

RESUMEN

El estrés oxidativo en plantas, causado por factores bióticos y abióticos, altera el equilibrio celular al aumentar las especies reactivas de oxígeno (ROS). Para enfrentarlo, las plantas generan antioxidantes como la enzima SOD1 y los polifenoles. Este estudio evaluó el efecto de aplicar polifenoles naturales extraídos de residuos agrícolas (*economía circular*) en plantas de tomate expuestas a metil viológeno, agente generador de ROS. Los resultados mostraron que **los polifenoles redujeron significativamente la expresión de SOD1 y mejoraron la eficiencia fotosintética, demostrando efectos protectores y curativos**. En una segunda etapa, se presentan **5 ensayos productivos en cultivos de cerezos, evidenciando beneficios agronómicos: mayor calibre y firmeza de fruta; aumento en calcio ligado, crecimiento vegetativo y reservas de arginina**. Estos resultados validan a los polifenoles como una herramienta eficaz, sostenible y natural para mitigar el estrés oxidativo y mejorar la productividad y resiliencia de los cultivos a largo plazo.

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Diversos factores bióticos y abióticos alteran en las plantas el equilibrio entre la generación y eliminación de **especies reactivas de oxígeno (ROS)**, lo que da lugar al **estrés oxidativo, provocando disfunción celular y apoptosis**^{1,2}. Para enfrentar este fenómeno, las plantas sintetizan **antioxidantes naturales**, como la enzima **superóxido dismutasa (SOD1)** - primer mecanismo de defensa frente al estrés oxidativo^{3,4} - y los **polifenoles**, compuestos con alta capacidad antioxidante^{5,6,7}. El siguiente estudio se propuso **evaluar si es posible disminuir el estrés oxidativo en plantas mediante la aplicación exógena de polifenoles**. Para ello se realizó un primer experimento en plantas de tomate estresadas con la aplicación de metil viológeno, para evaluar el efecto de los polifenoles en la expresión génica de las plantas y sobre su fotofisiología (I). En una segunda etapa se evaluó su efecto a nivel productivo con 5 ensayos en campos de cerezos en Chile (II).

Polifenoles – Respuesta génica y fotofisiológica

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron hojas de plantas de tomate var. Money Maker (*Solanum lycopersicum* L.) estresadas con metil viológeno (MV), bajo distintos tratamientos con aplicaciones de polifenoles, producto comercial *Botan Estrés* (BE).

En el diseño experimental se empleó un diseño completamente aleatorizado (DCA), correspondiente a una planta de tomate como unidad experimental y contando con 6 repeticiones por cada uno de los tratamientos descritos a continuación:

Tratamientos

T0 Testigo sin aplicación de polifenoles.

BE1 4 aplicaciones de BE a 3 cc/L cada 7 días, antes del estrés (MV).

BE2 3 aplicaciones de BE a 6 cc/L cada 7 días, antes del estrés (MV).

BE3 1 aplicación de BE a 6 cc/L cada 7 días, 24 horas después del estrés (MV).

Las muestras de tomate var. Money Maker fueron ingresadas al laboratorio, al día siguiente de la aplicación de metil viológeno, y 4 horas después de aplicado el tratamiento T3.

Expresión Génica

Se evaluó la expresión relativa de tres genes antioxidantes: SOD1 (*superóxido dismutasa*), GPx (*glutatión peroxidasa*) y GGP (*galactosa fosforilasa*). Se empleó la técnica de RT-qPCR, usando Tubulina como gen housekeeping.

Fotofisiología

Se cuantificó diariamente la variación de parámetros fotosintéticos de la planta: Eficiencia cuántica (Fv'/Fm'), flujo lineal de electrones (LEF), rendimiento cuántico (Phi2), PhiNPQ, PhiNO. Se empleó el equipo MultispeQ (MultispeQ V 2.0, PhotosynQ Inc.).

Análisis Estadístico

Se empleó el análisis estadístico ANOVA de dos vías y una prueba de comparaciones múltiples, Tukey HSD (p < 0,05), del programa computacional R Studio.

RESULTADOS

Expresión Génica

SOD1: En todos los tratamientos con BE la expresión del gen SOD fue entre 5 a 7 veces menor en comparación con T0, especialmente el día 1. Esto indica un menor nivel de estrés oxidativo en las plantas tratadas con polifenoles, ya que SOD es un marcador temprano que se activa para eliminar especies reactivas de oxígeno (ROS).

