



## Contenido de grasa total y compuestos bioactivos de diferentes genotipos de ajo (*Allium sativum* L.), cultivados en República Dominicana

Total fat content and bioactive compounds of different genotypes of garlic (*Allium sativum* L.), grown in Dominican Republic

Nelson Blanco-Rodríguez<sup>1</sup>; Gacela Castillo-Morrobel<sup>1</sup>; Atharva Rosa-de la Cruz<sup>2</sup>; Julio Mejía-Brea<sup>2</sup>  
Esclaudys Pérez-González<sup>1</sup>; Yulisa Alcántara-Marte<sup>3</sup>; Yanilka Alcántara-De Tejada<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Agronomía, Universidad ISA, Av. Presidente Antonio Guzmán Fernández km 5, Santiago de los Caballeros, República Dominicana.

<sup>2</sup> Instituto de Innovación en Biotecnología e Industria (IIBI), Av. Olof Palme esq. José Núñez de Cáceres, Distrito Nacional, República Dominicana.

<sup>3</sup> Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidad ISA, Av. Presidente Antonio Guzmán Fernández km 5, Santiago de los Caballeros, República Dominicana.

ORCID de los autores:

N. Blanco-Rodríguez: <https://orcid.org/0009-0000-5109-210X>

A. Rosa-de la Cruz: <https://orcid.org/0000-0001-7368-3314>

E. Pérez-González: <https://orcid.org/0000-0003-0465-6261>

Y. Alcántara-De Tejada: <https://orcid.org/0000-0002-6145-4984>

G. Castillo-Morrobel: <https://orcid.org/0009-0006-2868-1380>

J. Mejía-Brea: <https://orcid.org/0000-0003-0852-3167>

Y. Alcántara-Marte: <https://orcid.org/0000-0002-6833-2795>

### RESUMEN

El ajo es una especie vegetal muy consumida alrededor del mundo. En República Dominicana existe alta diversidad genética en las variedades de ajo blanco y morado cultivadas en Constanza, La Vega, habiendo sido cultivados más de veinte genotipos; sin embargo, algunos han desaparecido o su producción ha sido descontinuada debido a poca adaptabilidad, productividad o conveniencia, principalmente por la ausencia de caracterización a nivel químico. En esta investigación se analizó el contenido de grasa total y compuestos bioactivos de los genotipos que prevalecen y se cultivan: Taiwán 1, Taiwán 2, Taiwán 3, Taiwán 3A, Taiwán 05, Morado cubano, Morado cubano #3, Morado Rosello, Morado Rosello #1, Morado Niño, IDIAF 1, IDIAF SEA 14 y Ramón Collado. Se empleó un diseño completamente al azar y se aplicó un ANOVA y la prueba de Tukey al 95% de confianza. Los resultados fueron: grasa total (0,08 a 0,38 % base seca), alicina (167,92 a 2.335,55 mg/Kg), actividad antioxidante (23,83 a 98,83  $\mu\text{molTE}/100\text{g}$ ), contenido fenólico total (89,70 a 136,85 mgGAE/100g), taninos (293,33 a 535,76 mg TAE/Kg) y flavonoides (23,78 a 61,62  $\mu\text{gEqRutin/g}$ ). La grasa total y los compuestos bioactivos fluctúan entre los genotipos, remarcando la diferencia en la composición química según su variación genética.

**Palabras clave:** *Allium sativum* L.; Genotipos; Grasa Total; Capacidad Antioxidante; Compuestos Bioactivos.

### ABSTRACT

Garlic is a widely consumed plant species around the world. In the Dominican Republic there is high genetic diversity in the white and purple garlic varieties cultivated in Constanza, La Vega, with more than twenty genotypes having been cultivated; however, some have disappeared, or their production has been discontinued due to poor adaptability, productivity, or convenience, mainly due to the lack of chemical characterization. In this research, the total fat content and bioactive compounds of the prevailing and cultivated genotypes were analyzed: Taiwan 1, Taiwan 2, Taiwan 3, Taiwan 3A, Taiwan 05, Cuban Morado, Cuban Morado #3, Morado Rosello, Morado Rosello #1, Morado Niño, IDIAF 1, IDIAF SEA 14 and Ramón Collado. A completely randomized design was used, and an ANOVA and Tukey's test were applied at 95% confidence. The results were: total fat (0.08 to 0.38 % dry basis), allicin (167.92 to 2,335.55 mg/kg), antioxidant activity (23.83 to 98.83  $\mu\text{molTE}/100\text{g}$ ), total phenolic content (89.70 to 136.85 mgGAE/100g), tannins (293.33 to 535.76 mg TAE/kg) and flavonoids (23.78 to 61.62  $\mu\text{gEqRutin/g}$ ). Total fat and bioactive compounds fluctuated between genotypes, highlighting the difference in chemical composition according to their genetic variation.

**Keywords:** *Allium sativum* L.; Genotypes; Total Fat; Antioxidant Capacity; Bioactive Compounds.

## 1. Introducción

El ajo (*Allium sativum* L.) es un cultivo de la familia *Amarilidaceae* con gran relevancia económica y medicinal a nivel mundial. En República Dominicana, su producción alcanza los 5 millones de kilogramos anuales, concentrándose en regiones montañosas como Constanza y San José de Ocoa (Ministerio de Agricultura, 2023). No obstante, la demanda interna requiere la importación de alrededor de 15 millones de kilogramos adicionales, lo que ha fomentado la introducción de diversos genotipos, principalmente procedentes de China y Taiwán, con el objetivo de aumentar la productividad local y reducir la dependencia de las importaciones (Caraballo, 2023; Paniagua & Moreta, 2004).

Actualmente, el Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF) conserva más de 20 genotipos en su banco de germoplasma en Constanza (Rodríguez, comunicación personal, octubre de 2022). Aunque muchos de estos genotipos tienen buen rendimiento agronómico y aceptación en el mercado local, se sabe que entre genotipos suele existir una variabilidad significativa en sus compuestos químicos.

Entre los principales compuestos bioactivos del ajo se destacan los organosulfurados, como la alicina y el dialil disulfuro, además de los fenoles y tiosulfonatos, conocidos por sus propiedades antimicrobianas, antioxidantes y antiinflamatorias (Qiu, 2020; Banerjee et al., 2002). Estas propiedades varían según el genotipo, las condiciones de cultivo y el entorno ambiental, lo que genera diferencias en su perfil químico (Volk & Stern, 2009). Investigaciones han documentado variaciones significativas en el contenido fenólico y antioxidante de genotipos como Snow Mountain, Pink garlic, White garlic y variedades coreanas, resaltando la influencia de factores genotípicos y ambientales (Liaqat et al., 2019; Petropoulos, 2018). Sin embargo, no se conocen estudios de caracterización de los genotipos de ajos cultivados en República Dominicana.

