



Universidad
Internacional
de Andalucía

TÍTULO

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE TRATAMIENTOS FOLIARES CON
MICROALGAS EN LA PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD DE FRUTOS DE
FRESA**

AUTORA

Gabriela Rijo de Francisco

	Esta edición electrónica ha sido realizada en 2025
Director	Dr. Pedro Palencia García
Instituciones	Universidad Internacional de Andalucía ; Universidad de Huelva
Curso	<i>Máster Universitario en Tecnología Ambiental (2024/25)</i>
©	Gabriela Rijo de Francisco
©	De esta edición: Universidad Internacional de Andalucía
Fecha documento	2024



Universidad
Internacional
de Andalucía



**Atribución-NoComercial-SinDerivadas
4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)**

Para más información:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE TRATAMIENTOS FOLIARES CON MICROALGAS EN LA PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD DE FRUTOS DE FRESA

Lic. Gabriela Rijo de Francisco

Trabajo entregado para la obtención del grado de Máster en
“Tecnología Ambiental”

Modalidad: “Investigación”

Octubre/ 2024

Director:

Dr. Pedro Palencia García

D. Pedro Palencia, DNI: y cargo Profesor Titular departamento y/o empresa Departamento de Biología de Organismos y Sistemas, Universidad de Oviedo,

INFORMA:

Que el trabajo titulado “**Evaluación del impacto de tratamientos foliares con microalgas en la productividad y calidad de frutos de fresa**” presentado por **Da. Gabriela Rijo de Francisco, con NIE.:** , ha sido realizado en Universidad de Huelva, bajo mi dirección, y autorizo su presentación y defensa como **Trabajo Fin de Máster** (Modalidad: Trabajo de Investigación), para el Máster Universitario en Tecnología Ambiental de la Universidad de Huelva.

En Huelva, a 29 de octubre de 2024



Fdo.: Pedro Palencia García

RESUMEN

La búsqueda de prácticas agrícolas sostenibles ha impulsado el interés en las microalgas las cuales muestran un potencial significativo para mejorar tanto el rendimiento como la calidad de diversos cultivos, lo que las convierte en una alternativa atractiva para los agricultores que buscan métodos más ecológicos y eficientes. En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar cómo los tratamientos foliares con microalgas afectan el rendimiento y la calidad de los frutos de fresa (*Fragaria x ananassa*). Particularmente, se analizan dos tratamientos para determinar su impacto en el rendimiento de las plantas y en la calidad de los frutos obtenidos. Se midieron diversos parámetros de calidad y productividad de las fresas. Los datos se analizaron usando ANOVA para identificar diferencias significativas entre tratamientos y semanas. Los resultados indicaron que los tratamientos con microalgas aumentaron la cantidad y el peso de los frutos de fresa en comparación con el grupo de control. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre los dos tratamientos con microalgas. Aunque se observaron beneficios en términos de productividad y tamaño de los frutos, los tratamientos no mostraron un impacto significativo en parámetros como firmeza, contenido de ácido ascórbico, acidez total titulable o pH. Además, las observaciones realizadas a través de colorimetría y el índice de °Brix indicaron un efecto positivo inicial, lo que sugiere que los efectos de las microalgas no fueron consistentes en todos los parámetros evaluados.

Palabras Claves: ácido ascórbico; acidez total titulable; firmeza; *Fragaria x ananassa*; pH; sólidos solubles totales

ABSTRACT

The pursuit of sustainable agricultural practices has catalyzed a growing interest in microalgae, which demonstrate significant potential for enhancing both the yield and quality of various crops. This characteristic renders them an appealing alternative for agricultural practitioners seeking more environmentally friendly and efficient methodologies. In this context, the present study aims to evaluate the effects of foliar treatments with microalgae on the yield and quality of strawberry fruits (*Fragaria x ananassa*). Specifically, this investigation analyzes two distinct treatments to ascertain their impact on plant yield and the quality of the harvested fruits. A range of quality and productivity parameters of the strawberries was measured. The collected data were subjected to statistical analysis using ANOVA to identify significant differences among treatments and across various time points. The findings indicated that the application of microalgae treatments resulted in an increase in both the quantity and weight of the strawberry fruits when compared to the control group. However, no statistically significant differences were observed between the two microalgae treatments. While benefits in terms of productivity and fruit size were documented, the treatments did not exert a significant impact on parameters such as firmness, ascorbic acid content, total titratable acidity, or pH. Furthermore, observations derived from colorimetric analysis and the °Brix index suggested an initial positive effect, implying that the influence of microalgae was not consistent across all assessed parameters.

Keywords: ascorbic acid; titratable total acidity; firmness; *Fragaria x ananassa*; pH; total soluble solids

Agradecimientos

Manifiesto mi más profundo agradecimiento por la paciencia, la inquebrantable comprensión, la incansable dedicación y los constantes alientos de todos aquellos que, de manera inadvertida, han contribuido de manera decisiva para que este documento culmine exitosamente.

Gracias a la Universidad Internacional de Andalucía, a la Universidad de Huelva, a los trabajadores del Campus de la Rábida y al Grupo de Universidades de La Rábida.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Origen y características morfológicas	1
1.2. Régimen nutricional. Efectos e importancia	1
1.3. Tratamiento foliar con algas	3
1.4. Contenido de clorofila	4
1.5. Calidad de los frutos	6
1.5.1. Diámetro y firmeza	6
1.5.2. Colorimetría	7
1.5.3. Ácido ascórbico	7
1.5.4. Contenido de Sólidos Solubles Totales y grados Brix	8
1.5.5. Acidez Total Titulable	10
1.5.6. Relación Sólidos Solubles Totales y Acidez Total Titulable	10
1.5.7. pH	11
Objetivos	13
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	14
2.1. Área de estudio	14
2.2. Planificación del ensayo	15
2.3. Sistema de riego y régimen de nutrientes	16
2.4. Toma de datos	16

2.5. Análisis estadístico.....	18
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
3.1. Producción de frutos	20
3.2. Peso de los frutos	22
3.3. Contenido de clorofila.....	23
3.4. Diámetro y firmeza del fruto	25
3.6. Ácido ascórbico	33
3.7. Contenido de Sólidos Solubles Totales y grados Brix	34
3.8. Acidez Total Titulable	35
3.9. Relación entre Sólidos Solubles Totales y Acidez Total Titulable.....	36
3.10. pH.....	37
Conclusiones.....	39
Bibliografía.....	40

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Origen y características morfológicas

La fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) es una planta cultivada de la familia *Rosaceae*, perteneciente al género *Fragaria*. A diferencia de otras especies del mismo género, la fresa cultivada es un híbrido resultante del cruce entre *Fragaria virginiana* y *Fragaria chiloensis*, realizado en el Jardín Botánico de Versalles. Este híbrido, conocido como *Fragaria x ananassa*, se nombró así por su similitud en aroma y sabor con el ananá o piña. El género *Fragaria* comprende 27 especies distribuidas principalmente en el hemisferio norte (Kirschbaum, 2022). A lo largo de 300 años, las características del híbrido han sido mejoradas, lo que ha permitido su expansión global. Aunque se ha asumido una limitada diversidad genética en la fresa cultivada, estudios recientes indican que su variabilidad alélica es comparable a la de sus progenitores silvestres (Hardigan *et al.*, 2021). Morfológicamente, la planta es perenne y leñosa, con un tallo central (corona) del que emergen hojas, raíces, estolones e inflorescencias. La formación de coronas laterales o estolones depende de las condiciones ambientales, mientras que el sistema radicular es fibroso y superficial, extendiéndose hasta 50 cm en profundidad, y está compuesto por raíces principales robustas y raicillas absorbentes (Weaver y Bruner, 1927). Las hojas trifoliadas son pinnadas, con márgenes dentados y estomas en el envés (Darrow, 1966). Las inflorescencias cimosas presentan flores hermafroditas, cuya polinización es entomófila, principalmente por abejas (Bagnara y Vincent, 1988). El fruto es un agregado derivado del receptáculo engrosado, siendo los verdaderos frutos los aquenios, situados en su superficie (Hancock, 1999).

1.2. Régimen nutricional. Efectos e importancia

La calidad física y bioquímica de este fruto adquiere una relevancia considerable en el contexto de la competencia en el mercado y la creciente importancia del consumo de fresas frescas. Esto se debe a su contenido significativo de azúcares, minerales y compuestos nutraceuticos (Mixquititla-Casbis *et al.*, 2020). Para asegurar la calidad óptima de las fresas, es fundamental controlar los parámetros de calidad a través del

régimen nutricional durante el ciclo de cultivo (Avitia-García *et al.*, 2014). Los nutrientes clave en el desarrollo de las plantas de fresa son nitrógeno, fósforo y potasio (Mixquititla-Casbis *et al.*, 2020).

El nitrógeno es un nutriente esencial que limita la producción y se aplica frecuentemente en dosis elevadas para maximizar los rendimientos (Cárdenas-Navarro *et al.*, 2004). Sin embargo, esta práctica incrementa los costos de producción y puede causar contaminación del suelo debido a la lixiviación del nitrógeno (Vázquez-Gálvez *et al.*, 2008). El nitrógeno cumple funciones estructurales y osmóticas en las plantas y se absorbe principalmente en forma de NO_3^- . Su deficiencia puede reducir el vigor de las plantas y disminuir la productividad, mientras que un exceso puede causar deficiencia de zinc (Chávez-Sánchez *et al.*, 2014).

El fósforo juega un papel crucial en el desarrollo de las raíces y la floración, ya que es un componente esencial en los sistemas de captación, almacenamiento y transferencia de energía (Mixquititla-Casbis *et al.*, 2020). Este nutriente se absorbe como ión fosfato (H_2PO_4^-) o como ortofosfato (HPO_4^{2-}) (Fernández, 2007). La deficiencia de fósforo puede reducir el número y diámetro de las flores, lo que podría llevar a una disminución del 50 % en el rendimiento. También puede retrasar la maduración, disminuir el tamaño y la firmeza de los frutos, y reducir su contenido de ácido ascórbico. Por el contrario, niveles elevados de fósforo pueden provocar deficiencia de zinc y afectar la disponibilidad de hierro (Díaz *et al.*, 2017).

El potasio está implicado en la absorción de agua por las raíces, la resistencia a enfermedades e insectos, la fotosíntesis y la regulación de la apertura de los estomas. La planta absorbe el potasio en forma de ión potasio, que tiene buena movilidad y es crítico para las hojas y los frutos en crecimiento (Mixquititla-Casbis *et al.*, 2020). Niveles bajos de potasio pueden disminuir el vigor, el rendimiento y la calidad de la fruta, afectando su pigmentación, que es un factor visual importante (Kirschbaum y Borquez, 2006). No obstante, niveles elevados de potasio pueden acelerar la pudrición apical y reducir la firmeza del fruto (Hernández *et al.*, 2009).

1.3. Tratamiento foliar con algas

Las algas constituyen un grupo de organismos altamente diversos que realizan fotosíntesis. Estos organismos pueden ser unicelulares o pluricelulares y se agrupan en varios filos, como *Chlorophyta* (algas verdes), *Rhodophyta* (algas rojas) y *Ochrophyta* (Guiry, 2012). Las algas son una fuente rica en nutrientes esenciales, trazas de metales y reguladores del crecimiento (Craigie, 2011). Los extractos de algas se utilizan en la agricultura para mejorar la fertilidad del suelo y aumentar la productividad de los cultivos debido a su valiosa composición (Arioli *et al.*, 2015).

Los productos a base de algas se presentan generalmente como formulaciones líquidas en el comercio, donde las algas están suspendidas en agua (Calvo *et al.*, 2014). Estas formulaciones se aplican a las raíces antes del trasplante o directamente a los cultivos mediante riego localizado o pulverización foliar (Righini *et al.*, 2018). Los tratamientos con extractos de algas han demostrado efectos beneficiosos en una variedad de cultivos, como tomate, manzana, trigo, fresa y colza de invierno (Jannin *et al.*, 2013).

Los extractos de *Ascophyllum nodosum* y *Ecklonia maxima* han mostrado ser efectivos en mejorar parámetros como el crecimiento vegetativo y reproductivo, el contenido de clorofila y de pigmentos (Righini *et al.*, 2018). Investigaciones recientes han evaluado el potencial de los extractos de algas para mejorar la calidad de las fresas. El-Miniawy *et al.* (2014) estudiaron la aplicación foliar de una mezcla de *A. nodosum*, *Sargassum* spp. y *Laminaria* spp. en la variedad 'Sweet Charlie', observando efectos positivos moderados en la firmeza del fruto, el contenido de sólidos solubles y la acidez titulable entre 30 y 90 días después de la aplicación, aunque no hallaron efectos significativos en el contenido de ácido ascórbico. En contraste, el uso de extracto de *E. maxima* en la variedad 'Selva' incrementó la concentración de ácido ascórbico en un 56 % (Eshghi *et al.*, 2013).

Los extractos de algas pueden mejorar la calidad de los frutos, pero es necesario evaluar la compatibilidad entre la composición del extracto, el método de aplicación y la variedad de cultivo utilizada.

1.4. Contenido de clorofila

La coloración verde de las hojas se debe a la presencia de clorofila (Steele *et al.*, 2008). El contenido de clorofila en las plantas es una variable clave para determinar su estado fisiológico (Callejas *et al.*, 2013). Las plantas pueden ajustar la concentración de clorofila en respuesta a factores como la salinidad, el estrés lumínico, el estrés hídrico, y daños causados por ozono o insectos (Alizadeth *et al.*, 2010). Además, el contenido de clorofila está asociado con las concentraciones de nitrógeno en las hojas, por lo que puede servir como una medición indirecta del contenido de nitrógeno (Callejas *et al.*, 2013).

