

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**RESPUESTA EN EL CRECIMIENTO Y CONTENIDO DE COMPUESTOS  
BIOACTIVOS EN BROTES DE REPOLLO (*BRASSICA OLERACEA* L. VAR.  
CAPITATA) A DISTINTOS ELICITORES**

**POR**

**VALENTINA CARLA TORRES FERNÁNDEZ**

**MEMORIA PRESENTADA A LA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA  
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÓNOMO.**

**CONCEPCIÓN – CHILE**  
**2024**

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**RESPUESTA EN EL CRECIMIENTO Y CONTENIDO DE COMPUESTOS  
BIOACTIVOS EN BROTES DE REPOLLO (*BRASSICA OLERACEA* L. VAR.  
CAPITATA) A DISTINTOS ELICITORES**

**POR**

**VALENTINA CARLA TORRES FERNÁNDEZ**

**MEMORIA PRESENTADA A LA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA  
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÓNOMO.**

**CONCEPCIÓN – CHILE  
2024**

Aprobada por:

Profesor Asociado, María Dolores López B.  
Licenciada en Química, Dr.

---

Guía

Profesor Asociado, Antonio Pinto R.  
Ing. Agrónomo, Mg, Ph. D

---

Asesor

Profesor Asistente, Nelson Zapata S.  
Ing. Agrónomo, Dr.

---

Asesor

Profesor Asociado, Guillermo Wells M.  
Ing. Agrónomo, Mg. Cs.

---

Decano

**TABLA DE CONTENIDOS**

	<b>Página</b>
Resumen.....	1
Summary.....	1
Introducción.....	2
Materiales y métodos.....	5
Resultados y discusión.....	9
Conclusiones.....	19
Referencias.....	20

## ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

	<b>Página</b>
Figura 1 Distribución correspondiente de los distintos tratamientos en brotes de repollo mediante aplicación de elicitores.....	6
Figura 2 Crecimiento de los brotes de repollo como respuesta a los diferentes tratamientos de elicitación, peso fresco .....	10
Figura 3 Contenido de polifenoles totales en brotes de repollo ante la aplicación exógena de distintos tratamientos de elicitores.....	14
Figura 4 Ensayos de capacidad antioxidante, DPPH y ORAC ( $\mu\text{mol Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$ ), en brotes de repollo verde.....	16
Figura 5 Matriz de correlación entre las diferentes variables estudiadas con tratamientos de elicitores para brotes de repollo .....	18
Figura 6 Análisis de componentes principales (PCA) de las diferentes variables de brotes de repollo.....	19
Tabla 1 Contenido de glucosinolatos ( $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ de peso seco) totales e individuales en brotes de repollo después de diferentes tratamientos con elicitores .....	12
Tabla 2 Contenido de antocianinas ( $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ ) en brotes de repollo después de la aplicación de diferentes tratamientos con elicitores .....	15

## RESPUESTA EN EL CRECIMIENTO Y CONTENIDO DE COMPUESTOS BIOACTIVOS EN BROTES DE REPOLLO (*BRASSICA OLERACEA* L. VAR. *CAPITATA*) A DISTINTOS ELICITORES

RESPONSE ON GROWTH AND BIOACTIVE COMPOUND CONTENT IN CABBAGE (*BRASSICA OLERACEA* L. VAR. *CAPITATA*) SPROUTS TO DIFFERENT ELICITORS

**Palabras índice adicionales:** alimentación saludable, glucosinolatos, fitoquímicos, antioxidantes.

### RESUMEN

El género *Brassica* se caracteriza por contener fitoquímicos importantes con propiedades beneficiosas para la salud, como los glucosinolatos y compuestos fenólicos. Dado que sus concentraciones en las plantas son muy bajas, es relevante fortalecer su contenido con estrategias como la elicitación. Los brotes se han popularizado por tener mayor cantidad de compuestos bioactivos que las plantas maduras. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el contenido de compuestos bioactivos, así como su actividad antioxidante, en brotes de 10 días de repollo (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) después de la aplicación de elicitores como el quitosano, metil jasmonato, agua electrolizada y ácido salicílico, comparados con un tratamiento control con agua destilada. Los resultados obtenidos revelaron un aumento significativo en el contenido de glucosinolatos, especialmente de gluconastutiina después de la aplicación exógena de agua electrolizada (4 veces más que el tratamiento control). Por otro lado, la aplicación de quitosano resultó en una mayor capacidad antioxidante (32% más que el control). Estos resultados respaldan la eficacia de la elicitación como una estrategia prometedora para mejorar el valor nutricional de los brotes de repollo, al incrementar tanto el contenido de compuestos bioactivos como su actividad antioxidante.

### SUMMARY

The Brassica genus is characterized by containing important phytochemicals with beneficial properties for health, such as glucosinolates and phenolic compounds. Due to their concentrations in plants are very low, it is relevant to strengthen their content with strategies such as elicitation. Sprouts have become popular for having higher amounts of bioactive compounds than mature plants. Therefore, the objective of this study was to evaluate the content of bioactive compounds, as well as their antioxidant activity, in 10-day-old sprouts of cabbage (*Brassica oleracea* L. var. capitata) after the application of elicitors such as chitosan, methyl jasmonate, electrolyzed water, and salicylic acid, compared with a control treatment with distilled water. The results obtained revealed a significant increase in the content of glucosinolates, especially gluconastutiin after the exogenous application of electrolyzed water (4 times more than the control treatment). On the other hand, the application of chitosan resulted in a higher antioxidant capacity (32% more than the control). These results support the efficacy of elicitation as a promising strategy to improve the nutritional value of cabbage sprouts by increasing both the content of bioactive compounds and their antioxidant activity.

## **INTRODUCCIÓN**

Una alimentación adecuada constituye uno de los factores fundamentales para prevenir la aparición de diversas enfermedades que impactan la salud humana. En este sentido, la producción de alimentos saludables que contengan vitaminas, fibras, minerales y otros componentes beneficiosos, como los fitoquímicos, adquiere una relevancia crucial. Específicamente, los fitoquímicos ejercen efectos significativos en la salud humana al desempeñar una función nutracéutica en la dieta (Martínez-Sanguinetti *et al.*, 2019; Baenas *et al.*, 2014).

Los fitoquímicos son parte del metabolismo secundario sintetizado en las plantas. Estos comprenden una amplia variedad de compuestos importantes, tales como los compuestos bioactivos (glucosinolatos, compuestos fenólicos, etc.), que desempeñan un rol importante en la respuesta de defensa, siendo capaces de protegerlas de condiciones adversas, plagas y patógenos. Dado que se encuentran en bajas concentraciones en las plantas, una de las herramientas prometedoras que

permiten aumentar su concentración es la elicitación, un proceso que involucra sustancias naturales llamadas elicitores, los cuales provocan transformaciones fisiológicas en las plantas y actúan como agentes estresores que permite que se activen y desencadenen una serie de respuestas de defensas y adaptabilidad mediante la producción de metabolitos secundarios (Caicedo-Lopez, 2021).

Existen diversos tipos de elicitores los cuales se pueden clasificar en bióticos y abióticos. Los primeros, son sustancias de origen biológico, que pueden ser de tipo endógenos y exógenos, que abarcan polisacáridos como quitosano, pectina y celulosa (Naik y Al-Khayri, 2016). El quitosano, es un elicitor exógeno derivado de la quitina, que permite la inmunidad de las plantas ante ciertas enfermedades. Ciertos estudios han demostrado que el quitosano promueve el crecimiento y la fotosíntesis en plantas de trigo. Por otro lado, se ha evidenciado que mejora la síntesis de metabolitos secundarios beneficiosos en el cultivo de soja (Kecheng *et al.*, 2020). También, tratamientos con quitosano han logrado el aumento del peso total, la tasa de germinación y el contenido de isoflavonas en brotes de girasol (Baenas *et al.*, 2014).

