

Benzoic acid improves nutritional quality in lentil sprouts

Alejandra Gaucin-Delgado¹
Selenne Y. Márquez-Guerrero²
Fernando de Jesús Carballo Méndez³
Alejandro Moreno-Reséndez⁴
Bernardo Espinosa-Palomeque⁵
Jazmín M. Gaucin-Delgado^{6,5}

1 Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico núm. 1555, Sur Periférico Gómez-Lerdo km 14.5, Lerdo, Durango, México. (ale.gaucin@gmail.com).

2 Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Torreón. Carretera Torreón-San Pedro km 7.5, Torreón, Coahuila, México. (selenne.mg@torreon.tecnm.mx).

3 Universidad Autónoma de Nuevo León-Facultad de Agronomía. Av. Francisco Villa s/n, exhacienda el Canadá, General Escobedo, Nuevo León, México. CP. 66450 (fcarballom@uanl.edu.mx).

4 Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna. Periférico Raúl López Sánchez s/n, Colonia Valle Verde, Torreón, Coahuila, México. CP. 27054. (alejamosa@hotmail.com).

5 Universidad Tecnológica de Escuinapa, Camino al Guasimal s/n, colonia Centro, Escuinapa de Hidalgo, Sinaloa, México. CP. 82400. (berna-palomeque@outlook.com).

6 Universidad Politécnica de Gómez Palacio. Carretera El Vergel-La Torreña km 0 820, El Vergel, Gómez Palacio, Durango, México.

Autor para correspondencia: jazmontse@hotmail.com

Abstract

Sprouts are foods that have been winning consumers for their pleasant freshness and are used to accompany various dishes, both at home and in a large number of restaurants around the world. In addition, they represent a food of high nutritional quality since they are a source of minerals, vitamins, and bioactive compounds. The use of elicitors can improve the nutritional quality of these foods. In this study, five concentrations (0, 10⁻², 10⁻³, 10⁻⁴, and 10⁻⁵ M) of benzoic acid were evaluated in lentil (*Lens culinaris* L.) sprouts. Biomass production, total soluble solids, total phenolic compounds, total flavonoids, and total antioxidant capacity were quantified. Elicitation with BA at low concentrations significantly improved the accumulation of DM and bioactive compounds; on the other hand, high concentrations significantly reduced these parameters. Elicitation with BA is a simple and efficient alternative to promote biomass production and induce the biosynthesis of bioactive compounds in lentil sprouts to obtain functional foods.

Palabras clave:

Lens culinaris L., elicitors, nutritional quality.

License (open-access): Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia Creative Commons

Introducción

Los elicitores son sustancias de diversas fuentes tanto inorgánicas como orgánicas, que al ser aplicados de manera exógena en las plantas se desencadenan diversas modificaciones fisiológicas y se estimulan mecanismos de defensa de la planta ante estrés biótico o abiótico (Salifu *et al.*, 2022). Los elicitores bióticos son todas aquellas sustancias generadas por organismos vivos, como proteínas, carbohidratos, bacterias, hongos y fitohormonas.

Por su parte, los elicitores abióticos son todos los estímulos físicos a los que son susceptibles las plantas, como la luz, la temperatura, señales eléctricas de larga distancia, ondas electromagnéticas, ondas de radiofrecuencia, percepción de estímulos mecánicos y emisiones acústicas, entre otros. Estas sustancias actúan como señalizadores de las plantas al inducir la producción de especies reactivas de oxígeno (ERO) que estimulan a la planta para la producción de mecanismos de defensa como hormonas, antioxidantes, enzimáticos y no enzimáticos, a fin de mitigar los efectos de las ERO (Da Silva *et al.*, 2023).

El ácido benzoico (C₇H₆O₂), es un ácido carboxílico aromático que tiene un grupo carboxilo unido a un anillo fenólico, se produce de manera natural en las plantas. Su aplicación exógena como elicitador produce un incremento en el contenido de compuestos bioactivos en las plantas y desempeña importantes funciones en la biosíntesis de compuestos fenilpropanoides, los cuales son precursores de una amplia gama de metabolitos primarios y secundarios como fenólicos y flavonoides (Tena *et al.*, 2021).

Estos funcionan como antioxidantes celulares e inhiben ERO (Marchiosi *et al.*, 2020) y previene la aparición de enfermedades degenerativas (Rai *et al.*, 2021; Koza *et al.*, 2022) ya que coadyuvan a mitigar el daño causado por el estrés oxidativo y la pérdida del sistema regulador antioxidante (Ahmed *et al.*, 2022; Monib *et al.*, 2023). Por otro lado, los germinados son una fuente de carbohidratos, fibra, vitaminas, nutrimentos esenciales y compuestos bioactivos, los cuales se han relacionado con la prevención y tratamiento de enfermedades (Lemmens *et al.*, 2019; Ebert *et al.*, 2022).

El proceso de germinación permite obtener granos con alta actividad biológica luego de la hidrólisis enzimática, posibilitando así la acumulación de compuestos bioactivos (Choque-Quispe *et al.*, 2020), lo que mejora la actividad antioxidante (Pathan *et al.*, 2022; Salifu *et al.*, 2022). Las lentejas germinadas tienen mejores propiedades nutricionales al de las semillas (Bautista-Expósito *et al.*, 2021; Rico *et al.*, 2022).

