



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO



DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

COORDINACIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

MÉTODOS DE CULTIVO Y SUELO MEJORADO EN LAS
CARACTERÍSTICAS NUTRICIAS Y NUTRACEÚTICAS
DEL ESPÁRRAGO

TESIS

Que como requisito parcial para
obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Presenta:

ADELA GUADALUPE ROSAS ROSAS

Bajo la supervisión de: Dr. Juan Guillermo Cruz Castillo



Chapingo, Estado de México, junio de 2025.

**MÉTODOS DE CULTIVO Y SUELO MEJORADO EN LAS
CARACTERÍSTICAS NUTRICIAS Y NUTRACÉUTICAS DEL ESPÁRRAGO.**

Tesis realizada por Adela Guadalupe Rosas Rosas bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

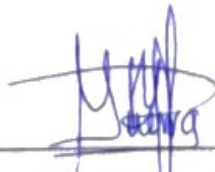
DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA.

DIRECTOR:



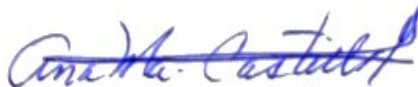
Dr. Juan Guillermo Cruz Castillo

ASESOR:



Dra. Diana Guerra Ramirez

ASESOR:



Dra. Ana Maria Castillo González

LECTOR EXTERNO:



Dra. Gloria Esperanza De Dios Leon

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE APENDICES	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
DATOS BIOGRÁFICOS	viii
RESUMEN GENERAL	iii
GENERAL ABSTRACT	iii
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	4
1.2. Literatura citada	7
2. REVISIÓN DE LITERATURA	10
2.1. Generalidades del espárrago	10
2.1.1. Importancia mundial y nacional	10
2.1.2. Clasificación botánica	11
2.1.3. Morfología	11
2.2. Requerimientos edafoclimáticos y nutrimentales	13
2.2.1. Necesidades de nutrimentos del espárrago	14
2.3. Germinación	14
2.3.1. Métodos para optimizar la germinación	15
2.4. Fertilización orgánica e inorgánica y bioestimulación	16
2.5. Poscosecha	17
2.6. Composición nutricional	17
2.6.1. Análisis proximal	18
2.7. Compuestos nutraceuticos	20
2.7.1. Clorofila	21
2.7.2. Capacidad antioxidante	21

2.7.3. Métodos para determinar la capacidad antioxidante	23
2.7.4. Literatura citada.....	24
3. EFFECT OF BIOSTIMULANTS AND ORGANIC FERTILIZER ON THE GROWTH OF ASPARAGUS IN GREENHOUSE	30
3.1. Abstract	31
3.2. Resumen	32
3.3 Introduction.....	33
3.4. Materials and methods	34
3.5. Results and discussion	36
3.6. Conclusion.....	41
3.7. Acknowledgements.....	41
3.8. References	41
4. GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE ESPÁRRAGO CON ÁCIDO GIBERÉLICO Y MÉTODOS FÍSICOS	46
4.1. Abstract	48
4.2. Resumen	49
4.3. INTRODUCCIÓN.....	50
4.4. MATERIALES Y MÉTODOS	52
4.4.1. Sitio experimental.....	52
4.4.2. Material vegetal, condiciones de germinación y diseño experimental	53
4.4.3. Evaluación de emergencia y variables de crecimiento.....	54
4.4.5. Análisis estadístico	54
4.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
4.5.1. Efecto de la escarificación química	57
4.5.2. Efecto de la imbibición.....	58
4.5.3. Efecto del AG ₃	58
4.5.4. Efecto de la interacción de AG ₃ , imbibición y escarificación	59
4.6. CONCLUSIONES.....	60
4.7. AGRADECIMIENTOS.....	61
4.8. CONFLICTO DE INTERESES.....	61
4.9. REFERENCIAS	61
4.10. TABLAS Y FIGURAS.....	64