Dentro de la clasificación abiótica se encuentran elicitores derivados de hormonas vegetales, tales como el ácido salicílico (AS) y metil jasmonato (MeJA), que cumplen un rol importante en la mejora de la actividad biológica. El AS es un regulador de crecimiento en las plantas. Estudios han demostrado que aumenta el contenido de fenoles totales en plantas de maíz (Tucuch-Haas *et al.*, 2017). También, ha mostrado un efecto en el incremento de longitud de la raíz, peso fresco y seco de vástago de plántulas de tomate (Larqué-Saavedra *et al.*, 2010), así como un aumento de la calidad nutracéutica en frutos de tomates, tales como fenoles, flavonoides y capacidad antioxidante (Diaz *et al.*, 2016). Además, Tucuch Haas *et al.* (2015), estudió el efecto del AS en plántulas de trigo, demostrando un aumento en el peso fresco de la raíz, la altura de la planta y la biomasa fresca total.

El MeJA, participa en procesos de transducción de señales que regulan las respuestas de defensa en las plantas. Según estudios, promueven la acumulación de antocianinas en cultivos celulares de *Vitis vinifera* (Baenas *et al.*, 2014). En frutos de frutilla, se indujo el incremento de la capacidad antioxidante, contenido fenólico

y antocianinas (Moreno *et al.*, 2010). En el cultivo de raps, al ser tratado con este elicitor bajo estrés salino, mitigó el efecto inhibitor de la salinidad, permitiendo que las plantas aumentaran su tasa de fotosíntesis, contenido de agua y azúcares solubles (Ahmadi *et al.*, 2018). Además, la pulverización exógena de MeJA en brotes de brócoli y rábano, han tenido un gran impacto en el aumento del contenido de glucosinolatos (Baenas *et al.*, 2014).

Por otro lado, el agua electrolizada (AE), se está usando como elicitor más recientemente. Se produce a partir del paso de corriente eléctrica en una solución salina, permitiendo el movimiento de iones y dada la concentración de cloro disponible se puede convertir en ácido hipocloroso, obteniendo un pH casi neutro. Esta actúa como desinfectante y agente antimicrobiano. Además, ayuda a mejorar el crecimiento y el desarrollo de las plantas (Huang *et al.*, 2008). Por ejemplo, en col china, el uso de agua electrolizada ácida pudo acelerar la germinación de semillas, aumentar el peso fresco de los brotes, mejorar la tasa fotosintética y el contenido de vitamina C (Al-Haq *et al.*, 2005). Por otro lado, regula las actividades enzimáticas que influyen en la síntesis de metabolitos secundarios, como la acumulación de GABA y el flavonoide rutina presentes en trigo sarraceno, luego de ser sumergido en soluciones con agua electrolizada (Hao *et al.*, 2016).

Las plantas pertenecientes al género Brassica y a la familia Brassicaceae se caracterizan por poseer propiedades nutricionales y ser abundantes en fitoquímicos, principalmente los glucosinolatos (GSL). Estos son compuestos ricos en azufre brindando un olor característico y amargor. Además, son biológicamente inactivos, y sólo se degradan cuando la planta está expuesta a daños (al masticar, cortar o exposición a la microbiota intestinal) y que, a través de una reacción de hidrólisis, mediante la enzima vegetal mirosinasa, se convierten los glucosinolatos en variados compuestos activos, tales como los isotiocianatos, tiocianatos y nitrilos (Baenas *et al.*, 2016). Los isotiocianatos (tales como el sulforafano y el isotiocianato de bencilo y los indoles (indol-3-carbinol)) son los responsables de reducir, en cierta medida, el desarrollo y progresión del cáncer (gastrointestinal, pulmón y de próstata). Estos pueden prevenir el crecimiento tumoral al bloquear el ciclo celular provocando la apoptosis (Baenas *et al.*, 2012). Por otro lado, fitoquímicos como los

compuestos fenólicos, tienen capacidad antioxidante la cual permite el mantenimiento de las células y fortalece los mecanismos de protección contra los radicales libres y las especies reactivas del oxígeno (ROS). Estas últimas, son moléculas que, al estar en mayor cantidad, dañan a las células mediante la oxidación provocando el desarrollo de ciertas enfermedades cancerígenas, cardiovasculares y neurodegenerativas (Singh *et al.*, 2006).

El repollo (*Brassica oleracea* L. var. capitata), una de las plantas pertenecientes a la familia Brassicaceae, es una especie que ha tenido gran expansión de superficie en Chile, que según datos obtenidos de ODEPA (2023), ha alcanzado las 2.242 ha cultivadas. Se ha comprobado que la mayor cantidad de los compuestos bioactivos se encuentran en las primeras etapas de desarrollo de las plantas, específicamente en los brotes, por lo que se han ido popularizando y reconociendo como alimentos promotores de salud (Šamec *et al.*, 2018; Hassini *et al.*, 2016). Por lo tanto, estudios en estadíos iniciales nos servirá tanto para evaluar la respuesta a elicitores, así como para diversificar su consumo, cambiando los hábitos alimentarios hacia otros formatos como los brotes, que pueden ser más beneficiosos en el ámbito nutricional.

En comparación con otras brassicas, como el brócoli y el rábano, pocos estudios han demostrado el poder elicitor en brotes de repollo por lo que este estudio trae conocimiento novedoso en esta materia, sobre todo enfocado al enriquecimiento de compuestos bioactivos mediante estrategias de elicitación. Es por ello, que se propuso realizar esta investigación cuyo objetivo general fue evaluar el efecto de la aplicación de los elicitores quitosano, metil jasmonato, agua electrolizada y ácido salicílico en la biomasa, capacidad antioxidante, compuesto fenólicos y glucosinolatos en brotes de *Brassica oleracea* L. var. capitata.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Material vegetal y germinación de semillas**

La investigación se llevó a cabo en condiciones de cámaras de crecimiento en el laboratorio BIOINVE de la Universidad de Concepción. Las semillas de repollo (*Brassica oleracea* L. var. capitata `Copenhague`), para la producción de brotes se obtuvieron de Semillería San Alfonso SL (Santiago, Chile). Las semillas se

remojaron en 5 g L<sup>-1</sup> de hipoclorito de sodio bajo aireación durante 4 horas y luego fueron sumergidas en agua destilada bajo aireación durante 24 horas. Las semillas se esparcieron en bandejas de brotación, con fibra de coco como sustrato (2 g por bandeja). Las bandejas se trasladaron a una cámara de ambiente controlado con un ciclo de 16 horas de luz a 8 horas de oscuridad y temperatura del aire de 20 °C. La humedad relativa (HR) fue del 60% y una radiación fotosintéticamente activa (PAR) de 350  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Durante los tres primeros días, todas las bandejas se mantuvieron en condiciones de oscuridad controlada con papel aluminio para fomentar la elongación del tallo.

### Elicitores y diseño experimental

El estudio se realizó con un diseño completamente al azar, con 4 repeticiones por tratamiento (Figura 1). Los tratamientos fueron aplicados mediante pulverización exógena con 5 mL de solución de cada elicitor diariamente a cada bandeja (17 x 13 cm), desde el día de la siembra hasta el día 10 del ensayo. Posteriormente, los brotes se recolectaron después de 10 días de crecimiento para su análisis.

Figura 1. Distribución correspondiente de los distintos tratamientos en brotes de repollo mediante aplicación de elicitores.

Repeticón 1	Repeticón 2	Repeticón 3	Repeticón 4
MeJA	AE	Q	C
AS	C	AE	Q
C	AS	MeJA	AE
Q	MeJA	C	AS
AE	Q	AS	MeJA

C: Control con agua destilada; Q: Quitosano 0,1 g L<sup>-1</sup>; MeJA: Metil jasmonato 50  $\mu\text{M}$ ; AE: Agua electrolizada; AS: Ácido salicílico 250  $\mu\text{M}$ . Fuente: Elaboración propia.

Los elicitores y dosis de los tratamientos fueron seleccionados de acuerdo con la

literatura revisada en estudios de diferentes especies vegetales (Mendoza-Sánchez *et al.*, 2016; Hao *et al.*, 2016; López-Belchí *et al.*, 2024). El estudio constó de 5 tratamientos que abarcaron los elicitores quitosano (Q), ácido salicílico (AS), metil jasmonato (MeJA), agua electrolizada (AE) y un control con agua destilada. Para el quitosano se utilizó una dosis de  $0,1 \text{ g L}^{-1}$ . El AS disuelto en etanol al 0,2 % se pulverizó sobre los brotes de repollo hasta alcanzar concentraciones de  $250 \text{ } \mu\text{M}$  y MeJA también disuelto en etanol al 0,2%, se aplicó en una concentración de  $50 \text{ } \mu\text{M}$ . El agua electrolizada se obtuvo de Hyposhield (Hyposhield, Puerto Montt, Chile) la cual fue producida por celda de electrólisis y a base de ácido hipocloroso (0,05% de ácido hipocloroso y 99,95% de agua).

