


Artículo original

Evaluación de atributos de *Fragaria x ananassa* bajo diferentes condiciones de fertirriego y sustrato

Evaluation of *Fragaria x ananassa* attributes under different fertigation and substrate conditions


FREDY ROBER PARIONA ESCALANTE¹

 <https://orcid.org/0000-0003-1067-1046>

ALEX ANTONY APAICO HUAMANI²

 <https://orcid.org/0009-0001-8602-768X>


AGUSTÍN JULIÁN PORTUGUEZ MAURTUA³

 <https://orcid.org/0000-0001-6376-1534>


SAÚL RICARDO CHUQUI-DIESTRA⁴

 <https://orcid.org/0000-0003-2582-2716>


JACK EDSON HERNÁNDEZ MAVILA⁵

 <https://orcid.org/0000-0002-3639-0018>

ISABEL GONZALES QUISPE⁶

 <https://orcid.org/0009-0009-8332-6076>

YURFA DEL CARMEN AGUILAR SÁNCHEZ⁷

 <https://orcid.org/0009-0008-5304-8602>

Recibido: 01/04/2025

Aceptado: 19/05/2025

Publicado: 10/06/2025

^{1,2,3,4,5,6,7}Área de producción y evaluación de productos agroindustriales, Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú

E-mail: ¹fredy.pariona@unsch.edu.pe, ²alex.apaico.22@unsch.edu.pe, ³agustin.portuguez@unsch.edu.pe, ⁴saul.chuqui@unsch.edu.pe, ⁵jack.hernandez@unsch.edu.pe, ⁶isabel.gonzales@unsch.edu.pe, ⁷yurfa.aguilar@unsch.edu.pe



Resumen

La calidad de la fresa tras la cosecha depende de factores agronómicos, especialmente en zonas altoandinas donde las condiciones climáticas influyen en su desarrollo. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto del fertirriego y el tipo de sustrato en las propiedades poscosecha de la variedad Chandler. Se empleó un diseño factorial con ocho tratamientos que combinaron cuatro niveles de fertirriego (0 %, 20 %, 40 % y 60 %) y dos tipos de sustrato (tierra agrícola y arena). Las evaluaciones de las propiedades físicas, fisicoquímicas y funcionales de los frutos se realizaron por triplicado. Los resultados revelaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos, destacando el fertirriego al 60 % en sustrato arenoso, que promovió una mayor intensidad de color rojo ($a^* = 60,27 \pm 0,93$), mayor peso fresco ($12,92 \pm 0,64$ g), azúcares reductores de $1,94 \pm 0,01$ mg/g y mayor contenido de compuestos bioactivos como polifenoles ($123,97 \pm 0,1$ mg EAG/100 g) y vitamina C ($26,65 \pm 0,06$ mg/100g). Este tratamiento también evidenció mayor capacidad antioxidante ($174,34 \pm 0,07$ μ mol equiv. Trolox/ 100 g), asociada a la mejor disponibilidad hídrica y nutricional. Los análisis estadísticos confirmaron la interacción significativa entre fertirriego y sustrato, lo que sugiere que la combinación adecuada de estos factores puede mejorar la calidad integral del fruto.

Palabras clave: calidad de fruto; fertilidad del suelo; horticultura; manejo del agua.

Abstract

The postharvest quality of strawberry depends on agronomic factors, especially in high Andean areas where climatic conditions influence its development. This study aimed to evaluate the effect of fertigation and substrate type on the postharvest properties of the Chandler variety. A factorial design with eight treatments was used, combining four fertigation levels (0 %, 20 %, 40 %, and 60 %) and two substrate types (agricultural soil and sand). Evaluations of the physical, physicochemical, and functional properties of the fruits were performed in triplicate. The results showed significant differences ($p < 0.05$) among treatments, highlighting 60% fertigation in sandy substrate, which promoted greater red color intensity ($a^* = 60.27 \pm 0.93$), higher fresh weight (12.92 ± 0.64 g), reducing sugars of 1.94 ± 0.01 mg/g, and higher content of bioactive compounds such as phenolics (123.97 ± 0.1 mg GAE/100 g) and vitamin C (26.65 ± 0.06 mg/100 g). This treatment also showed greater antioxidant capacity (174.34 ± 0.07 μ mol Trolox equivalents/100 g), associated with better water and nutrient availability. Statistical analyses confirmed a significant interaction between fertigation and substrate, suggesting that the appropriate combination of these factors can improve the overall quality of the fruit.

Keywords: fruit quality; soil fertility; horticulture; water management.



1. Introducción

La fresa, botánicamente pertenece al género *Fragaria* dentro de la familia *Rosaceae*, es una planta herbácea perenne que produce uno de los frutos más apreciados a nivel mundial por su sabor, aroma y valor nutricional. Su historia se remonta a miles de años atrás, cuando diversas especies silvestres crecían en regiones templadas del hemisferio norte, especialmente en Europa, Asia y América. Entre las especies más antiguas y conocidas se encuentra la *Fragaria vesca*, también llamada fresa del bosque, que era recolectada y consumida por civilizaciones europeas desde la antigüedad. Esta especie de fruto pequeño y sabor intenso fue domesticada en parte durante la Edad Media, cultivándose en huertos de monasterios y jardines reales. A lo largo de los siglos, otras especies de *Fragaria* fueron identificadas y estudiadas en distintos continentes. En América, se conocían especies como *Fragaria virginiana*, originaria del este de América del Norte, y *Fragaria chiloensis*, nativa de la costa pacífica de América del Sur, especialmente presente en Chile. La primera tenía frutos pequeños pero muy aromáticos, mientras que la segunda producía frutos de mayor tamaño y buena firmeza. Durante el siglo XVIII, exploradores europeos llevaron estas plantas a Europa para su estudio y cultivo. Fue en Bretaña, Francia, donde ambas especies coincidieron en jardines botánicos y se cruzaron de forma natural, dando origen al híbrido *Fragaria × ananassa*, la base de todas las fresas comerciales modernas (Gurjar et al., 2024; Grubinger, 2012; Hancock, 2020; Kirschbaum, 2022)