5. IMPACTO DEL MÉTODO DE CULTIVO EN LOS PERFILES NUTRICIONALES Y FUNCIONALES DEL ESPÁRRAGO VERDE	71
5.1. Resumen	72
5.2. Abstract	73
5.3. Introducción	73
5.4. Materiales y métodos.....	75
5.4.1. Localización del experimento y material vegetal	75
5.4.2. Caracterización y Conservación de la muestra	76
5.4.3. Análisis proximal.....	76
5.4.4. Análisis mineral	77
5.4.5. Obtención de extractos.....	77
5.4.6. Fenoles totales (FT) y flavonoides.....	77
5.4.7. Capacidad Antioxidante.....	77
5.4.8. Clorofilas a, b y totales	78
5.4.9. Análisis estadístico	78
5.5. Resultados y discusión	78
5.5.1. Caracterización de los turiones	78
5.5.2. Análisis proximal.....	80
5.5.3. Contenido fenólico y de flavonoides	82
5.5.4. Capacidad antioxidante	84
5.5.5. Contenido de clorofilas	86
5.6. Conclusiones	87
5.7. Agradecimientos	88
5.8. Literatura Citada	88
6. CONCLUSIÓN GENERAL	92
7. APÉNDICES	93

LISTA DE CUADROS

1. Revisión de literatura

Cuadro 1. Perfil nutricional de espárrago en crudo y cocido (Pegiou et al, 2019)	18
--	----

3. Effect of biostimulants and organic fertilizer on the growth of asparagus in greenhouse

Cuadro 2. Tratamientos usados para fertilizar plantas de espárrago en invernadero.	35
--	----

Cuadro 3. Características morfológicas de espárrago producido con una solución nutritiva de Steiner, bocashi y bioestimulantes 220 días después de su establecimiento en el invernadero.	39
--	----

Cuadro 4. Características de la raíz, y masa fresca y seca de espárragos producidos con la solución nutritiva de Steiner, bocashi, y bioestimulantes 220 días después de su establecimiento.	40
--	----

4. Germinación de semillas de espárrago con ácido giberélico y métodos físicos

Cuadro 5. Descripción de los tratamientos pregerminativos aplicados a semillas de <i>Asparagus officinalis</i> L.	64
---	----

Cuadro 6. Análisis de varianza (ANOVA) para altura de plántula, longitud de raíz primaria y número de raíces en respuesta a tratamientos pregerminativos de escarificación, imbibición y ácido giberélico (AG3).	65
--	----

Cuadro 7. Efecto de la escarificación con hipoclorito de sodio en variables de emergencia y crecimiento inicial de plántulas de espárrago (<i>A. officinalis</i> L.)	66
---	----

Cuadro 8. Efecto de la imbibición en variables de emergencia y crecimiento inicial de plántulas de espárrago (<i>A. officinalis</i> L.)	67
--	----

Cuadro 9. Efecto del ácido giberélico (AG3) en la emergencia y crecimiento inicial de plántulas de espárrago (<i>A. officinalis</i> L.)	68
--	----

5. Impacto del método de cultivo en los perfiles nutricionales y funcionales del espárrago verde

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos aplicados.	76
--	----

Cuadro 2. Valores promedio de la Altura (A), peso (P), diámetro punta (DP) y diámetro base (DB) de 18 turiones de espárrago verde bajo diferentes métodos de cultivo.	79
---	----

Cuadro 3. Análisis proximal de turiones de espárrago verde bajo seis diferentes métodos de cultivo.	82
---	----

Cuadro 4. Capacidad antioxidante (expresada en base seca) de turiones de espárrago verde bajo seis diferentes métodos de cultivo.	86
---	----

Cuadro 5. Contenido de clorofilas a, b y totales en turiones de espárrago verde bajo seis diferentes métodos de cultivo. Cálculos en base seca.	87
---	----

LISTA DE FIGURAS

4. Germinación de semillas de espárrago con ácido giberélico y métodos físicos

Figura 1. Altura de planta (PH) de espárrago verde producida con dos tipos de fertilizantes y tres bioestimulantes en invernadero. 37

Figura 2. Interacción entre escarificación, imbibición y concentración de ácido giberélico en la emergencia y crecimiento inicial de plántulas de espárrago.... 69

Figura 3. Porcentaje de emergencia acumulada de plántulas de *A. officinalis* L. durante 34 días después de la siembra. 70

5. Impacto del método de cultivo en los perfiles nutricionales y funcionales del espárrago verde

Figura 1. Turiones por tratamiento..... 80

Figura 2. Contenido fenólico y flavonoides de turiones de espárrago verde bajo seis diferentes métodos de cultivo. 84