### **Desarrollo de longitud del hipocótilo y biomasa**

La longitud del brote se determinó midiendo con una regla la distancia entre la base del hipocótilo y el ápice de 10 brotes de repollo de cada muestra y luego se calculó un promedio para cada tratamiento. Por otra parte, se calculó al inicio el peso fresco promedio (g) mediante una balanza digital y posteriormente se liofilizaron las muestras mediante un equipo liofilizador (OPERON, Corea) para registrar el peso seco (g).

### **Extracción y análisis de Glucosinolatos (GSLs)**

Para extraer los GSLs, se añadieron 100 mg de las muestras liofilizadas con 1 mL de metanol al 70% (v/v) a tubos Eppendorf. Posteriormente, los tubos se calentaron durante 20 min en un baño calefactor a  $70 \text{ } ^\circ\text{C}$  y se agitó en vortex cada 5 minutos para mejorar la extracción. Luego, para detener la extracción de la mezcla, se colocaron las muestras en un baño de agua helada durante 5 minutos. Por último, los extractos se centrifugaron ( $13000 \text{ rpm}$ , 15 min) y se filtraron a través de una membrana de PVDF de  $0,45 \text{ } \mu\text{m}$  (López-Belchí *et al.*, 2024). Todas las muestras se almacenaron a  $-20 \text{ } ^\circ\text{C}$  antes de su análisis.

Los GSLs se identificaron mediante estándares y se determinaron sus espectros UV-Vis y tiempos de retención mediante HPLC-DAD (Hitachi Technologies, MERCK, Darmstadt, Alemania), siguiendo el método establecido por Baenas *et al.* (2016), en el que previamente se caracterizó su patrón de fragmentación (M- y MSn). Los cromatogramas se registraron a una longitud de onda de  $280 \text{ nm}$  y los GSLs se

identificaron utilizando glucobrasicina como patrón externo. Los resultados se expresaron como mg 100 g<sup>-1</sup> de peso seco.

### **Extracción y análisis de los compuestos fenólicos en brotes**

El ensayo se realizó por el método adaptado de Gu *et al.* (2019). Para la extracción de los compuestos fenólicos totales se tomó 0,5 g de la muestra liofilizada a la cual se le agregó 5 mL de la mezcla (50% MeOH:49% H<sub>2</sub>O:1% ácido fórmico) a tubos Falcon. Los tubos se llevaron al ultrasonido por 1 hora y luego se refrigeraron a 4°C durante 24 horas. Posteriormente, los tubos se llevaron al ultrasonido 1 hora y luego se centrifugaron a 3500 rpm durante 30 min. Una vez finalizado se extrajo el sobrenadante en viales, cuyo extracto se utilizó para analizar los polifenoles totales, la capacidad antioxidante (DPPH Y ORAC) y el contenido de antocianinas.

Para la determinación de los polifenoles totales, se utilizó el método de Folin Ciocalteu para microplaca, descrito por Gu *et al.* (2019). Se adicionó a cada pocillo de la microplaca 25 µL de cada muestra, luego se agregó 25 µL de reactivo Folin Ciocalteu 0,5 N y 200 µL de agua destilada. Posteriormente, se agitó 30 segundos y se incubó por 5 minutos a 25°C en oscuridad (Lector). Finalmente, se añadió 25 µL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> a la placa y se agitó 30 segundos y se incubó por 1 hora a 25°C en oscuridad, a una lectura de 765 nm. Los resultados se expresaron en mg ácido gálico 100 g<sup>-1</sup> muestra.

En cuanto al análisis de antocianinas, la identificación se llevó a cabo mediante el sistema HPLC-DAD-ESI-MSn en las condiciones establecidas para brotes de repollo (Li *et al.*, 2014). El sistema corresponde a HPLC-DAD de Hitachi (Hitachi Technologies, MERCK, Darmstadt, Alemania), el cual cuantificó en condiciones cromatográficas idénticas, con cromatogramas registrados a 520 nm. Se utilizó cianidina 3-glucósido como patrón externo (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, EE. UU.). Por último, los resultados se expresaron en mg 100 g<sup>-1</sup> de peso seco.

### **Capacidad antioxidante en brotes**

Para medir las actividades de eliminación de radicales libres se utilizó el ensayo de capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC) (López *et al.*, 2018), así como el método del 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) (Gu *et al.*, 2019). Para el ensayo DPPH se adicionó a cada pocillo 25 µL de la dilución del extracto, luego se

agregó 200  $\mu\text{L}$  de la solución de DPPH, se agitó 30 segundos y se incubó a 25°C por 30 minutos. Se evaluó midiendo la variación de la absorbancia a 517 nm tras 30 minutos de reacción con el radical. Ambos ensayos se llevaron a cabo utilizando micro pocillos de 96 pocillos en un lector de microplacas multimodo híbrido Synergy H1 (Biotek, Winooski, VT, Estados Unidos). Los resultados se expresaron como  $\mu\text{mol Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$  muestra.

Para el método ORAC para microplaca, se agregó 150  $\mu\text{L}$  de fluoresceína 0,111  $\mu\text{M}$  a toda la placa, 25  $\mu\text{L}$  de la muestra, 300  $\mu\text{L}$  de AAPH 150 mM en los pocillos 11B-G y 12B-G. Luego se incubó a 37°C por 30 min en el lector de microplacas. Posteriormente se agregó 25  $\mu\text{L}$  de AAPH 150 nM a la placa. Aparte, se adicionó el blanco que consistía en un buffer fosfato 75 mM pH 7,4. Finalmente, se ingresó la placa al lector sin tapa y la intensidad de la fluoresceína fue medida cada 1 minuto durante 1 hora con una longitud de onda de excitación y emisión de 485 y 520 nm, respectivamente, a una temperatura de 37°C. Los resultados fueron expresados como  $\mu\text{mol Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$  muestra.

### **Análisis estadístico**

Los resultados de las muestras se analizaron mediante el análisis de varianza (ANDEVA), para determinar las diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ( $P \leq 0,05$ ), a través de la comparación de medias efectuado por la prueba de Tukey. Previamente, se comprobaron los supuestos del análisis de varianza, con la prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal y la prueba de Levene para homogeneidad de varianzas. Los resultados se analizaron utilizando el software Infostat. Además, se realizó un análisis de componentes principales (PCA) con la media de los datos, para aclarar la correlación entre las distintas variables estudiadas ante la aplicación de los tratamientos de elicitores, mediante el software R con los paquetes FactoMineR y ggplot2.

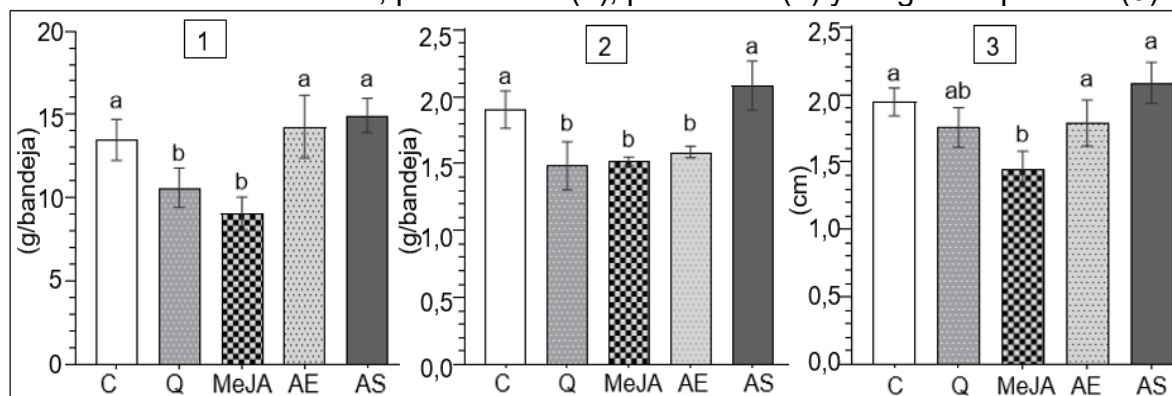
## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Longitud hipocótilo y peso de los brotes de repollo**

La respuesta de los diferentes tratamientos de elicitación (C, Q, MeJA, AE y AS) sobre el peso (g) y longitud del hipocótilo (cm) fueron evaluados. Los resultados

indican que el tratamiento con ácido salicílico fue el que mayor peso fresco y seco presentó, con un promedio de 14,95 y 2,08 g respectivamente (Figura 2).

