para la evaluación el extracto se titula con diclorofenol, el cual es preparado 24 horas previas a la evaluación con 50 mg de 2,6 diclorofenol aforado a 250 ml de agua destilada.

Finalmente, los datos obtenidos se transforman mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Vitamina C} = \frac{\text{ml gastados} \times 0.088 \times \text{dilución} \times 100}{\text{gramos de muestra} \times \text{ml de alícuota}}$$

Donde el valor 0.088 es una constante específica para el ácido ascórbico

Acidez total titulable

La extracción se realiza de un fruto congelado completo macerado con 2-5 gotas de fenolftaleína, el cual se titula con hidróxido de sodio al 0.1N. El resultado se reporta como equivalentes de ácido cítrico con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Acidez total titulable} = \frac{\text{ml gastados} \times \text{normalidad} \times 0.064 \times 100}{\text{gramos de muestra}}$$

Donde el valor 0.064 es la constante específica del ácido cítrico

RESULTADOS

Parámetros agronómicos

Peso del fruto

Las aplicaciones de AS, Glu, y Cys, en conjunto con los dos riegos con estrés presentaron un aumento en el peso del fruto en comparación con el testigo absoluto, es decir, riego regular sin aplicación. El cual se encuentra en la posición de menor peso. Lo anterior se observa en la figura 2, donde se tiene que los tratamientos que aumentaron el peso en cada riego fueron: la aplicación de Glu en el riego regular, el AS en el riego de 15 días y la Cys para el riego de 30 días. Dichos tratamientos no presentan diferencias entre sí ($p \leq 0,05$).

En los riegos con estrés, se presentó que tanto el tratamiento como el testigo (sin aplicación) presentaron los valores de mayor peso. Lo anterior nos indica que ambos riegos con estrés aumentan por sí mismos el tamaño del fruto sin la necesidad de los antiestresantes. Lo cual es favorable, ya que se tiene una mayor productividad con menor uso del agua y si necesidad de otros insumos. Aunado a lo anterior, al reducir el agua también se reduce la probabilidad de presentar problemas con patógenos.

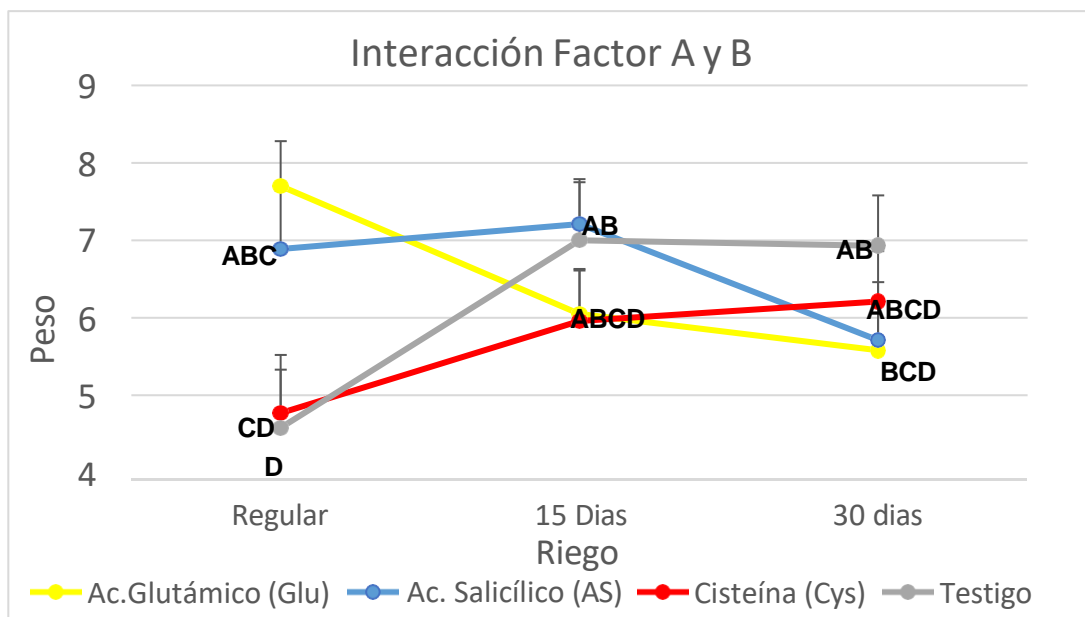


Figura 2. Peso de fruto en la interacción de factores

Efecto en peso de frutos de fresa por la interacción del régimen de riego regular, estrés después de 15 y 30 días; y aplicaciones de ácido salicílico, glutámico, cisteína y sin aplicación (testigo) Letras diferentes simbolizan diferencia estadística ($p \leq 0.05$)

Diámetro polar

La importancia de este parámetro radica en que da un parámetro de calidad visual, esto porque de él depende el tamaño del fruto. Con la aplicación de AS se observó una diferencia significativa cuando se aplicó un riego de 15 días y se presenta estrés. Por el contrario, en el riego regular se observó un incremento estadístico con la aplicación de Glu. Para el riego de 30 días con estrés, los tratamientos con mejores resultados fueron la aplicación de Glu y el testigo. Los resultados mencionados no presentaron diferencias estadísticas entre ellos. Mostrando así cuales son los tratamientos adecuados para incrementar el diámetro polar en cada uno de los diferentes riegos. Sin embargo, se consideran los tratamientos de riego con estrés los de mejor rendimiento, ya que presentan el mismo tamaño de fruto aún con el déficit hídrico. Los datos mencionados se presentan en la figura 3, donde se observa con claridad las interacciones de los factores riego y tratamientos.