Desde su creación, *Fragaria × ananassa* se convirtió en la base de los programas de mejoramiento genético alrededor del mundo. A lo largo del siglo XX, universidades e instituciones agrícolas comenzaron a desarrollar variedades cultivadas (cultivares) específicas adaptadas a diferentes climas, sistemas de producción y mercados (Fan y Whitaker, 2024; Feldmann et al., 2024; Hardigan et al., 2021). Uno de los cultivares más emblemáticos es la fresa (*Fragaria × ananassa Duch*) cv. Chandler, desarrollada en 1983 por la Universidad de California, como parte de su programa de mejoramiento para climas templados. Chandler se caracteriza por producir frutos grandes, cónicos, de color rojo brillante, con excelente sabor y aroma, además de una productividad notable (Filmer, 2016; Hancock et al., 2008; Molimar y Yang, 2006). Su expansión fue rápida. Gracias a su alto rendimiento, buena calidad organoléptica y adaptabilidad, esta variedad fue adoptada por productores en Estados Unidos, México, España, Marruecos, Turquía, y también en países sudamericanos. Aunque no es la más resistente en términos de vida postcosecha, su sabor la hizo especialmente atractiva para el mercado en fresco. Su cultivo se difundió mediante la exportación de plántones certificados y por medio de viveros especializados, que facilitaron su disponibilidad en distintas regiones productoras (Antunes y Peres, 2013; Hancock, 2020; Hernández-Martínez et al., 2023; López-Aranda et al., 2011; Villalobos Díaz et al., 2014). En el caso del Perú, esta variedad fue introducida entre las décadas de 2000 como parte de estrategias de diversificación agrícola en la costa y sierra, promovidas tanto por instituciones nacionales como el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), así como por programas de cooperación internacional y universidades agrarias (Olivera, 2012; Ministerio de Agricultura, 2008).

En la actualidad, la fresa es una de las frutas más apreciadas a nivel mundial, consumida tanto en su forma natural como procesada en múltiples presentaciones. El consumo fresco de fresa destaca por su sabor dulce y ligeramente ácido, su aroma característico y su textura jugosa, lo que la convierte en un alimento ideal para diferentes edades y contextos. Rica en vitamina C, antocianinas, ácido fólico, potasio y fibra dietética, esta fruta ha sido reconocida

por sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y cardioprotectoras, lo que la posiciona como un alimento funcional dentro de una dieta saludable (Basu et al., 2014) (Samee et al., 2023). Más allá del consumo en fresco, la fresa tiene una gran demanda en la industria de alimentos procesados, donde se transforma en mermeladas, néctares, yogures, helados, repostería, gelatinas, jugos, salsas y productos congelados (Aguilera, 2024). Su calidad comercial, es un criterio esencial tanto para el mercado interno como para la exportación, y su evaluación requiere un análisis integral de parámetros físicos, fisicoquímicos y funcionales. Estos aspectos permiten determinar no solo la aceptabilidad del fruto por parte del consumidor, sino también su valor nutricional, vida útil y aptitud para el procesamiento industrial. Dado que la fresa es un fruto altamente perecedero y apreciado por sus cualidades sensoriales, cada uno de estos parámetros aporta información clave para su clasificación y valorización. Además, su cultivo está condicionado por una serie de factores agroecológicos, fisiológicos y tecnológicos que determinan su desarrollo, productividad y calidad del fruto (Madhavi et al., 2023). Dado que se trata de una especie de ciclo corto y altamente sensible a las condiciones ambientales, su manejo agronómico requiere una planificación cuidadosa y adaptada al contexto local. Por tanto, el objetivo del estudio fue evaluar el efecto de diferentes estrategias de fertirriego y tipos de sustrato sobre las propiedades físicas, fisicoquímicas y funcionales de los frutos de fresa variedad Chandler (*Fragaria* × *ananassa*), con el fin de identificar condiciones de cultivo que optimicen su calidad poscosecha para aplicaciones agroindustriales.

2. Metodología

2.1. Condiciones de cultivo y establecimiento experimental

El establecimiento del cultivo se realizó en una parcela de la región Ayacucho (Perú), a una altitud de 3,317 m. s. n. m., bajo condiciones agroclimáticas altoandinas. Se utilizó como material vegetal la variedad Chandler de *Fragaria* × *ananassa*, reconocida por su adaptabilidad y calidad de fruto. La etapa experimental se llevó a cabo durante un periodo de 150 días, desde el trasplante hasta la cosecha. El experimento se instaló en un sistema de cultivo sin suelo, utilizando bolsas plásticas negras de 40 × 50 cm con capacidad para 5 kg de sustrato, las cuales se dispusieron bajo un sistema semicontrolado. El trasplante se efectuó a los 30 días después del enraizamiento en vivero. Se respetó un distanciamiento de 0,3 m entre plantas y 0,4 m entre hileras, lo que permitió un desarrollo vegetativo adecuado sin competencia excesiva por luz ni nutrientes. A partir del trasplante, las plantas fueron sometidas a un régimen de fertirriego aplicado tres veces por semana mediante riego por goteo.

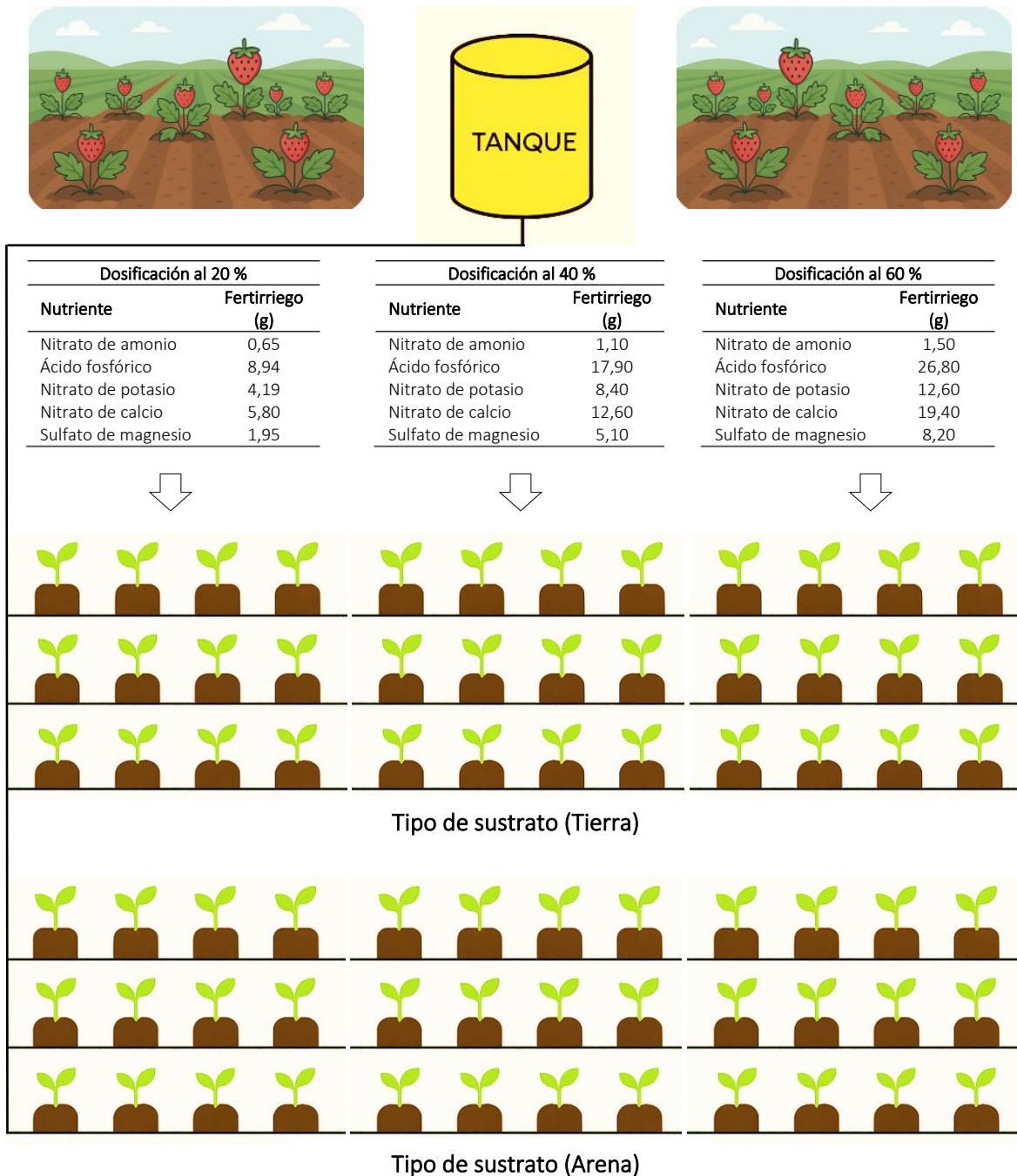
2.2. Formulación y preparación de soluciones nutritivas para fertirriego