El contenido de vitaminas, minerales, oligoelementos y enzimas pueden multiplicarse exponencialmente durante la germinación (Galieni *et al.*, 2020). El consumo en fresco de germinados de lenteja aporta carbohidratos, fibra, vitaminas, nutrimentos y un alto contenido de compuestos fitoquímicos con efecto bioactivo como actividad antidiabética, antiinflamatoria, anticáncerígena, antihipertensiva y antioxidante (Hernández-Aguilar *et al.*, 2020; Miyahira *et al.*, 2021).

Dichas propiedades se deben a la acción de compuestos bioactivos, por lo que su incremento en germinados es una línea de investigación para la obtención de alimentos funcionales (Kumar *et al.*, 2022). Los germinados cuentan con gran aceptación en el mercado, especialmente las personas que no pueden consumir alimentos de origen animal (Waliat *et al.*, 2023). Suelen ser fáciles de digerir (Galanty *et al.*, 2022; Ponce de León *et al.*, 2022).

El empleo del AB durante el periodo de producción de germinados pudiera constituir una herramienta muy útil para potenciar la síntesis de compuestos bioactivos. En base a lo anterior el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la aplicación ácido benzoico en el contenido de compuestos bioactivos de compuestos en germinados de lenteja.



Materiales y métodos

Material vegetal y condiciones de germinación

La investigación fue realizada en un laboratorio de biotecnología alimentaria de la Universidad Politécnica de Gómez Palacio, ubicada en la ciudad de Gómez Palacio, Durango. Se utilizaron semillas de lenteja de la empresa Aires de Campo con un porcentaje de germinación mínimo de 97%. Las semillas fueron pesadas en una balanza analítica (Ohaus Adventurer[®]) en proporción a 5 g, estas se sometieron a un lavado mediante inmersión en agua potable la cual contenía hipoclorito de sodio (NaClO) a una concentración de (1 ml L⁻¹), a temperatura de (18 °C) durante 15 min para eliminar agentes nocivos que pudiera contener, las semillas fueron enjuagadas con agua potable dos veces para eliminar el exceso de NaClO; asimismo, se dejaron escurrir por dos minutos para minimizar el exceso de agua antes de la pregerminación, la cual consistió en la inmersión de la semilla en agua potable a 18 °C durante 6 h (Dziki *et al.*, 2015).

La etapa de germinación consistió en colocar las semillas pregerminadas en la parte basal en charolas de poliestireno (15 x 10 x 5 cm) espumado en papel germinador (Tlymopukt[®]), con perforaciones en la parte basal para permitir suficiente aireación y evitar proliferación de agentes nocivos; estas charolas se colocaron en oscuridad a temperatura ambiente (20 °C) durante de 6 h. Después de este tiempo, inició la etapa de crecimiento, la cual consistió en colocar las charolas en estantería con iluminación natural durante seis días.

Tratamientos diseño experimental

Se realizaron riegos con agua destilada en la etapa de germinación y crecimiento cada 3 h mediante aspersión con una dosis de 5 ml por aplicación. Los tratamientos fueron aplicados en el mismo riego y consistieron en la aplicación de C7H6O2 (Sigma-Aldrich, USA, al 99%) en las siguientes concentraciones; 0, 10-2, 10-3, 10-4 y 10-5 M. El diseño experimental utilizado fue un completamente al azar con nueve repeticiones por tratamiento.

VARIABLES EVALUADAS

Para la evaluación de los tratamientos, se midieron las siguientes variables porcentajes de materia seca (MS), sólidos solubles totales (SST), contenido de compuestos fenólicos totales (CFT), flavonoides totales (FT) y capacidad antioxidante total (CAT). La materia seca se determinó siguiendo la metodología a AOAC (1990). Para la determinación de los sólidos solubles totales (SST), se pesaron 2 g del germinado, se maceraron en un mortero con pistilo y se colocaron unas gotas del macerado en el prisma de un refractómetro manual (Atago Master 53M).

Obtención de extractos

Para la obtención de extractos se mezclaron 2 g de muestra fresca en 10 ml de etanol al 80% en tubos de vidrio con tapa de rosca, los cuales fueron colocados en agitador rotatorio (ATR Inc., EE. UU.) durante 24 h a 20 rpm a 5 °C. Los tubos fueron centrifugados luego a 3 000 rpm durante 5 min, el sobrenadante fue extraído para su posterior análisis.

Compuestos bioactivos

Compuestos fenólicos totales: el contenido fenólico total se determinó por el método de Folin-Ciocalteu (Sariñana-Navarrete *et al.*, 2021). Las muestras se cuantificaron en un espectrofotómetro ultravioleta UV-Vis a 760 nm (GENESYS 10S UV-Vis, Thermo Fisher Scientific, Inc., MA, EE. UU.). El patrón se preparó con ácido gálico. Los resultados se expresaron en mg GAE 100 g⁻¹ peso fresco (PF).