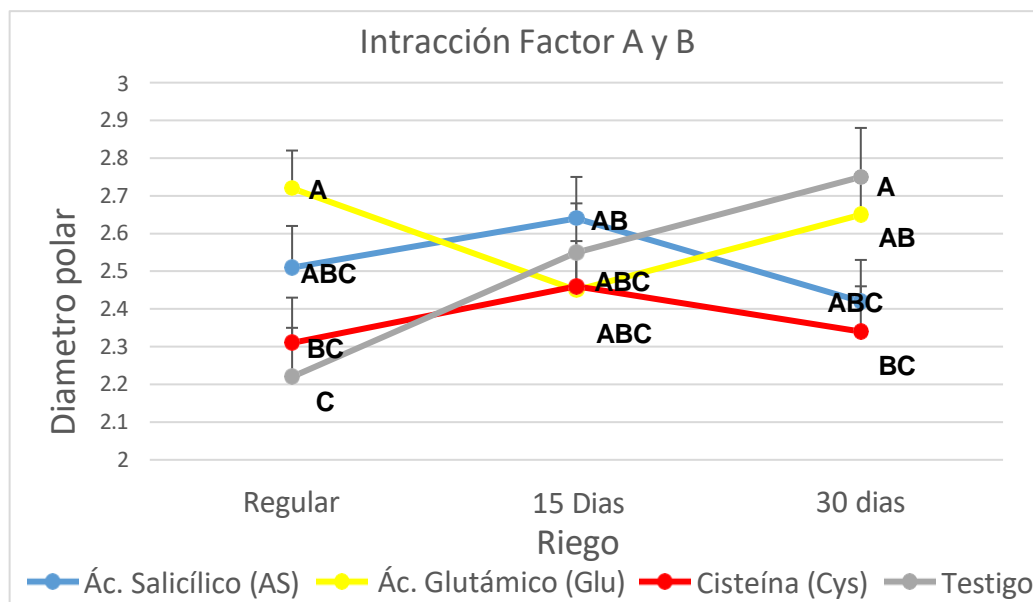


Figura 3. Diámetro en la interacción de factores

Diámetro polar promedio de fruto de los factores riego: regular, 15 y 30 días; y aplicaciones: ácido salicílico, glutámico, cisteína y testigo. Letras diferentes simbolizan diferencia estadística ($p \leq 0.05$)

Diámetro ecuatorial

En unión al parámetro anterior, el diámetro ecuatorial también nos indica el tamaño del fruto, específicamente el ancho de este. En contraste al anterior, el análisis de datos no presentó una diferencia estadística en comparación con el testigo ($p \leq 0.05$). Esto nos indica que no se disminuye el ancho del fruto al restringir el riego. Por ende, se ha logrado el objetivo de mitigar el daño en el tamaño del fruto por la falta de agua.

Firmeza

Se presentó un aumento en la firmeza para el riego de 15 días y una disminución para el de 15 días. Sin embargo, no presentan una diferencia significativa de manera estadística, por lo anterior, al restringir el riego no se presenta una mejora ni un decremento del parámetro firmeza, cumpliendo el objetivo de no afectar la calidad del fruto al reducir el riego. Sin embargo, considerando los diferentes riegos se observa un aumento en la firmeza en el riego de 30 días (figura 4). Al presentar una ligera mejora en la firmeza con la aplicación de Glu en el riego de 30 días, y al ser este parámetro fundamental para la vida de anaquel y

comercialización de la fresa, se resalta a tal tratamiento en conjunto con el riego como el mejor para incrementar este parámetro (figura 5).

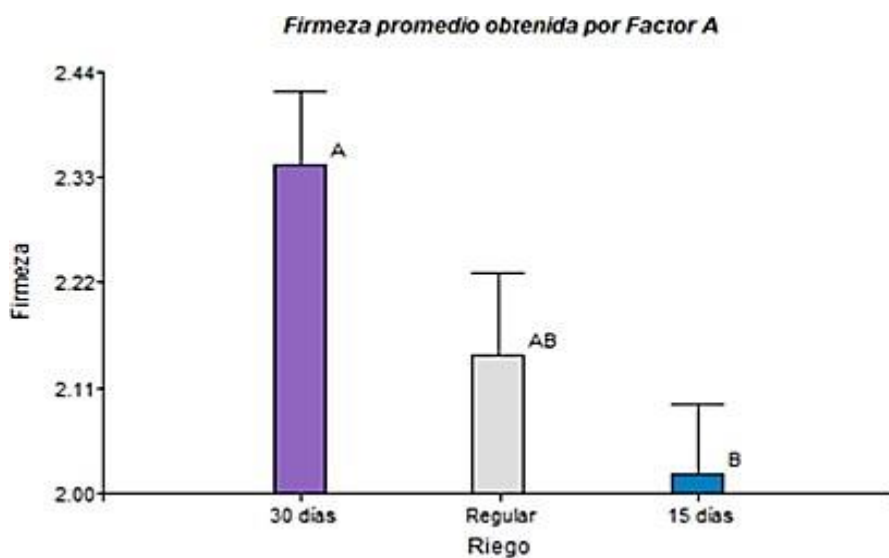


Figura 4. Firmeza en los diferentes riegos

Firmeza promedio de fruto del factor riego: regular, 15 y 30 días con posterior estrés. Letras diferentes simbolizan diferencia estadística ($p \leq 0.05$)

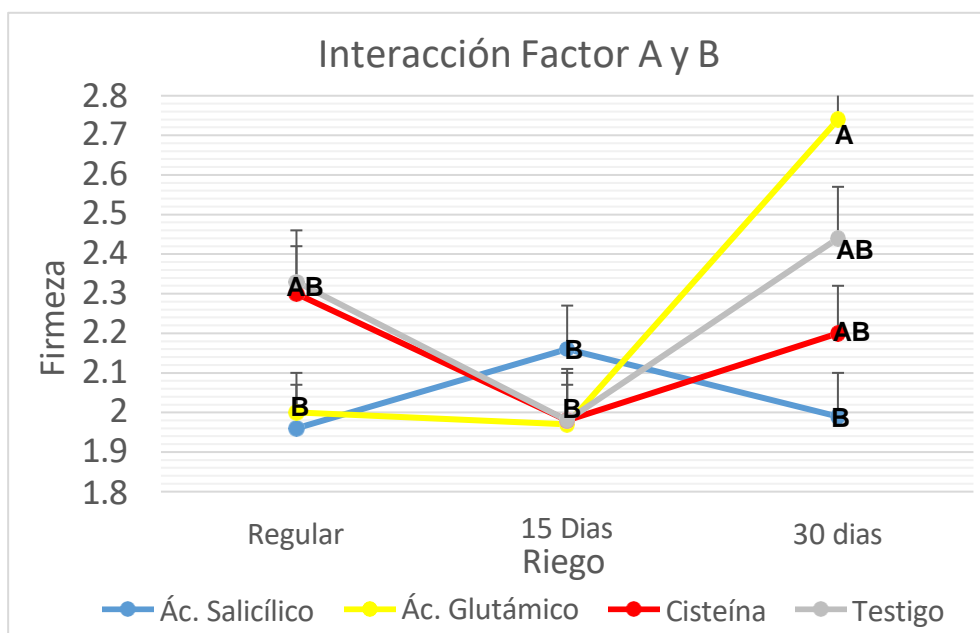


Figura 5. Firmeza en la interacción de factores

Firmeza promedio de fruto de los factores riego: regular, 15 y 30 días; y tratamientos: ácido salicílico, glutámico, cisteína y testigo. Letras diferentes simbolizan diferencia estadística ($p \leq 0.05$)

Área foliar

Como se observa en las figuras 6 y 7, en el parámetro no se presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Esto nos indica que, a pesar de la disminución del riego, el desarrollo vegetativo de la planta no se vio afectado ni en su crecimiento ni por el estrés oxidativo que se espera en un estrés hídrico.