La medición del contenido de clorofila puede realizarse mediante dos métodos principales, el método de extracción (método destructivo) y un método que utiliza lecturas de fluorescencia o reacciones instantáneas a un haz de luz (método no destructivo) (Fenech-Larios *et al.*, 2009) y emplea medidores portátiles de clorofila (Callejas *et al.*, 2013), que permite obtener datos en tiempo real.

El método de extracción separa los pigmentos clorofílicos de los tejidos vegetales mediante solventes orgánicos. Este proceso es destructivo y costoso, ya que implica recolectar hojas y procesarlas en laboratorio. Para la recolección de muestras, se seleccionan hojas representativas del estado fisiológico de la planta en estudio. Luego, se secan y trituran para facilitar la liberación de los pigmentos clorofílicos durante la extracción (Fenech-Larios *et al.*, 2009).

Se añaden solventes orgánicos, como acetona, etanol o metanol, a las hojas trituradas, ya que estos disuelven la clorofila. Después, se filtra la mezcla para separar el líquido, que contiene la clorofila disuelta, de los residuos sólidos de las hojas. Se utiliza un espectrofotómetro para medir la absorbancia de la solución filtrada en longitudes de onda específicas, típicamente 645 nm y 663 nm para la clorofila a, y 450 nm para la clorofila b. La absorbancia obtenida permite calcular la concentración de clorofila en la muestra (Bursztyn-Fuentes *et al.*, 2022).

Este método requiere equipos como el espectrofotómetro, que mide la absorbancia de la muestra en determinadas longitudes de onda, y un mortero y pistilo, que se usan para triturar las hojas y facilitar la extracción. También se emplean una centrífuga, para separar sólidos del líquido tras la extracción, así como cilindros y matraces para medir y transferir solventes y muestras durante el proceso (Bursztyn-Fuentes *et al.*, 2022).

Aunque el método de extracción es preciso, presenta limitaciones debido a su naturaleza destructiva, que impide realizar mediciones repetidas sobre el mismo material vegetal. Además, es más laborioso y consume más tiempo que métodos no destructivos. Factores como el tipo de solvente, el tiempo de extracción y la temperatura pueden afectar la eficacia del proceso y generar variabilidad en los resultados.

El método no destructivo para medir el contenido de clorofila en plantas se basa en realizar mediciones directamente en las hojas sin necesidad de recolectarlas. Para tomar una muestra, el operador coloca el dispositivo portátil, como el *SPAD 502 Plus* (Konica Minolta, Inc., Osaka, Japón) o el *CCM-200* (Opti-Sciences, Inc., Hudson, NH), sobre la hoja. Estos dispositivos emiten un haz de luz que atraviesa la hoja y mide la transmitancia en longitudes de onda específicas, generalmente en el espectro rojo e infrarrojo cercano (Callejas *et al.*, 2013).

El *SPAD 502 Plus* (Konica Minolta, Inc., Osaka, Japón) utiliza longitudes de onda de 650 nm y 940 nm (Kapotis *et al.*, 2003), mientras que el *CCM-200* (Opti-Sciences, Inc., Hudson, NH) emplea 665 nm y 940 nm (Cate y Perkins, 2003). Ambos dispositivos muestran el valor de clorofila estimada en una pantalla digital y permiten almacenar los datos para un análisis posterior.

Este método no daña la planta, permite realizar mediciones repetidas en la misma hoja y es ideal para monitoreos continuos. Además, las mediciones son rápidas y sencillas, y los dispositivos son portátiles y ligeros, lo que los hace adecuados para trabajos de campo. A diferencia del método destructivo, estos dispositivos reducen los costos y el tiempo necesario para el análisis. Sin embargo, los medidores requieren

calibraciones específicas para diferentes especies y pueden ser influenciados por condiciones ambientales como la humedad y el grosor de la hoja, lo que puede afectar la precisión de las lecturas. Además, estos dispositivos no proporcionan detalles sobre otros pigmentos ni pueden diferenciar entre tipos de clorofila (Callejas *et al.*, 2013).

1.5. Calidad de los frutos

La calidad de los frutos es fundamental en la agricultura y la industria alimentaria, ya que influye directamente en la satisfacción del consumidor y en el éxito comercial. Varios factores afectan la calidad de los frutos, incluyendo su sabor, textura y apariencia. Uno de los principales determinantes es la madurez del fruto, que varía según la especie y se relaciona con el equilibrio entre firmeza, sabor, color y jugosidad (Valenzuela, 2023).

El perfil de sabor de los frutos se forma a partir de la combinación de azúcares, ácidos y compuestos aromáticos. Además, la apariencia visual es crucial, ya que características como el color y la forma, así como la ausencia de defectos visibles, son indicadores de alta calidad. Por ejemplo, se ha encontrado que la madurez de la fruta, junto con un manejo postcosecha adecuado, son factores clave que determinan la calidad final del producto (Ren & Ding, 2024).

En el caso de las fresas, el manejo postcosecha es esencial para mantener su calidad, dado que son altamente perecederas. La utilización de tecnologías modernas, como sensores y cámaras de espectroscopia, permite evaluar los atributos de calidad de forma no destructiva, proporcionando datos sobre el contenido de compuestos relacionados con la calidad visual y nutricional (Valenzuela, 2023). Estas prácticas son necesarias para garantizar que las fresas lleguen al consumidor en óptimas condiciones.

1.5.1. Diámetro y firmeza

El tamaño de los frutos es un indicador del estado de madurez, por lo general, los frutos de mayor tamaño están más desarrollados (López-Valencia *et al.*, 2018). En

contraste, la firmeza de los frutos influye en sus hábitos de conservación y consumo (Priya *et al.*, 1996). La reducción de la firmeza suele estar asociada con la degradación de componentes de la pared celular, como la celulosa y la pectina, provocada principalmente por la acción de las enzimas celulasa, pectinmetilesterasa y pectinasa durante el proceso de respiración celular (Paliyath *et al.*, 2008). Este proceso respiratorio también está relacionado con la síntesis de pigmentos y proteínas, lo que requiere la inversión de energía y compuestos carbonados (Seymour *et al.*, 1993). A nivel celular, el estado de madurez de la fruta se caracteriza por el alargamiento de las células y la presencia de paredes celulares más delgadas (Nunes, 2008).

1.5.2. Colorimetría

Durante el proceso de desarrollo y maduración de los frutos, se producen diversos cambios en su pigmentación, algunos de los cuales pueden ser indeseables, especialmente tras la cosecha, afectando así la calidad del producto. En el caso de las fresas, uno de los cambios deseables es el desarrollo de antocianinas, compuestos responsables del color y sabor del fruto. No obstante, las antocianinas son sustancias hidrosolubles que presentan una notable inestabilidad y tienden a degradarse con facilidad (Kader, 2002).

El color de las fresas se ha establecido como un indicador clave para evaluar su grado de madurez. Varios estudios han desarrollado índices de color basados en la coloración de la piel de la fruta, proporcionando referencias visuales para monitorear la evolución de la maduración (Vignoni *et al.*, 2006). De este modo, el color se convierte en un parámetro esencial para determinar el momento óptimo de cosecha, garantizando así un sabor y una calidad superiores (López-Valencia *et al.*, 2018).

1.5.3. Ácido ascórbico

El ácido ascórbico, conocido comúnmente como vitamina C, es un nutriente esencial que juega un papel crucial en la calidad de las fresas, tanto desde el punto de vista nutricional como comercial. Este compuesto, con propiedades antioxidantes destacadas, se encuentra en altas concentraciones en frutas y verduras frescas,

incluidas las fresas, que pueden contener aproximadamente 60 mg de ácido ascórbico por cada 100 g de fruta (Torregrosa, 2006). Su presencia no solo contribuye a la calidad nutricional de las fresas, sino que también influye en su sabor, textura y aceptación por parte del consumidor.

El ácido ascórbico es sensible al calor y se degrada durante el almacenamiento, lo que puede servir como un indicador de la pérdida de otros nutrientes importantes en las fresas. Factores como la temperatura, el nivel de oxígeno, la exposición a la luz y el tiempo de almacenamiento afectan su concentración (Blasco *et al.*, 2004). Esta reducción en el contenido de ácido ascórbico no solo compromete el valor nutricional de las fresas, sino que también puede impactar negativamente en su atractivo comercial. La gestión adecuada de las condiciones de almacenamiento y las técnicas de procesamiento pueden ayudar a preservar el contenido de este nutriente vital y, por ende, mejorar la calidad general de la fruta.

Además, las fresas son ricas en otros compuestos bioactivos, como polifenoles y antocianinas, que no solo contribuyen a su valor nutricional, sino que también mejoran sus características sensoriales (Ladika *et al.*, 2024). Por lo tanto, al optimizar los métodos de preservación y manipulación postcosecha, se puede mejorar la calidad y prolongar la vida útil de las fresas, lo cual es crucial para su comercialización efectiva. Las técnicas como la deshidratación osmótica han demostrado ser prometedoras en la mejora de la calidad nutricional y sensorial de las fresas, aumentando su estabilidad y aceptabilidad en el mercado (Ladika *et al.*, 2024).

1.5.4. Contenido de Sólidos Solubles Totales y grados Brix

Los sólidos solubles totales (SST) en los frutos se refieren a la suma de todos los compuestos solubles en agua presentes en el jugo de las frutas. Este grupo de compuestos incluye azúcares, ácidos orgánicos, aminoácidos, y otros metabolitos como vitaminas y minerales. Los azúcares son el componente predominante, y su concentración es un determinante clave de la calidad sensorial del fruto. La medición de los SST se utiliza como un indicador fundamental de la calidad del fruto en el ámbito

comercial, ya que se correlaciona directamente con la percepción del sabor y la dulzura del producto (Silva *et al.*, 2003).

Los grados Brix (°Brix) son una unidad de medida utilizada para expresar la concentración de azúcares en soluciones acuosas, especialmente en el jugo de frutas. Un °Brix es equivalente a 1 gramo de sacarosa disuelta en 100 gramos de solución, por tanto, la lectura de °Brix proporciona una aproximación de la cantidad de azúcares presentes en el jugo. Generalmente, los productores utilizan refractómetros para medir los °Brix. Estos dispositivos ópticos evalúan el ángulo de refracción de la luz al pasar a través de la solución. Cuanto mayor es la concentración de sólidos disueltos en la solución, mayor es el ángulo de refracción. Este principio se basa en la ley de Snell y permite determinar la concentración de azúcares de manera rápida y precisa (Osterloh *et al.*, 1996).

La relación entre los SST y los °Brix es estrecha, ya que los °Brix son una medida indirecta de los SST en el jugo de fruta. Cuando se mide el contenido de °Brix, se obtiene una representación de la concentración de azúcares disueltos, que constituyen una parte importante de los sólidos solubles totales. Sin embargo, es importante señalar que los SST no solo incluyen azúcares; también comprenden otros compuestos solubles que pueden afectar el sabor, la acidez y otros aspectos sensoriales de la fruta. Por lo tanto, aunque hay una correlación entre los °Brix y los SST, la relación no es necesariamente uno a uno. En muchos casos, un aumento en los °Brix se asocia con un aumento en la calidad del fruto, lo que se traduce en una mayor aceptación por parte del consumidor (Montaño-Mata & Méndez-Natera, 2009).

La relación entre los SST y la calidad del fruto es especialmente relevante durante el proceso de maduración. A medida que los frutos maduran, los sólidos solubles tienden a aumentar, indicando que los azúcares se acumulan. Este incremento puede variar significativamente dependiendo de varios factores, como la variedad del fruto, la eficiencia fotosintética de las hojas, la relación hoja/fruto, y las condiciones climáticas a las que se expone la planta durante el desarrollo del fruto (del Pilar *et al.*, 2007). La acumulación de azúcares puede originarse de dos fuentes principales: el transporte

de azúcares hacia el fruto a través del sistema vascular y la conversión de reservas de almidón almacenadas en el fruto (Wills *et al.*, 1998).

En el ámbito comercial, los °Brix se consideran cruciales para evaluar la calidad de los frutos, ya que un contenido adecuado de azúcares está asociado con una mayor aceptación por parte del consumidor. Según Montaña-Mata y Méndez-Natera (2009), un rango de entre 8 y 10 °Brix es aceptable en el mercado para muchas frutas. La variación en los niveles de °Brix puede influir en las decisiones de cosecha, almacenamiento y comercialización, ya que los consumidores tienden a preferir frutas más dulces.

1.5.5. Acidez Total Titulable

La acidez es un factor clave que influye en el sabor del fruto, y está relacionada con el contenido de ácidos orgánicos libres presentes en él (Valero y Ruiz-Altisent, 1998). En el caso específico de la fresa, el ácido cítrico es el principal ácido orgánico y tiende a alcanzar su máxima concentración en los estadios más inmaduros del fruto. Su concentración disminuye a medida que los sólidos solubles totales aumentan, debido a su conversión en azúcares (López-Valencia *et al.*, 2018). Esta reducción en la acidez durante la maduración del fruto suele estar asociada con el uso de ácidos orgánicos en el proceso de respiración celular (Wills *et al.*, 2007). Aunque se puede establecer una relación general entre la madurez del fruto y el porcentaje de ácidos, esta no es uniforme para todas las variedades, ya que está influenciada por factores como la variedad, las condiciones climáticas y los factores agronómicos (Skupień, 2003).