LISTA DE APENDICES

Cuadros

Cuadro apéndice 1. Análisis mineral de turiones de espárrago verde bajo diferentes medios de cultivo (Macronutrientes).....	93
Cuadro apéndice 2. Análisis mineral de turiones de espárrago verde bajo diferentes medios de cultivo (Micronutrientes).....	94
Cuadro apéndice 3. Análisis de suelo de parcelas de espárrago en Atenco, Estado de México y Huatusco. Veracruz	95
Cuadro apéndice 4. Análisis del abono orgánico tipo bocashi.....	96

Figuras

Figura apéndice 1. Macronutrientes en espárrago verde.....	93
Figura apéndice 2. Micronutrientes en espárrago verde.....	94

DEDICATORIA

A mis padres que me han dado todo en esta vida, por su amor, su confianza y su apoyo total e incondicional, esto es para ustedes. Los amo con todo mi ser, gracias al ser supremo que los eligió para acompañarme en esta vida.

A mis hermanas que siempre han estado a mi lado, a mis sobrinos que me hacen la vida más feliz, a mis ahijados que me motivan a ser mejor cada día. A Mariana que nunca me ha dejado sola y ha hecho más fácil todo, gracias totales e infinitas por tu apoyo, tu ayuda, tus desvelos; en fin, sabes que sin ti esto no habría sido posible, gracias por tanto siempre. Gracias familia, los amo.

A mis incondicionales por estar ahí siempre que lo necesité, por su apoyo en lo académico y en lo personal, porque siempre me enseñaron con paciencia y entusiasmo; que afortunada soy de haberlas conocido, son lo mejor que me pudo pasar en esta etapa como doctorante, saben que gran parte de este logro es por ustedes, las quiero mucho amikas Meche y Clau.

A mi querida Gaby (María) y a la familia Magaña Neri, por ser mi otra familia, estar para mi todo este tiempo y hacerme parte de sus vidas, sepan que ustedes son una inspiración para mi, gracias por todo el cariño.

A las personas que han estado a mi lado por muchos años y que me han visto pasar por muchas etapas de mi vida no solo académicamente, mis hermanas del deporte: Cris, Yara, Naye, Ruth, Lilo y mis amigas: Dianita, Urima y Norelli.

A la Dra. Diana, no solo le agradezco, también le dedico este trabajo, gracias por ser una persona tan noble, empática y comprometida, por estar al tanto de sus alumnos no solo con la parte académica, sino también preocuparse por los factores externos que ocurren en nuestras vidas.

A todos aquellos que formaron parte de esto y se me pasó mencionarlos, gracias.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo económico para que se pudiera llevar a cabo esta investigación.

A la Universidad Autónoma Chapingo por acogerme desde la licenciatura y seguir mis pasos, al departamento de Fitotecnia, en especial a los académicos y administrativos del área de posgrado, quienes me han guiado en este grado de Doctora en Ciencias, gracias por su apoyo.

A la Dra. Diana Guerra Ramírez por su paciencia, sus enseñanzas y su apoyo incondicional para llevar a cabo esta investigación y a todos los colaboradores del Laboratorio de Productos Naturales, gracias por su ayuda.

Al Dr. Juan Guillermo Cruz Castillo por llevarme de la mano, gracias por su apoyo, sus consejos y ser parte esencial de mi formación.

A la Dra. Ana María Castillo González por sus enseñanzas y su apoyo en la realización de este proyecto.

A la Dra. Gloria Esperanza De Dios Leon por su amable apoyo y sus recomendaciones.

A los productores de espárrago de Atenco, Estado de México, que me permitieron realizar parte de mi experimento en sus parcelas, gracias por la confianza, especialmente al QFB. Miguel Ángel Márquez.

A las M.C. Claudia Reyes y Mercedes Martínez, su apoyo en gran parte de la fase experimental de esta investigación.

A ese ser supremo que me permitió estar en el camino correcto con las personas adecuadas para que me guiaran durante este proceso.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre:	Adela Guadalupe Rosas Rosas
Fecha de nacimiento:	11 de noviembre, 1989
Lugar de nacimiento:	Naucalpan de Juárez, Estado de México.
CURP:	RORA891111MMCSSD
Formación:	Ingeniero Agroindustrial

Desarrollo académico

Preparatoria:	Instituto México Siglo XXI
Licenciatura:	Ingeniero Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo
Posgrado:	Maestría en Ciencias en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo.