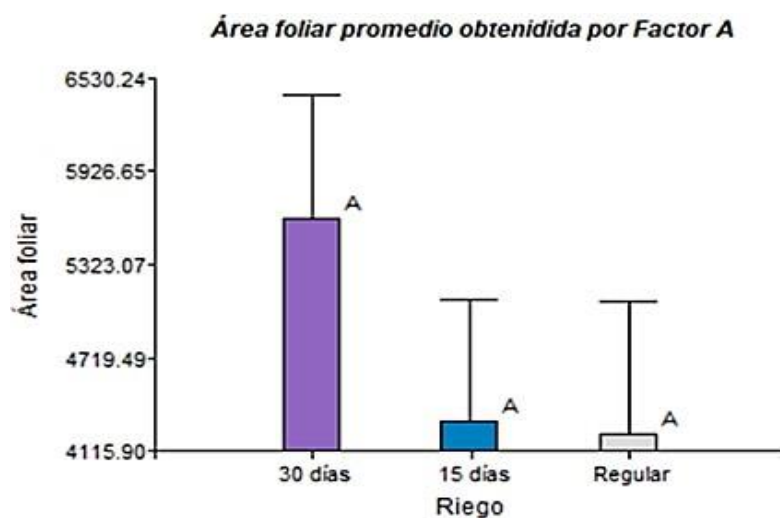


Figura 6. Área foliar en los diferentes riegos

Área foliar promedio de fruto del factor riego: regular, 15 y 30 días con posterior estrés. Letras diferentes simbolizan diferencia estadística ($p \leq 0.05$)

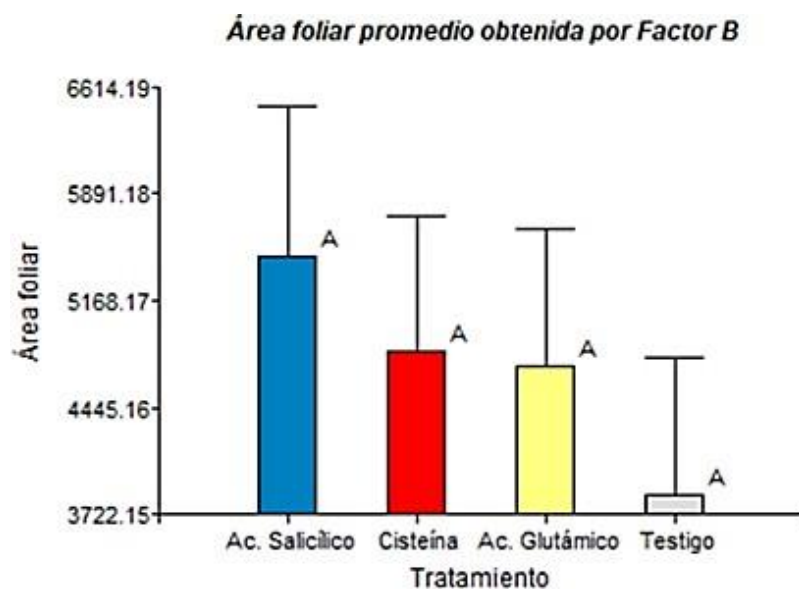


Figura 7. Área foliar para los tratamientos

Área foliar promedio de fruto del factor tratamientos: ácido salicílico, glutámico, cisteína y testigo. Letras diferentes simbolizan diferencia estadística ($p \leq 0.05$)

Peso fresco

El área foliar y este parámetro se encuentran estrechamente ligados, por ello, no asombra que presenten el mismo comportamiento. Al no reducirse el área foliar, no se presenta una disminución el peso fresco. Las variaciones que se observan en la figura 8 no son representativas $p \leq 0.05$

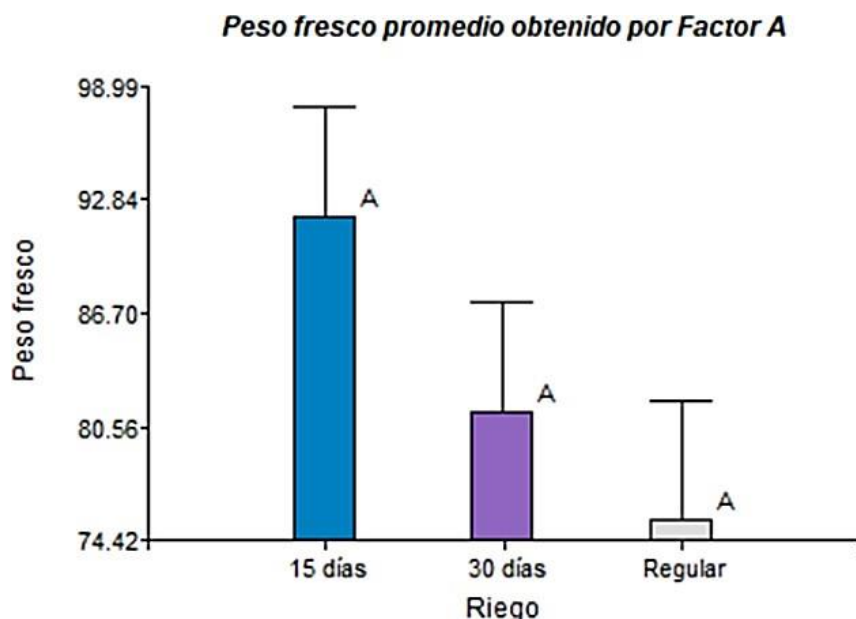


Figura 8. Peso fresco en los diferentes riegos

Peso fresco promedio de la sección aérea del factor riego: regular, 15 y 30 días con posterior estrés. Letras diferentes simbolizan diferencia estadística ($p \leq 0.05$)