La solución nutritiva utilizada fue preparada en función de los tratamientos experimentales, adaptada de la fórmula de Hidroponía Asociación Mexicana (2022), que incluyen nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), expresadas en miligramos por litro (mg/L). Posteriormente, se realizó el análisis del agua de riego, determinándose la concentración de calcio (0,58 meq/L) y magnesio (0,46 meq/L). Estas concentraciones fueron convertidas a mg/L. Obteniéndose valores de 11,62 mg/L para Ca^{2+} y 5,59 mg/L para Mg^{2+} . Estos valores fueron descontados del requerimiento nutricional de cada tratamiento para calcular el aporte neto necesario mediante fertirriego (Figura 1).



Figura 1

Esquema de dosificación de nutrientes de fresa por fertirriego



Luego, se procedió a convertir las necesidades nutricionales netas a cantidades de fertilizantes comerciales, considerando las composiciones de nutrientes activas de cada uno: nitrato de amonio (34 % N), ácido fosfórico (61 % P₂O₅), nitrato de potasio (13 % N, 46 % K₂O), nitrato de calcio (7,5 % N, 33 % CaO), y sulfato de magnesio (16 % MgO). Para ello, se aplicaron factores de conversión de nutrientes expresados en su forma iónica (ej. K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺), según los equivalentes presentes en 100 g de cada fertilizante. Las conversiones permitieron determinar las cantidades exactas de fertilizante requeridas por metro cúbico (1000 L) de solución nutritiva. Estas fueron posteriormente ajustadas a un volumen operativo de 20 L, correspondiente a la cantidad aplicada por planta, mediante una regla de tres simple. El

procedimiento se realizó de forma individual para cada tratamiento, considerando además los aportes colaterales de nitrógeno presentes en los fertilizantes compuestos (por ejemplo, el N aportado por el nitrato de potasio y el nitrato de calcio). Por último, la cosecha inició a los 120 días y se extendió durante un mes, cuando los frutos presentaron más del 75 % de su superficie con color rojo brillante homogéneo, según el criterio de madurez comercial. Posteriormente, los frutos fueron transportados al laboratorio en condiciones controladas y almacenados a 2 °C por 48 h antes del análisis.

2.3. Evaluación de la propiedades físicas, fisicoquímicas y funcionales

Para evaluar las propiedades físicas, se utilizaron frutos frescos enteros. Se determinó el peso fresco de cada fruto utilizando una balanza analítica de precisión (AND HR-200), expresado en gramos (g). El diámetro longitudinal y transversal se midió con un Vernier digital, tomando como referencia la mayor altura axial y la mayor anchura del fruto (Amezquita, 2018). La coloración superficial se evaluó mediante un colorímetro portátil en escala CIE Lab*, registrando los valores de luminosidad (L*), componente rojo-verde (a*) y componente amarillo-azul (b*), de acuerdo con Ayala et al. (2005).

Para los análisis fisicoquímicos, los frutos fueron troceados y homogeneizados utilizando una licuadora de laboratorio hasta obtener un puré uniforme. A partir de esta muestra, se preparó una suspensión en proporción 1:1, mezclando 10 mL de puré de fresa con 10 mL de agua destilada. Esta solución fue homogeneizada y utilizada para determinar el pH mediante un potenciómetro digital previamente calibrado con soluciones tampón estándar de pH 4,0 y 7,0, siguiendo los protocolos establecidos por Buck et al. (2002). Mientras que, la acidez titulable se cuantificó mediante valoración con NaOH a 0,1 N, utilizando fenolftaleína como indicador, y se expresó como porcentaje de ácido cítrico (Tovar, 2018). El contenido de sólidos solubles totales (°Brix) se midió con un refractómetro manual, depositando directamente gotas del jugo sobre el prisma óptico (Hancock y Retamales, 2022). Los azúcares reductores se determinaron mediante el método colorimétrico DNS empleado por Breuil y Saddler (1985) y los resultados se expresaron en mg Glu/100 g.

En cuanto a los análisis funcionales, se prepararon extractos a partir de frutos previamente secados en una deshidratadora a 60 °C durante 24 h (Borja, 2010). Las muestras secas fueron luego molidas con molino de cuchillas hasta obtener un polvo fino y homogéneo, el cual se almacenó en frascos de vidrio ámbar, protegidos de la luz y la humedad. Para los análisis, se prepararon extractos metanólicos al 80 % (v/v). La vitamina C, se cuantificó mediante valoración con la solución estándar de 2,6-diclorofenolindofenol (DCPIP), midiendo la decoloración a 520 nm (Elbehery et al., 2019). Los polifenoles totales se determinaron utilizando el reactivo de Folin-Ciocalteu según el método propuesto por Georgé et al. (2005), y los resultados se expresaron como mg EAG/100 g. Finalmente, la capacidad antioxidante se evaluó mediante el método DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil), midiendo la reducción de la absorbancia, con los resultados expresados en $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ (Shimamura et al., 2014).