Figura 2. Crecimiento de los brotes de repollo como respuesta a los diferentes tratamientos de elicitación, peso fresco (1), peso seco (2) y longitud hipocótilo (3).



C: Control con agua destilada; Q: Quitosano 0,1 g L<sup>-1</sup>; MeJA: Metil jasmonato 50 µM; AE: Agua electrolizada; AS: Ácido salicílico 250 µM. Letras distintas representan diferencias significativas entre tratamientos según prueba de Tukey (P ≤ 0,05).

El AS fue 4,8% y 9,5% superior al tratamiento control en peso fresco y seco, respectivamente. Sin embargo, estadísticamente no hubo diferencias significativas entre el AS, en ambas variables, y el control. Por otro lado, en peso fresco, la aplicación de AS fue significativamente mayor que los elicitores quitosano y MeJA, en un 40,9% y 65,01%, respectivamente. En peso seco, el tratamiento con AS presentó diferencias estadísticamente significativas comparado a los elicitores quitosano, MeJA y agua electrolizada, siendo casi 1,4 veces mayor que dichos tratamientos.

Los brotes tratados con AS no presentaron diferencias estadísticamente significativas con el tratamiento control y con los elicitores quitosano y agua electrolizada en cuanto a la longitud del hipocótilo. En cambio, el AS fue 1,4 veces mayor estadísticamente que los brotes tratados con el elicitor MeJA.

En el estudio de Thiruvengadam *et al.* (2016), se comparó la aplicación de los elicitores ácido abscísico, ácido jasmónico y ácido salicílico en el crecimiento de las plantas de rábano (*Brassica rapa* ssp. *rapa*), en la cual no hubo resultados significativos en la longitud y biomasa de los brotes, debido a que tuvieron crecimientos uniformes y similares con respecto al control. Estos resultados se

pueden explicar en base a que el AS es una hormona reguladora del crecimiento la cual permite que se estimule el metabolismo, aumentando la división celular, en sinergia con otras sustancias como las auxinas. Sin embargo, el crecimiento es controversial ya que depende de las especies vegetales, sus etapas de desarrollo y las concentraciones aplicadas. Estas últimas, por lo regular, al estar en mayores niveles de AS pueden generar efectos negativos en el desarrollo y crecimiento de las plantas (Gutiérrez-Coronado *et al.*, 1998; Koo *et al.*, 2020). Por otro lado, los elicitors quitosano, MeJA y agua electrolizada, desencadenaron un mayor estrés en los brotes, que se vio reflejado en un crecimiento limitado de ellos, probablemente afectando la fotosíntesis, lo que afectó a la fijación del carbono se puede utilizar principalmente para la producción de metabolitos secundarios (Vargas-Hernández *et al.*, 2023).

### **Glucosinolatos en brotes de repollo**

La identificación y cuantificación de los glucosinolatos permitió detectar diferentes perfiles de glucosinolatos en los brotes de repollo, pertenecientes a distintos grupos de GSL. Entre los alifáticos se encontraron glucoiberina (GIB), sinigrina (SIN), glucorafanina (GRA); entre los indólicos, se identificaron 4-hidroxi glucobrassicina (OHGBS), glucobrassicina (GBS), 4-metoxi glucobrassicina (MGBS), neoglucobrassicina (NGBS) y finalmente un aromático, la gluconasturtiina (GNT). En la tabla 1, se presenta el contenido promedio de los GSL individuales y totales. El MeJA aumentó el contenido de GBS, de manera significativa en un 153,7% en comparación al control. Esto concuerda con estudios previos, en el que el MeJA ha incrementado el contenido de GBS y NGBS en repollo morado y repollo verde, aplicado de manera exógena al tercer día de crecimiento de los brotes y (Hassini *et al.*, 2016). No obstante, el tratamiento con MeJA tuvo un efecto muy limitado en la síntesis de GSL totales, presentando los valores más bajos con 419,12 mg 100 g<sup>-1</sup>, dado que no se detectaron los glucosinolatos GRA y OHGBS. Esto se puede deber a que la dosis utilizada para MeJA en este estudio no fue lo suficientemente adecuada para impactar positivamente en el contenido de glucosinolatos.

Tabla 1. Contenido de glucosinolatos (mg 100 g<sup>-1</sup> de peso seco) totales e individuales en brotes de repollo después de diferentes tratamientos con elicitores.

Glucosinolatos	Tratamientos				
	C	Q	MeJA	AE	AS
GIB	17,9±5,1b	39,6±2,3a	51,0±7,3a	40,8±7,0a	42,0±3,3a
SIN	54,5±6,7b	107,2±16,2a	24,4±2,7c	21,8±2,9c	12,7±2,5c
GRA	6,1±3,8a	6,8±5,3a	Nd	9,0±1,8a	9,2±5,4a
OHGBS	Nd	0,4±1,4a	Nd	Nd	Nd
GBS	61,9±5,6bc	59,6±7,7c	157,1±17,0a	99,9±13,0b	58,1±4,4c
GNT	247,7±13,2bc	277,3±15,1b	75,7±11,6d	1026,0±20,8a	217,9±6,6c
MGBS	57,7±11,1b	5,4±0,4c	3,4±0,7c	116,5±22,7a	62,9±5,6b
NGBS	97,0±24,0bc	64,2±3,2c	114,8±10,8ab	77,7±16,5c	143,6±19,9a
TGSL	540,2±47,9b	560,5±23,6b	419,1±46,1c	1387,9±68,2a	544,0±20,0b

C: Control con agua destilada; Q: Quitosano 0,1 g L<sup>-1</sup>; MeJA: Metil jasmonato 50 µM; AE: Agua electrolizada; AS: Ácido salicílico 250 µM. GIB es glucoiberina; SIN es sinigrina; GRA es glucorafanina; OHGBS es 4-hidroxiglucobrassicina; GBS es glucobrassicina; GNT es gluconasturtiina; MGBS es 4-metoxiglucobrassicina; NGBS es neoglucobrassicina; TGSL es glucosinolatos totales; Nd: no detectado. Letras distintas entre las filas representan diferencias significativas entre tratamientos según prueba de Tukey (P ≤ 0,05).

Para GIB no se encontraron diferencias entre los elicitores, pero si presentaron diferencias significativas con el tratamiento control. Por otra parte, el quitosano produjo un aumento significativo de SIN, con un 96,7% más que el control, y en OHGBS que solo fue detectado por quitosano. En el contenido de glucosinolatos totales no se encontraron diferencias significativas del quitosano con respecto al control. Sivanandhan *et al.* (2023) observaron en el cultivo de brotes de *Brassica rapa ssp. pekinensis* (col china) que el quitosano en concentración de 150 mg L<sup>-1</sup> indujo una mejor producción del contenido de glucosinolatos (7,344 μmol g<sup>-1</sup> DW), sin embargo, no se detectó la SIN a concentraciones de 100 mg L<sup>-1</sup>, situación que no fue evidenciada en este estudio.