Flavonoides totales: los flavonoides totales se determinaron por colorimetría (Sariñana-Navarrete *et al.*, 2021). Las muestras se cuantificaron en un espectrofotómetro UV-Vis a 510 nm (GENESYS

10S UV-Vis, Thermo Fisher Scientific, Inc., MA, EE. UU.). El patrón se preparó con quercetina disuelta en etanol absoluto ($y = 0.0122x - 0.0067$; $r^2 = 0.965$). Los resultados se expresaron como $\text{mg QE } 100 \text{ g}^{-1} \text{ PF}$.

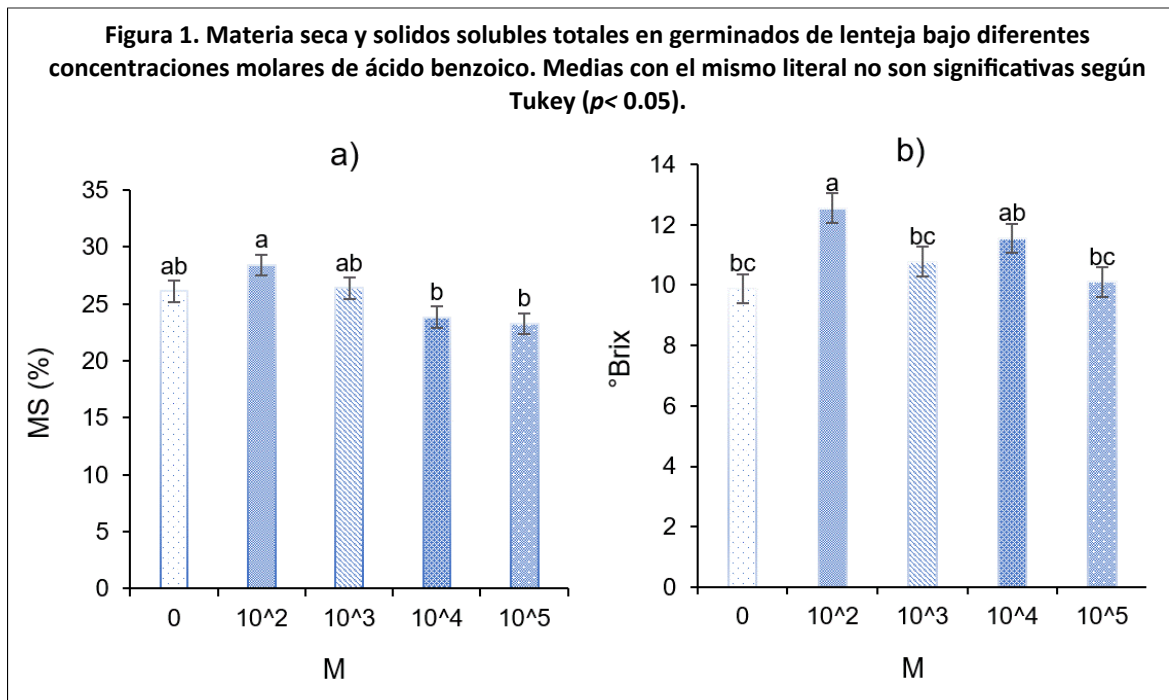
Capacidad antioxidante total: la capacidad antioxidante total se midió mediante el método *in vitro* DPPH+ (Brand-Williams *et al.*, 1995). Las muestras se cuantificaron en un espectrofotómetro UV-Vis a 517 nm (GENESYS 10S UV-Vis, Thermo Fisher Scientific, Inc., MA, EE. UU.). El estándar se preparó con Trolox (0.1-1 mM, $r^2 = 0.998$). Los resultados se expresaron como $\mu\text{M Trolox equivalente } 100 \text{ g}^{-1} \text{ PF}$.

Análisis estadístico

Para cumplir con los supuestos de normalidad y homogeneidad de las varianzas de los datos del porcentaje de materia seca estos se transformaron mediante arcoseno y posteriormente los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza de clasificación simple y comparación múltiple *post hoc* de medias mediante la prueba Tukey HSD a una probabilidad de 5%, con el software SAS v 9.0

Resultados y discusión

El uso del AB provocó diferencias significativas en el contenido de MS en los germinados de lenteja (Figura 1). La concentración de 10^{-2} M superó 8% al tratamiento control y la concentración de 10^{-5} M la disminuyó en 10%. Los resultados indican que la aplicación de AB en altas concentraciones provoca un decremento en la acumulación de materia seca en los germinados como respuesta al estrés, como lo reportaron (Salas-Pérez *et al.*, 2016).



Estos investigadores indican que dosis altas de elicitors causan un estrés ocasionando decremento en la división celular y en la síntesis de auxinas o citoquininas. Diversas investigaciones muestran el efecto del AB en altas concentraciones como el estudio de Valdez-Sepúlveda *et al.* (2015), reportan que el AB en altas dosis disminuyó la acumulación de biomasa fresca en *Solanum lycopersicum*. Prado *et al.* (2012), indican que la aplicación de AB disminuyó la acumulación de biomasa fresca en (*Lactuca sativa*).