Parámetros de calidad

°Brix

De los parámetros de calidad que no pueden ser observados por el consumidor, pero que son de gran importancia, éste es el primero, ya que indica el dulzor del fruto. El riego de 15 días con estrés influyó positivamente en este parámetro con respecto al riego regular (figura 9). Esto nos indica que se puede tener una

producción de mejor calidad organoléptica con un estrés severo donde la reducción del riego fue de un 50%

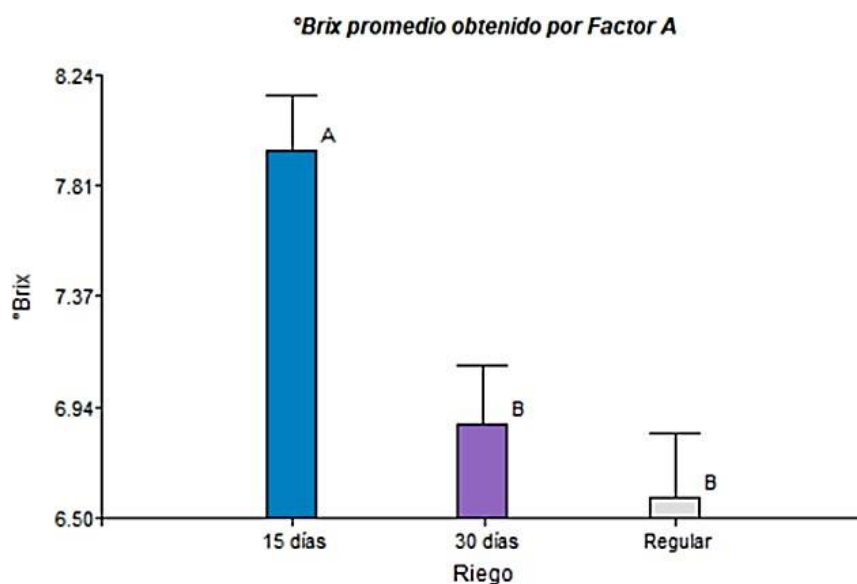


Figura 9. °Brix en los diferentes riegos

°Brix promedio de fruto del factor riego: regular, 15 y 30 días con posterior estrés. Letras diferentes simbolizan diferencia estadística ($p \leq 0.05$)

Capacidad antioxidante

Se presentan los resultados para el extracto de compuestos hidrofílicos. Esto debido a que los resultados del extracto de compuestos lipofílicos no presentaron relevancia estadística ($p \leq 0.05$), además, los compuestos hidrofílicos debido a la naturaleza del fruto y el uso de este, son los más fácilmente extraíbles para su consumo y aprovechamiento. Se presenta un incremento en el riego de 15 días con estrés en comparación con el testigo como se puede observar en la figura 10. Los frutos de mayor calidad nutracéutica se posicionan ese riego

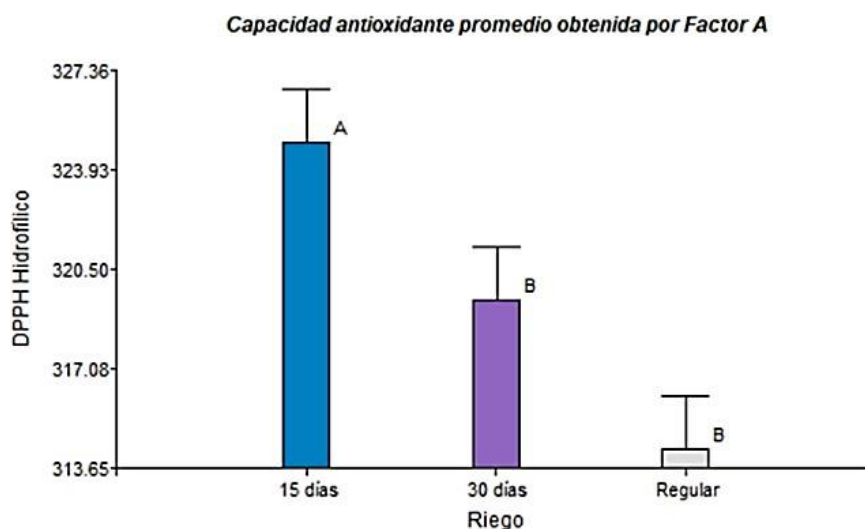


Figura 10. Capacidad antioxidante en los diferentes riegos

Capacidad antioxidante promedio del fruto por el método del reactivo de DPPH del factor riego: regular, 15 y 30 días con posterior estrés. Letras diferentes simbolizan diferencia estadística ($p \leq 0.05$)

Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos están íntimamente ligados al parámetro anterior, ya que estos proveen de actividad biológica al fruto, es decir, al aumentar estos compuestos se aumenta a su vez la capacidad antioxidante del fruto.

En el riego de 15 días con estrés, se presenta un incremento en la concentración de tales compuestos con respecto al riego regular. Sin embargo, para el riego de 30 días se presenta un decremento en este parámetro (figura 11)

La aplicación de AS y Glu presentan un incremento en la concentración de compuestos fenólicos con respecto al testigo ($p \leq 0.05$). Entre ambos tratamientos se presenta una diferencia estadística, con una relación $GLU < AS$. Por otro lado, la Cys fue estadísticamente igual al testigo y al Glu (figura 12)