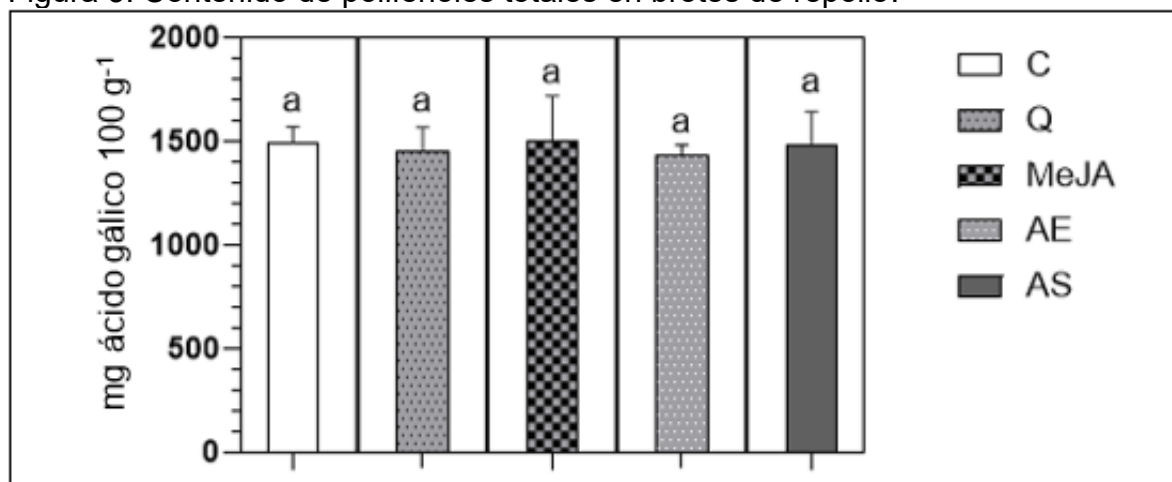
El AS presentó mayor valor en NGBS con 43,57% más que el control, sin embargo, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre ambos. En contraste, el AE fue el que mejores resultados presentó en el contenido de GSLT, con una media de 1387,9 mg 100 g<sup>-1</sup>, 2,57 veces más que el tratamiento control. El GSL que más predominó fue GNT (1026,0 mg 100 g<sup>-1</sup>), aumento ejercido por el tratamiento de agua electrolizada (4 veces más que el control), con diferencias significativas entre los distintos tratamientos. La GNT es la precursora de la 2-feniletilo, un isotiocianato importante en algunas brassicas como el berro. Esta es antimicrobiana y anticancerígena, ya que inhibe enzimas de fase 1 que son las responsables de la activación de sustancias cancerígenas en animales e induce las enzimas de fase 2, que aumentan la secreción de dichas sustancias (Aires *et al.*, 2013). Además, el agua electrolizada mostró mejores resultados en el contenido de MGBS (131,74 mg 100 g<sup>-1</sup>), siendo significativamente mayor al tratamiento control en un 101,9%. Se ha informado en estudios previos que el agua electrolizada ha aumentado significativamente el contenido de glucosinolatos, principalmente en brotes de brócoli (Li *et al.*, 2018). Este aumento se puede deber a que el agua electrolizada probablemente regula la actividad de la mirosinasa y la expresión de algunos genes responsables en la biosíntesis de glucosinolatos.

### **Polifenoles Totales en brotes de repollo**

Los elicitores no se asociaron a cambios estadísticamente significativos en el contenido de polifenoles totales con respecto al control (Figura 3). Sin embargo, en

el tratamiento con MeJA, se observó mayor contenido de los compuestos fenólicos alcanzando una media de 1509,80 mg 100 g<sup>-1</sup>, con 1,28% de mayor rendimiento con respecto al control (1478 mg 100 g<sup>-1</sup>).

Figura 3. Contenido de polifenoles totales en brotes de repollo.



C: Control con agua destilada; Q: Quitosano 0,1 g L<sup>-1</sup>; MeJA: Metil jasmonato 50 μM; AE: Agua electrolizada; AS: Ácido salicílico 250 μM. Letras iguales representan que no existe diferencias significativas entre tratamientos según prueba de Tukey (P > 0,05).

Además, el MeJA obtuvo un 5,5% más que el agua electrolizada que menor valor presentó con una media de 1430,88 mg 100 g<sup>-1</sup>. La aplicación de MeJA en diferentes concentraciones, en distintos cultivos ha sido evaluada. Pérez *et al.*, (2011) determinaron que el tratamiento MeJA 10 μM, fue eficaz en aumentar el contenido de polifenoles totales en un 23% en brotes de brócoli de 7 días. Además, según los reportes de Kim *et al.*, (2006), los compuestos fenólicos fueron inducidos positivamente con la aplicación exógena del MeJA en brotes de rábano, en concentraciones de 1mM disuelto en etanol al 0,25%. En ese estudio se aplicó el tratamiento a los 7 días de edad de los brotes y se cosecharon en diferentes horas luego de la aplicación. Estos resultados y diferencias se pueden explicar en base a que cada elicitor afecta de manera distinta las vías de síntesis de los compuestos fenólicos. Estudios previos explican que los compuestos fenólicos se acumulan a partir de la vía fenilpropanoide, que proviene de la desaminación de la fenilalanina que se cataliza a partir de la fenilalanina amoníaco-liasa (PAL), y el MeJA es un regulador de la señalización de defensa que es capaz de activar dichas enzimas lo

que sugiere la inducción de esta vía a partir de este elicitador (Ruiz-García y Gómez-Plaza, 2013). Los compuestos fenólicos se sintetizan cuando la planta está frente a condiciones de estrés y dado que los elicitores son muy específicos, se puede decir que las concentraciones utilizadas para efecto de este estudio no fueron suficientes para mantener a los brotes estresados con tal que aumenten significativamente su contenido en el repollo.

### Antocianinas

Se identificaron 6 antocianinas, destacando la cianidina 3-diglucósido-5-glucósido, cianidina 3-(sinapoil)diglucósido, Cianidina 3-(sinapoil) diglucósido-5-glucósido, cianidina 3-(p-cumaroil) (sinapoil)diglucósido-5-glucósido, cianidina 3-(feruloil) (sinapoil) diglucósido-5-glucósido y la cianidina 3-(sinapoil) (sinapoil) diglucósido-5-glucósido (Tabla 2). En los tratamientos, el contenido de antocianinas totales varió de 7,19 mg 100 g<sup>-1</sup> a 19,75 mg 100 g<sup>-1</sup>.

Tabla 2. Contenido de antocianinas (mg 100 g<sup>-1</sup>) en brotes de repollo después de la aplicación de diferentes tratamientos con elicitores.

T	Antocianinas						
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	AT
C	3,6±1,5a	3,4±1,2a	0,9±0,3b	8,8±2,0a	3,1±1,1a	Nd	19,8±6,0a
Q	1,3±0,4bc	3,1±0,6ab	0,8±0,2b	6,8±1,9a	1,8±0,4ab	Nd	13,9±3,5ab
MeJA	0,9±0,2bc	1,5±0,3c	0,6±0,2b	8,3±0,5a	0,4±0,1b	1,9±0,3b	13,6±1,4ab
AE	0,2±0,1c	1,7±0,3bc	1,6±0,4a	0,5±0,1b	0,8±0,1b	2,5±0,3a	7,2±1,0b
AS	2,7±0,9ab	2,9±0,9abc	0,9±0,3b	7,4±2,0a	2,8±1,4a	Nd	16,7±5,0a

T: Tratamientos; C: Control con agua destilada; Q: Quitosano 0,1 g L<sup>-1</sup>; MeJA: Metil jasmonato 50 µM; AE: Agua electrolizada; AS: Ácido salicílico 250 µM. A1 es cianidina 3-diglucósido-5-glucósido; A2 es cianidina 3-(sinapoil) diglucósido; A3 es Cianidina 3-(sinapoil) diglucósido-5-glucósido; A4 es cianidina 3-(p-cumaroil) (sinapoil)diglucósido-5-glucósido; A5 es cianidina 3-(feruloil) (sinapoil) diglucósido-5-glucósido; A6 es cianidina 3-(sinapoil) (sinapoil) diglucósido-5-glucósido; AT es antocianos totales. Letras distintas entre las columnas representan diferencias significativas entre tratamientos según prueba de Tukey (P ≤ 0,05).