1.5.6. Relación Sólidos Solubles Totales y Acidez Total Titulable

La relación entre los sólidos solubles totales (SST) y la acidez total titulable (ATT) se considera un parámetro fundamental en la evaluación de la calidad de los frutos, especialmente en el caso de las fresas. Los SST, compuestos principalmente de azúcares, influyen directamente en el sabor dulce de los frutos. Por otro lado, la ATT, que refleja la cantidad de ácidos orgánicos presentes, proporciona una nota ácida que contrarresta el dulzor. Esta interacción resulta crucial para lograr un equilibrio

sensorial aceptable, lo que impacta directamente en la percepción del sabor por parte del consumidor (Osterloh *et al.*, 1996).

Los consumidores evalúan el sabor de las fresas, y un alto contenido de azúcares debe ir acompañado de un nivel adecuado de acidez para cumplir con sus expectativas de sabor. Cuando la acidez disminuye más rápidamente que el aumento de los azúcares, el fruto puede resultar excesivamente dulce y comprometer su calidad sensorial (Montaño-Mata & Méndez-Natera, 2009). Este fenómeno puede llevar a una disminución en la aceptación del producto en el mercado.

Diversos factores influyen en la relación SST/ATT durante el desarrollo de los frutos. Las prácticas agrícolas, las condiciones climáticas y el tipo de cultivar pueden modificar tanto la concentración de azúcares como la acidez de los frutos. Por ejemplo, las condiciones de estrés hídrico pueden provocar una acumulación de azúcares, mientras que una buena nutrición puede optimizar la acidez (Terry *et al.*, 2008). Por lo tanto, el monitoreo continuo de esta relación se vuelve esencial para optimizar la producción y comercialización de fresas de alta calidad.

La relación entre SST y ATT resulta importante no solo para la calidad sensorial del fruto, sino también para su valor comercial. Las fresas que presentan una relación equilibrada entre azúcares y acidez tienden a ser más atractivas para los consumidores, lo que se traduce en mayores ventas y rentabilidad para los productores (Patel *et al.*, 2023).

1.5.7. pH

La medición del pH en frutas no solo es crucial para evaluar su calidad y adecuación para diversos usos en la industria alimentaria, sino que también proporciona información valiosa sobre el proceso de maduración y el perfil nutricional de los frutos. Esta información es de gran relevancia para la producción y la investigación en los campos agrícola y alimentario.

El valor del pH en las fresas no solo refleja su acidez, también está correlacionado con su estado de madurez. Un fenómeno similar se observa en otros frutos, como el mango, el maracuyá y la papaya, donde un aumento en la madurez se asocia con un incremento en el pH (Torres *et al.*, 2013). Este comportamiento puede atribuirse a un sistema de autorregulación del pH mediado por el efecto amortiguador del ácido cítrico (Menéndez *et al.*, 2006). Por otro lado, en frutos como el plátano, el pH disminuye a medida que el fruto alcanza su plena madurez, un proceso relacionado con la conversión de almidón en azúcares reductores y su posterior transformación en ácido pirúvico (Barrera *et al.*, 2010).

Objetivos

Objetivo General

- Evaluar el efecto de tratamientos foliares con microalgas en el rendimiento y la calidad de los frutos de plantas de fresa.

Objetivos Particulares

- Determinar cómo afectan dos tratamientos foliares con microalgas al rendimiento de las plantas de fresa.
- Examinar los efectos de dos tratamientos foliares con microalgas en las características de calidad de los frutos de fresa.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el invernadero del Campus La Rábida, situado en Palos de la Frontera, Huelva, Andalucía, España (coordenadas: 37.20155° N, -6.09018° O; Figura 1). La investigación comenzó en noviembre de 2022 con la plantación se extendió hasta junio de 2023. Durante los meses de otoño e invierno (noviembre-marzo), la temperatura media osciló entre 9 °C y 15 °C, con las temperaturas más bajas registradas en enero y las más altas en diciembre y marzo (Tabla I). La humedad relativa media durante este periodo fluctuó entre el 70 % y el 90 %, siendo diciembre el mes con mayor humedad relativa. En primavera (abril-junio), la temperatura media varió entre 19 °C y 22 °C, mientras que la humedad relativa media se situó entre el 59 % y el 69 %, con junio como el mes más cálido y húmedo.

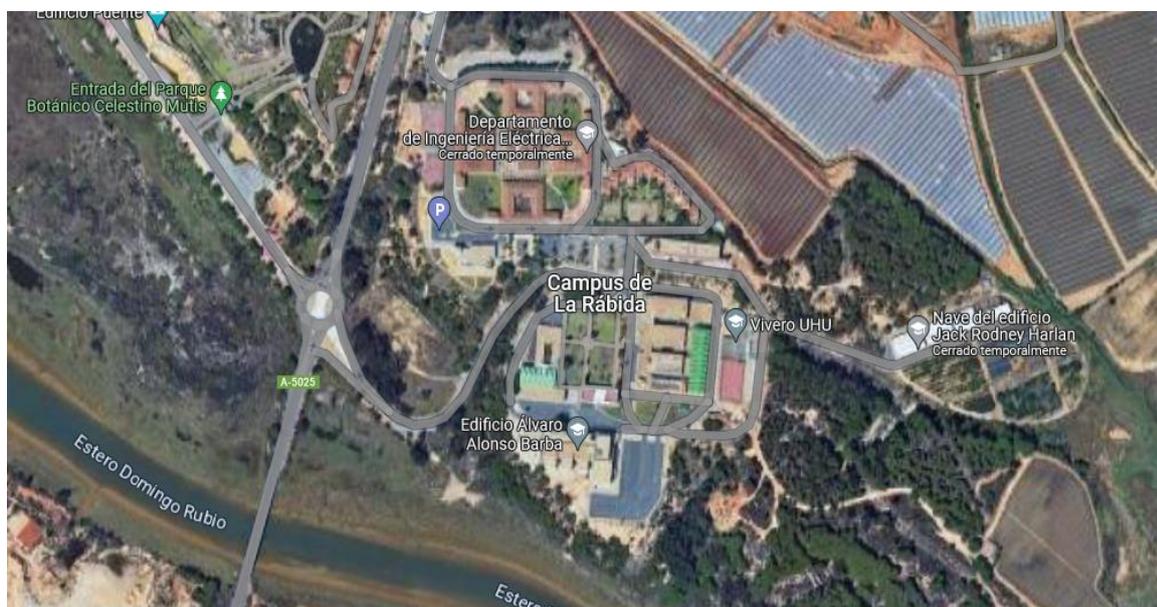


Figura 1. Localización del invernadero del Campus de la Rábida, Palos de la Frontera, Huelva (Fuente: Google Maps, 2023).

Tabla I. Temperatura y humedad media mensual en la Estación Meteorológica de Palos de la Frontera, Huelva (Fuente: Junta de Andalucía, 2023).

Mes	Temperatura media (°C)	Humedad relativa media (%)
Noviembre	15,05	79,59
Diciembre	13,27	86,17
Enero	9,86	75,82
Febrero	11,15	70,75
Marzo	15,11	69,75
Abril	19,10	59,95
Mayo	19,75	63,32
Junio	21,83	69,59

2.2. Planificación del ensayo

El ensayo se llevó a cabo desde el 2 de noviembre de 2022 (semana 1), momento en el que inició el trasplante de las plantas de *Fragaria x ananassa* var. 'Fortuna', hasta el 5 de junio de 2023 (semana 31), que corresponde con el final de la temporada de cosecha. Las plantas se cultivaron en macetas con dimensiones de 30 cm de altura, 20 cm de diámetro superior y 17 cm de diámetro inferior, y una capacidad de 9 L aproximadamente. Se utilizó un sustrato compuesto por turba, fibra de coco; con pH entre 5,5 y 6,5. Se implementaron tres tratamientos experimentales (T1, T2 y T3), cada uno con 5 repeticiones. Todos los tratamientos fueron sometidos a las mismas condiciones ambientales, con temperaturas óptimas entre 15-25 °C durante el día y no menos de 10 °C en la noche y la humedad relativa en un rango de 60 % - 80%. Además, se utilizó un sistema uniforme de riego y fertilización para asegurar un crecimiento equilibrado.

Los tratamientos 2 y 3 recibieron, además del riego y los nutrientes básicos, pulverización foliar de microalgas del género *Spirulina*, en concentraciones diferentes. En T2 se aplicaron 0,4 g de microalgas por planta, mientras que en T3 se administró 1 g por planta. Las microalgas fueron diluidas en agua antes de su aplicación. El pesaje de las microalgas se efectuó utilizando una balanza de mesa con precisión de $\pm 0,001$ g, y el volumen de agua se midió con un vaso de precipitados.

La aplicación de la solución de microalgas se realizó con un pulverizador, asegurando una cobertura completa de la superficie foliar de las plantas. Para garantizar una dilución homogénea, se utilizó *Tween 80* como agente diluyente. El primer tratamiento foliar con microalgas se aplicó el 19 de diciembre (semana 8) y se repitió cada dos semanas hasta la semana 31.

2.3. Sistema de riego y régimen de nutrientes

En cada maceta se empleó riego por goteo durante el período otoño-invierno con una frecuencia diaria de 20 minutos. En primavera, la frecuencia de riego se ajustó a tres veces al día, con intervalos de 10 minutos cada uno. El fertilizante utilizado consistía en una mezcla de sulfato de magnesio, fosfato amónico, nitrato de amonio, nitrato de potasio, hierro y micronutrientes.

2.4. Toma de datos

Para evaluar la productividad de las plantas, se llevó a cabo una cosecha semanal de frutos maduros, registrando el número de frutos por planta. Posteriormente, se pesaron los frutos de cada planta con una balanza de mesa *BSA (Ohaus Corporation, Parsippany, NJ, EE. UU.)*, y se calculó el peso medio de los frutos por planta dividiendo el peso total de los frutos por el número de frutos.

Para determinar el contenido de clorofila en las hojas, se utilizó un medidor de clorofila *SPAD 502 Plus (Konica Minolta, Inc., Osaka, Japón)*. Se seleccionó una hoja al azar de cada planta, asegurándose que no fuera muy joven o madura, y que estuviera libre de daños. Se realizaron cuatro mediciones en cada hoja, y el equipo promedió estos

valores para obtener un valor medio de SPAD (índice numérico sin unidades que refleja el contenido relativo de clorofila en las hojas) por planta.

La calidad de los frutos se evaluó mediante varias métricas: diámetro, firmeza, pH, contenido de sólidos solubles totales, acidez total titulable, contenido de ácido ascórbico y colorimetría. Se realizaron ocho mediciones semanales a partir de la semana 15.

Para medir el diámetro y la firmeza, se seleccionaron cinco frutos al azar de cada tratamiento. El diámetro se midió en el tercio superior del fruto con un pie de rey digital *0-150 mm (Mitutoyo, Mitutoyo Corporation, Kanagawa, Japón)* ($\pm 0,1$ mm), y la firmeza se evaluó con un penetrómetro manual modelo *FT 327 (Fruit Tech, Fruit Tech Instruments, Inc., Kalama, WA, EE. UU.)* ($\pm 1,00$ mm) con un percutor de 3,5 mm. Se realizaron tres mediciones por fruto en la zona media para obtener un valor promedio.

La colorimetría se midió en uno de los cinco frutos seleccionados para las variables anteriores utilizando un colorímetro *XXM 20 (PCE Instruments, PCE Group, Southampton, Reino Unido)*, con una medición por fruto. Este análisis permite determinar el color del fruto a través de tres índices: α , a y b. El índice α indica la luminosidad general, mientras que el índice a refleja la cantidad de rojo o verde, y el índice b cuantifica el amarillo o azul. Así, se obtiene una descripción precisa del color del fruto analizado. Para el análisis de ácido ascórbico, sólidos solubles totales, acidez total titulable y pH, se trituraron los cinco frutos seleccionados por tratamiento con una batidora de mano. El ácido ascórbico se determinó utilizando un reflectómetro *RQFlex 10 Plus (Merck KGaA, Darmstadt, Alemania)*. Se emplearon tiras reactivas que se sumergieron en el triturado durante cinco segundos y luego se colocaron en el sensor del refractómetro para obtener el contenido de ácido ascórbico.

El contenido de sólidos solubles totales se midió con un refractómetro *NR-101 (Hanna Instruments, Woonsocket, RI, EE. UU.)*, utilizando algunas gotas del triturado. La acidez total titulable se determinó diluyendo 10 g del triturado en 10 mL de agua destilada, y luego se realizó una titulación con hidróxido de sodio (NaOH) con una bureta de 25 mL. La técnica volumétrica se empleó para determinar el volumen de

NaOH consumido, y la acidez titulable se calculó como porcentaje de ácido cítrico utilizando la fórmula:

$$\% \text{ Acidez} = (V_b * N * M / V) * 100$$

donde:

- M es el número de miliequivalentes de ácido cítrico
- V es el volumen de la bureta en mL
- V_b es el volumen de NaOH consumido
- N es la normalidad de la base estandarizada (0,1)

La relación entre los sólidos solubles totales y la acidez total titulable (SST/ATT) se calculó para evaluar la relación entre ácidos y azúcares en los frutos, un parámetro indicativo de su calidad. El pH se midió utilizando el triturado restante con un potenciómetro *TE-063* (*Tecnal*, Piracicaba, Brasil).

2.5. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar la existencia de diferencias significativas entre las variables registradas. El software utilizado para este análisis fue *SPSS v. 27* (*IBM SPSS, IBM Corporation, Somers, NY*). Se verificó que los datos se ajustaran a una distribución normal y que se cumplieran los supuestos de normalidad antes de aplicar el método de Tukey (Steel y Torrie, 1988). Este procedimiento permitió llevar a cabo comparaciones múltiples entre las medias de los tratamientos y determinar cuáles diferencias eran estadísticamente significativas.