RESUMEN GENERAL

MÉTODOS DE CULTIVO Y SUELO MEJORADO EN LAS CARACTERÍSTICAS NUTRICIAS Y NUTRACEÚTICAS DEL ESPÁRRAGO

Asparagus officinalis L. es un cultivo originario de la región del Mediterráneo, perteneciente a la familia Asparagaceae. Su parte comestible son los tallos jóvenes denominados turiones, los cuales son valorados por sus características organolépticas, su bajo aporte calórico y su elevado contenido de fibra, vitaminas, minerales y compuestos bioactivos como fenoles, flavonoides y saponinas. Estos compuestos le confieren propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antitumorales y antifúngicas. México ocupa el tercer lugar en producción a nivel mundial, y debido a su alto valor económico, se ha buscado introducir su cultivo en zonas con condiciones edafoclimáticas no tradicionales. Asimismo, se han promovido prácticas agrícolas sostenibles, como el uso de abonos orgánicos y bioestimulantes. El presente proyecto tuvo como objetivo proponer alternativas de cultivo en sitios con diferentes características ambientales, evaluando su influencia en la calidad nutraceutica y nutrimental de los turiones, así como en la producción de plántulas desde la germinación hasta la madurez de las coronas. Se observó que el tratamiento pregerminativo con imbibición en agua, escarificación con hipoclorito de sodio y aplicación de ácido giberélico (AG_3) a 500 ppm incrementó la emergencia hasta en un 87.36 %. Asimismo, la aplicación de bioestimulantes en combinación con abono orgánico tipo bocashi a plántulas de espárrago, mejoró el desarrollo de la corona, aumentando su peso hasta en un 30 % respecto al uso exclusivo de abono. Finalmente, el método de cultivo influyó significativamente en la calidad de los turiones, observándose una mayor capacidad antioxidante en aquellos provenientes de sistemas con fertilización semiorgánica. El cultivo de traspatio mostró los valores más bajos en la mayoría de las variables, lo que indica que la adopción de prácticas agrícolas adecuadas mejora sustancialmente la calidad del producto. Estos resultados sientan las bases para futuras investigaciones orientadas a estandarizar la calidad de los turiones, comenzando desde el manejo en campo.

Palabras clave: *Asparagus officinalis* L., bioestimulantes, capacidad antioxidante, germinación, calidad, turión, bocashi

GENERAL ABSTRACT

CULTIVATION METHODS AND IMPROVED SOIL ON THE NUTRITIONAL AND NUTRACEUTICAL CHARACTERISTICS OF ASPARAGUS

Asparagus officinalis L. is a crop native to the Mediterranean region and belongs to the Asparagaceae family. Its edible part consists of young shoots known as spears, which are valued for their organoleptic properties, low caloric content, and high levels of fiber, vitamins, minerals, and bioactive compounds such as phenols, flavonoids, and saponins. These compounds provide the plant with antioxidant, anti-inflammatory, antitumor, and antifungal properties. Mexico ranks third in global asparagus production, and due to its high economic value, efforts have been made to introduce its cultivation into areas with non-traditional edaphoclimatic conditions. Likewise, sustainable agricultural practices have been promoted, including the use of organic fertilizers and biostimulants. This project aimed to propose alternative cultivation methods in environments with varying environmental conditions, evaluating their influence on the nutraceutical and nutritional quality of asparagus spears, as well as on seedling production from germination to crown maturity. It was observed that pre-germination treatment involving water imbibition, scarification with sodium hypochlorite, and the application of gibberellic acid (GA₃) at 500 ppm increased emergence rates by up to 87.36%. Additionally, the application of biostimulants in combination with bocashi-type organic fertilizer improved crown development, increasing its weight by up to 30% compared to using fertilizer alone. Finally, the cultivation method had a significant impact on spear quality, with higher antioxidant capacity observed in spears grown under semi-organic fertilization systems. In contrast, backyard cultivation showed the lowest values across most variables, indicating that the adoption of appropriate agricultural practices substantially improves product quality. These findings lay the groundwork for future research aimed at standardizing spear quality, beginning with field management practices.