Por lo que dicho efecto podría atribuirse a que el AB interactúa en la actividad metabólica de la semilla e inhibe ciertos procesos fisiológicos y translocación de metabolitos que interfieren en el crecimiento. Por otro lado, se ha reportado que en dosis bajas de elicitores como el AB induce la resistencia de las plantas contra los patógenos mediante la activación de señales que mejoran la producción de metabolitos secundarios (Marchiosi *et al.*, 2020) y participa en cascadas de señalización en el desarrollo que controla el proceso del crecimiento (Abdul *et al.*, 2020; Cherepanov y Zhuravleva, 2021).

Los SST en los germinados de lenteja mostraron diferencias entre las distintas concentraciones de AB utilizadas, los valores obtenidos fluctuaron entre 9 y 12 °Brix. La concentración de 10-2 M superó 27% al tratamiento control y la concentración de 10-5 M disminuyó 19% respecto a la concentración de 10-2 M. El cambio observado en los SST indica que el AB tiende a modificar el estado fisiológico de los germinados, debido a la translocación y acumulación de metabolitos en el tejido, pudiendo provocar una mayor concentración de almidón en glucosa (Salas *et al.*, 2018).

Lo anterior, es debido a que cuando el AB ejerce una red que involucra vías paralelas y que se cruzan distribuidas a través de múltiples compartimentos subcelulares permitiendo a los compuestos volátiles de benzoílo (derivado de BA), bencilo (derivado del alcohol bencílico) y antraniloílo (obtenido del ácido antranílico) funcionar como compuestos de aroma y sabor (Widhalm, 2015).

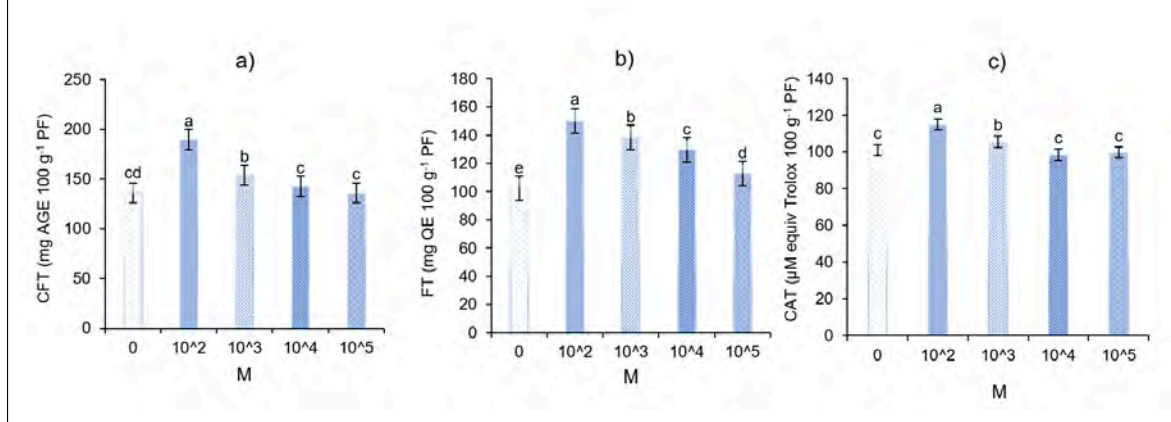
Por otro lado, se han obtenido diversos estudios que han demostrado que el uso de elicitores en bajas concentraciones causan un incremento en los SST, debido a que su uso causa una estimulación y acumulación de la síntesis de metabolitos (Luo *et al.*, 2020; Saravanakumar *et al.*, 2022). Esto se examinó en germinados de *Chenopodium quinoa* Willd, *Triticum* spp. (Salas-Pérez *et al.*, 2018), *Solanum nigrum* L. (Bano *et al.*, 2019), *Papaver rhoeas* L. (Senila *et al.*, 2020), *Cucumis sativus* L. (Cherepanov y Zhuravleva, 2021) y *Lens culinaris* L. (Debeski *et al.*, 2021).

Por el contrario, en dosis altas de AB se afecta el metabolismo del vegetal desequilibrando el flujo de electrones a través de la cadena de transporte de electrones, provocando la producción de radicales superóxido y oxígeno singulete (Benincasa *et al.*, 2019). Esto probablemente a la sobre exposición del elemento que emite estrés de alta intensidad, lo que provocó alteraciones del sistema fisiológico del germinado ya que, durante la imbibición de semillas, la generación controlada de ERO está involucrada en la percepción y transducción de las condiciones ambientales que controlan la germinación (Bailly, 2019).

Con relación a los compuestos bioactivos, se demostró que AB puede actuar como agente inductor de procesos metabólicos ya que pueden incrementar el contenido de compuestos bioactivos destacado en el desarrollo y efecto estimulante de la producción de metabolitos secundarios (Waqas *et al.*, 2019; Marchiosi *et al.*, 2020). Los resultados mostraron que el uso del AB causa diferencias en los compuestos fenólicos y flavonoides, así como, la capacidad antioxidante (Figura 2) en los germinados de lenteja.



Figura 2. Compuestos fenólicos totales, fenoles totales y capacidad antioxidante total en germinados de lenteja bajo diferentes concentraciones molares de ácido benzoico. Medias con el mismo literal no son significativas según Tukey ($p < 0.05$).