GPx: El día 2 se observa el efecto de BE al disminuir la expresión de la enzima en todos los tratamientos con BE. Esto era esperable por tratarse de una respuesta posterior a la SOD1.

GGP: En general los niveles fueron menores el día 2 en los tratamientos con BE, lo que apunta a una recuperación más rápida del estrés.

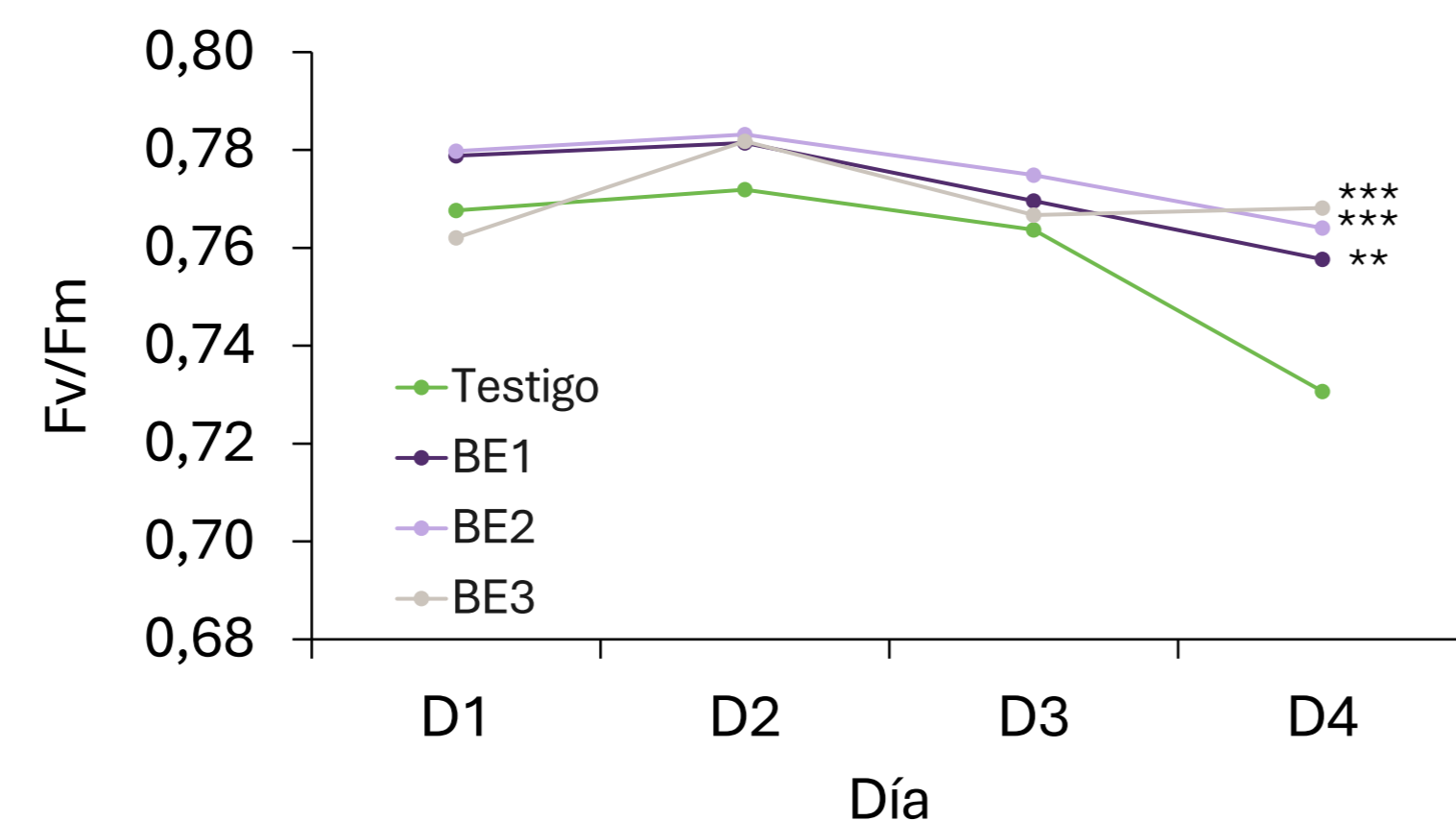
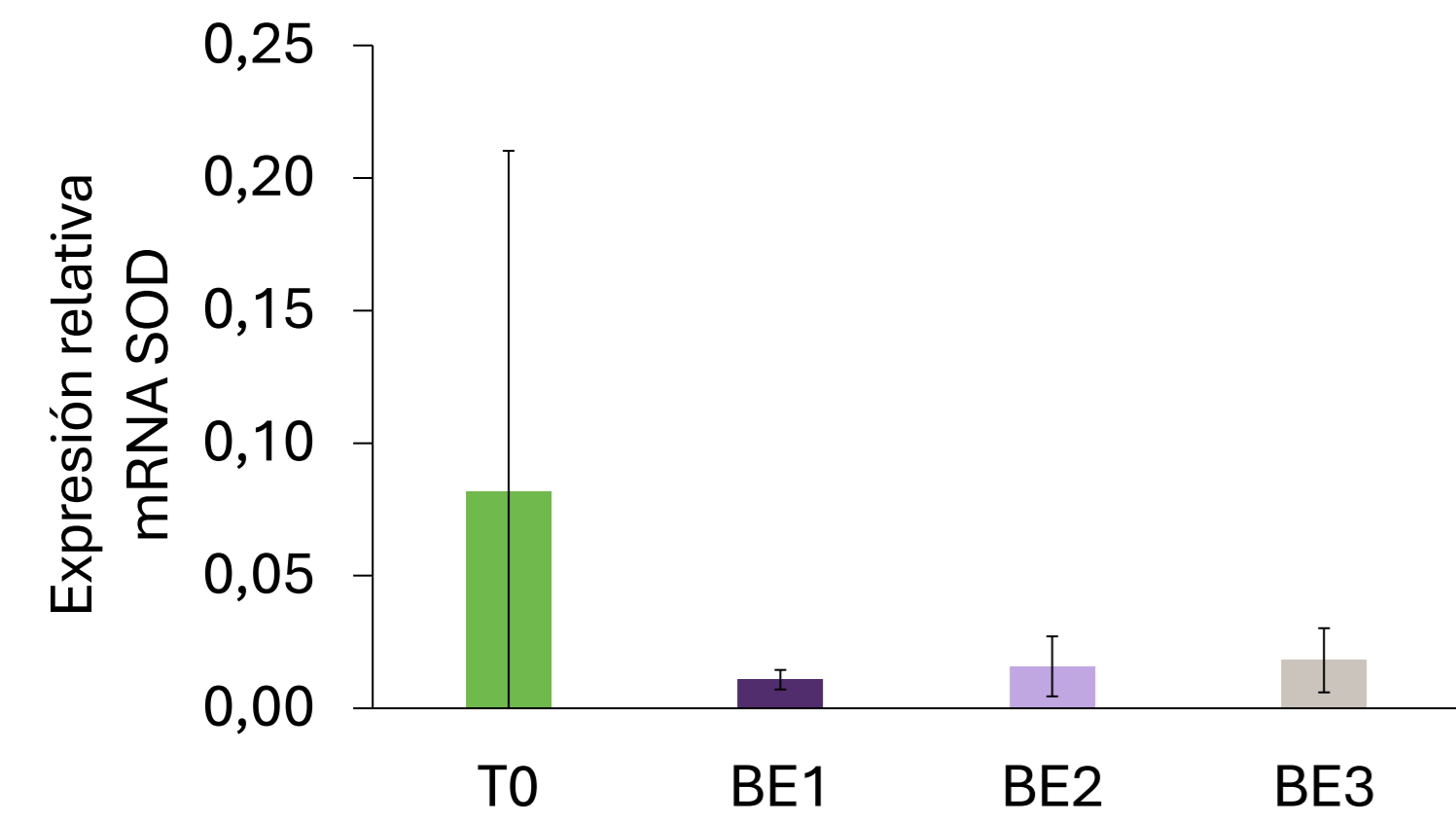
T3 mostró mejor respuesta global, con menor expresión de genes antioxidantes, lo que sugiere menor daño oxidativo.