Para las determinaciones de los parámetros, se utilizó el siguiente modelo lineal:

$$X_{im} = \mu + r_i + f_m + \epsilon_{im}$$

Donde:

- X_{im} representa la observación para el tratamiento m dentro de la repetición i .
- μ es la media general.
- r_i es el efecto de la repetición i .
- f_m es el efecto del tratamiento m .
- ε_{im} es el error experimental asociado al tratamiento m en la repetición i .

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Producción de frutos

Se encontraron diferencias significativas en la producción de frutos entre las semanas y los tratamientos aplicados. En las plantas de T1, se cosecharon un total de 109 frutos, mientras que T2 y T3, que incorporaron la aplicación de pulverización foliar con microalgas, mostraron un rendimiento superior con 229 y 214 frutos, respectivamente. Las semanas 29 y 31 destacaron por la mayor recolección de frutos en T2 y T3, mientras que T1 registró su máximo en la semana 31 (Figura 2). El número de frutos de T1 fue significativamente menor en comparación con T2 y T3, sin embargo, no se observaron diferencias estadísticas significativas entre T2 y T3 (Tabla II). Estos resultados concuerdan con los hallazgos de Maurya *et al.* (2016), quienes también documentaron un aumento en la producción de frutos asociado a la aplicación de microalgas.

Tabla II. Medias marginales estimadas del número de frutos por semana para cada tratamiento. Tratamiento 1: control, Tratamiento 2: 0,4 g de algas, Tratamiento 3: 1g de algas, *: significativo a $p < 0.05$, NS: no significativo.

Tratamientos (T)	Nº frutos
Tratamiento 1	1,21 ± 1,54 b
Tratamiento 2	2,54 ± 2,33 a
Tratamiento 3	2,38 ± 1,80 a
Significancia	*
Semana (S)	
13	2,93 ± 2,34 abc
15	1,53 ± 1,51 cd
16	0,93 ± 0,88 d
17	1,20 ± 1,15 c
18	1,53 ± 1,12 d
19	1,07 ± 0,96 cd
20	0,80 ± 0,86 d
21	1,40 ± 1,59 cd
22	1,87 ± 1,51 bcd
23	2,20 ± 1,15 bcd
24	2,13 ± 1,06 bcd
25	2,27 ± 1,44 bcd
26	1,07 ± 1,22 cd
27	1,40 ± 1,06 cd
28	1,60 ± 1,80 cd
29	3,80 ± 3,07 ab
30	4,40 ± 2,87 a
31	4,67 ± 2,00 a
Significancia	*
Interacción TxS	NS

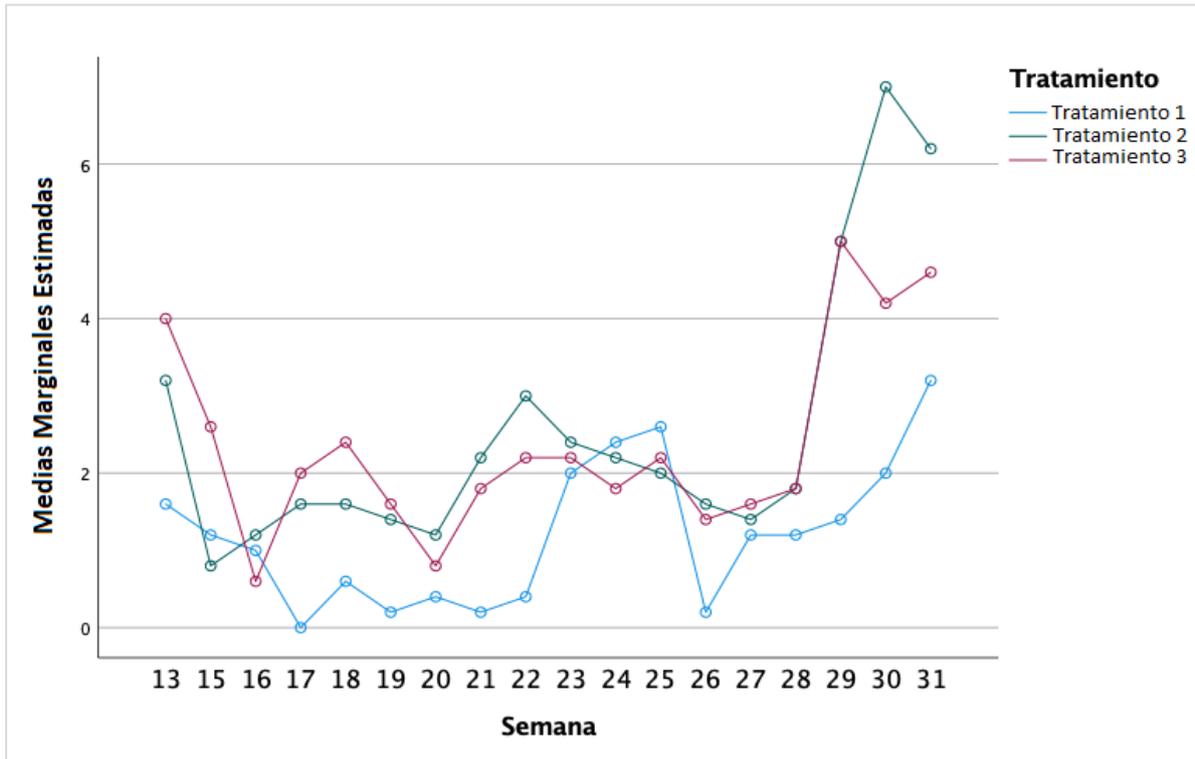


Figura 2. Medias marginales estimadas del número de frutos por semana para cada tratamiento.

3.2. Peso de los frutos

El peso de los frutos en T1 osciló entre 3,37 g y 29,69 g. En contraste, los frutos en T2 mostraron un peso mínimo de 4,30 g y un peso máximo de 38,99 g, superando ambos valores observados en T1. En T3, el peso mínimo de los frutos fue de 5,81 g, superior a los valores registrados en T1 y T2, mientras que el peso máximo fue menor que el observado en T2, pero mayor que el registrado en T1.

El peso promedio de los frutos en T1 alcanzó su mayor valor en la semana 23, con una media de 21,99 g. En T2, el peso promedio fue máximo en la semana 21, con 29,12 g. En T3, el peso promedio fue mayor en la semana 16, con 26,90 g (Figura 3). Aunque las diferencias generales entre los tratamientos no fueron significativamente marcadas, el menor peso de los frutos en T3 en comparación con T2 podría sugerir que la concentración empleada en T3 inhibió ciertos procesos celulares durante la maduración.

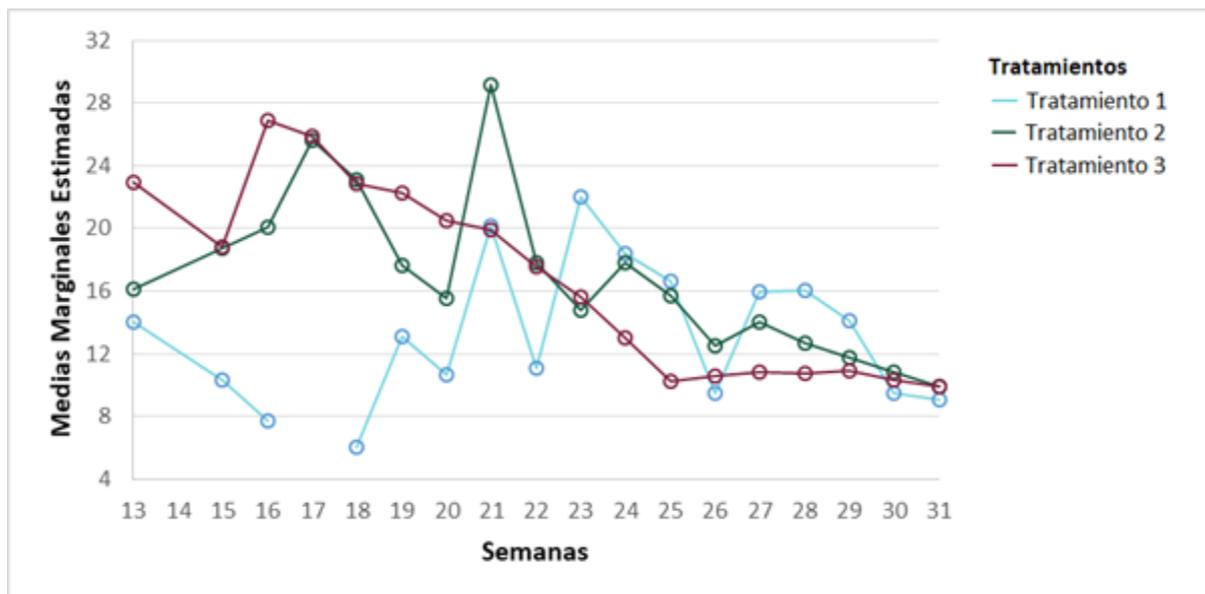


Figura 3. Medias marginales estimadas del peso de los frutos por semana para cada tratamiento.

3.3. Contenido de clorofila

La variable contenido de clorofila mostró diferencias significativas entre las semanas, mostrando una tendencia al aumento desde la semana 14 hasta la semana 18 en los tres tratamientos (Figura 4). Este comportamiento coincide con lo reportado por Kriedemann (1968), quien señala que el contenido de clorofila en el área foliar tiende a incrementarse con la edad de la hoja. A partir de la semana 24, se observó una disminución en el contenido de clorofila en todos los tratamientos. Este fenómeno concuerda con las observaciones de Bertamini y Neunchezhian (2003) y Candolfi-Vasconcelos y Koblet (2003) en cultivos de uva. Estos estudios documentan un aumento gradual en el contenido de clorofila hasta el envero, seguido por una posterior disminución, que puede estar relacionada con mecanismos de adaptación de las hojas a la luz o con la senescencia temprana.

Durante la mayor parte del experimento, las plantas de los tratamientos 2 y 3 exhibieron un mayor contenido de clorofila en comparación con el tratamiento 1 (Figura 4). Este efecto podría atribuirse a la pulverización con microalgas, dado que Righini *et al.* (2018) identifican a las microalgas como promotoras del aumento del contenido de clorofila. No obstante, las diferencias entre los tratamientos no fueron

estadísticamente significativas (Tabla III), por tanto, la pulverización foliar de microalgas no tuvo un impacto significativo sobre el contenido de clorofila.

Tabla III. Medias marginales estimadas del contenido de clorofila en las hojas por semana para cada tratamiento. Tratamiento 1: control, Tratamiento 2: 0,4 g de algas, Tratamiento 3: 1g de algas, *: significativo a $p < 0.05$, NS: no significativo.

Tratamientos (T)	SPAD
Tratamiento 1	45,67 ± 6,29
Tratamiento 2	47,69 ± 6,11
Tratamiento 3	47,02 ± 5,75
Significancia	NS
Semana (S)	
14	45,17 ± 5,92 bc
16	45,91 ± 7,30 abc
18	50,09 ± 3,03 ab
20	50,10 ± 4,08 ab
22	50,21 ± 3,50 ab
24	50,73 ± 5,32 a
26	48,60 ± 3,71 ab
28	41,22 ± 4,24 cd
30	39,11 ± 3,10 d
Significancia	*
Interacción TxS	NS

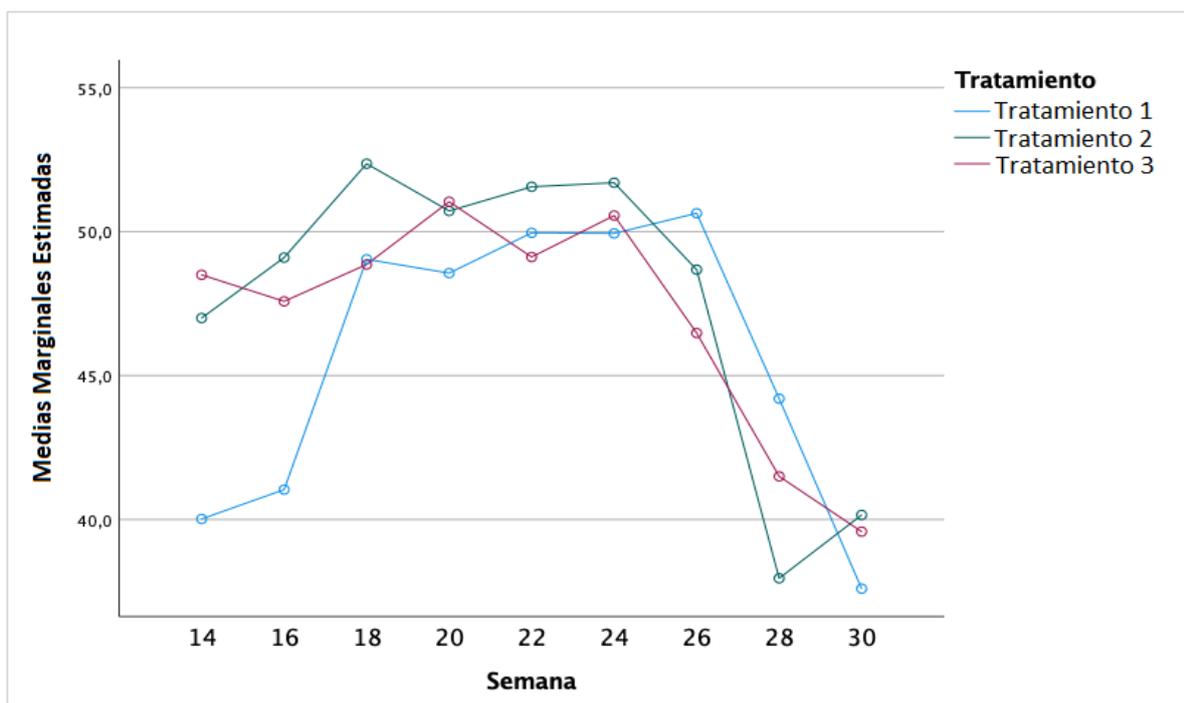


Figura 4. Medias marginales estimadas del contenido de clorofila en las hojas por semana para cada tratamiento.