Las dosis bajas de AB, aumentaron 28 y 24% el contenido de los fenoles y flavonoides respecto al control, lo que corroboró el efecto positivo del AB sobre los germinados de lenteja. Dichos resultados pueden atribuirse a que las bajas concentraciones de AB inducen componentes metabólicos que realizan funciones críticas en las plantas (Widhalm *et al.*, 2015; Del Mondo, 2021). Alterando de forma significativa la composición bioquímica y la funcionalidad de brotes y semillas de leguminosas (Fouad *et al.*, 2015; Debeski *et al.*, 2021).

El contenido de compuestos fitoquímicos en las plantas depende de las condiciones de crecimiento estresantes (Ramírez-Estrada *et al.*, 2016; Gaikwad *et al.*, 2022; Kumar *et al.*, 2023). En los últimos años, se han publicado informes sobre los efectos de varios elicitores en la composición de los germinados (Benincasa *et al.*, 2019; Cherepanov y Zhuravleva, 2021).

Asimismo, se ha demostrado que remojar semillas en soluciones que contienen compuestos de ácidos orgánicos en bajas concentraciones aumenta el contenido de compuestos fenólicos en brotes de leguminosas (Dębski *et al.*, 2021) y de compuestos fenilpropanoides en germinados de *Triticum* (Salas-Pérez *et al.*, 2018). La utilización del AB durante la germinación de las semillas es una alternativa para incrementar la actividad de las enzimas antioxidantes y el contenido de compuestos fenólicos y por ende los flavonoides (Valdez-Sepúlveda *et al.*, 2015; Sachdev *et al.*, 2021).

El AB puede conducir a la síntesis de H₂O₂ (Wildermuth *et al.*, 2006; Godoy *et al.*, 2021; Dias *et al.*, 2021), incrementando también la síntesis de enzimas de defensa de las plantas, como son los polifenoles, flavonoides y fitoalexinas (Sharma *et al.*, 2019; Liu *et al.*, 2021) mejorando las respuestas de defensa ante el estrés biótico y abiótico (Nabavi *et al.*, 2020; Aloo, *et al.*, 2021).

El uso de elicitores puede ser una alternativa viable para mejorar la calidad nutricional de los germinados (Ramírez-Estrada *et al.*, 2016; Benincasa *et al.*, 2019); sin embargo, es difícil precisar los efectos del AB en el contenido de los compuestos bioactivos de los germinados ya que depende de las condiciones de crecimiento estresantes, la especie vegetal, las etapas de crecimiento, la dosis y a la exposición de estos (Kapoor *et al.*, 2020).

Con relación a la capacidad antioxidante, las diferentes concentraciones de AB provocaron diferencia significativa en los germinados de lenteja, se obtuvieron valores comprendidos entre 98 y 115 µM equiv Trolox 100 g⁻¹ PF (Figura 2c). La mayor capacidad antioxidante se presentó en los germinados de *Triticum* con concentración de 10⁻² M, mientras que las concentraciones altas y el tratamiento control presentaron la menor actividad antioxidante.

Las concentraciones altas de AB resta la capacidad antioxidante de los germinados de lenteja. Altas dosis de AB pueden causar estrés oxidativo y disminuir la biosíntesis de antioxidantes (Deng *et al.*, 2017),

debido a la alta producción de especies ERO a través de la vía del shiquimato/corismato y de la fenilalanina Phe (Valdez-Sepúlveda *et al.*, 2015).

Lo anterior explica los motivos por los que el AB modifica el crecimiento, la tolerancia al estrés, la anatomía y morfología de especies vegetales (Yoo, *et al.*, 2013), ya que los elicitores en altas concentraciones generan una ruptura de la función celular normal, además de daño fisiológico y morfológico en diferentes macromoléculas, causando daños irreversibles de lípidos, ácidos nucleicos y proteínas celulares (Marchiosi *et al.*, 2020; Aguirre-Becerra *et al.*, 2021).

Conclusiones

La aplicación de ácido benzoico mejora la calidad nutrimental de los germinados de lenteja. Concentraciones bajas de ácido benzoico incrementa de manera significativa la producción de biomasa, sólidos solubles totales, así como los compuestos bioactivos; en cambio, concentraciones altas causan un efecto negativo.

La aplicación de ácido benzoico en bajas concentraciones induce el metabolismo secundario en la etapa germinativa y es eficaz para estimular la biosíntesis de compuestos bioactivos, ampliando así las posibilidades del uso de alimentos funcionales como una alternativa para incrementar la calidad nutritiva en el germinado de lenteja.