Esta investigación se enfoca en la caracterización de la, la grasa total, la alicina, propiedades antioxidantes y el contenido fenólico de trece genotipos de ajo cultivados en Constanza, aportando información clave sobre su composición bioactiva y contribuyendo al conocimiento local en el marco del proyecto financiado por FONDOCYT para mejorar la producción y el valor agregado del ajo dominicano.

## 2. Metodología

### Ubicación del estudio

El estudio fue realizado en los laboratorios del Departamento de Tecnología de Alimentos y de protección de plantas del Departamento de Agronomía de la Universidad ISA, ambos ubicados en la Avenida Presidente Antonio Guzmán Fernández, km 5½, La Herradura, Santiago de los Caballeros, República Dominicana.

### Obtención de los bulbos de ajo

Los bulbos de ajo fueron suministrados por la Estación Experimental del IDIAF, lugar donde fueron cultivados bajo las mismas condiciones, ubicada en Constanza, La Vega, República Dominicana. Los ajos utilizados en esta investigación corresponden a 13 genotipos: Taiwán 1 (T1), Taiwán 2 (T2), Taiwán 3 (T3), Taiwán 3A (T3A), Taiwán 05 (T05), Cubano Morado (CM), Cubano Morado #3 (CM3), Morado Rosello (MR), Morado Rosello #1 (MR1), Morado Niño (MN), IDIAF 1 (I1), IDIAF SEA 14 (IS14) y Ramón Collado (RC). Los bulbos fueron recibidos en estado fresco.

### Preparación de las muestras

La preparación de la muestra para el contenido de grasa total se realizó según las recomendaciones de Terán et al. (2022), con algunas modificaciones: el ajo se peló, se cortó en rodajas y se procedió a deshidratar (en un horno VWR 1300U) durante 24 horas, a una temperatura de  $60 \pm 3$  °C. Se tomó una masa de 5 g del ajo previamente deshidratado y se trituró con ayuda de un mortero. Para el contenido de alicina, la muestra fue preparada según las recomendaciones de Zhou et al. (2015) con algunas modificaciones. Después de eliminar la cáscara y cortar el ajo, se procedió a macerar con mortero, se colocaron 0,5 g de ajo macerado en un tubo falcon de 50 mL y se le adicionaron 5 mL de agua bidestilada. Luego, se colocó en un baño María (Taitec SDN-B) a 50 °C por 60 minutos. Después, se añadieron 15 mL de etanol 95° a la mezcla, y se colocó en un baño maría a 45 °C, con una oscilación de 150 rpm durante 90 minutos. Pasado este tiempo, la muestra fue filtrada e inmediatamente utilizada para el análisis.

Para el contenido fenólico total, taninos, flavonoides y actividad antioxidante la preparación de muestra se realizó siguiendo las indicaciones de Kopec et al. (2020) y Bustos et al. (2012), con algunas modificaciones. Se eliminó la cáscara de los dientes de ajo, estos fueron

cortados y posteriormente macerados, con la masa resultante, se realizó un extracto usando una solución 1:10 m/v para el contenido fenólico total, taninos y flavonoides, y 1:5 m/v para la actividad antioxidante, usando metanol al 80% como solvente. Se sometió a agitación (agitador magnético Velp Scientifica F20500554 Arec.X) durante 2 horas a temperatura ambiente ( $22 \pm 2$  °C). Este extracto fue filtrado y luego puesto en tubos eppendorf de 1.5 mL para así someterse a un centrifugado (en una centrifuga Eppendorf 5418) a 6.000 rpm durante 2 minutos. El sobrenadante fue dejado en los Eppendorf y protegido de la luz hasta su uso, a temperatura de refrigeración.

### Variables evaluadas

**Grasa total:** Se determinó por el método Soxhlet utilizando hexano como solvente según lo descrito por Terán et al. (2022). La muestra de ajo se usó en seco en un cartucho de papel de filtro y se recirculó el solvente a temperatura de punto de ebullición por encima de 70 °C, con un volumen equivalente a la capacidad del Soxhlet más 10 ml, durante 10 ciclos. Finalmente, se destiló el solvente en el balón con ayuda del rotavapor (Yamato RE202-A) para recuperar el solvente, y este fue puesto en un horno a 69 °C por 30 minutos para evaporar la humedad y el solvente restante. Luego fue pasado a una desecadora para extraer la humedad resultante, para posteriormente obtener el peso de la muestra de grasa extraída. La cuantificación se realizó por triplicado y el resultado fue expresado en porcentaje (%) de grasa por muestra seca.

**Contenido de Alicina:** Se determinó mediante espectrofotometría, por el método planteado por Zhou et al. (2015), al cual se le realizaron algunas modificaciones. Se mezclan 5 mL de una solución de L-cisteína al 10 mM preparada en un buffer de Tris-HCl a 50 mM (pH 7,5) con 1 ml de agua bidestilada (blanco) o 1 ml de alicina extraída. De la mezcla resultante se tomó 0,15 mL para ser diluida en 14,85 mL de H<sub>2</sub>O bidestilada; de esta dilución se tomaron 4,5 mL y se le adicionaron 0,5 mL de ácido 5,5-ditio-bis-(2-nitrobenzoico) (DTNB) al 1,5 mM preparado con Tris-HCl buffer 50 mM (pH 7,5). Fue necesario dejar reposar la disolución por 15 min y posteriormente, mediante un espectrofotómetro UV-visible Thermo Scientific Genesys 50 se obtuvo la absorbancia a 412 nm. La ecuación para obtener la concentración molar de la alicina en la solución fue la siguiente:

$$C_{\text{Alicina}} (\text{mmol/mL}) = (\Delta A_{412} \times \beta) / (2 \times 14,150)$$

Donde  $\Delta A_{412}$ : A0-A; A0: Lectura de absorbancia del agua; A: Lectura de absorbancia de la alicina. B: Dilución de L-cisteína; 14,150: Coeficiente molar de extinción de alicina en agua.