Fotofisiología

Fv'/Fm': Mayor eficiencia cuántica en todos los tratamientos con BE, la que se hace estadísticamente significativa el día 4. Las respuestas fueron mayores a mayores dosis y más tardía en el caso de T3, como era de esperar.

Phi2: Mayor rendimiento cuántico con los tratamientos BE2 y BE3, con diferencia estadísticamente significativa.

PhiNPQ: T0 presenta valores superiores a los demás tratamientos, lo que se relaciona directamente con el exceso de energía potencialmente dañina para la planta, lo que cual sugiere un efecto protector de BE frente al estrés oxidativo.



Polifenoles – Efecto a nivel productivo

MATERIALES Y MÉTODOS

Se presentan 5 ensayos, en distintas localidades y temporadas, para la evaluación de la aplicación exógena de polifenoles, tanto foliar como vía fertirriego. Las aplicaciones de polifenoles se realizan sobre el programa de fertilización y fitosanitario regular del campo. Los tratamientos evaluados se presentan a continuación:

A. Cerezo cv. Regina/Gisela 6 - Agroinvest SpA – Osorno - R. de Los Lagos - 2020/21

T0 Testigo (manejo de campo).

T1 4 aplicaciones de 3 L/ha de *Botan Foliar* cada 10 días, iniciando en fruto cuajado.

B. Cerezo cv. Lapins/Colt - La Hornilla - Melipilla - R. Metropolitana - 2021/22

T0 Testigo (manejo de campo).

T1 4 aplicaciones de 3 L/ha de *Botan Foliar* cada 7 días, iniciando en caída de chaqueta.

C. Cerezo cv. Santana/Colt - Caducos - Agr. El Coigüe - R. O'Higgins - 2023/24

T0 Testigo (manejo de campo).

T1 4 aplicaciones de 3 L/ha de *Botan Foliar* cada 7 días, iniciando en caída de chaqueta.

T2 4 aplicaciones de 3 L/ha de *Botan Foliar* cada 7 días, iniciando en inicio de cuaja.

D. Cerezo cv. Royal Dawn - Verfrut - Las Cabras - R. O'Higgins - 2024/25

T0 Testigo (manejo de campo).

T1 4 aplicaciones de 3 L/ha de *Botan Foliar* cada 7 días, iniciando en color pajizo.

T2 1 aplicación vía riego de 6L/ha de *Botan Root*, en crecimiento de raíces de primavera.

E. Cerezo cv. Lapins/Colt - AVIUM - Agr. Geoagro - Teno - R. O'Higgins - 2024/25

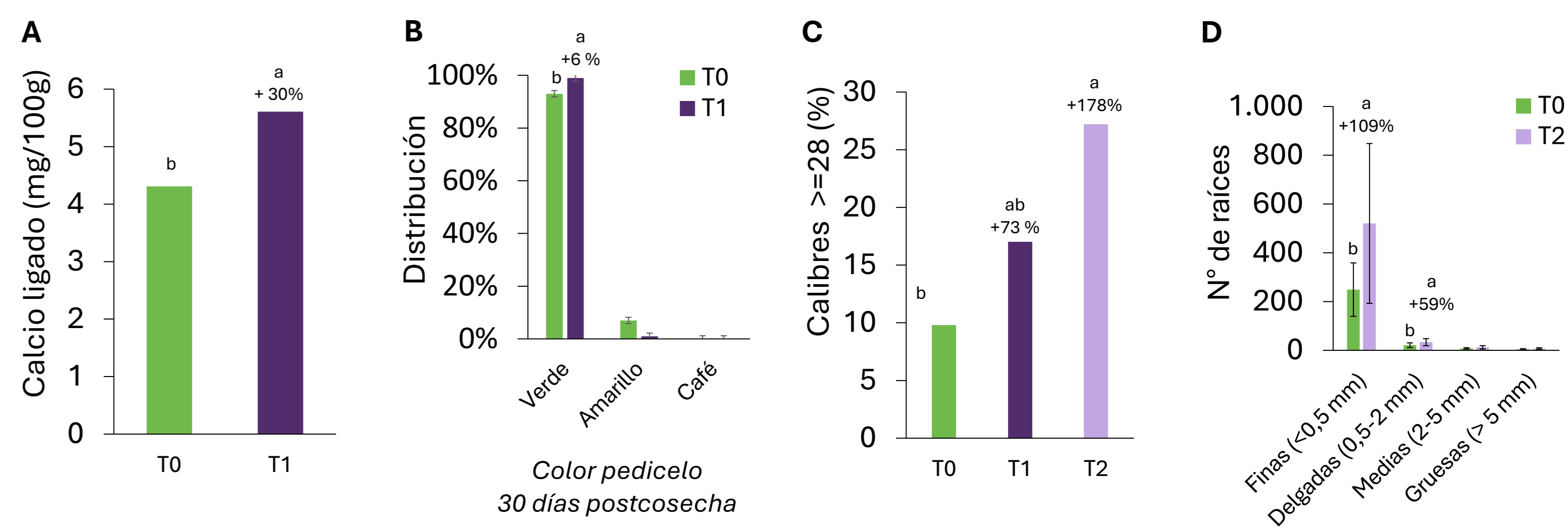
T0 Testigo (manejo de campo).