2.4. Análisis estadístico

Se empleó un diseño con dos factores: el primero fertirriego (cuatro niveles: 0 % (control), 20 %, 40 % y 60 % de la dosis estándar) y el segundo, el tipo de sustrato (dos niveles: tierra agrícola local y arena), conformando ocho tratamientos con tres repeticiones cada uno. El análisis



estadístico se realizó mediante ANOVA, con un nivel de significancia de $p < 0,05$, utilizando el software libre SAS (Statistical Analysis System; por sus siglas en inglés). Ante diferencias significativas, se aplicó la prueba de Tukey para comparar las medias.

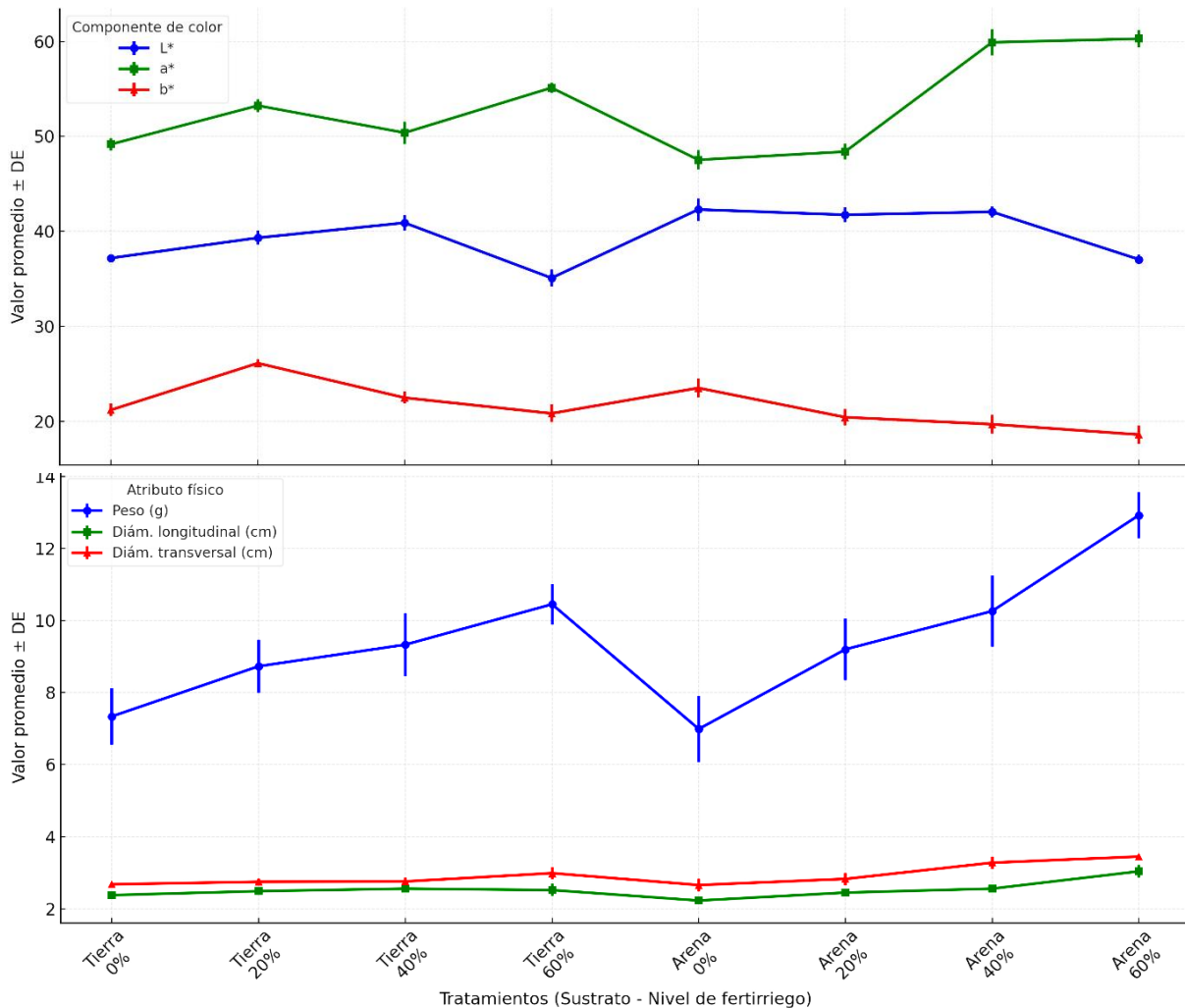
3. Resultados

3.1. Atributos físicos

La Figura 2, muestra los resultados relacionados con la coloración superficial de los frutos, obteniendo una clara tendencia hacia una mayor intensidad de color rojo con el aumento del fertirriego, especialmente en el tratamiento con 60 % en sustrato arenoso, donde se alcanzaron los valores más altos en el componente a^* ($60,27 \pm 0,93$). Esta intensidad se relaciona con una mayor síntesis de antocianinas, posiblemente favorecida por un suministro adecuado de nitrógeno y potasio durante la maduración.

Figura 2

Comportamiento de los atributos físicos del fruto de la fresa



Estadísticamente, se encontraron diferencias altamente significativas para los factores fertirriego, sustrato ($p < 0,0001$) e interacción ($p < 0,05$), confirmadas mediante la prueba de

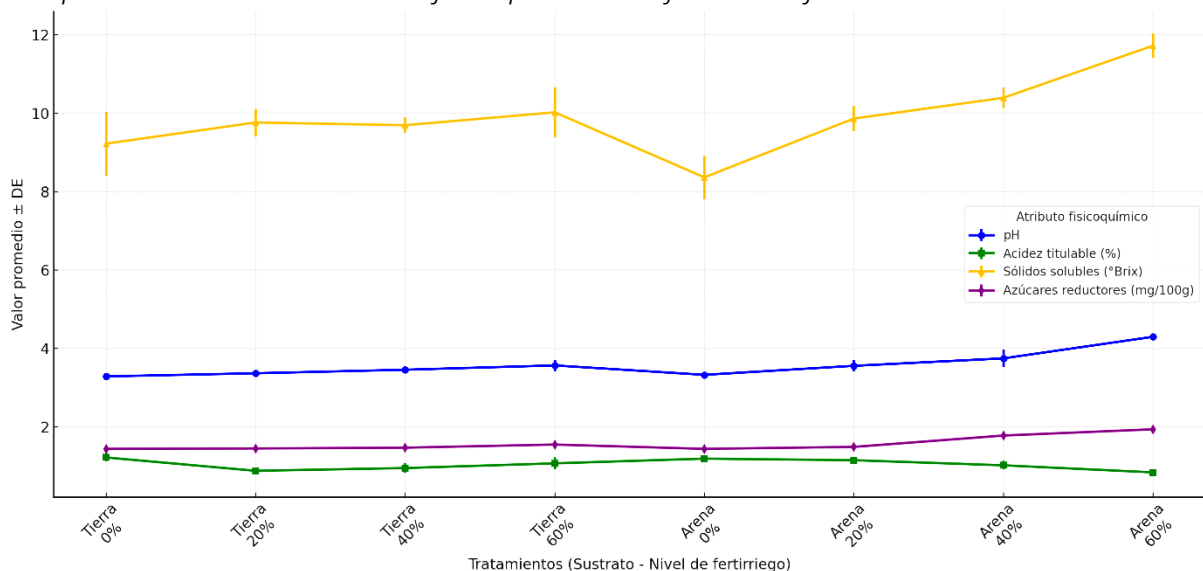
Tukey. En contraste, los valores más bajos de b^* ($18,59 \pm 0,97$) y de L^* ($37,04 \pm 0,50$) se registraron también en este tratamiento, reflejando una menor tonalidad amarilla y una mayor oscuridad del fruto, coherente con estados avanzados de maduración. Respecto al peso fresco, los frutos cultivados con fertirriego al 60 % en arena alcanzaron un promedio de $12,92 \pm 0,64$ g, el valor más alto observado, superando significativamente a los tratamientos con menor riego y al control. Esta respuesta evidencia el efecto positivo de la disponibilidad hídrica y nutricional sobre la biomasa del fruto. El análisis estadístico reveló diferencias altamente significativas ($p < 0,0001$). En cuanto a las dimensiones del fruto, se observó un patrón similar. El mayor diámetro transversal ($3,45 \pm 0,07$ cm) se registró en el tratamiento de 60 % con arena, y el longitudinal también mostró un incremento progresivo con el aumento del fertirriego. Las diferencias fueron significativas para todos los factores analizados ($p < 0,01$), reafirmando la influencia conjunta del fertirriego y el sustrato sobre el desarrollo morfológico del fruto.