Los resultados finales fueron expresados en mg de alicina/kg de ajo.

**Actividad Antioxidante:** Se determinó con el método DPPH, siguiendo las recomendaciones de Rodríguez-Jimenez et al. (2018) con algunas modificaciones. Se utilizó una solución de DPPH disuelta en metanol al 80%, para su preparación, fue disuelto el reactivo en el solvente, y posteriormente sometido a un baño ultrasónico para su eficiente disolución, se midió en el espectrofotómetro UV-Vis a 517 nm, y se ajustó la concentración de la solución de DPPH hasta alcanzar 1,000 de absorbancia. Se tomaron 50  $\mu$ L del extracto y se hizo reaccionar con 1,5 ml de la solución de DPPH durante 30 minutos en oscuridad total, para posteriormente hacer la lectura. Los resultados fueron expresados en  $\mu$ mol equivalentes de trolox por 100 gramos de ajo ( $\mu$ molTE/100g). Se realizó la recta patrón utilizando Trolox como estándar con metanol al 80% como blanco y solvente, en una sucesión de diluciones de 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 y 800  $\mu$ M ( $y = -0,0003x + 0,9738$ ;  $R^2 = 0,9944$ ).

**Contenido fenólico total (TPC):** Se determinó utilizando el método de Folin-Ciocalteu planteado por Nagella et al. (2014), con algunas modificaciones. La reacción se realizó con 200  $\mu$ L del extracto (y del estándar en el caso de la recta patrón), 1 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu diluido (0,2 N), se dejó reposar por 8 minutos, concluido este tiempo, se agregó 800  $\mu$ L de una solución de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (7,5%), luego de esto, se dejó hacer la reacción durante 30 minutos en oscuridad total. La absorbancia fue medida a 765 nm en un espectrofotómetro UV-Vis por triplicado y los resultados expresados en miligramos equivalente de ácido gálico (GAE) por 100 gramos de ajo (mg GAE/100g). La recta patrón fue de 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80 y 100 mg ácido gálico/L, usando metanol al 80% como solvente y blanco ( $y = 0,0041x + 0,0219$ ;  $R^2 = 0,9868$ ).

**Contenido de taninos totales (TTC):** Se determinó haciendo uso de la metodología seguida por Herrera & Quimis (2017), con algunas modificaciones. Se tomó 1 mL del extracto de ajo, y le fue adicionado 0,5 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu, se agitó levemente la alícuota, y se dejó reposar por 5 minutos. Luego se añadió 250  $\mu$ L de carbonato de sodio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) al 5%, se agitó nuevamente para añadir un volumen de 3,25 mL de agua bidestilada. Luego de 30 minutos de

reposito se realizaron las mediciones en el espectrofotómetro a 700 nm. La cuantificación se realizó por triplicado y los resultados fueron expresados como mg Eq de ácido tánico por Kg de Ajo (mgTAE/Kg). Se utilizó ácido tánico como estándar, en una serie de diluciones de 0, 10, 20, 30, 40 y 50 mg/L preparadas a partir de una solución de 500 mg/L de ácido tánico, utilizando metanol al 80% como solvente y como blanco ( $y = 0,0011x + 0,0044$ ;  $R^2 = 0,9958$ ).

**Contenido de flavonoides totales (TFC):** Se realizó usando la metodología descrita por Nurul y Asmah (2012), que consiste en hacer reaccionar 1 mL de solución de cloruro de aluminio hexahidratado ( $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ ) al 2%, con 1 mL del extracto de ajo (o dilución de Rutina en el caso de la recta patrón), y luego de 10 minutos se realizó la lectura a 430 nm. Los resultados fueron expresados como  $\mu g$  de Rutin por gramo de ajo ( $\mu g$  Rutin/g). Se utilizó rutina como estándar, en una dilución de 6, 8, 10, 12, 16 y 20  $\mu g/mL$  para la recta patrón, usando metanol al 80% como solvente y blanco ( $y = 0,0037x - 0,0008$ ;  $R^2 = 0,9915$ ).

#### Análisis estadístico

El diseño del estudio corresponde a una investigación no experimental, descriptiva y de corte transversal. Debido a que la caracterización realizada contaba con los supuestos estadísticos necesarios, se realizó un análisis de varianza ANOVA y una prueba Tukey, con sus separaciones de media a un 95% de confiabilidad, empleando el paquete estadístico InfoStat versión libre estudiantil (actualización del año 2020).

### 3. Resultados y discusión

Los resultados obtenidos de la cuantificación de grasa total, alicina, y actividad antioxidante, pueden observarse en la Tabla 1.

#### Grasa total

La cantidad de grasa encontrada en estos genotipos (Tabla 1) tiene un rango de 0,11 a 0,38 % (base seca). Tan solo dos genotipos: Ramón Collado y Taiwán 3A con 0,11 y 0,14% respectivamente, presentan proporciones de grasa por debajo de 0,2%. También resalta el genotipo Morado Rosello #1, con una cantidad de 0,38% el cual presenta una mayor cantidad entre todos los genotipos. Se encontró diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ), donde el genotipo Morado Rosello #1 presentó una mayor cantidad de grasa (0,38 %) con respecto los demás genotipos.

El promedio porcentual de grasa en los genotipos de ajo tipo morado, es estadísticamente superior al promedio porcentual de grasa en genotipos de ajo tipo blanco. La mayoría de los ajos tipo morados tiende a ser más precoz que los del tipo blanco, así mismo son más perecederos. Esta última condición puede estar relacionada al contenido de grasa debido a su susceptibilidad a la oxidación lipídica, que provoca rancidez con el tiempo y degrada el valor nutricional del alimento (Indra et al., 2023). Sin embargo, no es el único factor determinante, pues otros como la humedad, la temperatura, el contenido de agua, la actividad enzimática y la presencia de microorganismos también desempeñan un papel crucial en la degradación del ajo (Utama et al., 2024).