T1 4 aplicaciones de 3 cc/L de *Botan Foliar* cada 7 días, iniciando en plena flor.

T2 4 aplicaciones de 3 cc/L de *Botan Foliar* cada 7 días, iniciando en caída de chaqueta.

T3 4 aplicaciones de 3 cc/L de *Botan Estrés* cada 7 días, iniciando en color pajizo.

RESULTADOS



Dentro de los resultados en cerezo destacan los siguientes:

- Aumento de **calcio ligado en la fruta de 18% a 30%**, con diferencia estadística significativa (A y B).
- **Mejora de la firmeza** de los frutos en **postcosecha** (A).
- Incremento del **11% en las reservas de arginina en dardos** (A).
- Mejor calidad de pedicelo en postcosecha: **6% más de fruta con pedicelo verde después de 30 días de guarda**, con diferencia estadística respecto al testigo (B).
- **Aumento del largo de brote de hasta un 47%**, con diferencia estadística significativa (D).
- **178% más fruta de calibre >= 28 mm**, con diferencia estadística significativa (USD\$29.000/ha de aumento en ingresos) (C).
- Durante la última temporada, especialmente desafiante, se logró un aumento del **6% en el diámetro de fruto**, con diferencia estadística significativa, manteniendo su calidad (E).

CONCLUSIONES

Los ensayos realizados en tomate y cerezo demostraron que los polifenoles, especialmente a través de los productos **Botan Estrés (BE)**, **Botan Foliar (BF)** y **Botan Root (BR)**, mitigan eficazmente el estrés oxidativo en plantas y mejoran parámetros fisiológicos, productivos y de calidad de fruto. En tomate, **BE** redujo significativamente la expresión génica de las enzimas **SOD1**, **GPx** y **GGP**, y aumentó la eficiencia fotosintética. En cerezo, los resultados más destacados incluyen: **178% más fruta calibre >= 28 mm** con BF, lo que representa un incremento estimado de **USD\$29.000/ha**, **18 - 30% más calcio ligado** en la fruta, mayor **firmeza postcosecha**, **47% más longitud de brote**, **11% más arginina** en dardos y **6% más diámetro de fruto**, todos con diferencias estadísticamente significativas. Además, **Botan Root** duplicó la cantidad de raíces finas. Estos resultados respaldan el uso de polifenoles como estrategia efectiva para aumentar el rendimiento y la resiliencia del cerezo frente al estrés, con una proyección sostenible en escenarios agrícolas impactados por el cambio climático.

BIBLIOGRAFÍA

- Halliwell, B. (2006). Reactive species and antioxidants. Redox biology is a fundamental theme of aerobic life. *Plant Physiology* 141, 312-322.
- Rinalducci, S., Murgiano, L. y Zolla, L. (2008). Redox proteomics: basic principles and future perspectives for the detection of protein oxidation in plants. *Journal of Experimental Botany* 59, 3781-3801.
- Calderón Rodríguez, A., & Serpa Ibáñez, R. F. (2003). Efectos del paraquat sobre el crecimiento y la morfología de la microalga *dunaliella tertiolecta*. *Ecología Aplicada*, 2(1), 99-102.
- Carvajal Carvajal, C. (2019). Especies reactivas del oxígeno: formación, función y estrés oxidativo. *Medicina Legal de Costa Rica*, 36(1), 91-100.3.
- Sharma, A.; Shahzad, B.; Rehman, A.; Bhardwaj, R.; Landi, M. and Zheng, B. (2019) Response of Phenylpropanoid Pathway and the Role of Polyphenols in Plants under Abiotic Stress. *Molecules* 2019, 24, 2452.
- Naikoo, M.; Irfan Dar, M.; Raghav, F.; Jaleel, H.; Ahmad, B.; Raina, A.; Ahmad Khan, F.; and Naushin, F. (2019) Role and Regulation of Plants Phenolics in Abiotic Stress Tolerance: An Overview. *Plant Signaling Molecules*. Chapter 9.
- Šamec, D.; Karalija, E.; Šola, I.; Vujčić, B. and Salopek-Sondi, B. (2021). The Role of Polyphenols in Abiotic Stress Response: The Influence of Molecular Structure. *Plants* 2021, 10, 118.

AGRADECIMIENTOS



Asesoría en fruticultura | I + D