3.2. Atributos fisicoquímicos

Referente a las propiedades fisicoquímicas (Figura 3), los resultados evidenciaron un comportamiento coherente con los cambios observados en el desarrollo físico de los frutos. El pH del fruto también se vio afectado, mostrando un incremento progresivo con mayores niveles de fertirriego. En el tratamiento de 60 % en arena se alcanzó un pH de $4,30 \pm 0,07$, mientras que en condiciones restrictivas (20 % de fertirriego) el pH descendió hasta 3,56. Este comportamiento es indicativo de una menor concentración de ácidos orgánicos y refleja la influencia del riego en el metabolismo primario de la fruta. Estadísticamente, las diferencias fueron significativas ($p < 0,01$).

Figura 3

Comportamiento de los atributos fisicoquímicos del fruto de la fresa



De manera complementaria, la acidez titulable mostró una tendencia inversa, disminuyendo a medida que se incrementó el fertirriego. El valor más bajo ($0,84 \pm 0,06$ %) se observó en el tratamiento más intensivo (60 % en arena), mientras que el más alto ($1,22 \pm 0,10$ %) se registró en el control con tierra. Esta relación inversa sugiere una maduración más avanzada y equilibrada del fruto, con mayor dulzor relativo y menor acidez percibida, lo que



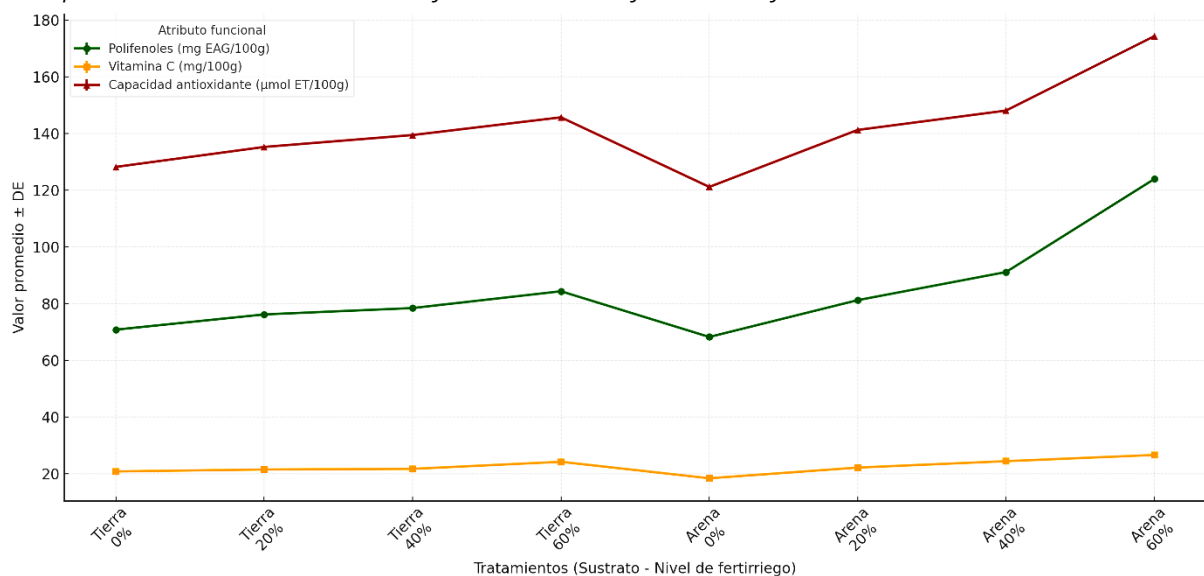
mejora su aceptación sensorial. Las diferencias fueron altamente significativas ($p < 0,0001$). En cuanto a los sólidos solubles totales, se observó un incremento con el aumento del fertirriego, alcanzando su valor máximo ($11,73 \pm 0,31$ °Brix) en el tratamiento con 60 % en arena. Este valor supera al obtenido con fertirriego al 20 %, donde los frutos apenas alcanzaron los $9,87 \pm 0,32$ °Brix. Esto sugiere una mayor acumulación de azúcares simples en condiciones de mayor disponibilidad hídrica. El análisis estadístico indicó diferencias significativas para todos los factores ($p < 0,01$). Por otro lado, los azúcares reductores también incrementaron con el fertirriego, destacando el tratamiento de 60 % en arena con un contenido de $1,94 \pm 0,01$ mg/100 g, lo cual refuerza la tendencia general de mayor acumulación de carbohidratos. Las diferencias fueron altamente significativas en todos los factores analizados ($p < 0,0001$).

3.3. Atributos funcionales

En relación a los atributos funcionales (Figura 4), el comportamiento fue congruente con las condiciones agronómicas más favorables. El contenido total de polifenoles fue significativamente mayor en los frutos provenientes del tratamiento con 60 % de fertirriego en arena, alcanzando $123,97 \pm 0,10$ mg EAG/100 g, indicando una mayor síntesis de compuestos fenólicos bajo condiciones de manejo agronómico favorable. Esta concentración representa una mejora considerable respecto a los tratamientos con menor fertirriego, donde los niveles de polifenoles no superaron los 94 mg EAG/100 g. Las diferencias fueron extremadamente significativas ($p < 0,0001$).