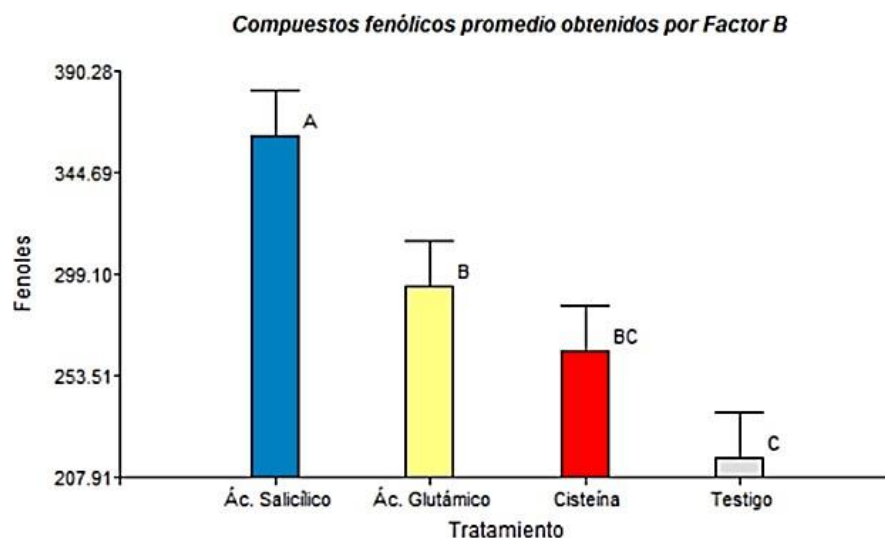


Figura 11. Compuestos fenólicos para los tratamientos

Compuestos fenólicos promedio de fruto por el método de Folin-Ciocalteu del factor tratamientos: ácido salicílico, glutámico, cisteína y testigo. Letras diferentes simbolizan diferencia estadística ($p \leq 0.05$)

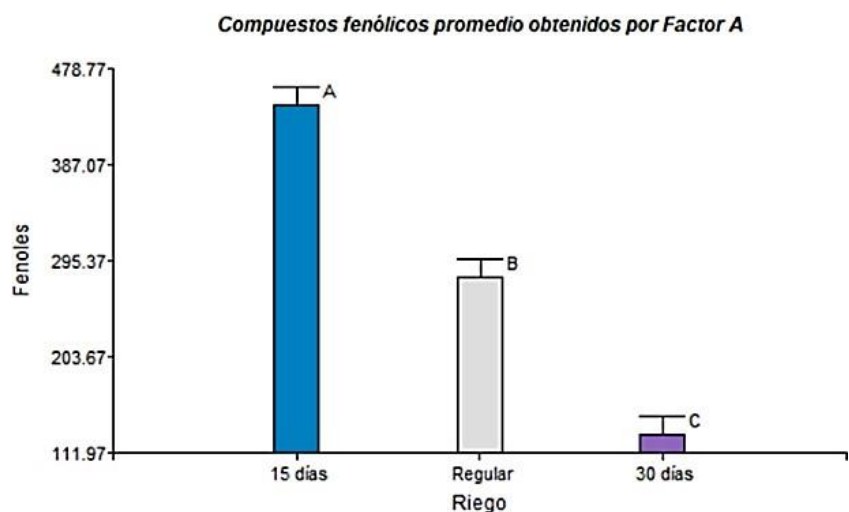


Figura 12. Compuestos fenólicos diferentes riegos

Compuestos fenólicos promedio de fruto por el método de Folin-Ciocalteu del factor riego: regular, 15 y 30 días con posterior estrés. Letras diferentes simbolizan diferencia estadística ($p \leq 0.05$)

Licopeno

Este parámetro es de calidad tanto visual, por que provee el color rojo característico, como nutracéutica. Por lo cual, las variaciones en este son de suma importancia respecto a la calidad

Se obtuvo que para licopeno no se presentan diferencias estadísticas entre el riego de 15 días y el testigo. Por el contrario, se observa que el riego de 30 días presentó una disminución (figura 13).

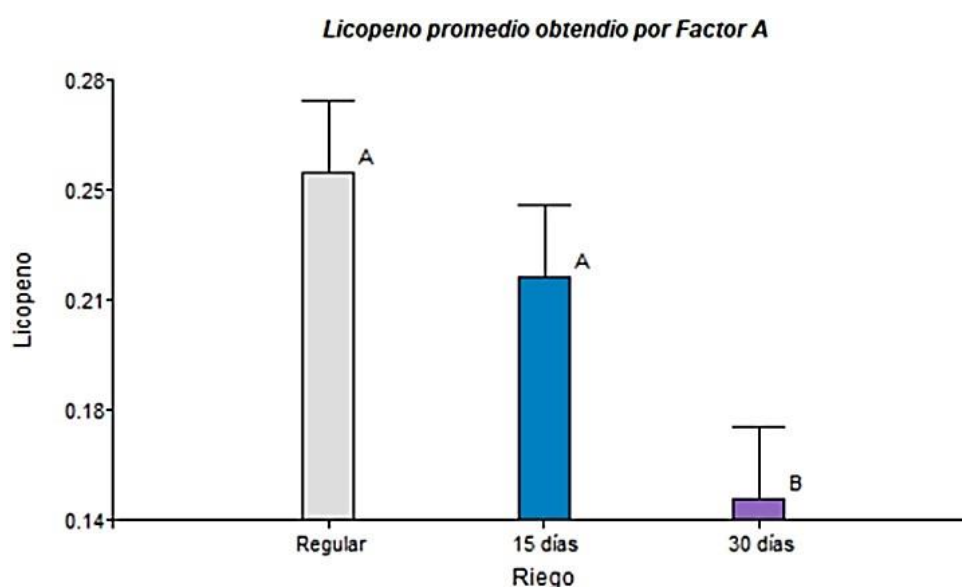


Figura 13. Licopeno en los diferentes riegos

Licopeno promedio de fruto del factor riego: regular, 15 y 30 días con posterior estrés. Letras diferentes simbolizan diferencia estadística ($p \leq 0.05$)

Antocianinas y Prolina

Se presentan ambos parámetros de manera conjunta por debido a su resultado ya que no se presentan diferencias ($p \leq 0.05$) en ninguno. Esto nos señala que, tanto la reducción del riego, como los anti estresantes no surgieron efecto en éstos.

En el caso de las antocianinas se presentó un ligero aumento en ambos riegos con estrés en relación al testigo (figura 14). Por el contrario, prolina presenta valores disminuidos para tales riegos. Se recuerda que la prolina es un indicador

del estrés, sobre todo hídrico, ya que, en presencia de estrés el metabolismo de la planta acumula prolina como un indicador y es usado como una ayuda al salir del estrés al haber restablecido el flujo del agua. Por lo anterior y lo observado en los resultados (figura 15) se determina que las plantas que fueron sometidas al déficit hídrico presentaron un menor grado de estrés que aquellas que fueron regadas con normalidad.