**Tabla 1**

Concentración de compuestos de interés alimenticio (grasa total, alicina y capacidad antioxidante) en extractos de ajo de distintos genotipos

Genotipos	Grasa total (% base seca)	Alicina (mg/kg)	Actividad Antioxidante ( $\mu mol$ TE/100g)
Taiwán 1	0,23 $\pm$ 0,03 <sup>ab</sup>	844,66 $\pm$ 46,64 <sup>d</sup>	78,83 $\pm$ 5,89 <sup>de</sup>
Taiwán 2	0,29 $\pm$ 0,01 <sup>bc</sup>	742,90 $\pm$ 93,27 <sup>cd</sup>	47,17 $\pm$ 5,89 <sup>bc</sup>
Taiwán 3	0,24 $\pm$ 0,03 <sup>abc</sup>	1236,47 $\pm$ 21,59 <sup>f</sup>	53,83 $\pm$ 1,18 <sup>c</sup>
Taiwán 3A	0,14 $\pm$ 0,03 <sup>a</sup>	656,40 $\pm$ 64,76 <sup>bc</sup>	41,33 $\pm$ 0,00 <sup>abc</sup>
Taiwán 05	0,22 $\pm$ 0,02 <sup>ab</sup>	2.335,55 $\pm$ 21,59 <sup>g</sup>	88,83 $\pm$ 1,18 <sup>e</sup>
Cubano Morado	0,25 $\pm$ 0,03 <sup>abc</sup>	198,45 $\pm$ 21,59 <sup>a</sup>	40,22 $\pm$ 5,85 <sup>abc</sup>
Cubano Morado #3	0,23 $\pm$ 0,01 <sup>abc</sup>	167,92 $\pm$ 21,59 <sup>a</sup>	48,83 $\pm$ 8,25 <sup>bc</sup>
Morado Rosello	0,23 $\pm$ 0,07 <sup>ab</sup>	-	55,22 $\pm$ 6,94 <sup>c</sup>
Morado Rosello #1	0,38 $\pm$ 0,17 <sup>c</sup>	498,66 $\pm$ 17,63 <sup>b</sup>	98,83 $\pm$ 10,61 <sup>e</sup>
Morado Niño	0,22 $\pm$ 0,02 <sup>ab</sup>	-	23,83 $\pm$ 3,54 <sup>a</sup>
IDIAF 1	0,20 $\pm$ 0,05 <sup>ab</sup>	534,28 $\pm$ 64,76 <sup>b</sup>	58,56 $\pm$ 5,09 <sup>cd</sup>
IDIAF SEA 14	0,20 $\pm$ 0,02 <sup>ab</sup>	-	27,17 $\pm$ 3,54 <sup>ab</sup>
Ramón Collado	0,11 $\pm$ 0,05 <sup>a</sup>	1.053,29 $\pm$ 21,59 <sup>e</sup>	78,83 $\pm$ 8,25 <sup>de</sup>

Medias  $\pm$  desviación estándar. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ) dentro de la misma variable.

En otro particular, el porcentaje de grasa en el ajo fresco varía según la composición lipídica que consiste en lípidos neutros, glucolípidos y fosfolípidos, siendo los triglicéridos el componente lipídico neutro predominante (Qamar et al., 2015). Pero en sentido general, el ajo fresco contiene entre 0,1% al 0,3% de grasa en peso húmedo. Relativamente bajo en comparación con otros alimentos que son fuentes más significativas de grasas, como plantas oleaginosas (Pakakaew et al., 2022). Se ha observado que el contenido de grasa en el ajo puede variar según el genotipo y su estado de desarrollo y madurez. Se ha sugerido que, en condiciones óptimas de desarrollo y madurez, este contenido puede alcanzar hasta un 3% (Skoczylas et al., 2023). Estas conclusiones, respaldadas también por investigaciones como la de Pakakaew et al. (2022), validan la congruencia de los datos de porcentaje de grasa obtenidos de los 13 genotipos en estudio. En adición, estudios como el de Puyen y Baldera (2023), han publicado porcentajes que duplican el 0,3% de grasa en ajo fresco.

La variabilidad de los resultados obtenidos está determinada por el genotipo, pero de igual forma, pueden deberse a distintos factores como la exposición a distintas condiciones ambientales o geográficas, así como los ciclos y temporadas de cosecha y el método de extracción o analítico. Resultados también evidenciados en estudios similares como el de Galgaye (2023) y Zawistowski et al. (2018). Los resultados evidenciados dentro de esta investigación se encuentran dentro de los parámetros de investigaciones similares. Por ejemplo, la de Pakakaew et al. (2022), quienes caracterizaron tres variedades de ajo tailandeses y chinos, encontrando una media menor al 1% en base seca del contenido de grasa en el ajo. En este particular se puede destacar que el ajo chino presenta un contenido de grasa similar al encontrado en el genotipo Ramón Collado y Taiwán 3A.

#### Alicina

Las concentraciones encontradas de este compuesto varían entre 167,92 a 2.335,55 mg/Kg en los genotipos de ajo de este estudio. En la tabla 1, se puede contemplar que los genotipos morados son los de menor concentración y que, por otro lado, los genotipos de ajo blanco, representados por Taiwán y China, presentan la mayor cantidad de Alicina, destacando el Ramón Collado, Taiwán 3 y Taiwán 05, que superaron la línea de los 1.000,00 mg/kg de alicina, con especial mención al Taiwán 05, cuyo contenido de

alicina fue de  $2.335,55 \pm 21,59$ , cantidad muy destacable que resalta cualidades organolépticas que lo pueden hacer resaltar en su sabor astringente propio del ajo. Una correlación importante para tomar en cuenta es cómo, a diferencia del contenido de grasa total, los ajos blancos evidencian un contenido mayor de alicina, resultados contrarios a otras investigaciones, como la de Gong et al. (2022), en donde reportó que el ajo morado contiene una mayor cantidad de alicina respecto al blanco, tanto fresco como seco. Por otra parte, Liaqat et al. (2019), caracterizaron ajo rosa y blanco con diferentes extractos, en donde su extracto metanólico al 50%, obtuvo unas concentraciones en mg/kg (425,6 mg/kg) muy similares a las obtenidas por el Morado Rosello #1 (498,66 ppm); cabe destacar que los solventes utilizados en la extracción de la alicina en el ajo juegan un rol muy importante, ya que estos son muy reactivos con la aliina, alinasa, y alicina, así como con los tiosulfatos en general, por lo que se recomienda utilizar agua, ya que favorece la reacción enzimática que da origen a la alicina (Ramírez et al., 2017).