3.4. Diámetro y firmeza del fruto

Se encontraron diferencias significativas en el diámetro del fruto entre semanas (Tabla IV). Este aumento del valor se observó a medida que transcurrieron las semanas para los tres tratamientos (Figura 5). Este hallazgo coincide con lo reportado por López-Valencia *et al.* (2018), quienes afirman que el tamaño de los frutos aumentó con el paso de los días en las siete variedades de fresa analizadas.

Se encontraron diferencias significativas en el diámetro del fruto entre tratamientos, específicamente entre los frutos de T1 y los frutos de T2 y T3, aunque no se observaron diferencias significativas entre estos últimos (Tabla IV). Los frutos cosechados en los tratamientos 2 y 3 presentaron un mayor diámetro en comparación con los cosechados en T1. Este fenómeno puede atribuirse a la pulverización foliar con microalgas, lo que coincide con lo encontrado con Di-Vaio *et al.* (2021) en frutos de manzano, en los cuáles el diámetro aumento en un 7 %. La ausencia de diferencias

significativas entre T2 y T3 sugiere que la diferencia en la concentración de microalgas empleada en la pulverización foliar no influye directamente en el diámetro del fruto.

Tabla IV. Medias marginales estimadas del diámetro de los frutos y la firmeza por semana para cada tratamiento. Tratamiento 1: control, Tratamiento 2: 0,4 g de algas, Tratamiento 3: 1g de algas, *: significativo a $p < 0.05$, NS: no significativo.

Tratamientos (T)	Diámetro (mm)	Firmeza (kg/cm²)
Tratamiento 1	28,98 ± 4,92 b	300,08 ± 103,58
Tratamiento 2	33,12 ± 4,66 a	299,26 ± 75,16
Tratamiento 3	33,37 ± 4,92 a	285,46 ± 88,68
Significancia	**	NS
Semana (S)		
15	30,55 ± 5,19 b	473,93 ± 95,82 a
18	29,82 ± 5,43 b	235,35 ± 56,90 b
20	32,82 ± 5,20 ab	279,39 ± 32,51 b
22	32,93 ± 6,30 ab	250,85 ± 50,37 b
24	36,37 ± 4,85 a	279,55 ± 31,74 b
27	32,13 ± 5,41 ab	295,08 ± 71,79 b
29	30,93 ± 2,30 b	262,41 ± 40,83 b
31	29,60 ± 3,42 b	290,00 ± 47,27 b
Significancia	**	**
Interacción TxS	*	*

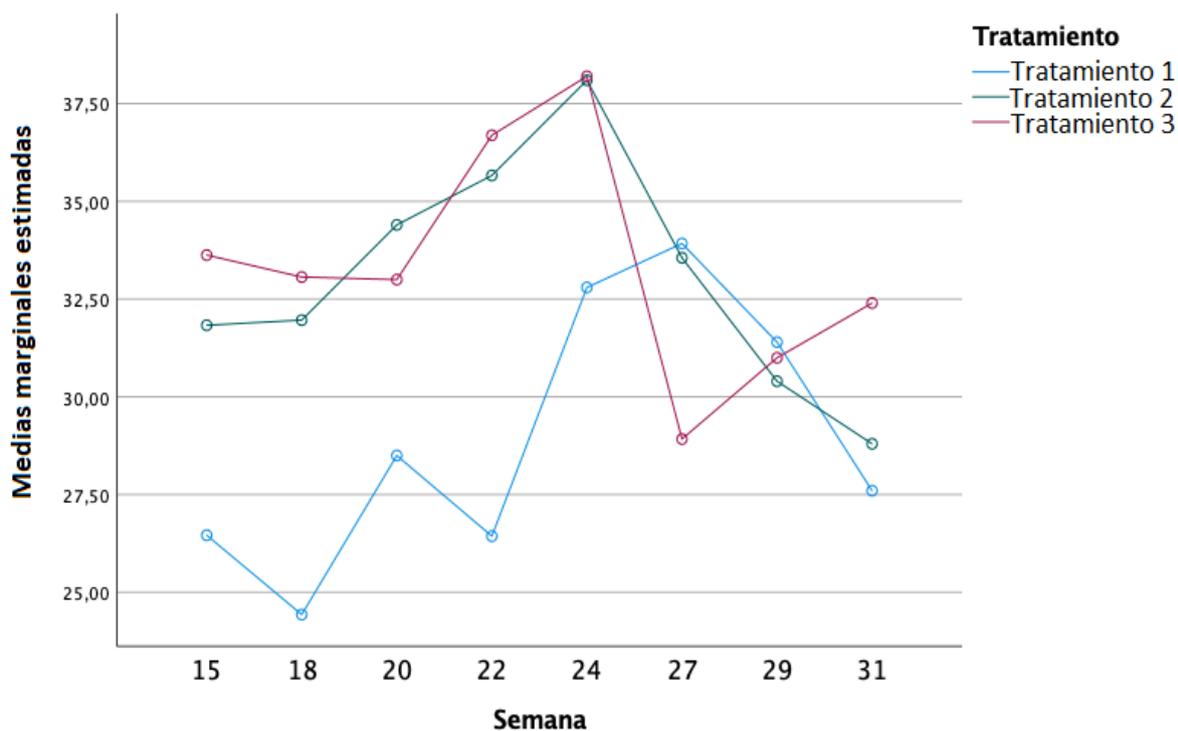


Figura 5. Medias marginales estimadas del diámetro de los frutos por semana para cada tratamiento.

En general, se observa una marcada disminución de la firmeza en todos los tratamientos al inicio del experimento, entre la semana 15 y la semana 18. Esta disminución podría estar relacionada con un rápido proceso de degradación celular en las primeras etapas de maduración (Paliyath *et al.*, 2008). A partir de esta disminución inicial, la firmeza de los frutos tiende a aumentar o estabilizarse con pequeñas fluctuaciones, las cuales varían entre tratamientos.

El uso y la concentración de la pulverización foliar de microalgas pueden influir en las diferencias de firmeza entre los tratamientos. En T1, donde no se emplea pulverización foliar de microalgas, se observa una menor capacidad para estabilizar la estructura celular y mantener la firmeza en comparación con los tratamientos que utilizan pulverización (Figura 6). En T2, que presenta una menor concentración de microalgas en la pulverización en comparación con T3, la firmeza de los frutos se estabiliza mejor a lo largo del tiempo (Figura 6). Por otro lado, T3, con una mayor concentración de microalgas, presenta mayor variabilidad en los resultados, lo que

podría deberse a una respuesta fisiológica menos uniforme o a una posible sobreestimulación con microalgas.

A pesar de estas observaciones, no se encontraron diferencias significativas en la firmeza entre los tratamientos (Tabla IV). Esto sugiere que el tratamiento foliar con microalgas no afecta de manera significativa la firmeza del fruto, lo que contrasta con los hallazgos de El-Miniawy *et al.* (2014), quienes reportaron efectos positivos sobre la firmeza de los frutos con el uso de pulverización foliar de microalgas. Sin embargo, dado que en su estudio los frutos fueron analizados entre 30 y 90 días después de la aplicación, es posible que no hayan mantenido el efecto positivo de las microalgas durante tanto tiempo (El-Miniawy *et al.*, 2014).

Se observaron diferencias significativas en la firmeza de los frutos durante varias semanas, especialmente entre la semana 15 y el resto de las semanas (Tabla IV). Los frutos de las primeras semanas mostraron una mayor firmeza en comparación con los de las semanas posteriores. Este hallazgo concuerda con López-Valencia *et al.* (2018), quienes reportaron mayor firmeza en etapas tempranas de maduración. Esta investigación identifica una tendencia con picos de firmeza posiblemente asociados con la producción y maduración de los frutos. Estos cambios en la firmeza están relacionados con la degradación de los componentes de la pared celular, un proceso que se intensifica durante la maduración (Paliyath *et al.*, 2008).

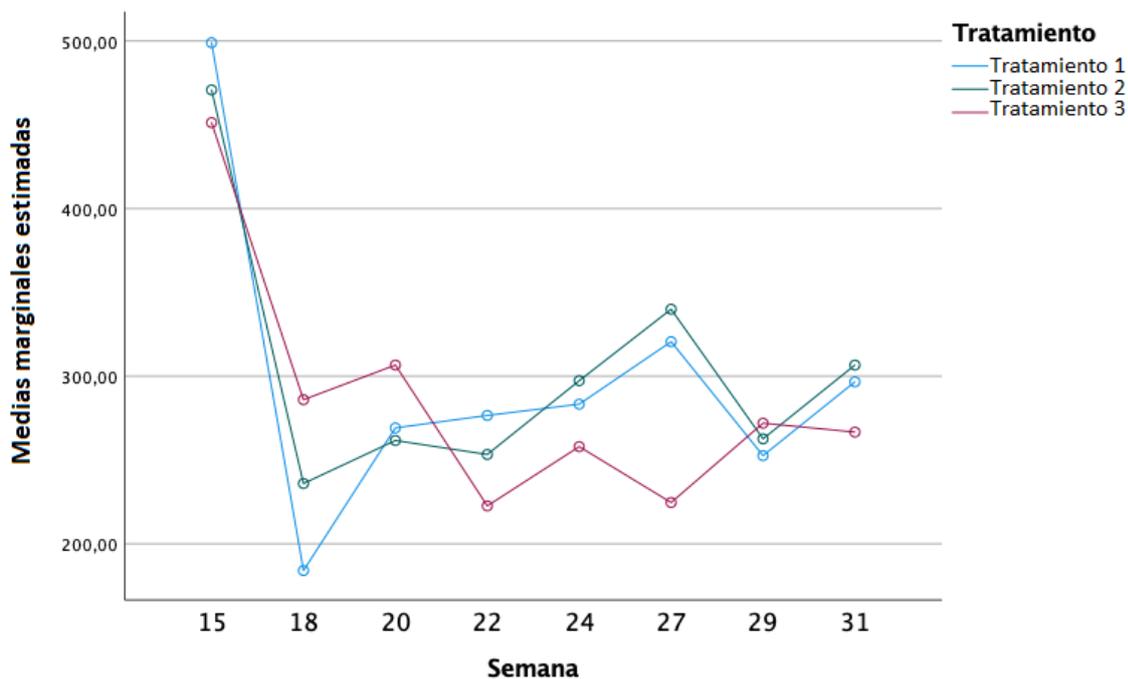


Figura 6. Medias marginales estimadas de la firmeza del fruto por semana para cada tratamiento.

3.5. Colorimetría

La colorimetría se expresó según el sistema CIELAB. Los tratamientos T2 y T3 mostraron una considerable variabilidad en la colorimetría α a lo largo del tiempo. Estos tratamientos presentaron valores más elevados y mayor estabilidad entre las semanas 15 y 24 en comparación con T1 (Figura 7A). Este comportamiento podría relacionarse con un mejor mantenimiento del contenido de antocianinas, compuestos responsables del color rojo en las fresas, o vincularse a la actividad antioxidante de los compuestos presentes en las algas.

Los biopolímeros y compuestos antioxidantes en microalgas, como *Spirulina*, pueden contribuir a la preservación del color y la calidad de los productos hortofrutícolas, según El-Baky *et al.* (2020). A partir de la semana 24, todos los tratamientos mostraron una disminución en la colorimetría α , con T3 experimentando una reducción más pronunciada hasta la semana 29 (Figura 7A). Esta reducción puede indicar un posible agotamiento del efecto protector de las microalgas o el inicio del proceso de senescencia del fruto (Heinonen, 2007).

En la colorimetría a, todos los tratamientos presentaron un patrón de incremento a partir de la semana 24. Este aumento fue más notable en T3, seguido de T2 y finalmente T1 (Figura 7B). Este comportamiento sugiere que las algas pueden potenciar el desarrollo del color rojo en las fresas. Las antocianinas, sensibles a las condiciones ambientales y de almacenamiento, pueden acumularse con la aplicación de bioestimulantes como las microalgas, que promueven la expresión de genes asociados a la biosíntesis de estos pigmentos, según Kocira *et al.* (2020). Después de la semana 27, los valores de T3 mostraron una ligera estabilización, mientras que T1 y T2 continuaron en aumento (Figura 7B). Este comportamiento podría sugerir una respuesta positiva del parámetro de color "a", que generalmente se asocia con el componente rojo-verde en la colorimetría, al tratamiento con algas.

La colorimetría b presentó una tendencia a la disminución en todos los tratamientos después de la semana 24, siendo T3 el que mostró una caída más pronunciada. Hasta la semana 24, T2 y T3 tuvieron valores superiores a T1 (Figura 7C). Este fenómeno sugiere un efecto positivo inicial de las algas sobre este parámetro de color. Sin embargo, a partir de la semana 27, todos los tratamientos tienden a converger hacia valores negativos (Figura 7C). Esta tendencia indica una posible pérdida de color o un cambio en la percepción cromática de los frutos, asociado con la oxidación de carotenoides y otros pigmentos sensibles al oxígeno y la luz. Estos procesos son difíciles de mitigar, incluso con la aplicación de tratamientos antioxidantes (Gil *et al.*, 2006).