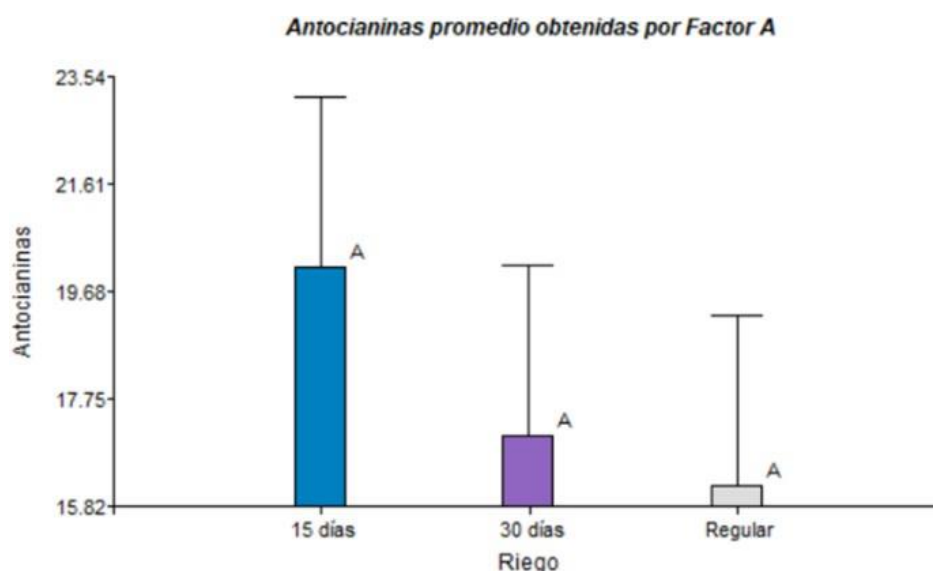


Figura 14. Antocianinas en los diferentes riegos

Antocianinas promedio de fruto por el método del diferencial del pH del factor riego: regular, 15 y 30 días con posterior estrés. Letras diferentes simbolizan diferencia estadística ($p \leq 0.05$)

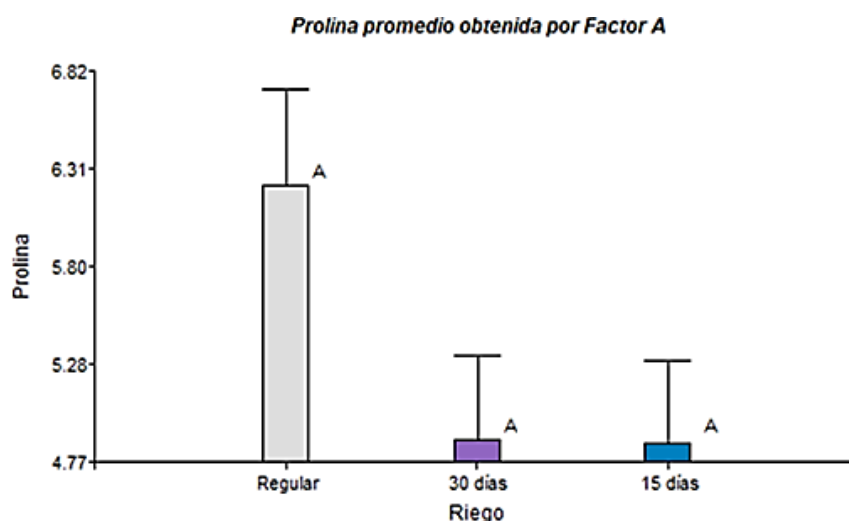


Figura 15. Prolina en los diferentes riegos

Prolina promedio de fruto por el método de Bates et al 1973 del factor riego: regular, 15 y 30 días con posterior estrés. Letras diferentes simbolizan diferencia estadística ($p \leq 0.05$)

Vitamina C

Uno de los principales antioxidantes presentes en la fresa es el ácido ascórbico o Vitamina C. Éste se encuentra relacionado con la acides del fruto. Por ello estos últimos dos parámetros se encuentran relacionados.

El riego de 30 días con respecto al testigo no presentó diferencia significativa (figura 16). Caso contrario fue el riego de 15 días, donde se observó una disminución de tal parámetro.

La aplicación de AS fue la única que presentó variación con respecto al testigo, esta fue la superior a todas las aplicaciones, lo cual se observa en la figura 17.

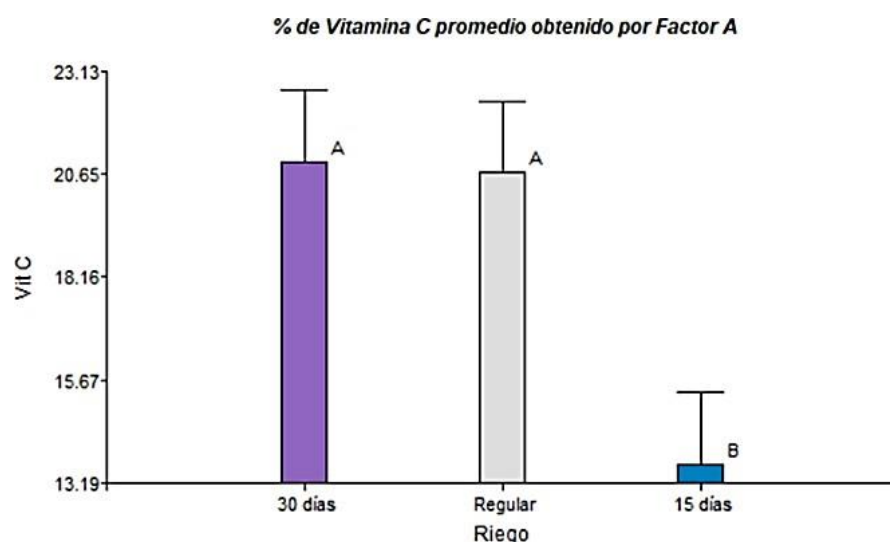


Figura 16. % de vitamina C en los diferentes riegos

% de vitamina C promedio de fruto por volumetría del factor riego: regular, 15 y 30 días con posterior estrés. Letras diferentes simbolizan diferencia estadística ($p \leq 0.05$)