Keywords: *Asparagus officinalis* L., biostimulants, antioxidant capacity, germination, quality, spear, bocashi

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La alimentación es un tema de importancia mundial. La creciente necesidad de satisfacer los requerimientos nutrimentales del cuerpo humano mediante el consumo de alimentos ha impulsado la búsqueda de aquellos que, además de nutrir, aporten beneficios adicionales a la salud de los consumidores. Esta tendencia ha motivado el análisis de las propiedades de una amplia gama de alimentos, principalmente frutas y hortalizas, ya que se consideran entre los mejores aliados para alcanzar los objetivos de una nutrición humana óptima (Calañas-Contenente, 2005). Una de estas hortalizas es el espárrago, el cual se ha cultivado desde hace más de 2000 años en la región del Mediterráneo. No fue sino hasta el siglo XVIII, cuando se obtuvieron las primeras variedades seleccionadas, ya que anteriormente existía únicamente en forma silvestre, y aún hoy se pueden encontrar esas poblaciones (Albalat, 2005). Este cultivo fue valorado por civilizaciones antiguas como la egipcia, romana, griega y china, y actualmente su consumo se ha extendido globalmente debido a sus características organolépticas, su bajo contenido calórico, y su elevada concentración de fibra dietética, vitaminas y minerales (Fuentes-Alventosa et al., 2013; González-Gallego et al., 2016).

Asimismo, el espárrago es una hortaliza altamente apreciada por su contenido de compuestos bioactivos, tales como fenoles, flavonoides y saponinas. Estos compuestos le confieren una notable capacidad antioxidante, lo que ha contribuido sea considerado una hortaliza gourmet. Además, en la medicina tradicional china, se le han atribuido propiedades antiepilépticas, antitumorales, inmunomoduladoras y antifúngicas (Guo et al., 2020; Sullivan et al., 2017; Wang et al., 2020).

Asparagus officinalis L., es la especie más conocida, una planta perenne perteneciente a la familia Liliaceae, su parte comestible son los tallos jóvenes, denominados turiones. China es el principal productor mundial, con cerca de 7 millones de toneladas; sin embargo, por lo anteriormente expuesto, en América

Latina se ha incrementado su producción en los últimos años, especialmente en Perú y México, quienes tienen el segundo y tercer lugar en producción mundial, respectivamente (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2024; Base de datos estadísticos de la Food and Agriculture Organization (FAOSTAT), 2024). En México, los principales estados productores son Sonora, Guanajuato y Baja California Sur, en donde predomina un clima templado y propicio para su desarrollo; sin embargo, hay otros estados que han tratado de introducir el cultivo para impulsar su economía, como el Estado de México (Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON), 2023).

Como se mencionó anteriormente, el espárrago es una planta perenne que puede permanecer en producción por hasta 20 años, siempre que reciba los cuidados agronómicos adecuados. Las semillas germinan en primavera, y posteriormente emerge la parte aérea de la planta. En esta etapa de plántula, comienzan a diferenciarse tanto el rizoma como los sistemas radiculares adventicios. A partir del rizoma se desarrollan yemas, de las cuales surgen nuevos brotes aéreos que originan el helecho, estructura que crece hasta finales del verano y puede alcanzar alturas de hasta dos metros. Al final del verano aparecen las primeras flores, lo que indica el inicio de la etapa reproductiva, durante la cual se forman frutos que maduran hacia el final de la estación. En otoño, la planta entra en senescencia y da comienzo a su periodo de hibernación. Este ciclo ocurre durante el primer año, etapa en la que aún no es posible realizar una cosecha (Del Pozo, 1999).

Los productores suelen realizar este primer ciclo en invernadero para posteriormente trasplantar las raíces o coronas desarrolladas al campo, una vez alcanzado un punto de desarrollo que asegure su supervivencia. Para este proceso, es necesario garantizar una buena germinación; por ello, se emplean tratamientos pregerminativos destinados a romper la dormancia característica de esta especie. Entre las técnicas utilizadas se encuentran la imbibición en agua o soluciones osmóticas, la escarificación mecánica, física o química (principalmente con ácidos), así como el uso de hormonas como el ácido

giberélico, con las cuales se han logrado mejores porcentajes de germinación (Gupta et al., 2002; Dhoran & Gudadhe, 2012; Yamaguchi & Maeda, 2015; Bhatla & Lal, 2023) Sin embargo, su efecto es desconocido en semillas provenientes de plantas cultivadas bajo agricultura de traspatio.

El ciclo se reinicia en primavera con la emergencia de los turiones los cuales, a partir del tercer año, ya pueden ser cosechados. La duración del periodo de cosecha puede extenderse hasta tres meses, dependiendo de la edad y el vigor de las esparragueras. Cabe destacar que el rizoma funciona como un reservorio de nutrimentos para la planta, mientras que el helecho es la estructura encargada de la fotosíntesis, permitiendo la acumulación de dichos nutrimentos. Por esta razón, es fundamental permitir el desarrollo completo del follaje y respetar el periodo de hibernación, durante el cual la planta genera las reservas necesarias para el siguiente ciclo productivo (Drost, 2020; Del Pozo, 1999).