Tabla V. Medias marginales estimadas de colorimetría α , colorimetría a y colorimetría b por semana para cada tratamiento. Tratamiento 1: control, Tratamiento 2: 0,4 g de algas, Tratamiento 3: 1g de algas.

Tratamientos (T)	Colorimetría α	Colorimetría a	Colorimetría b
Tratamiento 1	17,74 \pm 7,63	48,62 \pm 39,24	15,47 \pm 9,58
Tratamiento 2	15,01 \pm 9,10	53,09 \pm 52,10	13,54 \pm 15,08
Tratamiento 3	15,69 \pm 5,24	41,36 \pm 39,09	14,30 \pm 11,94
Significancia			
Semana (S)			
15	14,72 \pm 2,32	15,96 \pm 5,03	19,18 \pm 1,61
18	20,32 \pm 5,27	17,58 \pm 2,54	20,07 \pm 1,64
20	17,37 \pm 2,34	23,04 \pm 7,55	24,37 \pm 1,42
22	22,66 \pm 4,26	20,97 \pm 1,48	22,60 \pm 2,16
24	21,90 \pm 5,25	27,39 \pm 2,36	24,79 \pm 5,80
27	8,78 \pm 5,86	60,43 \pm 44,11	-1,88 \pm 3,94
29	14,75 \pm 9,76	99,10 \pm 27,44	8,46 \pm 7,30
31	8,68 \pm 8,92	117,05 \pm 23,62	-2,09 \pm 12,51

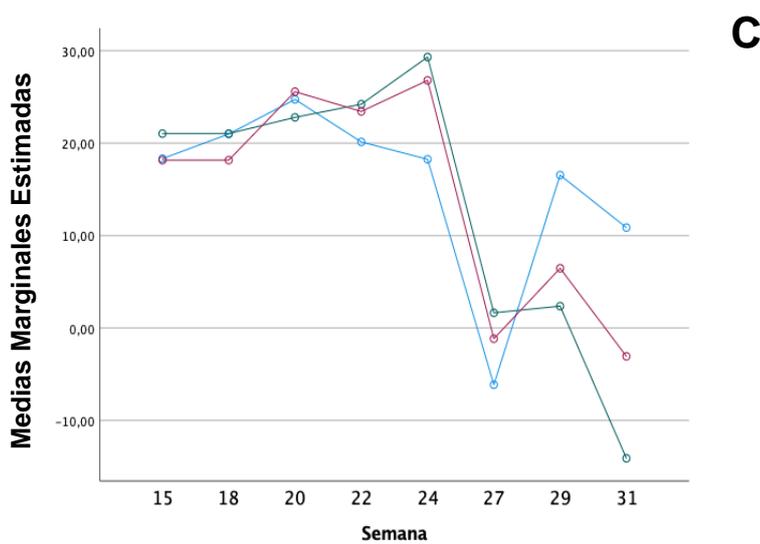
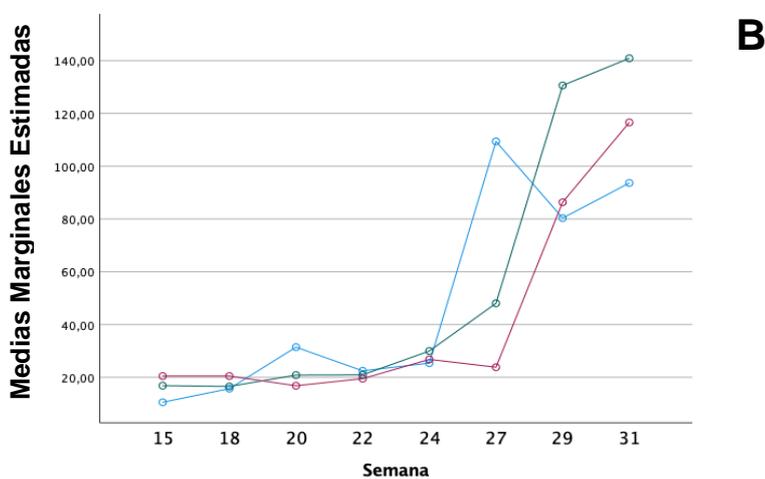
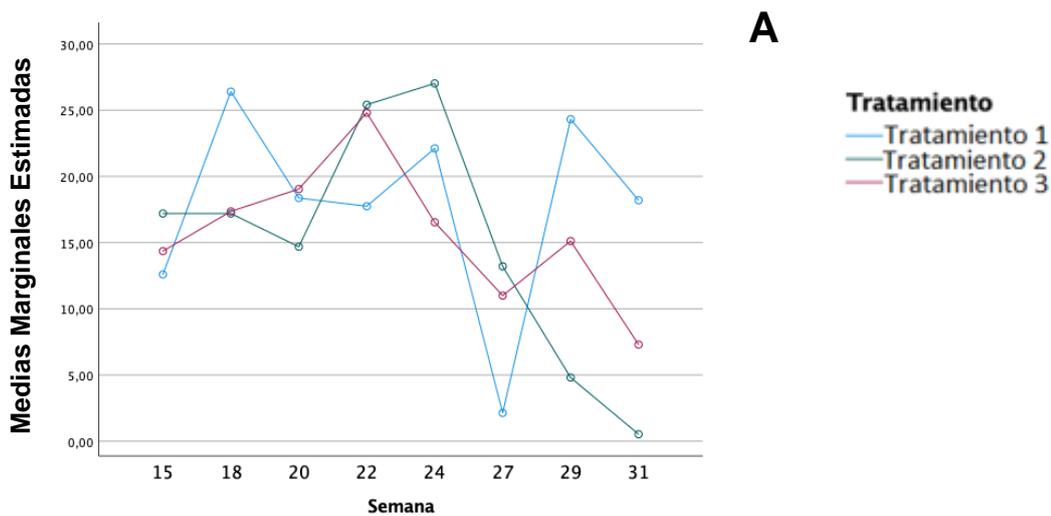


Figura 7. Medias marginales estimadas de **A.** Colorimetría α ; **B.** Colorimetría a; **C.** Colorimetría b de los frutos por semana para cada tratamiento.

3.6. Ácido ascórbico

La variable ácido ascórbico no mostró un patrón específico durante el transcurso del experimento (Figura 8). La ausencia de diferencias en esta variable entre las distintas semanas y tratamientos sugiere que el uso de microalgas podría no tener un efecto directo en la producción de ácido ascórbico. Factores ambientales o fisiológicos asociados con la planta podrían haber interactuado con el tratamiento de microalgas, mitigando cualquier efecto potencial sobre los niveles de ácido ascórbico (Eshghi *et al.*, 2013).

Tabla VI. Medias marginales estimadas Ácido ascórbico, pH, acidez total titulable (ATT), sólidos solubles totales (^oBrix o STT) y relación entre sólidos solubles totales y acidez total titulable (STT/ATT) por semana para cada tratamiento. Tratamiento 1: control, Tratamiento 2: 0,4 g de algas, Tratamiento 3: 1g de algas.

Tratamientos	Ácido ascórbico	pH	ATT	STT/ATT	^o Brix
Tratamiento 1	96,13 ± 17,81	3,46 ± 0,10	7,84 ± 0,42	0,66 ± 0,19	6,04 ± 0,81
Tratamiento 2	96,50 ± 25,66	3,51 ± 0,17	7,97 ± 0,41	0,59 ± 0,08	5,74 ± 0,90
Tratamiento 3	91,63 ± 18,67	3,57 ± 0,07	7,97 ± 0,32	0,74 ± 0,15	5,84 ± 0,50
Semana (S)					
15	86,67 ± 11,02				6,40 ± 0,80
18	71,67 ± 21,13	3,50 ± 0,20	7,83 ± 0,55	0,78 ± 0,10	6,10 ± 1,04
20	101,33 ± 10,07	3,70 ± 0,10	7,87 ± 0,58	0,58 ± 0,01	4,60 ± 0,26
22	75,33 ± 16,77	3,43 ± 0,06	7,83 ± 0,49	0,82 ± 0,13	6,47 ± 1,19
24	92,67 ± 6,81	3,50 ± 0,10	8,13 ± 0,06	0,61 ± 0,19	4,93 ± 1,54
27	115,33 ± 2,08	3,50 ± 0,10	7,70 ± 0,44	0,54 ± 0,06	4,17 ± 0,40
29	108,00 ± 31,95	3,50 ± 0,10	8,17 ± 0,21		6,97 ± 0,90
31	107,00 ± 3,61	3,50 ± 0,10	7,97 ± 0,12		7,33 ± 1,72

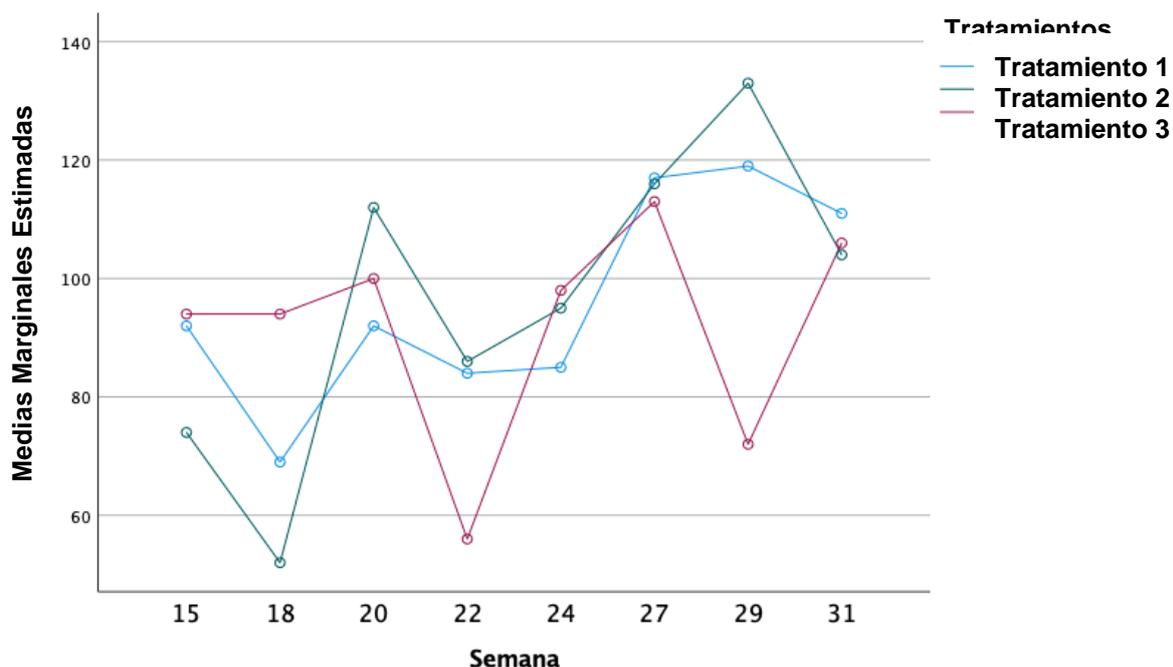


Figura 8. Medias marginales estimadas de ácido ascórbico de los frutos por semana para cada tratamiento.

3.7. Contenido de Sólidos Solubles Totales y grados Brix

T1 presenta una alta variabilidad en los niveles de °Brix sin un patrón definido (Figura 9). Esta situación sugiere que la ausencia de microalgas no asegura una calidad consistente en los frutos. En contraste, T2 muestra un aumento en °Brix hacia el final del período, alcanzando valores cercanos a 9 (Figura 9). Este incremento indica un efecto positivo en la acumulación de azúcares en los frutos (Wills *et al.*, 1998). Según Montañó-Mata y Méndez-Natera (2009), una variación entre 8 y 10 °Brix es aceptable en el mercado.

Por su parte, T3, aunque presenta picos altos menos efectivos, proporciona una mayor estabilidad en los niveles de °Brix a lo largo del tiempo (Figura 9). Este comportamiento podría ser ventajoso en situaciones donde la consistencia es fundamental. La relación entre los sólidos solubles totales (SST) y los °Brix resalta la importancia de estos últimos como indicadores de la calidad del fruto. Un aumento en los °Brix generalmente sugiere un incremento en los SST, lo que se traduce en una

mayor concentración de azúcares, fundamental para la aceptación comercial de las fresas.

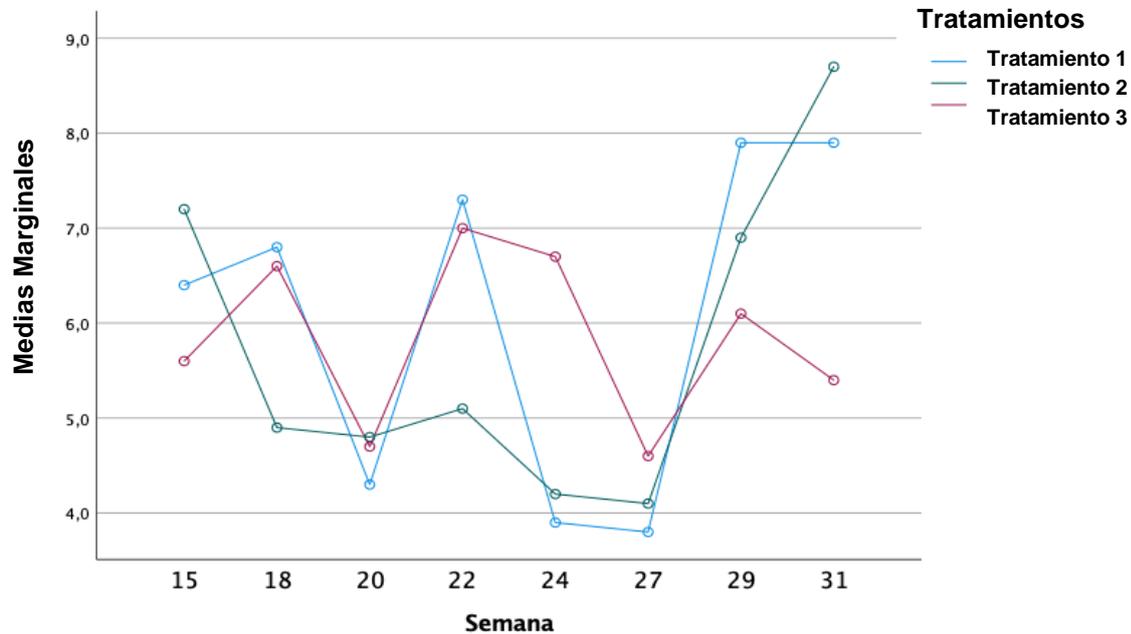


Figura 9. Medias marginales estimadas de sólidos solubles totales ($^{\circ}$ BRIX) de los frutos por semana para cada tratamiento.