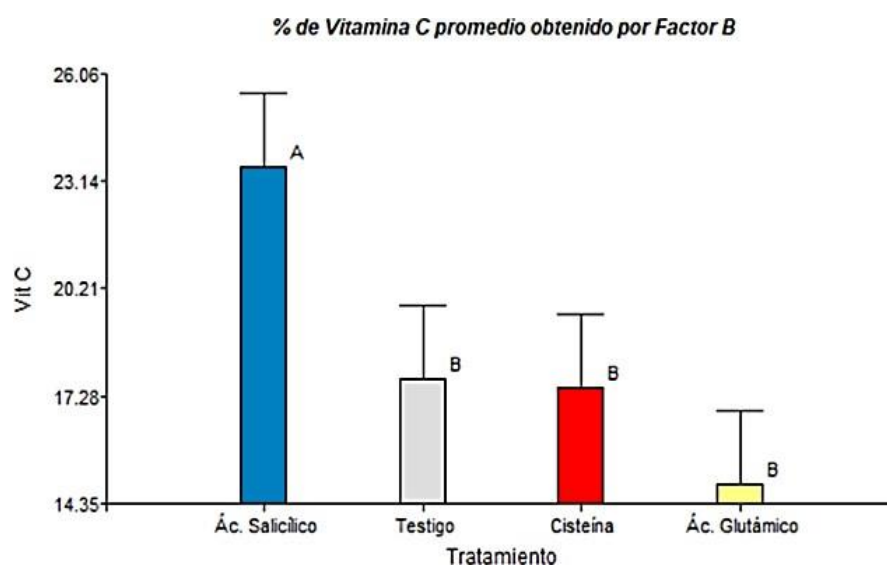


Figura 17. % de vitamina C para los tratamientos

% de vitamina C promedio de fruto por volumetría del factor tratamientos: ácido salicílico, glutámico, cisteína y testigo. Letras diferentes simbolizan diferencia estadística ($p \leq 0.05$)

Acidez total titulable

Finalmente, el parámetro de ácidos se expresa en equivalentes de ácido cítrico, ya que es uno de los más abundantes en el fruto. Al igual que el ácido ascórbico, es un antioxidante natural y, por ende, se le atribuyen características nutraceuticas.

Contrario al parámetro anterior, el riego que presentó un incremento fue el de 15 días, dejando al riego de 30 días estadísticamente igual al testigo (figura 18). No se ha de confundir la acidez con el sabor del fruto, aunque ésta da un sabor característico, se recuerda que el riego con mayor dulzor fue el de 15 días.

La aplicación que tuvo relevancia, al igual que en el parámetro anterior, fue el AS, lo cual puede observarse con claridad en la figura 19.

Respecto a los tratamientos, se comportaron de igual manera que el parámetro anterior, siendo solo significativa la aplicación de ácido salicílico

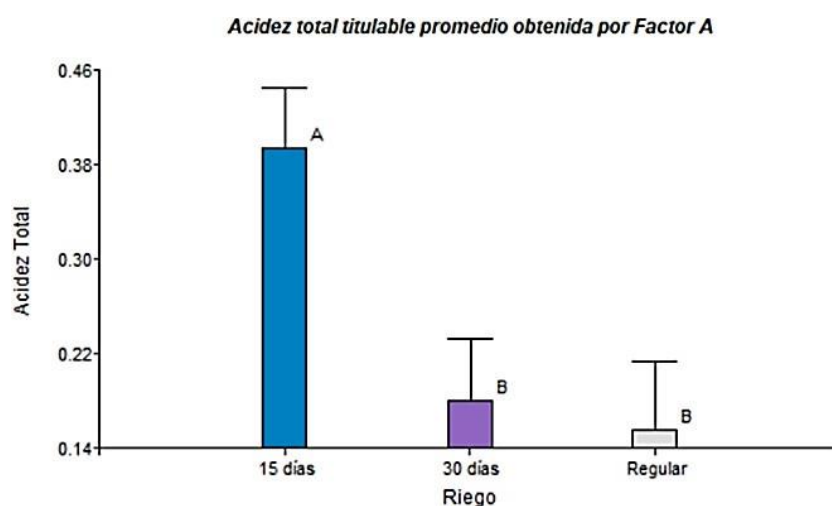


Figura 18. Ácidos total titulable en los diferentes riegos

Ácidos total titulable promedio de fruto del factor riego: regular, 15 y 30 días con posterior estrés. Letras diferentes simbolizan diferencia estadística ($p \leq 0.05$)

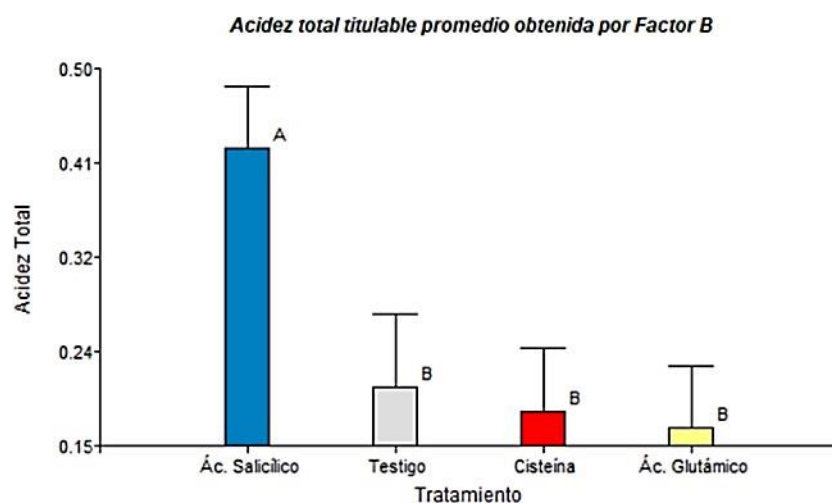


Figura 19. Acides total titulable para los tratamientos

Acides total titulable promedio de fruto del factor tratamientos: ácido salicílico, glutámico, cisteína y testigo. Letras diferentes simbolizan diferencia estadística ($p \leq 0.05$)

CONCLUSIÓN

Los parámetros agronómicos peso y diámetro de fruto se incrementaron tanto por los riegos con estrés como con las aplicaciones de bioestimulantes. En el régimen de riego por 15 días con estrés moderado (-10 bar) la aplicación de AS fue la que presentó mayor rendimiento con mayores pesos y diámetros de frutos, así como una mejora de calidad nutracéutica como mayor °Brix (dulzor), compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y acidez total titulable, pudiéndose comparar con el riego regular con Glu, sin embargo, en este último tratamiento se tuvo un gasto mayor de agua con los mismos resultados.