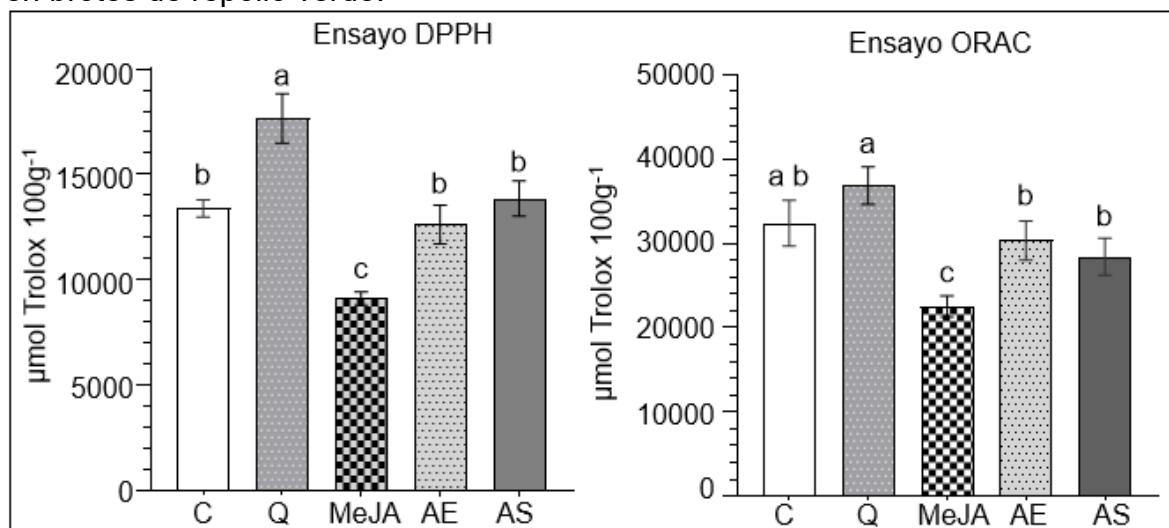
El efecto de los elicitores no fue lo esperado ya que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los elicitores y el tratamiento control. Sin

embargo, el AS, presentó los niveles más altos en comparación a los demás elicitors, con 13,90 mg 100 g<sup>-1</sup>, lo cual corresponde a 2,3 veces más que el tratamiento con agua electrolizada, que presentó menores concentraciones (7,19 mg 100 g<sup>-1</sup>). La aplicación del quitosano fue ligeramente superior a MeJA, en un 5,9 %, a pesar de que no existieron diferencias significativas entre ellos. Los resultados no concuerdan con lo informado por Hassini *et al.* (2016), en el que el MeJA aumentó significativamente en un 41% los niveles de antocianinas en repollo verde. Por otro lado, López-Belchí *et al.* (2024) encontraron que el contenido de antocianinas era más bajo en brotes de rábano silvestre, luego de la aplicación de elicitors, que los brotes de brócoli. Estos resultados dejan en evidencia la complicada interacción de los elicitors y cómo afectan diferentes vías de síntesis de los compuestos bioactivos y que pueden variar frente a diferentes situaciones.

### Capacidad antioxidante en brotes de repollo

En el ensayo del DPPH se obtuvieron diferencias significativas entre los diferentes elicitors, mejorando las capacidades antioxidantes de los brotes (Figura 4).

Figura 4. Ensayos de capacidad antioxidante, DPPH y ORAC ( $\mu\text{mol Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$ ), en brotes de repollo verde.



C: Control con agua destilada; Q: Quitosano 0,1 g L<sup>-1</sup>; MeJA: Metil jasmonato 50  $\mu\text{M}$ ; AE: Agua electrolizada; AS: Ácido salicílico 250  $\mu\text{M}$ . Letras distintas representan diferencias significativas entre tratamientos según prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

Se consiguieron valores más altos con el elicitor quitosano (17660,26  $\mu\text{mol Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$ ), un 32% más en comparación con el tratamiento control del cual se obtuvo

una media de 13390,04  $\mu\text{mol Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$ . Por otro lado, los valores más bajos se presentaron en MeJA, con una media de 9116,25  $\mu\text{mol Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$ , siendo el quitosano 2 veces superior a MeJA y el que demostró buenas propiedades de eliminación de los radicales libres. Por otra parte, no se encontraron diferencias significativas entre el control, MeJA y agua electrolizada. En estudios de Carvacho *et al.* (2014) en brócoli, la exposición de brotes a los elicitores MeJA y quitosano produjeron una disminución en la capacidad antioxidante, dado que se utilizó una dosis de 90  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de quitosano, siendo 10 veces más baja que la utilizada en el presente estudio. Además, otros compuestos pueden estar influenciando a la capacidad antioxidante total, como los glucosinolatos, el sulforafano y algunas vitaminas.

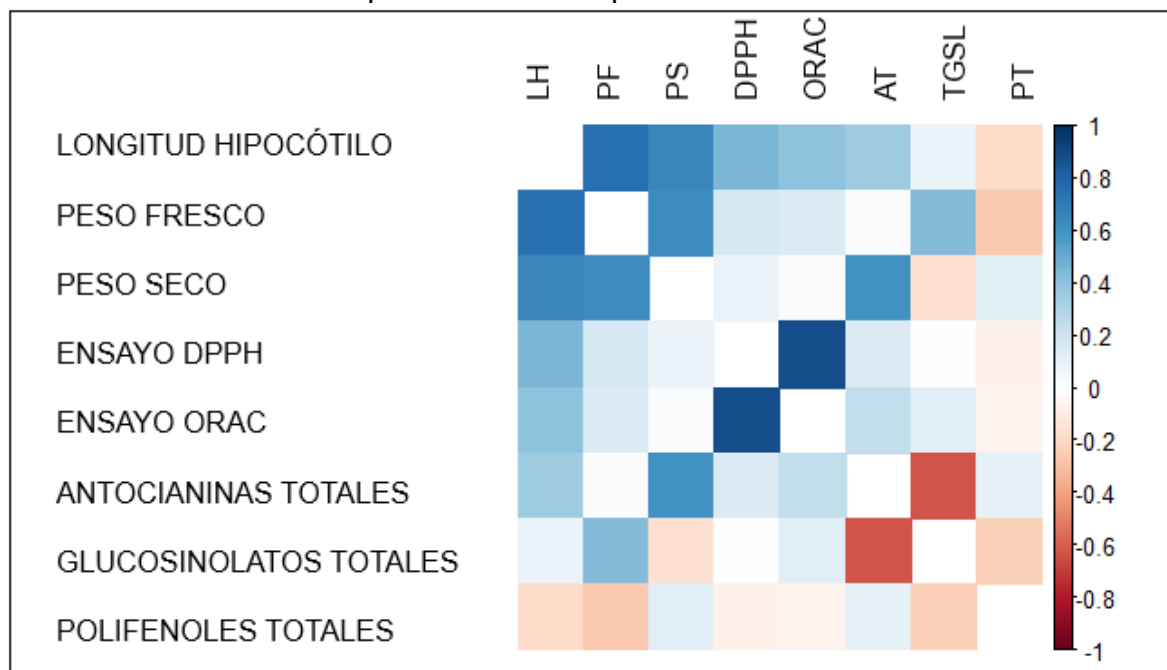
En el ensayo del ORAC (Figura 4), la aplicación de los elicitores demostró diferencias significativas entre ellos, comportamiento similar al DPPH, en el cual el quitosano presentó mayor capacidad antioxidante (36845,35  $\mu\text{mol Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$ ) en comparación a MeJA, el cual presentó menores valores (22513,20  $\mu\text{mol Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$ ). Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre el quitosano y el tratamiento control (32371,80  $\mu\text{mol Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$ ).

El quitosano cuando está en contacto con las células emite una señal generando óxido nítrico y a través de la vía de octadecanoides genera el peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Este último, desencadena el sistema de eliminación de las especies reactivas del oxígeno (ROS) y la generación de otros genes que responden al estrés oxidativo, a partir de la síntesis de varias enzimas antioxidantes tales como el superóxido dismutasa (SOD), la peroxidasa (POX) y la catalasa (Pichyangkura y Chadchawan, 2015), lo que puede explicar que la elicitación con quitosano respondiera mejorando la capacidad antioxidante.