3.8. Acidez Total Titulable

La acidez total titulable (ATT) mostró variaciones en aumento y en disminución en los frutos de los tres tratamientos. Los valores de ATT en los tratamientos siguieron patrones similares (Figura 10). La acidez en las fresas está principalmente asociada con el contenido de ácido cítrico, el cual disminuye de forma natural durante la maduración (Wills *et al.*, 2007; López-Valencia *et al.*, 2018). La ATT depende de múltiples factores, como la variedad del fruto y las condiciones climáticas. Las microalgas pueden no tener un impacto directo en esta variable. Dado que las condiciones de cultivo fueron homogéneas, la acidez titulable no fue notablemente influenciada por los tratamientos. Esto resultó en una estabilidad relativa de los niveles de acidez a lo largo de las semanas y entre los diferentes tratamientos (Skupien, 2003).

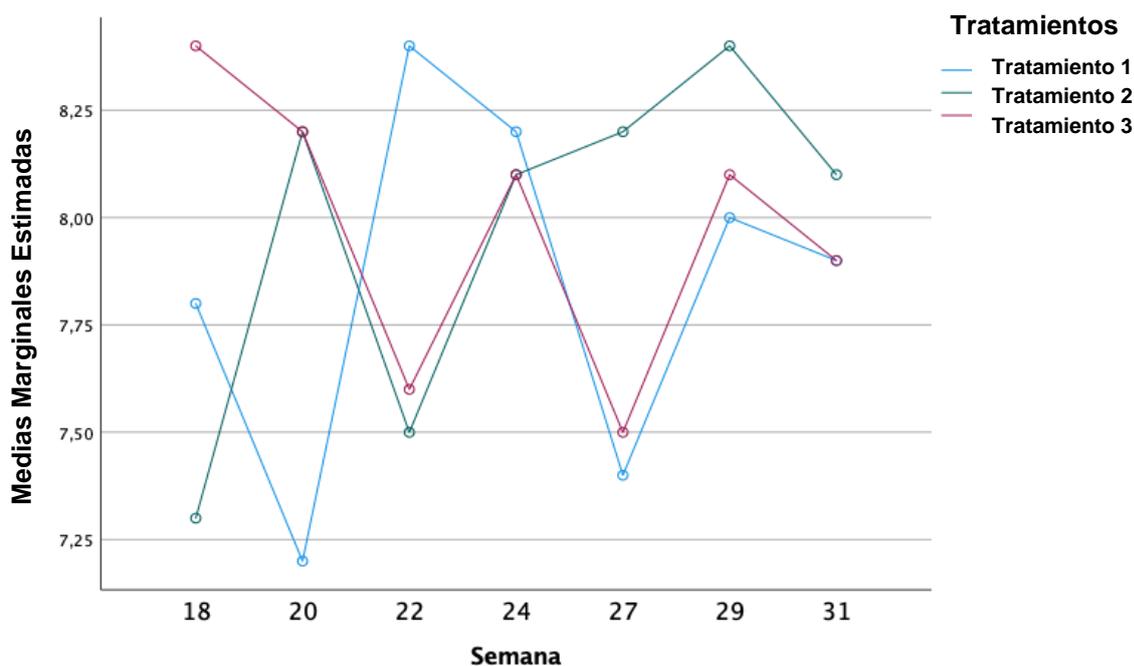


Figura 10. Medias marginales estimadas de acidez total titulable (ATT) de los frutos por semana para cada tratamiento.

3.9. Relación entre Sólidos Solubles Totales y Acidez Total Titulable

T1 y T2 alcanzaron los valores más bajos de SST/ATT entre las semanas 24 y 27 (Figura 11). En contraste, T3 presenta el menor valor en la semana 20 y alcanza el valor más alto de SST/ATT en la semana 22 (Figura 11). Esta dinámica puede atribuirse al impacto de las microalgas en el metabolismo del fruto (Solomon *et al.*, 2023). Las microalgas, al ser ricas en nutrientes y reguladores del crecimiento, parecen acelerar la maduración de las fresas en T3, lo que se refleja en un aumento temprano de la relación SST/ATT, seguido de una posterior disminución.

La relación SST/ATT resulta crucial para la percepción del sabor del fruto. Un alto contenido de azúcares debe ir acompañado de un nivel adecuado de acidez para cumplir con las expectativas de sabor del consumidor, según Osterloh *et al.* (1996). Si la acidez disminuye demasiado rápido en comparación con el aumento de los azúcares, el fruto puede resultar excesivamente dulce y comprometer su calidad sensorial.

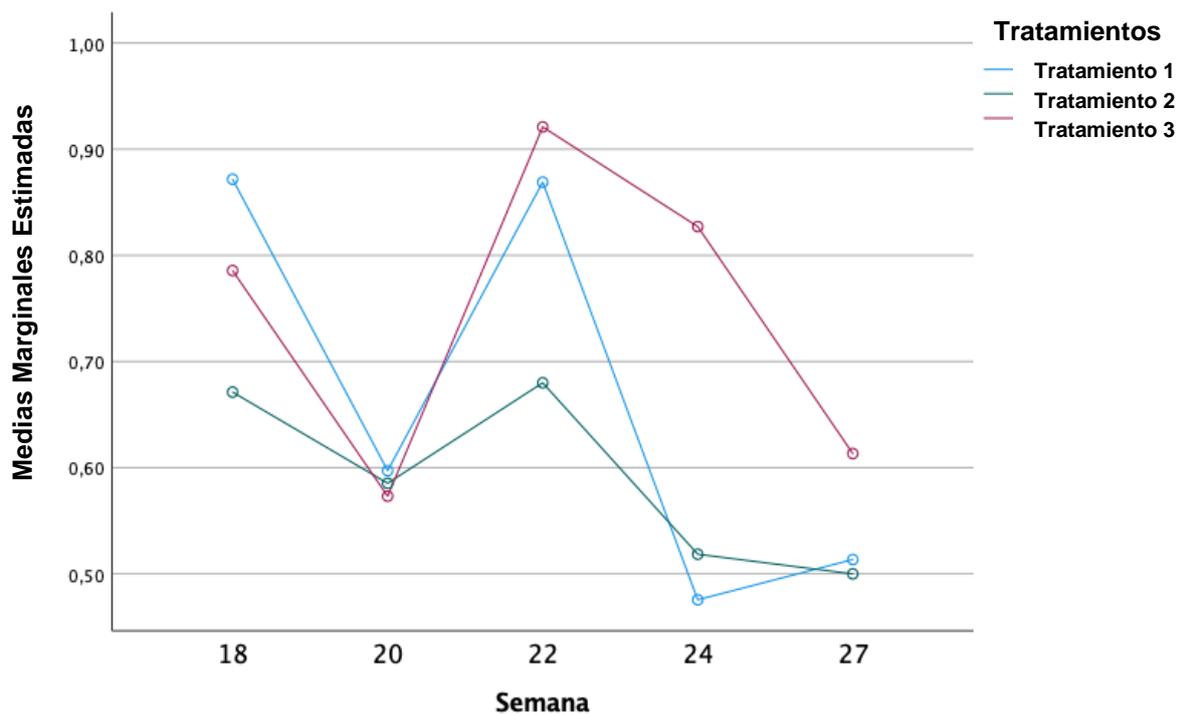


Figura 11. Medias marginales estimadas de sólidos solubles totales y acidez total titulable (SST/ATT) de los frutos por semana para cada tratamiento.

3.10. pH

Las fresas de T1 presentan un comportamiento variable en su pH, con un ligero aumento a partir de la semana 22, estabilizándose alrededor de 3,5 en las semanas posteriores (Figura 12). Las fresas en T2 muestran un pico en el pH alrededor de la semana 20, seguido de una disminución que se estabiliza en valores cercanos a 3,4. T3 muestra una variabilidad inicial con un máximo en la semana 20, estabilizándose en torno a 3,6 a partir de la semana 24 (Figura 12).

La estabilidad en los valores de pH podría relacionarse con la presencia de un sistema de autorregulación, derivado del efecto amortiguador del ácido cítrico, como se ha documentado en otros frutos (Menéndez *et al.*, 2006). Las variaciones en los valores de pH a lo largo de las semanas y entre los diferentes tratamientos sugieren que la aplicación de pulverización foliar de microalgas en las concentraciones utilizadas no afecta los valores de pH de las fresas. Esto indica una autorregulación eficaz del pH

en el fruto, preservando su acidez, un aspecto crucial para su calidad y aptitud en la industria alimentaria.

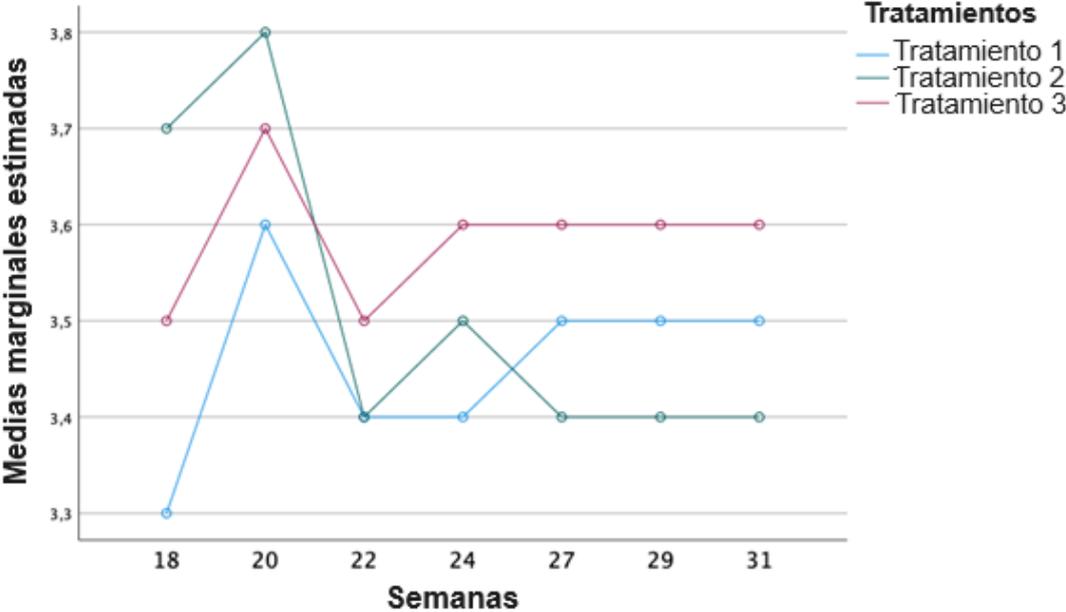


Figura 12. Medias marginales estimadas de pH de los frutos por semana para cada

Conclusiones

- Los tratamientos con microalgas (T2 y T3) aumentaron significativamente la cantidad total y el peso promedio de los frutos en comparación con el grupo control (T1). Esto indica que la aplicación de microalgas puede ser beneficiosa para mejorar la productividad y el tamaño de los frutos de fresa. Aunque T2 y T3 mostraron diferencias en algunos parámetros específicos, no se observaron diferencias significativas entre ellos, sugiriendo que la concentración de microalgas en los tratamientos no influyó de manera diferencial en estos aspectos.
- La pulverización foliar de microalgas en los tratamientos evaluados no tuvo un impacto relevante sobre la firmeza, el ácido ascórbico, la acidez titulable o el pH de los frutos de fresa. Los cambios observados en la colorimetría y los °Brix sugieren un efecto positivo inicial sobre el color y el contenido de azúcares, lo cual indica que las microalgas pueden favorecer ciertos aspectos de la calidad del fruto. Sin embargo, el efecto global no fue lo suficientemente consistente como para influir de manera notable en todos los parámetros analizados bajo las condiciones de este estudio.