Este cultivo se desarrolla idealmente en suelos franco-arenosos, con buena disponibilidad de agua y en climas templados. Sin embargo, se ha adaptado exitosamente a climas tropicales como los de Perú, Tailandia e India. En México, también se cultiva en regiones como Veracruz y Michoacán (Drost, 2020). Además de las condiciones edafoclimáticas, el espárrago requiere una nutrición adecuada, particularmente con nitrógeno, fósforo, potasio y boro. Tradicionalmente, estos nutrimentos se aportan mediante fertilización inorgánica; no obstante, existe un creciente interés por adoptar prácticas agrícolas más sostenibles, como el uso de abonos orgánicos (Xekarfotakis et al., 2021; Kruker et al., 2023).

El bocashi es un abono orgánico fermentado que puede elaborarse con materiales disponibles localmente, como paja de cereales, estiércol, levaduras, microorganismos eficientes, azúcar, harina de rocas y carbón. Estos componentes mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Ruíz-Sánchez et al., 2022). En la actualidad, además de abonos orgánicos como estrategia de sostenibilidad, se han incorporado bioestimulantes, productos de origen vegetal como extractos de algas marinas, ácidos húmicos y fúlvicos, así

como aminoácidos, que favorecen la nutrición de las plantas al mejorar la asimilación de nutrientes, optimizar la estructura del suelo e incrementar la tolerancia al estrés abiótico (Kergosien et al., 2023; Barreto et al., 2023).

En este contexto, se vuelve necesaria la investigación más específica del cultivo en zonas donde anteriormente no se producía, enriqueciendo su producción con elementos más sostenibles, por lo tanto, esta investigación tuvo como objetivo general, comparar cómo afectaron diferentes métodos de cultivo en producción de plántulas y en producción en campo al espárrago, específicamente comparar el uso bioestimulantes como complemento de la fertilización orgánica e inorgánica, en plántulas de espárrago y determinar cómo influye el método de cultivo, la zona, las características edafoclimáticas y la edad de la esparraguera, en el contenido nutricional y la capacidad antioxidante de turiones de espárrago.

Los cuales son parte de los capítulos que conforman esta investigación y que enriquecen la base de conocimiento acerca de este cultivo tan noble e importante que es el espárrago.

1.2. Literatura citada

- Albalat, A. (2005). *El espárrago verde: Resultados del seguimiento de su cultivo en la comarca del Bajo Aragón*. Informaciones Técnicas, No. 151, Zaragoza: Diputación General de Aragón, Dirección General de Tecnología Agraria, Servicio de Formación y Extensión Agraria. <https://bibliotecavirtual.aragon.es/es/consulta/registro.do?id=10002003112>
- Barreto-Macías, A., Jimenez-Pluas, R. S., Facuy-Delgado, J., & Barreto-Campoverde, K.L. (2023). Efecto de bioestimulantes orgánicos como complemento de la fertilización edáfica en (*Oryza sativa* L.), variedad SFL-11 zona Santa Lucía – Guayas. *MQRInvestigar*, 7(2), 358-380. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.2.2023.358-380>
- Bhatla, S. C., & Kathpalia, R. (2023) Seed dormancy and germination. In S. C. Bhatla & M. A. Lal (Eds.), *Plant physiology, development and metabolism* (pp. 625–640). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-99-5736-1_28