Bibliography

- 1 Abdul, N. A.; Kumar, I. S. and Nadarajah, K. 2020. Eliciting and receptor molecules: orchestrators of plant defense and immunity. *Inter. J. Mol. Sci.* 21(3):963-972.
- 2 Aguirre-Becerra, H.; Vázquez-Hernández, M. C.; Sáenz, O. D.; Alvarado-Mariana, A.; Guevara-González, R. G.; García-Trejo, J. F. and Feregrino-Pérez, A. A. 2021. Role of stress and defense in the production of secondary metabolites in plants. *Bioactive natural products for pharmaceutical applications.* 10(1):151-195.
- 3 Ahmed, O. S.; Tardif, C. C.; Rouger, V. C.; Atanasova, V.; Richard, O. F. and Waffo- Téguo, P. 2022. Natural phenolic compounds as promising antimycotoxin agents: where are we now? *Comprehensive reviews in food science and food safety.* 21(2):1161-1197.
- 4 Aloo, S. O.; Ofosu, F. K. and Oh, D. H. 2021. Elicitation: a new perspective on plant chemodiversity and functional property. *Critical reviews in food science and nutrition.* 13(2):1-19.
- 5 Bailly, C. 2019. The signaling role of ROS in the regulation of seed germination and dormancy. *Biochemical journal.* 476(20):3019-3032.
- 6 Bano, Y.; Ahmad, S. and Alam, S. P. 2019. Study of the germination behavior of seeds of *Solanum nigrum* L. *The journal of indian botanical society.* 98(2):85-88.
- 7 Bautista-Exposito, S.; Vandenberg, A. N.; Peñas, E. P.; Frias, J. A. and Martínez-Villaluenga, C. 2021. Lentils and broad beans with contrasting sprouting kinetics: a focus on protein digestion and bioactivity of resistant peptides. *Frontiers in Plant Science.* 12(10):754287-754293.
- 8 Benincasa, P. V.; Falcinelli, B. N.; Lutts, S. A.; Stagnari, F. A. and Galieni, A. J. 2019. Sprouted grains: a comprehensive review. *Nutrients.* 11(10):421-435.
- 9 Brand-Williams, W.; Cuvelier, M. E. and Berset, C. C. L. W. T. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-food Sci. Technol.* 28(2):25-30.
- 10 Cherepanov, I. S. and Zhuravleva, A. A. 2021. Formation of primary metabolites and chlorophyll in *Cucumis sativus* L. plants under the influence of the conjugate of l rhamnose with m aminobenzoic acid. *Izvestiya Vuzov. Applied Chem.Biotechnol.* 11(1):90-98.
- 11 Choque-Quispe, D.; Ligarda-Samanez, C. A.; Ramos-Pacheco, B. S.; Leguía-Damiano, S.; Calla-Florez, M.; Zamalloa-Puma, L. M. and Colque-Condeña, L. 2022. Phenolic

- compounds, antioxidant capacity and protein content of three varieties of sprouted quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). Eng. Res. 41(2):1234-1245.
- 12 da Silva-Martins, J. V. Florêncio da Silva, H.; Oliveira-Sousa, V. F.; da Silva, T. I.; Jardelino-Dias. T.; Souto-Ribeiro, W. and do Nascimento, L. C. 2023. The elicitors increase gas exchanges and induce the antioxidant system of *Zea mays*. Emirates J. Food Agric. 33(11):13-24
 - 13 D#bski, H. A.; Czkowski, W. L. and Horbowicz, M. G. 2021. Effect of elicitation with iron chelate and sodium metasilicate on phenolic compounds in legume sprouts. Molecules. 26(5):1345-1354.
 - 14 Del Mondo, A.; Smerilli, A.; Ambrosino, L.; Albini, A.; Noonan, D. M.; Sansone, C.; and Brunet, C. 2021. Insights into phenolic compounds from microalgae: structural variety and complex beneficial activities from health to nutraceuticals. Critical Reviews in Biotechnology. 41(2):155-171.
 - 15 Deng, Y. and Lu, S. 2017. Biosynthesis and regulation of phenylpropanoids in plants. Critical reviews in plant sciences. 36(1):257-290.
 - 16 Dias, M. C.; Pinto, D. C. and Silva, A. M. 2021. Plant flavonoids: chemical characteristics and biological activity. Molecules . 26(17):5377-5382.
 - 17 Dżiki, D.; Gawlik-Dżiki, U.; Kordowska-Wiater, M. and Doma#-Pytka, M. 2015. Influence of elicitation and germination conditions on the biological activity of wheat sprouts. Journal of Chemistry. 11(1):2634-2645.
 - 18 Ebert, A. W. 2022. Sprouts and microgreens: new food sources for healthy diets. Plants. 11(4):571-583.
 - 19 Fouad, A. A.; and Rehab, F. M. 2015. Effect of germination time on proximal analysis, bioactive compounds, and antioxidant activity of lentil sprouts (*Lens culinaris* Medik.). Acta Scientiarum Polonorum Food Technology. 14(2):233-246.
 - 20 Gaikwad, D. J.; Ubale, N. B.; Pal, A.; Singh, S.; Ali, M. A, and Maitra, S. 2022. Abiotic stress impacts on major cereals and adaptation options: a review. Crop Research. 23(4):896-915.
 - 21 Galanty, A.; Zagrodzki, P.; Miret, M. and Pa#ko, P. 2022. Chickpea and lupine sprouts, stimulated by different LED lights, as new examples of functional foods rich in isoflavones and their impact on mammary and prostate cells. Molecules . 27(24):9030-9042.
 - 22 Galieni, A.; Falcinelli, B.; Stagnari, F.; Datti, A. and Benincasa, P. 2020. Sprouts and microgreens: trends, opportunities, and horizons for novel research. Agronomy. 10(9):1424-1434.
 - 23 Godoy, F.; Olivos-Hernández, K.; Stange, C. and Handford, M. 2021. Abiotic stress in cultivated species: improvement of tolerance through the application of plant metabolites. Plants . 10(2):186-198.
 - 24 Hernández-Aguilar, C.; Domínguez-Pacheco, A.; Palma-Tenango, M.; Valderrama-Bravo, C.; Soto-Hernández, M.; Cruz-Orea, A. and Ordoñez-Miranda, J. 2020. Lentil sprouts: a nutraceutical alternative for the elaboration of bread. J. Food Sci. Technol. 57(5):1817-1829.
 - 25 Kapoor, D.; Bhardwaj, S.; Landi, M.; Sharma, A.; Ramakrishnan, M. and Sharma, A. 2020. The impact of drought in plant metabolism: how to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. Applied Sciences. 10(7):5692-5703.
 - 26 Koza, N. A.; Adedayo, A. A.; Babalola, O. O. and Kappo, A. P. 2022. Microorganisms in plant growth and development: roles in abiotic stress tolerance and secretion of secondary metabolites. Microorganisms. 10(8):1528-1539.