Respecto a los genotipos Morado Rosello, Morado Niño, e IDIAF SEA 14, no fue posible detectar ninguna lectura en el espectrofotómetro en la solución empleada, siguiendo una única metodología. Por acción de dos moléculas de L-Cisteína, se espera que de los tiosulfatos presentes en el ajo, únicamente reaccione la alicina, para dar lugar a dos moléculas de S-Alil Mercaptocisteína (S-AMC), y que, de este modo, el exceso de L-Cisteína, reaccione con el DTNB, para generar TNB, que es lo que se mide en el espectrofotómetro a 412 nm, tal y como explica Gao et al. (2023), quienes siguieron esta misma metodología. Así mismo, e intentando buscar una explicación para estos genotipos, podrían contener metabolitos secundarios que no estén del todo bien caracterizados, así como presencia de otros agentes químicos que inhiban a los mismos y, por lo tanto, no se genere la alicina apropiadamente. Así mismo, podría deberse a la presencia de compuestos sulfurados propios de la tierra en donde se cosecha el ajo, y del tratamiento que tuvieron los cultivos. En este sentido, se confirma lo planteado por Han et al. (1995), que daba a entender que método es más adecuado para medir tiosulfatos totales, y estimar la cantidad de alicina en ajo. Puesto que no busca reemplazar métodos de alta precisión como el HPLC, que es más adecuados para cualquier muestra que contenga alicina (Zhou et al., 2015).

### Actividad Antioxidante

Citando los resultados obtenidos en la actividad antioxidante de los trece genotipos de ajo, se puede referir que el genotipo denominado Morado Rosello #1 presentó mayor capacidad antioxidante, con 98,83  $\mu\text{molTE}/100\text{g}$  (micromoles equivalentes de trolox por 100 gramos de muestra), seguido del Taiwán 05 y Ramón Collado. Contrario a estos, los genotipos que evidenciaron menor actividad antioxidante fueron el Morado Niño, IDIAF SEA 14 y Cubano Morado, con 23,83, 27,17 y 40,22  $\mu\text{molTE}/100\text{g}$  respectivamente.

Aunque hay estudios como el de Dinu et al., (2023), que respaldan las concentraciones de antioxidantes encontrados en este estudio por el rango que ellos obtuvieron, que va de 0,664  $\mu\text{mol/g}$  a 1,578  $\mu\text{mol/g}$  (equivalente de trolox), también se ha indicado que la variación de este compuesto bioactivo, si bien puede depender del genotipo de ajo y de sus partes, también puede estar sujeto a los métodos de procesamiento como el ABTS (Čeryová et al., 2021; Čeryová et al., 2023) o DPPH (Azizah et al., 2022; Sari & Anwar, 2022). Si bien es cierto que usualmente el contenido fenólico es proporcional a la capacidad antioxidante, es importante resaltar que los fenoles abarcan un gran grupo de compuestos orgánicos que, a su vez, se diferencian entre sí por sus enlaces, grupos hidroxilo y masa molecular (Andarwulan et al., 1999; Gimeno, 2004). En este sentido, la variedad de especies fenólicas y el número de hidroxilos con los que cuenta, podrían explicar la diferencia entre la capacidad antioxidante de los genotipos en relación con las variables de los fenoles y capacidad antioxidante (Mayulu & Sawitri, 2023). Diversos estudios han demostrado variaciones en la actividad antioxidante de diferentes fenotipos

de ajo (Habuš et al., 2023; Avgeri et al., 2020). Esta variación es notable, incluso, en diferentes partes (dientes y hojas), dentro de un mismo fenotipo. Se ha visto además que la variación de este compuesto bioactivo, que varía entre genotipos de ajo, puede estar favorecido por estrés hídrico (Habuš et al., 2023).

### Fenoles, taninos y flavonoides

Los resultados obtenidos de la cuantificación de estos compuestos bioactivos en los extractos de ajo de diferentes genotipos se presentan en la Tabla 2.

### Contenido fenólico Total (TPC)

Se encontró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre varios genotipos de ajo, generando 6 grupos estadísticamente distintos. La concentración de este compuesto está entre 89,7 y 136,85 mg GAE/100g. Solo los genotipos Morado Niño y Ramón Collado resultaron por debajo de los 100 mg GAE/100g, con 95,47 y 89,70 mg GAE/100g respectivamente. Los genotipos Taiwán 3, IDIAF 14 e IDIAF 1 son los únicos que superan los 120 mg GAE/100g, donde el IDIAF 1 presenta la mayor concentración, con 136,85 mg GAE/100g. La separación de medias destaca que el genotipo IDIAF 1 presenta una concentración de fenoles totales estadísticamente igual a la concentración de fenoles de los genotipos Morado Rosello, Taiwán 3 e IDIAF SEA 14, pero estadísticamente superior a los demás genotipos. Diversas investigaciones, como la de Avgeri et al. (2020) han demostrado que el contenido de fenoles totales en ajo puede variar entre genotipos por su material genético, así como con factores como la cantidad de luz solar, el tipo de suelo, el clima, el almacenamiento y las prácticas agrícolas pueden influir en el contenido de este compuesto.

**Tabla 2**

Concentración de compuestos fenoles taninos y flavonoides en extractos de ajo de distintos genotipos

Genotipos	TPC (mg GAE/100g)	TTC (mg TAE/Kg)	TFC ( $\mu\text{gEqRutin/g}$ )
Taiwán 1	111,98 $\pm$ 2,48 <sup>bcde</sup>	293,33 $\pm$ 10,50 <sup>a</sup>	26,49 $\pm$ 2,70 <sup>ab</sup>
Taiwán 2	112,46 $\pm$ 3,59 <sup>bcde</sup>	432,73 $\pm$ 24,05 <sup>cde</sup>	30,09 $\pm$ 4,13 <sup>bc</sup>
Taiwán 3	129,05 $\pm$ 6,71 <sup>def</sup>	460,00 $\pm$ 25,71 <sup>e</sup>	40,00 $\pm$ 0,00 <sup>de</sup>
Taiwán 3A	107,67 $\pm$ 1,49 <sup>abc</sup>	420,61 $\pm$ 10,50 <sup>cde</sup>	28,29 $\pm$ 1,56 <sup>ab</sup>
Taiwán 05	108,32 $\pm$ 1,29 <sup>abcd</sup>	411,52 $\pm$ 10,50 <sup>cde</sup>	42,70 $\pm$ 0,00 <sup>e</sup>
Cubano Morado	103,28 $\pm$ 7,25 <sup>abc</sup>	387,27 $\pm$ 9,09 <sup>bc</sup>	28,29 $\pm$ 3,12 <sup>ab</sup>
Cubano Morado #3	104,66 $\pm$ 14,22 <sup>abc</sup>	447,88 $\pm$ 26,24 <sup>de</sup>	61,62 $\pm$ 0,00 <sup>f</sup>
Morado Rosello	117,26 $\pm$ 12,06 <sup>cdef</sup>	447,88 $\pm$ 27,77 <sup>de</sup>	29,19 $\pm$ 0,00 <sup>abc</sup>
Morado Rosello #1	105,88 $\pm$ 8,24 <sup>abc</sup>	410,00 $\pm$ 19,28 <sup>cde</sup>	26,49 $\pm$ 0,00 <sup>ab</sup>
Morado Niño	95,47 $\pm$ 3,14 <sup>ab</sup>	346,36 $\pm$ 6,43 <sup>ab</sup>	23,78 $\pm$ 0,00 <sup>a</sup>
IDIAF 1	136,85 $\pm$ 5,75 <sup>f</sup>	535,76 $\pm$ 18,92 <sup>f</sup>	40,00 $\pm$ 0,00 <sup>de</sup>
IDIAF SEA 14	130,19 $\pm$ 7,33 <sup>ef</sup>	390,30 $\pm$ 10,50 <sup>bcd</sup>	26,49 $\pm$ 0,00 <sup>ab</sup>
Ramón Collado	89,70 $\pm$ 4,16 <sup>a</sup>	432,73 $\pm$ 24,05 <sup>cde</sup>	34,59 $\pm$ 2,70 <sup>cd</sup>