Con respecto a diámetro ecuatorial, firmeza, área foliar, peso fresco de la planta, no se encontraron diferencias ni por los regímenes de riego ni por los tratamientos.

La concentración de vitamina C en fruto, con el riego de 15 días reduce. Sin embargo, con la aplicación de AS este parámetro incrementa. Por otro lado, la prolina, las antocianinas y el licopeno para el riego de 15 días no mostraron diferencias al comparar con las plantas control.

Con lo anterior se demuestra que es posible reducir un riego excesivo usando de mejor manera este recurso en un cultivo eficiente y sustentable y producir fresas con tamaño, sabor y valor nutracéutico aceptables, siempre y cuando se maneje un estrés moderado (-10 bar) controlado y la aplicación de AS. Además, al reducir el agua aplicada en el campo es posible disminuir problemas por excesos de humedad.

REFERENCIAS

- Achondo, A. e. (2011). *Efecto del ácido salicílico en la bioproductividad de la fresa*. Texcoco: SciELO.
- Bates, et al. (1973). *Método determinación de prolina*.
- Bastida, O. (2023). *Situación de la fresa en estados unidos y latinoamerica*.
- Benítez, A. (2005). *Avances recientes en biotecnología vegetal e ingeniería genética de plantas*. Reverté.
- Bernardo, V. &. (2016). *Efecto del ácido salicílico sobre plants de pimiento (Capsicum annuum) microrrizadas, en presencia de metales pesados en el suelo*. La plata: FCAyF.
- Bianchi, P. (2018). *Guía completa del cultivo de las fresas*. Parkstone International.
- Brand-Williams, (1995). *Método de determinación de capacidad antioxidante por DPPH*.
- Cañas, P. (2002). *Rol biológico y nutricional de la taurina y sus derivados* . Santiago : SciELO.
- Castillo, F. (2005). *Biotecnología ambiental*. Madrid: Tebar.
- Chávez, L. Á. (2012). *Apuntes sobre algunos reguladores del crecimiento vegetal que participan en la respuesta de las plantas frente al estrés abiótico*. La Habana: SciELO.
- de la O, G. e. (2011). *Biomasa, prolina y parámetros nitrogenados en plántulas de nogal bajo estrés hídrico y fertilización nitrogenada*. México: SciELO.
- De Liñán, C. (2015). *EcoVad*. Agrotecnicas.
- Denzoin, L. S. (2013). *Homeostasis del glutatión*. La plata: SciELO.
- Demyrsoy, H., Demirsoy, L., Ozturk, A. (2005). Improved model for the non-destructive estimation of strawberry leaf area. *Fruits*, Vol 60, p 69-73
- Domínguez, P. (2012). *Evaluación agronomica de selecciones avanzadas del programa nacional de mejora genetica de fresa*. Cordova: ETSIAM.

- Florido, M. &. (2014). *Tolerancia a estrés por déficit hídrico en tomate (Solanum lycopersicum L.)*. La Habana: INCA.
- Folin-Ciocalteu. *Método de cuantificación de compuestos fenólicos*.
- Gómez, B. &. (2010). *ácido salicílico: inductor de resistencia a sequía en canola de riego bajo labranza reducida*. México: INIFAP.
- InfoAgro. (2000). *El cultivo de la fresa*. México: Artículos técnicos de INAGRI.
- INTAGRI. (2015). *Bioestimulantes en nutrición, fisiología y estrés vegetal*. México: Artículos técnicos de INTAGRI.
- INTAGRI. (2015). *El estrés vegetal parte 1: estrés por altas temperaturas*. México: Artículos técnicos de INTAGRI.
- INTAGRI. (2017). *La introducción de la defensa en las plantas através de elicitores*. México: Artículos técnicos de INTAGRI.
- INTAGRI. (2018). *El ácido glutámico en la bioestimulación de los cultivos*. México: Artículos técnicos de INTAGRI.
- Ligareto, G. e. (2012). *Manual par el cultivo de frutales en el trópico*. Bogotá : Produmedios.
- Luna, E. e. (2016). *Capacidad antioxidante de fresa hidroponica producida bajo diferente aportacion de potasio-nitrogeno*. México: IDCTA.
- Luna, W. (2012). Efecto del estrés hídrico sobre e crecimiento y eficiencia del uso del agua en plántulas de tres especies arbóreas caducifolias. *Terra*.
- Markus, M. (2019). *Scientia et ars: La fuerza pirotecnica de critales súper-planos*. Chile: UC.
- Martínez, E. e. (2016). Evaluación de las necesidades hídricas de variedades de fresa y de su respuesta al recorte hídrico moderado. *Instituto de investigación y formación agraria y pesquera*.
- Moreno, A. (2015). *Actividades de riego, abonado y tratamiento en cultivos*. España: Paraninfo.
- Muñiz, C. (2018). *Búsqueda de nuevos bioestimulantes para el desarrollo de plantas: ácido elágico*. Saltillo: CIQA.
- Ojeda, C. (2015). *Efecto de un producto bioactivo compuesto por oligogalacturónidos como mitigador del estrés hídrico en variedades de*

albahaca (Ocimum basilicum L.). La Paz: Centro de investigaciones biológicas del noroeste.

- Ojeda, L. (2018). *Efecto de la nutrición nitrónica y sistemas de riego en el sabor de la fresa*. Chapingo: SciELO.
- Peña, E. (2005). *Algas como indicadores de contaminación*. Colombia: Uni del valle.
- Pérez, H. (2006). *Nutraceuticos: componente emergente para el beneficio de la salud*. La Habana: ICIDCA.
- Raimond, S. (2015). *Efecto del ácido salicílico sobre el desarrollo de plantas de lechosa (Carica papaya L.) sometidas a estrés hídrico durante la fase de vivero*. Maracay: Uni. Venezuela.
- SIAP (2022). *Panorama Agroalimentario*. <https://online.pubhtml5.com/vqdk/rvdl/>
- Tucuch, C. e. (2016). *Efecto del ácido salicílico sobre el crecimiento de raíz de plántulas de maíz*. Texcoco: SciELO.
- Vázquez, D. e. (2016). Efecto del ácido salicílico en la producción y calidad nutraceutica de frutos de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3405-3414.
- Vega, J. (1998). *Avances en el metabolismo del nitrógeno: de la fisiología a la biología molecular*. Marvella: Universidad de Sevilla.