- 27 Kumar, S. W.; Korra, T. K.; Thakur, R. A.; Arutselvan, R. J.; Kashyap, A. S. Nehela, Y. L. and Keswani, C. G. 2023. Role of plant secondary metabolites in transcriptional and defense regulation in response to biotic stress. *Plant Stress*. 14 (3):100-154.
- 28 Kumar, Y. A.; Basu, S. L.; Goswami, D. M.; Devi, M. A.; Shivhare, U. S. A. and Vishwakarma, R. K. 2022. Antinutritional compounds in legumes: implications and relief methods. *Legume Science*. 4(2):111-123.
- 29 Lemmens, E.; Moroni, A. V.; Pagand, J.; Heirbaut, P.; Ritala, A.; Karlen, Y.; Lê, A. K.; Van den Broeck, H. C.; Brouns, F. J. P.; Brier, D. N. and Delcour, J. A. 2019. Impact of cereal seed germination on their nutritional and technological properties: a critical review. *Comprehensive reviews in food science and food safety* . 18(1):305-328.
- 30 Liu, W.; Feng, Y.; Yu, S.; Fan, Z.; Li, X.; Li, J. and Yin, H. 2021. The flavonoid biosynthesis network in plants. *Inter. J. Mol. Sci*. 22(23):12824-12837.
- 31 Luo, Z. W. and Lee, S. Y. 2020. Metabolic engineering of *Escherichia coli* for the production of benzoic acid from glucose. *Metabolic Engineering*. 62(2):298-311.
- 32 Marchiosi, R.; Santos, W. D.; Constantin, R. P.; Lima, R. B.; Soares, A. R.; Finger-Teixeira, A.; Mota, T. R.; Oliveira, D. M.; Foletto-Felipe, M. P. and Abrahão, J. B. 2020. Biosynthesis and metabolic actions of simple phenolic acids in plants. *Phytochemistry Reviews*. 19(6):865-906.
- 33 Miyahira, R. F.; Lopes, J. D. O. and Antunes, A. E. C. 2021. The use of sprouts to improve the nutritional value of food products: a brief review. *Plant Foods for Human Nutrition*. 76(2):143-152.
- 34 Monib, A. W.; Alimyar, O. I.; Mohammad, M. U.; Akhundzada, M. S. and Niazi, P. K. 2023. Macronutrients for plant growth and human health. *Research Journal in Applied Sciences and Biotechnology* . 2(2):268-279.
- 35 Nabavi, S. M.; Šamec, D.; Tomczyk, M.; Milella, L.; Russo, D.; Habtemariam, S. and Shirooie, S. 2020. Biosynthetic pathways of flavonoids in plants: versatile targets for metabolic engineering. *Biotechnological Advances*. 38(9):107316-107329.
- 36 Pathan, S. and Siddiqui, R. A. 2022. Nutritional composition and bioactive components in quinoa vegetables (*Chenopodium quinoa* Willd.): a review. *Nutrients* . 14(3):558-570.
- 37 Ponce-León, L. C.; Torija-Isasa, E.; Matallana-Gonzales, M. y Cruz-Pintado, C. 2022. Interés de los germinados y su Seguridad Alimentaria. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*. 8(6):62-73.
- 38 Prado, W. E.; Fonseca, A. Á.; Batista, E. L.; Larramendí, L. R.; Gómez, G. G. and González, R. P. 2012. Efecto de los ácidos salicílico y benzoico en la lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Centro Agrícola*. 39(4):85-89.
- 39 Rai, S. N.; Tiwari, N.; Singh, P.; Mishra, D.; Singh, A. K.; Hooshmandi, E. and Singh, M. P. 2021. Therapeutic potential of transcription factors vital in Alzheimer's and Parkinson's disease, with special emphasis on autophagy mediated by the EB transcription factor. *Frontiers in Neuroscience*. 15(4):777347-777358.
- 40 Ramírez-Estrada, K.; Vidal-Limón, H.; Hidalgo, D.; Moyano, E.; Goleniosowki, M.; Cusidó, R. M. and Palazon, J. 2016. Elicitation, an effective strategy for the biotechnological production of bioactive high-added value compounds in plant cell factories. *Molecules* . 21(6):182-196.
- 41 Rico, D.; Peñas, E.; Carmen, G. M.; Rai, D.K.; Martínez-Villaluenga, C.; Frias, J. and Martín-Diana, A. B. 2022. Development of antioxidant and nutritious lentil (*Lens culinaris*) flour using controlled optimized germination as a bioprocess. *Foods*. 10(12):2924-2937.
- 42 Sachdev, S. J.; Ansari, S. A.; Ansari, M. I.; Fujita, M. L. y Hasanuzzaman, M. G. 2021. Estrés abiótico y especies reactivas de oxígeno: mecanismos de generación, señalización y defensa. *Antioxidantes*. 10(2):277-285.