Medias  $\pm$  desviación estándar. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ) dentro de la misma variable.

En este contexto de investigación, el único elemento diferente es el genotipo, por lo tanto, la variación de la concentración de este compuesto puede ser atribuida a condiciones intrínsecas del genotipo. Estos hallazgos donde la concentración de fenoles cambia entre genotipos de ajo han sido también reportados por Čeryová et al. (2023) y por Barboza et al. (2022).

Por otro lado, se puede destacar que los genotipos de ajo en estudio pueden ser reagrupados como ajo tipo blanco y ajo tipo morado. En este sentido, por el contenido de antocianina que proporciona el color morado y que pudiera aportar propiedades antioxidantes (Cavagnaro & Burba, 2022), se esperaría que este grupo de genotipo presentara en promedio mayor cantidad de fenoles totales, sin embargo, los ajos tipo blanco presentan una media general ligeramente superior. Este es un punto de análisis, pero no se han encontrado literaturas específicas que puedan validar esta hipótesis. En el estudio realizado por Liaqat et al. (2019), obtuvieron resultados muy aproximados a los de esta investigación, donde caracterizaron ajo tipo blanco y tipo rosado. El ajo tipo rosado obtuvo una cantidad mayor de contenido fenólico total, que va de 70,49 a 86,18 mg GAE/100g, y el blanco oscila entre 57,35 a 68,4 mg GAE/100g.

#### Contenido de taninos totales (TTC)

El contenido de taninos de los trece genotipos de ajo oscila entre 293,33 a 535,75 mg Eq de ácido tánico/Kg (mg TAE/Kg). Solo dos genotipos (Taiwán 3 y IDIAF 1) sobrepasan los 450 mg TAE/Kg (Tabla 2). Se encontró diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ) entre las medias de taninos de los genotipos en estudio, donde el Taiwán 3 (con 508,38) e IDIAF 1 (con 535,76 mg TAE/Kg) presentaron una mayor cantidad de taninos. Por su parte, Taiwán 1 presentó 293,33 mg TAE/Kg, siendo la menor cantidad de taninos en comparación con lo observado en los demás genotipos. Los resultados encontrados son muy similares a los reportados por Mayulu & Sawitri (2023), quienes obtuvieron 463,165 mg TAE por kg de ajo fresco. Dado que los taninos son polímeros de fenoles, su concentración también varía en función de factores genéticos, ambientales y de manejo agronómico (Atif et al., 2020), y para este caso particular, la única variación es sobre los genotipos en estudio. Es importante destacar que dentro de un mismo genotipo de ajo (por ejemplo, Taiwán), la Estación Experimental del IDIAF en Constanza ha seleccionado variantes morfoló-

gicas y de producción y que, bajo este análisis químico, muestran concentraciones de taninos diferentes, apuntando a que han sido acertadas estas separaciones dentro de un genotipo.

Así mismo, también es importante mencionar que son muy pocas las investigaciones que han cuantificado taninos en ajo, y que las que lo han hecho han sido a través de tecnologías emergentes, en la cáscara de ajo, como el estudio realizado por Pardede et al. (2020), en donde se analiza cualitativa y cuantitativamente con el uso de extracto etanólico con efecto de microondas. Sin embargo, y debido a la naturaleza de estas investigaciones, así como las técnicas utilizadas, no son apropiadas para comparar con esta investigación.

#### Contenido de flavonoides totales (TFC)

Se observa que el contenido de flavonoides en los genotipos analizados varía entre 23,78 y 61,62  $\mu\text{g}$  Rutin/g (Tabla 2). El análisis de varianza indica diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ) entre las medias de los genotipos, donde el Cubano Morado #3 es estadísticamente diferente a los demás, con concentración de flavonoides estadísticamente mayor a los doce restantes. Así mismo, se pudo documentar diferencias significativas notables entre distintos grupos de tratamientos, así como una desviación ínfima entre repeticiones de un mismo genotipo. La constante para este compuesto, al igual que los anteriormente discutidos, es su variación entre genotipos.

La singularidad de los resultados obtenidos se debe a que los flavonoides son compuestos fenólicos, y dichos compuestos y familias relacionadas varían dependiendo del genotipo, ecotipo, condiciones de siembra y condiciones de crecimiento (Volk & Stern, 2009). Estas dos últimas para los genotipos fueron las mismas, quedando demostrado que existe una diferencia entre cada genotipo. Diferencias cuantitativas sobre la concentración de flavonoides han sido observadas en genotipos de ajo, pero también por el estado de madurez de una planta, donde aquellas inmaduras mostraron niveles más altos que los bulbos de plantas maduras (Salihović & Sofić, 2021). La variabilidad de este compuesto también ha sido destacada por Shuxia et al. (2013), en diferentes cultivares de ajo.