### **Matriz de correlación y análisis de componentes principales en brotes de repollo**

Se realizó una matriz de correlación para identificar las relaciones entre las distintas variables estudiadas (Figura 5). Los valores cercanos a uno indican que existe una correlación positiva, y los valores cercanos a -1 indican una correlación negativa.

Figura 5. Matriz de correlación entre las diferentes variables estudiadas con tratamientos de elicitores para brotes de repollo.



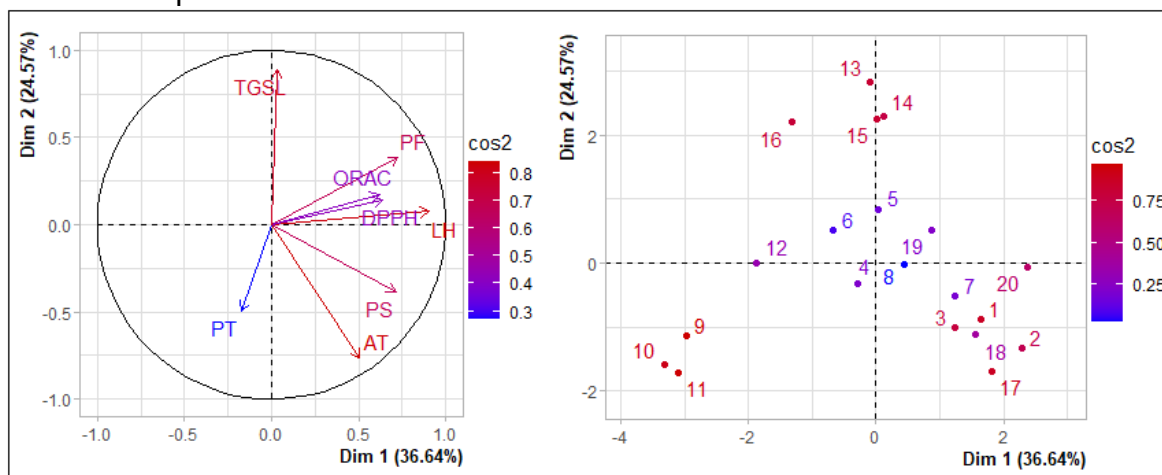
LH: longitud hipocótilo, PF: peso fresco, PS: peso seco, DPPH: ensayo DPPH, ORAC: ensayo ORAC, AT: Antocianinas totales, TGSL: Glucosinolatos totales, PT: Polifenoles.

Las variables de crecimiento tuvieron una correlación positiva entre ellas. Por otro lado, el contenido total de glucosinolatos se correlacionó negativamente con las antocianinas totales, dado que estas últimas disminuyeron considerablemente ante la aplicación de los elicitores, lo que se puede sugerir que el aumento de los glucosinolatos en este estudio afecta directamente el contenido de antocianinas. Aparte, las variables DPPH y ORAC estuvieron correlacionadas positivamente entre sí y levemente correlacionadas a las antocianinas totales y no presentaron correlación con el contenido de glucosinolatos y los polifenoles totales. Este análisis da cuenta que los elicitores en el repollo respondieron a diferentes vías de síntesis de los metabolitos secundarios, y lo específico que pueden llegar a ser en diferentes plantas.

El análisis de componentes principales se realizó para 8 rasgos de los brotes de repollo (Figura 6). Teniendo en cuenta la variabilidad, Dim 1 retuvo el 36,34% mientras que Dim 2 retuvo el 24,57%. Las distintas variables se agruparon cercanas a los tratamientos de elicitores que tuvo mayor impacto. En ese sentido, el tratamiento con agua electrolizada (13, 14, 15 y 16) tuvo un claro impacto positivo

en el total de glucosinolatos, dado al aumento de parte del glucosinolato individual GNT, como se mencionó anteriormente.

Figura 6. Análisis de componentes principales (PCA) de las diferentes variables de brotes de repollo.



LH: longitud hipocótilo, PF: peso fresco, PS: peso seco, DPPH: ensayo DPPH, ORAC: ensayo ORAC, AT: Antocianinas totales, TGSL: Glucosinolatos totales, PT: Polifenoles totales para brotes de repollo.

El contenido de DPPH y ORAC fueron inducidos por el tratamiento de quitosano (4, 5, 6, 7 y 8). Por ende, el agua electrolizada y quitosano fueron elicitores efectivos en el aumento de los componentes bioactivos del repollo. Mientras que los demás tratamientos no se vieron influenciados en el crecimiento de los brotes. En este estudio las antocianinas totales no se vieron afectadas por los distintos tratamientos de elicitores. Por otro lado, el MeJA (8, 9, 10 y 11) tuvo leve impacto en la concentración de polifenoles totales. Lo anterior pone en evidencia la efectividad de la aplicación de algunos elicitores en diversas variables fisicoquímicas en brotes de repollo, trayendo consigo diversas propiedades bioactivas a los brotes.

## CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos se puede afirmar que:

1. El tratamiento con elicitores no favoreció el incremento de peso fresco y seco de los brotes de repollo, así como la longitud del hipocótilo.
2. El elicitador quitosano fue efectivo en desencadenar el sistema de eliminación de las especies reactivas del oxígeno por tener alta capacidad antioxidante.

3. La aplicación exógena de los distintos elicitores indujo los compuestos bioactivos en los brotes de 10 días de repollo, particularmente el agua electrolizada fue efectiva en aumentar el contenido de glucosinolatos, compuestos beneficiosos para la salud en el sentido de la prevención y protección ante ciertas enfermedades cancerígenas.
4. El agua electrolizada resultaría en un elicitador económico y eficaz para el enriquecimiento de compuestos bioactivos como los glucosinolatos.
5. Las dosis estudiadas permitieron la acumulación de ciertos compuestos específicos en los brotes, por lo que surge la necesidad de estudios futuros sobre las concentraciones más adecuadas para el repollo, para enriquecer y mejorar aún más con fitoquímicos.

## REFERENCIAS

1. Ahmadi, F. I., K. Karimi and P. C. Struik. 2018. Effect of exogenous application of methyl jasmonate on physiological and biochemical characteristics of *Brassica napus* L. cv. Talaye under salinity stress. *South African Journal of Botany*, 115, 511.
2. Aires, A., R. Carvalho, E. Rosa and M. J. Saavedra. 2013. Phytochemical characterization and antioxidant properties of baby-leaf watercress produced under organic production system. *CYTA: Journal Of Food (Print)*, 11(4), 343-351.
3. Al-Haq, M. I., J. Sugiyama and S. Isobe. 2005. Applications of Electrolyzed Water in Agriculture & Food Industries. *Food Science and Technology Research*, 11(2), 135–150.
4. Baenas, N., C. García-Viguera and D. A. Moreno. 2014. Elicitation: A Tool for Enriching the Bioactive Composition of Foods. *Molecules*, 19(9), 13541–13563.
5. Baenas, N., D. A. Moreno and C. García-Viguera. 2012. Selecting Sprouts of Brassicaceae for Optimum Phytochemical Composition. *Journal Of Agricultural and Food Chemistry*, 60(45), 11409-11420.
6. Baenas, N., D. Villaño, C. García-Viguera and D. A. Moreno. 2016. Optimizing elicitation and seed priming to enrich broccoli and radish sprouts in glucosinolates. *Food Chemistry*, 204, 314–319.