Figura 4

Comportamiento de los atributos funcionales del fruto de la fresa



En esta misma línea, el contenido de vitamina C mostró un comportamiento similar, alcanzando su concentración máxima ($26,65 \pm 0,06$ mg/100 g) en el tratamiento más intensivo, lo que sugiere un entorno metabólicamente más activo, superando claramente los valores registrados en niveles inferiores de riego. Las diferencias estadísticas fueron igualmente relevantes ($p < 0,0001$). Finalmente, la capacidad antioxidante fue superior en el mismo tratamiento ($174,34 \pm 0,07$ $\mu\text{mol ET}/100$ g), reflejando una sinergia entre la disponibilidad de agua, nutrientes y la biosíntesis de metabolitos secundarios con función antioxidante. Se

encontraron diferencias significativas en todos los factores analizados ($p < 0,0001$), consolidando este tratamiento como el de mejor desempeño funcional.

4. Discusión

El nivel de fertirriego como el tipo de sustrato influyó significativamente en la calidad poscosecha de los frutos de *Fragaria* × *ananassa* cv. Chandler. En particular, el tratamiento con fertirriego al 60 % en sustrato de arena promovió mejoras consistentes en los atributos físicos, fisicoquímicos y funcionales. En cuanto a los atributos físicos, el incremento del fertirriego generó frutos de mayor peso, con diámetros más uniformes y una coloración superficial más intensa, especialmente en el componente a*, asociado al tono rojo. Este resultado concuerda con lo reportado por Pedrozo et al. (2024), quienes observaron que un adecuado suministro hídrico y nutricional favorece la biosíntesis de antocianinas y el desarrollo celular en fresa. Asimismo, la mejor respuesta en arena puede atribuirse a su mayor capacidad de drenaje y aireación, condiciones que facilitan una mejor absorción de nitrógeno y potasio, nutrientes esenciales en la pigmentación y el crecimiento de los frutos (El-Sayed et al., 2016; Tang et al., 2024)

Los sólidos solubles totales (°Brix) se incrementaron significativamente con el fertirriego, especialmente en los tratamientos con mayor aporte nutricional. Esto sugiere una mayor acumulación de azúcares solubles, resultado de una mayor eficiencia fotosintética y movilización de carbohidratos hacia los frutos. Este comportamiento ha sido documentado en fresas y otras frutas no climatéricas, donde el contenido de azúcares depende directamente del suministro de agua y fotosintatos desde las hojas (Miyoshi et al., 2023). Estudios recientes como los de Raffaelli et al. (2025) y Wu et al. (2020) han demostrado una correlación positiva entre el riego tecnificado y la concentración de sólidos solubles en frutos de alto valor comercial como la fresa. De igual manera, la reducción en la acidez titulable observada en los tratamientos con mayor fertirriego sugiere un avance en la maduración del fruto, lo cual, en combinación con el aumento de °Brix, mejora el índice de madurez y la percepción sensorial. Este comportamiento es coherente con lo descrito por Brizzolara et al. (2020), quienes observaron que la disponibilidad hídrica durante el llenado de fruto reduce la acumulación de ácidos orgánicos, al favorecer rutas metabólicas orientadas a la maduración. Además, el aumento progresivo del pH con el fertirriego refuerza esta interpretación, ya que refleja una menor acumulación de ácidos orgánicos, como el málico y el cítrico, que suelen ser dominantes en fresas jóvenes o poco irrigadas. Este hallazgo es consistente con estudios realizados por Brizzolara et al. (2020), quienes asociaron un aumento del pH en fresas con una mayor madurez. La acumulación de azúcares reductores también respondió positivamente al incremento del fertirriego, reflejando no solo una mayor disponibilidad de carbohidratos solubles, sino también una intensificación del metabolismo primario. Este resultado es relevante para la industria de alimentos, dado que los azúcares reductores influyen en la textura, dulzor y comportamiento térmico del fruto durante procesos de transformación (Taghavi et al., 2019).

En relación con los atributos funcionales, el contenido de polifenoles totales aumentó de manera significativa con el fertirriego. El tratamiento más intensivo propició la mayor concentración de estos compuestos bioactivos, lo cual puede atribuirse a una mayor disponibilidad de precursores metabólicos en condiciones de crecimiento no limitantes.



Aunque algunos estudios reportan que el estrés hídrico leve puede inducir la producción de polifenoles, investigaciones recientes como las de Koyama et al. (2022) y Villamil-Galindo et al. (2021) señalan que un balance nutricional adecuado y una disponibilidad hídrica controlada también pueden optimizar la acumulación de estos metabolitos. La capacidad antioxidante, mostró un patrón similar al de los polifenoles, reforzando la idea de que el fertirriego adecuado no solo mejora la calidad visual y organoléptica del fruto, sino también su valor funcional. Esta respuesta ha sido reportada por Negi et al. (2021) en fresas cultivadas con bioestimulantes y manejo hídrico eficiente, donde se observó una correlación positiva entre fertilización balanceada y actividad antioxidante. Finalmente, el contenido de vitamina C alcanzó sus niveles más altos en el tratamiento con 60 % de fertirriego en arena, lo cual indica que las condiciones hídricas y nutricionales óptimas favorecen la síntesis de ácido ascórbico. Esta vitamina, altamente sensible al estrés y a la oxidación, requiere un entorno metabólico activo para su acumulación, como han señalado Mellidou et al. (2021) y Mellidou y Kanellis (2023). Su incremento, junto con los otros compuestos bioactivos, posiciona a la fresa como una fruta funcional altamente valorada bajo prácticas agronómicas sostenibles.

5. Conclusiones

La combinación de fertirriego al 60 % con sustrato de arena se consolidó como la estrategia más eficiente para mejorar el tamaño, dulzor, color, y potencial funcional del fruto, superando significativamente al tratamiento control y a los niveles de fertirriego inferiores. Estos resultados tienen implicaciones relevantes para sistemas de producción intensiva, donde se busca maximizar la calidad sensorial y funcional del cultivo, sin comprometer su sostenibilidad.

Desde el punto de vista fisicoquímico, este mismo tratamiento favoreció el incremento de los sólidos solubles, azúcares reductores y el pH, junto con una reducción de la acidez titulable, reflejando un equilibrio organoléptico más deseable y una maduración fisiológica más avanzada. En términos funcionales, los frutos cultivados bajo fertirriego al 60 % y sustrato arenoso presentaron los mayores contenidos de polifenoles totales, vitamina C y capacidad antioxidante, atributos asociados al potencial nutracéutico de este cultivo.