#### 4. Conclusiones

Se ha podido cuantificar el contenido de compuestos fenólicos y familia relacionada (fenoles, taninos, flavonoides) en los 13 genotipos

de ajo fresco (*Allium sativum*) cultivados en Constanza, La Vega, República Dominicana, encontrando que estos compuestos pueden variar entre genotipos, independientemente de su tipo o variantes fenotípicas originadas de un tronco común. Al igual que los fenoles y familias relacionadas, se ha podido cuantificar el contenido de compuestos de interés alimenticio como alicina y grasa, además de la capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos presente en los 13 genotipos de ajo considerados en el estudio. En estas tres propiedades prevalece la fluctuación en cada genotipo, resaltando la relevancia del estudio para poder separar cada genotipo por sus características de compuestos bioactivos y antioxidantes, siendo indicativo de las posibles funcionalidades o aplicaciones a nivel doméstico o industrial (alimentos, medicamentos u otros).

### Agradecimientos

Los autores agradecen al FONDOCYT (Proyecto 2022-2C1-235), al Instituto de Innovación en Biotecnología e Industria (IIBI) y a la Universidad ISA.

### Referencias bibliográficas

- Andarwulan, N., Fardiaz, D., Wattimena, G. A., & Shetty, K. (1999). Antioxidant Activity Associated with Lipid and Phenolic Mobilization during Seed Germination of *Pangium edule* Reinw. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(8), 3158–3163. doi:10.1021/jf981287a
- Atif, M. J., Amin, B., Ghani, M. I., Ali, M., & Cheng, Z. (2020). Variation in morphological and quality parameters in garlic (*Allium sativum* L.) bulb influenced by different photoperiod, temperature, sowing and harvesting time. *Plants*, 9(2). https://doi.org/10.3390/plants9020155
- Avgeri, I., Zeliou, K., Petropoulos, S. A., Bebeli, P. J., Papatotopoulos, V., & Lamari, F. N. (2020). Variability in bulb organosulfur compounds, sugars, phenolics, and pyruvate among greek garlic genotypes: Association with antioxidant properties. *Antioxidants*, 9(10), 1–14. https://doi.org/10.3390/antiox9100967
- Azizah, Z., Sarina, G., & Putri, W. Y. (2022). Antioxidant Activity of the Ethyl Acetate Fraction, N- Hexane Fraction from the Ethanol Extract of Black Garlic (*Allium Sativum* L.) using the 2,2-Diphenyl 1-Picrylhydrazyl (DPPH). *International Journal of Research Publication and Reviews*, 3(12), 742–748. https://doi.org/10.55248/gengpi.2022.31217
- Barboza, M., Pérez, M., Dhall, R., & Cavagnaro, P. (2022). Genotypic and environmental effects on the compounds associated with garlic flavor, health-enhancing properties, and postharvest conservation. *Crop Science*, 62(5), 1807-1820. https://doi.org/10.1002/csc2.20780
- Bustos-Hipólito, E., Legorreta-Siañez, A. V., Luisa, A., Garfias, J., González-González, L. R., & Arenas-Huertero, F. J. (2012). Efecto de la extracción de los compuestos antioxidantes de la cáscara de manzana con solventes, sobre la bioactividad y su capacidad antioxidante. *Revista Facultad de Ciencia y Tecnología*, 11, 123–130.
- Cavagnaro, P. F., & Burba, J. L. (2022). Genetic and environmental factors influencing garlic anthocyanin pigmentation: a review. *Horticultura Argentina*, 41(106), 103–123.
- Čeryová, N., Čičová, I., Lidiková, J., Šnirc, M., Horváthová, J., Lichtnerová, H., & Franková, H. (2021). The Content of Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Garlic (*Allium sativum* L.). *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 15, 1104–1111. https://doi.org/10.5219/1694
- Čeryová, N., Lidiková, J., Pintér, E., Šnirc, M., Franková, H., Ľorbová, M., & Fedorková, S. (2023). Total polyphenol content, total flavonoid content, and antioxidant activity of garlic (*Allium sativum* L.) cultivars. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, 13(1), e9668-e9668.
- Dinu, M., Soare, R., Băbeanu, C., & Botu, M. (2023). Evaluation of Productivity Components and Antioxidant Activity of Different Types of Garlic Depending on the Morphological Organs. *Horticulturae*, 9(9). https://doi.org/10.3390/horticulturae9091039
- Galgay, G. G. (2023). Effect of garlic genotypes (*Allium sativum* L.) on phenotype, growth, yield-related attributes, and nutritional quality at Bule Hora agro-ecology. *Heliyon*, 9(6). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16317
- Gao, X., Zhou, Y., Gu, J., Liu, X., & Zhang, Z. (2023). Construction and Activity Study of a Natural Antibacterial Patch Based on Natural Active Substance-Green Porous Structures. *Molecules*, 28(3). https://doi.org/10.3390/molecules28031319
- Gimeno, E. (2004). *Compuestos fenólicos. Un análisis de sus beneficios para la salud*. OFFARM, 23, 80–84.
- Gong, H., Wang, T., Hua, Y., Wang, W. D., Shi, C., Xu, H. X., ... Yu, N. N. (2022). Garlic varieties and drying methods affected the physical properties, bioactive compounds and antioxidant capacity of dried garlic powder. *CYTA - Journal of Food*, 20(1), 111–119. https://doi.org/10.1080/19476337.2022.2093400
- Habuš Jerčić, I., Bošnjak Mihovilović, A., Matković Stanković, A., Lazarević, B., Goreta Ban, S., Ban, D., ... Kereša, S. (2023). Garlic Ecotypes Utilise Different Morphological, Physiological and Biochemical Mechanisms to Cope with Drought Stress. *Plants*, 12(9). https://doi.org/10.3390/plants12091824
- Han, J., Lawson, L., Han, G., & Han, P. (1995). Spectrophotometric Method for Quantitative Determination of Allicin and Total Garlic Thiosulfonates. *Analytical Biochemistry*, 225(1), 157–160. https://doi.org/10.1006/abio.1995.1124
- Herrera-Fuentes, I. A., Quimis-Ponce, K. L., Sorroza-Rojas, N. A., García-Larreta, F. S., Mariscal-Santi, W., & Mariscal-García, R. E. (2017). Determinación de Taninos y Cumarinas presente en la planta tres filos. *Polo Del Conocimiento*, 2(7), 500. https://doi.org/10.23857/pc.v2i7.257
- IICA, SEA, CNC. (2006). *Estudio de la Cadena Agroalimentaria de Ajo en la República Dominicana*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Indra Pumama, A. L., Yulistiani, R., Agung Wicaksono, L., Setyarini, W., Arizandy, R. Y., & Putri Febranti, N. D. (2023). The Shelf-Life Prediction of Black Garlic Chili Sauce and “Cahyo” Garlic Chili Sauce with Accelerated Shelf-Life Testing (ASLT) Method Based on The Arrhenius Model. *Asian Journal of Applied Research for Community Development and Empowerment*, 7(1), 104–119. https://doi.org/10.29165/ajarcode.v7i1.227
- Kopec, A., Skoczylas, J., Jędrszczyk, E., Francik, R., Bystrowska, B., & Zawistowski, J. (2020). Chemical composition and concentration of bioactive compounds in garlic cultivated from air bulbs. *Agriculture (Switzerland)*, 10(2). https://doi.org/10.3390/agriculture10020040
- Liaqat, A., Zahoor, T., Atif Randhawa, M., & Shahid, M. (2019). Characterization and antimicrobial potential of bioactive components of sonicated extract from garlic (*Allium sativum*) against foodborne pathogens. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(5). https://doi.org/10.1111/jfpp.13936
- Mayulu, H., & Sawitri, E. (2023). Black Garlic Phytochemical Potential and Antioxidant Capacity as a Feed Additive. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 11(7), 1047–1056. https://doi.org/10.17582/journal.aavs/2023/11.7.1047.1056
- Nagella, P., Thiruvengadam, M., Ahmad, A., Yoon, J. Y., & Chung, I. M. (2014). Composition of polyphenols and antioxidant activity of garlic bulbs collected from different Locations of Korea. *Asian Journal of Chemistry*, 26(3), 897–902. https://doi.org/10.14233/ajchem.2014.16143A
- Nurul, S. R., & Asmah, R. (2012). Evaluation of antioxidant properties in fresh and pickled papaya. *International Food Research Journal*, 19(3), 1117–1124.
- Pakakaew, P., Taesuwan, S., Phimolsiripol, Y., & Utama-Ang, N. (2022). Comparison between the Physicochemical Properties, Bioactive Compounds and Antioxidant Activities of Thai and