7. Caicedo-López, L. H., A. L. V. Aranda, D. Sáenz de la O, C. E. Z. Gómez, E. E. Márquez and H. R. Zepeda. 2021. Elicidores: implicaciones bioéticas para la agricultura y la salud humana. *Revista Bioética*, 29(1), 76–86.
8. Carvacho, H. B., C. M. M. Pérez, G. E. Zúñiga and A. Mahn. 2014. Effect of methyl jasmonate, sodium selenate and chitosan as exogenous elicitors on the phenolic compounds profile of broccoli sprouts. *Journal Of the Science of Food And Agriculture*, 94(12), 2555-2561.
9. Diaz, D. A. V., L. S. Pérez, P. P. Rangel, M. Á. S. Castruita, J. A. G. Fuentes and J. R. Valenzuela-García. 2016. Efecto del ácido salicílico en la producción y calidad nutracéutica de frutos de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (17), 3405-3414.
10. Gu, C., K. Howell, F. R. Dunshea and H. A. R. Suleria. 2019. LC-ESI-QTOF/MS Characterisation of Phenolic Acids and Flavonoids in Polyphenol-Rich Fruits and Vegetables and Their Potential Antioxidant Activities. *Antioxidants*, 8(9), 405.
11. Gutiérrez-Coronado, M. A., C. Trejo-López and A. Larqué-Saavedra. 1998. Effects of salicylic acid on the growth of roots and shoots in soybean. *Plant Physiology and Biochemistry*, 36(8), 563–565.
12. Hao, J., T. Wu, H. Li, W. Wang and H. Liu. 2016. Dual effects of slightly acidic electrolyzed water (SAEW) treatment on the accumulation of  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA) and rutin in germinated buckwheat. *Food Chemistry*, 201, 87-93.
13. Hassini, I., N. Baenas, D. A. Moreno, M. Carvajal, N. Boughanmi and M. Del Carmen Martínez-Ballesta. 2016. Effects of seed priming, salinity, and methyl jasmonate treatment on bioactive composition of *Brassica oleracea* var. capitata (white and red varieties) sprouts. *Journal Of the Science Of Food And Agriculture*, 97(8), 2291-2299.
14. Huang, Y.-R., Y.-C., Hung, S.-Y. Hsu, Y.-W. Huang and D.-F. Hwang. 2008. Application of electrolyzed water in the food industry. *Food Control*, 19(4), 329–345.
15. Kecheng, L., R. Xing, S. Liu and P. Li. 2020. Chitin and Chitosan Fragments Responsible for Plant Elicitor and Growth Stimulator. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(44), 12203–12211.

16. Kim, H., F. Chen, X. Wang and J. Choi. 2006. Effect of Methyl Jasmonate on Phenolics, Isothiocyanate, and Metabolic Enzymes in Radish Sprout (*Raphanus sativus* L.). *Journal Of Agricultural and Food Chemistry*, 54(19), 7263-7269.
17. Koo, Y. M., A. Heo and H. W. Choi. 2020. Salicylic Acid as a Safe Plant Protector and Growth Regulator. *Plant Pathology Journal (Suwon)*, 36(1), 1-10.
18. Larqué-Saavedra, A., R. Martín-Mex, Á. Nexticapan-Garcéz, S. Vergara-Yoisura and M. Gutiérrez-Rendón. 2010. Efecto del ácido salicílico en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 16(3), 183-187.
19. Li, L., J. Hao, S. Song, S. Nirasawa, Z. Jiang and H. Liu. 2018. Effect of slightly acidic electrolyzed water on bioactive compounds and morphology of broccoli sprouts. *Food Research International*, 105, 102-109.
20. Li, X., R. Uddin, W. Park, Y. B. Kim, J. M. Seo, S. Kim, I. Nou, J. Lee, H. Kim and S. U. Park. 2014. Accumulation of anthocyanin and related genes expression during the development of cabbage seedlings. *Process Biochemistry*, 49(7), 1084-1091.
21. López, M. D., N. Baenas, J. Retamal-Salgado, N. Zapata, and D. A. Moreno. 2018. Underutilized native biobío berries: Opportunities for foods and trade. *Natural Product Communications*, 13(12), 1934578X1801301.
22. López-Belchí, M. D., M. Toro, M. Illanes, K. Henríquez-Aedo, J. M. Fernández-Martínez, M. Schoebitz, N. Zapata, S. Fischer, A. A. Pinto, C. García-Viguera and D. A. Moreno. 2024. Exploring strategies to growth wild turnip sprouts as healthy food. *Chemical And Biological Technologies In Agriculture*, 11(1).
23. Martínez-Sanguinetti, M. A., A. M. Leiva, F. Petermann-Rocha, M. Villagrán, C. Troncoso-Pantoja, and C. Celis-Morales. 2019. Una de cada cinco muertes en el mundo se asocia a una alimentación no saludable: ¿Cuál es la realidad chilena? *Revista Chilena De Nutrición*, 46(5), 653–655.
24. Mendoza-Sánchez, M., R. G. Guevara-González, E. Castaño-Tostado, E. Mercado-Silva, J. A. Acosta-Gallegos, N. E. Rocha-Guzmán and R. Reynoso-Camacho. 2016. Effect of chemical stress on germination of cv Dalia bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as an alternative to increase antioxidant and nutraceutical compounds in sprouts. *Food Chemistry*, 212, 128-137.

25. Moreno, F., M. Monagas, G. P. Blanch, B. Bartolomé, M. D. Del Castillo. 2010. Enhancement of anthocyanins and selected aroma compounds in strawberry fruits through methyl jasmonate vapor treatment. *European Food Research and Technology*, 230(6), 989–999.
26. Naik, P. M. and J. M. Al-Khayri. 2016. Abiotic and Biotic Elicitors—Role in Secondary Metabolites Production through In Vitro Culture of Medicinal Plants. In *Intech eBooks*.
27. ODEPA.2023. Boletín de hortalizas, enero 2023. ODEPA | Oficina De Estudios Y Políticas Agrarias [en línea]. <https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/boletines/boletin-de-hortalizas-enero-2023#:~:text=Seg%C3%BAAn%20datos%20de%20la%20Encuesta,12.328%20hect%C3%A1reas%20dedicadas%20a%20las> [Consulta: 27 mayo 2023].
28. Pérez-Balibrea, S., D. A. Moreno and C. García-Viguera. 2011. Improving the phytochemical composition of broccoli sprouts by elicitation. *Food Chemistry*, 129(1), 35-44.
29. Pichyangkura, R. and S. Chadchawan, S. 2015. Biostimulant activity of chitosan in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 49-65.
30. Ruiz-García, Y. and E. Gómez-Plaza. 2013. Elicitors: A Tool for Improving Fruit Phenolic Content. *Agriculture*, 3(1), 33-52.
31. Šamec, D., I. Pavlović, I. R. Redovniković and B. Salopek-Sondi. 2018. Comparative analysis of phytochemicals and activity of endogenous enzymes associated with their stability, bioavailability, and food quality in five Brassicaceae sprouts. *Food Chemistry*, 269, 96-102.
32. Singh, J. P., A. Upadhyay, A. Bahadur, B. P Singh, K. P. Singh and M. Rai. 2006. Antioxidant phytochemicals in cabbage (*Brassica oleracea* L. var. capitata). *Scientia Horticulturae*, 108(3), 233–237.
33. Sivanandhan, G., G. Kapildev, N. Selvaraj Y. P. Lim. 2023. The effect of chitosan and  $\beta$ -cyclodextrin on glucosinolate biosynthesis in *Brassica rapa* ssp. *pekinensis* (Chinese cabbage) shoot culture. *Plant Physiology and Biochemistry*, 194, 570-575.

34. Thiruvengadam, M., B. Venkitasamy, S. H. Kim and I. Chung. 2016. Effects of abscisic acid, jasmonic acid and salicylic acid on the content of phytochemicals and their gene expression profiles and biological activity in turnip (*Brassica rapa* ssp. *rapa*). *Plant Growth Regulation*, 80(3), 377-390.
35. Tucuch Haas, C. J., G. Alcántar González and A. Larqué Saavedra. 2015. Efecto del ácido salicílico en el crecimiento de la raíz y biomasa total de plántulas de trigo. *Terra Latinoamericana*, 33(1), 63-68.
36. Tucuch-Haas, C., G. Alcántar-González, Y. Salinas-Moreno, L. I. Trejo-Téllez and A. Larqué-Saavedra. 2017. Aspersión foliar de ácido salicílico incrementa la concentración de fenoles en el grano de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40(2), 235-238.
37. Vargas-Hernández, M., D. A. Arriaga-Madrid, A. Cortez-Perez, A. A. Feregrino-Pérez, M. G. Ortega-Salazar, A. G. Alpuche-Solis, I. Torres-Pacheco, F. Gautier and R. G. Guevara-González. 2023. White mustard (*Sinapis alba* L.) residues with enhanced potential as soil biofumigant by using controlled elicitation during cultivation. *European Journal Of Plant Pathology*, 166(2), 209-218.