- 43 Salas-Pérez, L.; Gaucín-Delgado, J. M.; Preciado-Rangel, P.; Fortis-Hernández, M.; Valenzuela-García, J. R. y Ayala-Garay, A. V. 2016. Efecto del ácido benzoico en la capacidad antioxidante de germinados de trigo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7(17):3397-3404.
- 44 Salas-Pérez, L.; Gaucín-Delgado, J. M.; Preciado-Rangel, P.; Gonzáles-Fuentes, J. A.; Ayala-Garay, A. V. y Segura-Castruita, M. Á. 2018. La aplicación de ácido cítrico incrementa la calidad y capacidad antioxidante de germinados de lenteja. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* . 9(20):4301-4309.
- 45 Salifu, R.; Chen, C.; Sam, F. E. and Jiang, Y. 2022. Aplicación de elicitors en grapevine defense: impacto en compuestos volátiles. *Horticulturae*. 8(5):451-468.
- 46 Saravanakumar, K. A.; Sathiyaseelan, A. I.; Mariadoss, A. V. A. and Wang, M. H. 2022. Trichoderma elicitor proteins for biocontrol products. *advances in trichoderma biology for agricultural applications*. 10(1):227-242.
- 47 Sariñana-Navarrete, M. A.; Hernández-Montiel, L. G.; Sánchez-Chávez, E.; Reyes-Pérez, J. J.; Murillo-Amador, B.; Reyes-González, A. and Preciado-Rangel, P. 2021. Foliar fertilization of sodium selenite and its effects on yield and nutraceutical quality in grapevine. *Journal of the Faculty of Agronomy of the University of Zululand* . 38(4):806-824.
- 48 Senila, L.; Neag, E.; Cadar, O.; Kovacs, M. H.; Becze, A. and Senila, M. 2020. Chemical, nutritional and antioxidant characteristics of different food seeds. *Applied Sciences* . 10(1):1589-1590.
- 49 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* . 24(12):2452-2468.
- 50 Tena, C.; Santiago, A. D. R.; Osuna, D. and Sosa, T. 2021. Phytotoxic activity of p-Cresol, 2-Phenylethanol and 3-Phenyl-1-Propanol, phenolic compounds present in *Cistus ladanifer* L. *Plants* . 10(5):136-1145.
- 51 Valdez-Sepúlveda, L.; González-Morales, S.; Valdez-Aguilar, L. A.; Ramírez-Godina, F. y Benavides-Mendoza, A. 2015. Efecto de la aplicación exógena de ácido benzoico y salicílico en el crecimiento de plántulas de tomate, tomatillo y pimiento. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* . 6(1):2331-2343.
- 52 Waliat, S.; Arshad, M. S.; Hanif, H.; Ejaz, A.; Khalid, W.; Kauser, S. and Al-Farga, A. 2023. A review on bioactive compounds in germinates extraction techniques, food application and functionality for health. *International journal of food properties*. 26(1):647-665.
- 53 Waqas, M. A.; Kaya, C.; Riaz, A.; Farooq, M.; Nawaz, I.; Wilkes, A. and Li, Y. 2019. Potential mechanisms of abiotic stress tolerance in crop plants induced by thiourea. *Frontiers in Plant Science* . 10(2):1336-1342.
- 54 Widhalm, J. R. and Dudareva, N. 2015. A familiar ring to it: biosynthesis of plant benzoic acids. *Molecular Plant*. 8(1):83-97.
- 55 Wildermuth, M. C. 2006. Variations on a theme: synthesis and modification of plant benzoic acids. *Current Opinion in Plant Biology*. 9(14):288-296.
- 56 Yoo, H.; Widhalm, J. R.; Qian, Y.; Maeda, H.; Cooper, B. R.; Jannasch, A. S.; Gonda, I.; Lewinsohn, E.; Rhodes, D. and Dudareva, N. 2013. An alternative pathway contributes to phenylalanine biosynthesis in plants via a cytosolic tyrosine: phenylpyruvate aminotransferase. *Nature Communication*. 4(1):1-11.



Benzoic acid improves nutritional quality in lentil sprouts

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 January 2024
Date accepted: 01 March 2024
Publication date: 19 March 2024
Publication date: March 2024
Volume: 15
Issue: 2
Electronic Location Identifier: e3638
DOI: 10.29312/remexca.v15i2.3638

Categories

Subject: Articles

Keywords:

Keywords:

Lens culinaris L.
elicitors
nutritional quality.

Counts

Figures: 2

Tables: 0

Equations: 0

References: 56

Pages: 0