- Chinese Garlics. *Current Applied Science and Technology*, 22(3). <https://doi.org/10.55003/cast.2022.03.22.006>
- Pardede, C., Iriany, Tambun, R., Fitri, M. D., & Husna, R. (2020). Extraction of tannin from garlic skins by using microwave with ethanol as solvent. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 801). Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/801/1/012054>
- Petropoulos, S. A., Fernandes, Â., Ntatsi, G., Petrotos, K., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2018). Nutritional value, chemical characterization and bulb morphology of Greek Garlic landraces. *Molecules*, 23(2). <https://doi.org/10.3390/molecules23020319>
- Puyen, Y., & Baldera, K. (2023). *Caracterización fisicoquímica, bromatológica y funcional del ajo fresco (Allium sativum) en las variedades Barranquino, Chino y Napuri* [Tesis, Universidad Señor de Sipán]. <https://hdl.handle.net/20.500.12802/10760>
- Qamar, A., Siddiqui, A., & Kumar, H. (2015). Fresh garlic amelioration of high-fat-diet induced fatty liver in albino rats. *J Pak Med Assoc*, 65(10), 1102-1107.
- Ramirez, D. A., Locatelli, D. A., González, R. E., Cavagnaro, P. F., & Camargo, A. B. (2017). Analytical methods for bioactive sulfur compounds in Allium: An integrated review and future directions. *Journal of Food Composition and Analysis*, 61, 4–19. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.09.012>
- Rodríguez-Jimenez, J. R., Amaya-Guerra, C. A., Baez-Gonzalez, J. G., Aguilera-Gonzalez, C., Urias-Orona, V., & Nino-Medina, G. (2018). Physicochemical, functional, and nutraceutical properties of eggplant flours obtained by different drying methods. *Molecules*, 23(12). <https://doi.org/10.3390/molecules23123210>
- Salihović, M., & Sofić, E. (2021). High Performance Liquid Chromatography Analysis of Rutin in Allium Species Collected in Bosnia and Herzegovina. *Kemija u Industriji*, 70.
- Sari, Y., & Anwar, M. (2022). Antioxidant activity of single bulb garlic callus (*Allium sativum* L.) extract with in vitro method. *AIP Conf. Proc.*, 2668, 020004. <https://doi.org/10.1063/5.0112192>
- Shuxia, X., S., Siqiong, C., Panpan, L., Junna, D., Yanxia, C., & Huanwen, M. (2013). Evaluation of Garlic Cultivars for Polyphenolic Content and Antioxidant Properties. *Plos One*, 8(11), e79730. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079730>
- Skoczylas, J., Jędrszczyk, E., Dziadek, K., Dacewicz, E., & Kopeć, A. (2023). Basic Chemical Composition, Antioxidant Activity and Selected Polyphenolic Compounds Profile in Garlic Leaves and Bulbs Collected at Various Stages of Development. *Molecules*, 28(18). <https://doi.org/10.3390/molecules28186653>
- Terán-Figueroa, Y., de Loera, D., Toxqui-Terán, A., Montero-Morán, G., & Saavedra-Leos, M. Z. (2022). Bromatological Analysis and Characterization of Phenolics in Snow Mountain Garlic. *Molecules*, 27(12). <https://doi.org/10.3390/molecules27123712>
- Utama, G. L., Rahmi, Z., Sari, M. P., & Hanidah, I. (2024). Psychochemical changes and functional properties of organosulfur and polysaccharide compounds of black garlic (*Allium sativum* L.). *Current Research in Food Science*, 8, 100717. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024.100717>
- Volk, G. M., & Stern, D. (2009). Phenotypic characteristics of ten garlic cultivars grown at different North American locations. *HortScience*, 44(5), 1238–1247. <https://doi.org/10.21273/hortsci.44.5.1238>
- Zawistowski, J., Kopeć, A., Jędrszczyk, E., Francik, R., & Bystrowska, B. (2018). Garlic grown from air bulbils and its potential health benefits. In ACS Symposium Series (Vol. 1286, pp. 315–328). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/bk-2018-1286.ch0017>
- Zhou, C., Hu, X., Chao, C., Li, H., Zhang, S., Yan, X., Yang, F., & Li, Q. (2015). Quantitation of allicin in garlic-based products: Comparisons among spectrophotometry, GC and HPLC. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 9(4), 269–277. <https://doi.org/10.19026/ajfst.9.2007>