Sin embargo, es necesario validar los mejores tratamientos de fertirriego y sustrato en condiciones de campo o invernadero comercial, considerando factores ambientales reales, variabilidad del suelo y manejo postcosecha. Por otro lado, incorporar análisis de costo-beneficio de las estrategias de fertirriego, así como el impacto ambiental del uso de sustratos y fertilizantes, permitiría promover sistemas más sostenibles y eficientes. Además, se sugiere extender esta metodología a otras variedades de fresa y cultivos frutales, para verificar si la respuesta observada es específica de la variedad Chandler o generalizable a otros genotipos.

Contribución de los autores

F. R. Pariona: Conceptualización, adquisición de fondos, recursos y supervisión. **A. A. Apaico:** adquisición de fondos, investigación y visualización. **J. Portuquez:** Metodología, administración del proyecto y supervisión. **S. R. Chuqui-Diestra:** Software y supervisión. **J. E. Hernández:** Curación de datos, análisis formal y supervisión. **I. Gonzales:** Supervisión, validación y visualización. **Y. D. Aguilar:** Supervisión, redacción del borrador original y redacción – revisión y edición.

Conflictos de interés

Los autores manifiestan que no tienen conflictos de interés respecto a esta publicación.

6. Referencias Bibliográficas

- Aguilera, J. M. (2024). Berries as foods: Processing, products, and health implications. *Annual Review of Food Science and Technology*, 15(1), 1–26. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-072023-034248>
- Amézquita, M. A. (2018). Niveles de “bocashi” y “microorganismos eficaces” en el rendimiento de fresa (*Fragaria x ananassa Duch*) cv. selva en condiciones de zonas áridas – irrigación majes [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/46fcaafd-e33c-41db-a1ae-32a999ea1a75>
- Antunes, L. E. C., & Peres, N. A. (2013). Strawberry production in Brazil and south America. *International Journal of Fruit Science*, 13(1–2), 156–161. <https://doi.org/10.1080/15538362.2012.698147>
- Ayala et al. (2005). Determination of color and fruit traits of half-sib families of mango (*Mangifera indica* L.) https://www.researchgate.net/publication/281481284_Determination_of_color_and_fruit_traits_of_half-sib_families_of_mango_Mangifera_indica_L
- Basu, A., Nguyen, A., Betts, N. M., & Lyons, T. J. (2014). Strawberry as a functional food: an evidence-based review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(6), 790–806. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.608174>
- Borja, E. V. (2010). Estudio de la conservación de fresas (*fragaria vesca*) mediante tratamientos térmicos [Informe de investigación, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/items/11715ebb-1b02-45d1-af2d-58780c24ce49>
- Breuil, C., & Saddler, J. N. (1985). Comparison of the 3,5-dinitrosalicylic acid and Nelson-Somogyi methods of assaying for reducing sugars and determining cellulase activity. *Enzyme and Microbial Technology*, 7(7), 327–332. [https://doi.org/10.1016/0141-0229\(85\)90111-5](https://doi.org/10.1016/0141-0229(85)90111-5)
- Brizzolara, S., Manganaris, G. A., Fotopoulos, V., Watkins, C. B., & Tonutti, P. (2020). Primary metabolism in fresh fruits during storage. *Frontiers in Plant Science*, 11, 80. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00080>
- Buck, R. P., Rondinini, S., Covington, A. K., Baucke, F. G. K., Brett, C. M. A., Camoes, M. F., Milton, M. J. T., Mussini, T., Naumann, R., Pratt, K. W., Spitzer, P., & Wilson, G. S. (2002). Measurement of pH. Definition, standards, and procedures (IUPAC Recommendations 2002). *Pure and Applied Chemistry*, 74(11), 2169–2200. <https://doi.org/10.1351/pac200274112169>
- Elbehery, N. H. A., Amr, A. E.-G. E., Kamel, A. H., Elsayed, E. A., & Hassan, S. S. M. (2019). Novel potentiometric 2,6-dichlorophenolindo-phenolate (DCPIP) membrane-based sensors: Assessment of their input in the determination of total phenolics and ascorbic acid in beverages. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 19(9), 2058. <https://doi.org/10.3390/s19092058>



- El-Sayed, S. F., Hassan, H. A., Abul-Soud, M., y Gad, D. A. M. (2016). Effect of different substrates and nutrient solutions on vegetative growth, mineral content, production and fruit quality of strawberry. *Zagazig Journal of Agricultural Research*, 43(6), 1919–1938. <https://doi.org/10.21608/zjar.2016.65547>
- Fan, Z., & Whitaker, V. M. (2024). Genomic signatures of strawberry domestication and diversification. *The Plant Cell*, 36(5), 1622–1636. <https://doi.org/10.1093/plcell/koad314>
- Feldmann, M. J., Pincot, D. D. A., Cole, G. S., & Knapp, S. J. (2024). Genetic gains underpinning a little-known strawberry Green Revolution. *Nature Communications*, 15(1), 2468. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-46421-6>
- Filmer, A. (2016, 11 de mayo). *Strawberry Breeding Program Backgrounder: A Historical Timeline*. University of California, Davis campus. Department of Plant Sciences <https://www.plantsciences.ucdavis.edu/news/strawberry-breeding-program-backgrounder-historical-timeline>
- Georgé, S., Brat, P., Alter, P., & Amiot, M. J. (2005). Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(5), 1370–1373. <https://doi.org/10.1021/jf048396b>
- Grubinger, V. (2012) *History of the Strawberry*. The University of Vermont. <https://www.uvm.edu/vtvegandberry/factsheets/strawberryhistory.html>
- Gurjar, J., Rathore, R. S. y Nagar, S. (2024) Introduction, Scope, Importance, Nutritive Values and History of Strawberry. En Anushi, P. B. Kakade, R. Kaur, A. Singh y A. Siddiqua. (Eds). *Production, Protection, marketing, and technology of Strawberry* (pp. 1-15) <https://goo.su/s53Z>
- Hancock, J. F., Sjulín, T. M., y Lobos, G. A. (2008). Strawberries. En J. F. Hancock. (Eds). *Temperate fruit crop breeding: Germplasm to genomics*. (pp. 1-39). Springer <https://www.researchgate.net/publication/257827125> Strawberries
- Hancock, J. F., y Retamales, J. B. (2022). *Fresas*. Editorial Acribia. https://www.ingebook.com/ib/NPcd/IB_BooksVis?cod_primaria=1000187&codigo_libro=13173
- Hancock (2020). *History of Strawberry Domestication*. En Strawberries. (2nd ed.). <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20203420232>
- Hardigan, M. A., Lorant, A., Pincot, D. D. A., Feldmann, M. J., Famula, R. A., Acharya, C. B., Lee, S., Verma, S., Whitaker, V. M., Bassil, N., Zurn, J., Cole, G. S., Bird, K., Edger, P. P., & Knapp, S. J. (2021). Unraveling the complex hybrid ancestry and domestication history of cultivated strawberry. *Molecular Biology and Evolution*, 38(6), 2285–2305. <https://doi.org/10.1093/molbev/msab024>
- Hernández-Martínez, N. R., Blanchard, C., Wells, D., & Salazar-Gutiérrez, M. R. (2023). Current state and future perspectives of commercial strawberry production: A review. *Scientia Horticulturae*, 312(111893), 111893. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111893>