Bibliografía

- Alizadeh, M., Singh, S., Patel, V., Bhattacharya, R., & Yadav, B. (2010). In vitro responses of grape rootstocks to NaCl. *Biologia Plantarum*, 54(2), 381-385.
- Arioli, T., Mattner, S., & Winberg, P. (2015). Applications of seaweed extracts in Australian agriculture: Past, present and future. *Journal of Applied Phycology*, 27, 2007-2015.
- Avitia-García, E., Pineda-Pineda, J., Castillo-González, A. M., Trejo-Téllez, L. I., Corona-Torres, T., & Cervantes-Urbán, E. (2014). Extracción nutrimental en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(3), 519-524.
- Bagnara, D., & Vincent, C. (1988). The role of insect pollination and plant genotype in strawberry fruit set and fertility. *Journal of Horticultural Science*, 63(1), 69-75.
- Barrera, J., Suárez, D., & Melgarejo, L. M. (2010). Análisis de crecimiento en plantas. En: Experiments in plant physiology (pp. 25-38).
- Bertamini, M., & Nedunchezian, N. (2003). Photosynthetic functioning of individual grapevine leaves (*Vitis vinifera* L. cv Pinot noir) during ontogeny in the field. *Vitis*, 42(1), 13-17.
- Blasco R., Esteve M. J., Frígola A., Rodrigo M., 2004, "Ascorbic acid degradation kinetics in mushrooms in a high-temperature short-time process controlled by a thermoresistometer". *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*. 37: 171-175.
- Bursztyn Fuentes, A. L., Granitto, M., Maluendez Testoni, M. C., Castro, M. V., & Rodríguez, P. (2022). Revisión y optimización metodológica para extraer clorofila-a fitoplanctónica en ambientes acuáticos. *Ecología Austral*, 32(3), 1019–1028.
- Callejas, R., Kania, E., Contreras, A., Peppi, C., & Morales, L. (2013). Evaluación de un método no destructivo para estimar las concentraciones de clorofila en hojas de variedades de uva de mesa. *IDESIA*, 31(4), 19-26.
- Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383, 3-41.

- Candolfi-Vasconcelos, M., & Koblet, W. (1991). Influence of partial defoliation on gas exchange parameters and chlorophyll and content on field-grown grapevines: Mechanism and limitations of the compensation capacity. *Vitis*, 30, 129-141.
- Cárdenas-Navarro, R., Sánchez-Yáñez, J. M., Farías-Rodríguez, R., & Peña-Cabriales, J. J. (2004). Los aportes de nitrógeno en la agricultura. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 10(2), 173-178.
- Cate, T., & Perkins, T. (2003). Chlorophyll content monitoring in sugar maple (*Acer saccharum*). *Tree Physiology*, 23, 1077-1079.
- Chávez-Sánchez, E., Preciado-Range, P., Fortis-Hernández, M., & Rocha-Valdez, J. L., Salazar-Sosa, E. (2014). Fertilización nitrogenada y potásica en la producción y calidad de fresa. *In Memoria del XXXIX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (pp. 30-33). Ciudad Juárez, Chihuahua.
- Craigie, J. S. (2011). Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of Applied Phycology*, 23, 371-393.
- Darrow, G. M. (1966). *The Strawberry: History, Breeding, and Physiology*. Holt, Rinehart and Winston.
- Del Pilar, I. M., Fischer, G., & Corredor, G. (2007). Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims.). *Agronomía Colombiana*, 25(1), 83-95.
- Díaz, L. F., Dávalos, P. A., Jofre, A. E., & Martínez, T. O. (2017). Fresa, deficiencias y síntomas nutricionales "una guía para fertilizar". INIFAP-SAGARPA.
- Di-Vaio, C., Cirillo, A., Cice, D., El-Nakhel, C., & Roupheal, Y. (2021). Biostimulant application improves yield parameters and accentuates fruit color of Annurca apples. *Agronomy*, 11(4), 715.
- El-Baky, H. H. A., Hanaa, S. A. S., & El-Baroty, G. S. (2020). Enhancement of antioxidant production in *Spirulina* through stress treatments. *Journal of Applied Phycology*, 32(3), 1969-1980. <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01968-3>.
- El-Miniawy, S. M., Ragab, M. E., Youssef, S. M., & Metwally, A. A. (2014). Influence of foliar spraying of seaweed extract on growth, yield, and quality of strawberry plants. *Journal of Applied Sciences Research*, 10(2), 88-94.

- Eshghi, S., Zare, M., Jamali, B., Gharaghani, A., & Farahi, M. H. (2013). Vegetative and reproductive parameters of Selva strawberry as influenced by Algaren, Drin and green hum foliar application. *Agri Communications*, 1, 27-32.
- Fenech-Larios, L., Troyo-Diéguez, E., Trasviña-Castro, M., Ruiz-Espinoza, F., Beltrán-Morales, A., Murillo-Amador, B., García-Hernández, J., & Zamora-Salgado, S. (2009). Relación entre un método destructivo y uno de extracción no destructivo, para medir el contenido de clorofila en hojas, de plántula de chile. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32(1), 17-25.
- Fernández, M. T. (2007). Fósforo: amigo o enemigo. *Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 41(2), 51-57.
- Gil, M. I., Aguayo, E., & Kader, A. A. (2006). Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(12), 4284-4296.
- Guiry, M. D. (2012). How many species of algae are there? *Journal of Phycology*, 48, 1057-1063.
- Hancock, J. F. (1999). *Strawberries*. Crop Production Science in Horticulture (Vol. 11).
- Hardigan, M. A., Lorant, A., Pincot, D. D., Feldmann, M. J., Famula, R. A., Acharya, C. B., Lee, S., Verma, S., Whitaker, V. M., & Bassil, N. (2021). Unraveling the complex hybrid ancestry and domestication history of cultivated strawberry. *Molecular Biology and Evolution*, 38(6), 2285–2305.
- Heinonen, M. (2007). Antioxidant activity and antimicrobial effect of berry phenolics – A review. *Journal of Berry Research*, 7(2), 101-111.
- Hernández, M. I., Chailloux, M., Moreno, V., Mojena, M., & Salgado, J. M. (2009). Relaciones nitrógeno-potasio en fertirriego para el cultivo protegido del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y su efecto en la acumulación de biomasa y extracción de nutrientes. *Cultivos Tropicales*, 30(40), 71-78.
- Jannin, L., Arkoun, M., Etienne, P., Laîné, P., Goux, D., Garnica, M., Fuentes, M., Francisco, S. S., Baigorri, R., Cruz, F., Houssa, F., García-Mina, J. M., Yvin, J. C., & Ourry, A. (2013). *Brassica napus* growth is promoted by *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. seaweed extract: Microarray analysis and physiological

- characterization of N, C, and S metabolisms. *Journal of Plant Growth Regulation*, 32, 31-52.
- Kader, A. A. (2002). Postharvest biology and technology: An overview. In A. A. Kader (Ed.), *Postharvest technology of horticultural crops* (3rd ed., pp. 39-47). Oakland, CA: University of California.
- Kirschbaum, D. S. (2022). Características botánicas, fisiología y tipos de variedades de fresas. In *Cultivo, poscosecha, procesado y comercio de berries* (pp. 103-116). Valencia, España.
- Kirschbaum, D. S., & Borquez, A. M. (2006). Nutrición mineral de la frutilla (*Fragaria x ananassa* Duch.). In III Simpósio Nacional do Morango, II Encontro sobre Pequenas Frutas e Frutas Nativas do Mercosul (pp. 117-127). Brasil.
- Kocira, S., Szparaga, A., Hara, P., Treder, K., Findura, P., Bartoš, P., & Filip, M. (2020). Biochemical and economical effect of application biostimulants containing seaweed extracts and amino acids as an element of agroecological management of bean cultivation. *Scientific Reports*, 10(1), 17759.
- Kriedemann, P. (1968). Photosynthesis in vine leaves as a function of light intensity, temperature, and leaf age. *Vitis*, 7, 213-220.
- Ladika, G., Tsiaka, T., Stavropoulou, N. A., Strati, I. F., & Sinanoglou, V. J. (2024). Enhancing the Nutritional Value and Preservation Quality of Strawberries through an Optimized Osmotic Dehydration Process. *Appl. Sci.*, 14, 9211.
- López-Valencia, D., Sánchez-Gómez, M., Acuña-Caita, J. F., & Fischer, G. (2018). Propiedades físicoquímicas de siete variedades destacadas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) cultivadas en Cundinamarca (Colombia), durante su maduración. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria*, 19(1), 147-162.
- Maurya, R., Chokshi, K., Ghosh, T., Trivedi, K., Pancha, I., Kubavat, D., Mishra, S., & Ghosh, A. (2016). Lipid extracted microalgal biomass residue as a fertilizer substitute for *Zea mays* L. *Frontiers in Plant Science*, 6, 1266.
- Menéndez, O., Lozano, S. E., Arenas, M., Bermúdez, K., del Villar, A., & Jiménez, A. (2006). Cambios en la actividad de α -amilasa, pectinmetilesterasa y

- poligalacturonasa durante la maduración del maracuyá amarillo (*Passiflora edulis* var. *Flavicarpa* Degener). *Interciencia*, 31(10), 728-733.
- Mixquititla-Casbis, G., Villegas-Torres, O. G., Andrade-Rodríguez, M., Sotelo-Nava, H., & Cardoso-Taketa, A. T. (2020). Growth, yield and quality of strawberry by effect of the nutritional regime. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(6), 1337-1348.
- Montaño-Mata, N. J., & Méndez-Natera, J. R. (2009). Efecto de reguladores de crecimiento sobre el epicarpo, mesocarpo y sólidos solubles totales del fruto de melón (*Cucumis melo* L.) cv. Edisto 47. *Revista UDO Agrícola*, 9(2), 295-303.
- Nunes, M. C. N. (2008). Soft fruits and berries. In M. C. N. Nunes (Ed.), *Color atlas of postharvest quality of fruits and vegetables* (pp. 175-185). Ames, EE. UU.: John Wiley and Sons.
- Osterloh, A., Ebert, G., Held, W. H., Schulz, H., & Urban, E. (1996). *Lagerung con Obst und Südfrüchten*. Stuttgart: Verlag Ulmer.
- Paliyath, G., Murr, D. P., Handa, A. K., & Lurie, S. (2008). *Postharvest biology and technology of fruits, vegetables, and flowers*. Nueva York, EE. UU.: Wiley-Blackwell.
- Patel, H., Taghavi, T., & Samtani, J. B. (2023). Fruit quality of several strawberry cultivars during the harvest season under high tunnel and open field environments. *Horticulturae*, 9(10), 1084.
- Priya, M., Prabha, N., & Tharanathan, N. (1996). Postharvest biochemical changes associated with the softening phenomenon in *Capsicum annum* fruits. *Phytochemistry*, 42(4), 961-966.
- Ren, X., & Ding, Y. (2024). Recent Advancements in Postharvest Fruit Quality and Physiological Mechanism. *Horticulturae*, 10(10), 1085. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10101085>
- Righini, H., Roberti, R., & Baraldi, E. (2018). Use of algae in strawberry management. *Journal of Applied Phycology*, 30(6), 3551-3564.
- Seymour, G., Taylor, J., & Tucker, G. (1993). *Biochemistry of fruit ripening*. Londres, Reino Unido: Chapman and Hall.

- Silva, P. S., Menezes, J. B., Oliveira, O. F., & Silva, P. I. B. (2003). Distribuição do teor de sólidos solúveis totais no melão. *Horticultura Brasileira*, 21(1), 31-33.
- Skupień, K. (2003). Estimation of chosen quality traits of fresh and frozen fruit of six strawberry cultivars. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 2(2), 115-123.
- Solomon, W., Mutum, L., Janda, T., & Molnár, Z. (2023). Potential benefit of microalgae and their interaction with bacteria to sustainable crop production. *Plant Growth Regulation*, 101, 53–65.
- Steel, G. D. R., & Torrie, J. H. (1988). *Bioestadística: Principios y procedimientos* (2da ed.). México, D.F.: Mc Graw Hill Interamericana de México, S.A de C.V.
- Steele, M., Gitelson, A., & Rundquist, D. (2008). A comparison of two techniques for nondestructive measurement of chlorophyll content in grapevine leaves. *Agronomy Journal*, 100(3), 779-782.
- Terry, L. A., Chope, G. A., & Bordonaba, J. G. (2008). Effect of water deficit irrigation on strawberry (*Fragaria × ananassa*) fruit quality. In *VI International Strawberry Symposium 842* (pp. 839-842).
- Torregrosa, F. (2006). *Determinación de Ácido ascórbico y carotenoides en zumos de frutas y hortalizas frescos, tratados por calor o por pulsos eléctricos de alta intensidad (PEAI)* [Tesis doctoral, Universidad de Valencia].
- Torres, R., Montes, E., Pérez, O., & Andrade, R. D. (2013). Relación del color y del estado de madurez con las propiedades físicoquímicas de frutas tropicales. *Información Tecnológica*, 24(3), 51-56.
- Valenzuela, J. L. (2023). Advances in Postharvest Preservation and Quality of Fruits and Vegetables. *Foods*, 12(9), 1830. <https://doi.org/10.3390/foods12091830>
- Valero, C., & Ruiz-Altisent, M. (1998). Equipos de medida de calidad organoléptica en frutas. *Fruticultura Profesional*, 95, 38-45.
- Vázquez-Gálvez, G., Cárdenas-Navarro, R., & Lobit, P. (2008). Efecto del nitrógeno sobre el crecimiento y rendimiento de fresa regada por goteo y gravedad. *Agricultura Técnica en México*, 34(2), 235-241.

- Vignoni, L. A., Césari, R. M., Forte, M., & Mirábile, M. L. (2006). Determinación de índice de color en ajo picado. *Información Tecnológica*, 17(6), 63-67.
- Weaver, J. E., & Bruner, W. E. (1927). *Root development of vegetable crops* (1ra ed.). Nueva York: McGraw-Hill.
- Wills, R., McGlasson, B., Graham, D., & Joyce, D. (1998). *Postharvest: An introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals* (4ta ed.). Nueva York: CAB International.
- Wills, R., McGlasson, B., Graham, D., & Joyce, D. (2007). *Postharvest: An introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals* (5ta ed.). Wallingford, Reino Unido: Centre for Agriculture and Bioscience International (CABI).