- Hidroponía Asociación mexicana (2022, 15 de enero). *Boro falta o exceso cultivo fresa en hidroponia y suelo*. [Publicación] YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=Ygud_dld_18
- Kirschbaum, D. S. (2022). Características botánicas, fisiología y tipos de variedades de fresas. En A. Namesny, C. Conesa, L. M. Olmos y P. Papasseit. (Eds). *Cultivo, poscosecha, procesado y comercio de berries*. (pp. 141-154) <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/12068>
- Koyama, R., Ishibashi, M., Fukuda, I., Okino, A., Osawa, R., & Uno, Y. (2022). Pre- and post-harvest conditions affect polyphenol content in strawberry (*Fragaria* × *ananassa*). *Plants*, 11(17), 2220. <https://doi.org/10.3390/plants11172220>
- López-Aranda, J. M., Soria, C., Santos, B. M., Miranda, L., Domínguez, P., & Medina-Mínguez, J. J. (2011). Strawberry production in mild climates of the world: A review of current cultivar use. *International Journal of Fruit Science*, 11(3), 232–244. <https://doi.org/10.1080/15538362.2011.608294>
- Madhavi, B. G. K., Kim, N. E., Basak, J. K., Choi, G. M., & Kim, H. T. (2023). Comparative study of strawberry growth and fruit quality parameters in horizontal and vertical production systems. *Horticulture, Environment and Biotechnology*. <https://doi.org/10.1007/s13580-022-00494-8>
- Mellidou, I., & Kanellis, A. K. (2023). Deep inside the genetic regulation of ascorbic acid during fruit ripening and postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, 204(112436), 112436. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112436>
- Mellidou, I., Koukounaras, A., Kostas, S., Patelou, E., & Kanellis, A. K. (2021). Regulation of vitamin C accumulation for improved tomato fruit quality and alleviation of abiotic stress. *Genes*, 12(5), 694. <https://doi.org/10.3390/genes12050694>
- Ministerio de Agricultura [MINAGRI]. (2008). *Estudio de la fresa en el Perú y el mundo*. https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/boletines/estudio_fresa.pdf
- Miyoshi, Y., Mincke, J., Vermeiren, J., Courty, J., Vanhove, C., Vandenberghe, S., Kawachi, N., & Steppe, K. (2023). Translocation of ¹¹C-labelled photosynthates to strawberry fruits depends on leaf transpiration during twilight. *Environmental and Experimental Botany*, 211(105353), 105353. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2023.105353>
- Molimar, R. H., y Yang, M. (2006). *Strawberry Variety Research – Fresno County*. UC Cooperative Extension <https://ucanr.edu/sites/default/files/2011-05/90275.pdf>
- Negi, Y. K., Sajwan, P., Uniyal, S., & Mishra, A. C. (2021). Enhancement in yield and nutritive qualities of strawberry fruits by the application of organic manures and biofertilizers. *Scientia Horticulturae*, 283(110038), 110038. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110038>
- Olivera, J. A. (2012). *Cultivo de Fresa (Fragaria x ananassa Duch.)* Programa Nacional de Innovación Agraria en Hortalizas del Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA. <https://repositorio.inia.gob.pe/items/b0e181b9-8b62-4302-9d0e-ef6118c96072>



- Pedrozo, P., Lado, B., Moltini, A. I., Vicente, E., & Lado, J. (2024). Exploration of strawberry fruit quality during harvest season under a semi-forcing culture with plants nursed without chilling. *Plants*, 13(21). <https://doi.org/10.3390/plants13213052>
- Raffaelli, D., Qaderi, R., Mazzoni, L., Mezzetti, B., & Capocasa, F. (2025). Yield and sensorial and nutritional quality of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) fruits from plants grown under different amounts of irrigation in soilless cultivation. *Plants*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/plants14020286>
- Samee, A., Ibrahim, M.S., Amir, R. M., Hassan, I., Ali, M., Zahoor, Z., Khan, A. U., y Nasir, H. (2023). A Comprehensive Review on the Health-Orientated Aspects of Strawberries: Strawberry health benefits. (2023). *Food Science & Applied Microbiology Reports*, 2(1), 1-7. <https://finessepublishing.com/index.php/fsamr/article/view/57>
- Shimamura, T., Sumikura, Y., Yamazaki, T., Tada, A., Kashiwagi, T., Ishikawa, H., Matsui, T., Sugimoto, N., Akiyama, H., & Ukeda, H. (2014). Applicability of the DPPH assay for evaluating the antioxidant capacity of food additives - inter-laboratory evaluation study -. *Analytical Sciences: The International Journal of the Japan Society for Analytical Chemistry*, 30(7), 717–721. <https://doi.org/10.2116/analsci.30.717>
- Taghavi, T., Siddiqui, R., & K. Rutto, L. (2019). The effect of preharvest factors on fruit and nutritional quality in strawberry. En *Strawberry - Pre- and Post-Harvest Management Techniques for Higher Fruit Quality*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.84619>
- Tang, X., Li, Y., Fang, M., Li, W., Hong, Y., & Li, Y. (2024). Effects of different water storage and fertilizer retention substrates on growth, yield and quality of strawberry. *Agronomy (Basel, Switzerland)*, 14(1), 205. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010205>
- Tovar, O. X. (2018). *Comparación in vitro del pH, contenido de azúcar y acidez titulable (ácido cítrico) de bebidas endulzadas consumidas por niños en etapa escolar* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicada]. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/624894>
- Villalobos Díaz, J. E., Basurto Sotelo, M., Pérez Leal, R., Soto Parra, J. M., & Manjarrez Domínguez, C. B. (2014). Calidad y producción de cinco variedades de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) bajo diferentes condiciones climáticas en el estado de Chihuahua. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 2(1), 43–47. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v2i1.244>
- Villamil-Galindo, E., Van de Velde, F., & Piagentini, A. M. (2021). Strawberry agro-industrial by-products as a source of bioactive compounds: effect of cultivar on the phenolic profile and the antioxidant capacity. *Bioresources and Bioprocessing*, 8(1), 61. <https://doi.org/10.1186/s40643-021-00416-z>
- Wu, Y., Li, L., Li, M., Zhang, M., Sun, H., & Sigrimis, N. (2020). Optimal fertigation for high yield and fruit quality of greenhouse strawberry. *PLoS One*, 15(4), e0224588. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224588>