- Calañas- Continente, A. J. (2005). Alimentación saludable basada en la evidencia. *Endocrinología y Nutrición*, 52(1), 8-24. [https://doi.org/10.1016/S1575-0922\(05\)74649-0](https://doi.org/10.1016/S1575-0922(05)74649-0)
- Del Pozo, A. (1999). Morfología y funcionamiento de la planta. In M. I. González & A. del Pozo. (Eds.), *El cultivo del espárrago* (pp. 9-28). INIA https://www.researchgate.net/profile/Alejandro-Del-Pozo/publication/260165031_El_Cultivo_del_Esparrago/links/0c96052fd5d3173511000000/El-Cultivo-del-Esparrago.pdf
- Dhoran, V.S. & Gudadhe, S.P. (2012). Effect of plant growth regulators on seed germination and seedling vigour in *Asparagus sprengeri* Regelin. *International Research Journal of Biological Sciences*, 1(7), 6-10. www.isca.in
- Drost, D. T. (2020). Asparagus. In H. C. Wien & H. Stutzel (Eds.) *The Physiology of vegetable crops* (pp 457-479). CABI. <https://doi.org/10.1079/9781786393777.0457>
- FAOSTAT. (2024). Cultivos y productos de ganadería. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Fuentes-Alventosa, J.M., Jaramillo-Carmona, S., Rodríguez-Gutiérrez, G., Guillén-Bejarano, R., Jiménez-Araujo, A., Fernández-Bolaños, J., & Rodríguez-Arcos, R. (2013). Preparation of bioactive extracts from asparagus by-product. *Food and Bioproducts Processing*, 91(2), 74-82. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.12.004>.
- González-Gallego, J., Sánchez-Campos, S., & Tuñón, M. J. (2007). Anti-inflammatory properties of dietary flavonoids. *Nutrición Hospitalaria*, 22(3), 287-293. https://www.researchgate.net/publication/6226174_Anti-Inflammatory_properties_of_fietary_flavonoids
- Guo, Q., Wang, N., Liu, H., Li, Z., Lu, L., & Wang, C. (2020). The bioactive compounds and biological functions of *Asparagus officinalis* L. – A review. *Journal of Functional Foods*, 65, Article 65103727. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103727>
- Gupta, S., Kumar, A., & Sharma, S. N. (2002). Improvement of seed germination in *Asparagus racemosus* Willd. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 9(1), 3–9. https://doi.org/10.1300/j044v09n01_02
- Kergosien, N., Stiger-Pouvreau, V., Connan, S., Hennequart, F. & Brébion, J. (2023). MiniReview: brown macroalgae as a promising raw material to produce biostimulants for the agriculture sector. *Frontiers in Agronomy*, 5, Article 1109989. <https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1109989>
- Kruker, G., Schabatoski, E., Muniz, J., Luiz, A., & Antonio, J. (2023). Quality of bokashi-type biofertilizer formulations and its application in the production of vegetables in an ecological system. *Horticulturae*, 9(12), Article 1314. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9121314>

- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2024). *Panorama agroalimentario 2018 - 2024. La ruta de la transformación agroalimentaria*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
- Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. (2023). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (SIACON). <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- Sullivan, S. A., Tran, A. Q. M., Xu, G., Yin, Y., Zhou, C., & Bae-Jump, V. L. (2017). *Asparagus polysaccharide* inhibits cell proliferation, adhesion and invasion in endometrial cancer cells. *Gynecologic Oncology*, 145(1), 133. <https://doi.org/10.1016/j.ygyno.2017.03.312>
- Wang, N., Zhang, X., Wang, S., Guo, Q., Li, Z., Liu, H., & Wang, C. (2020). Structural characterisation and immunomodulatory activity of polysaccharides from white asparagus skin. *Carbohydrate Polymers*, 227(1), Article 15314. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115314>.
- Xekarfotakis, N., Chatzistathis, T., Mola, M., Demirtzoglou, T., & Monokrousos, N. (2021) The effects of different fertilization practices in combination with the use of PGPR on the sugar and amino acid content of *Asparagus officinalis*. *Horticulturae*, 7(11), Article 507. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7110507>
- Yamaguchi, T., & Maeda, T. (2015). Effect of high-temperature treatments on the breaking of dormancy in one-year-old asparagus (*Asparagus officinalis* L.). *Environment Control in Biology*, 53(1), 23–26. <https://doi.org/10.2525/ecb.53.23>

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades del espárrago

El espárrago (*Asparagus officinalis* L.) es una planta perenne originaria de Europa, Asia y el norte de África. Las culturas orientales lo utilizaban gracias a sus propiedades medicinales que podían ayudar a tratar desordenes gastrointestinales y dolores inflamatorios. Pertenece a la familia Asparagaceae y es cultivado principalmente por sus tallos jóvenes, conocidos como turiones, los cuales son valorados tanto por sus características organolépticas como por sus propiedades funcionales y nutraceuticas (Hamdi et al., 2020). A nivel global, es considerado un cultivo de alto valor económico y nutricional, lo que ha generado interés creciente en su manejo agronómico y poscosecha.

Asimismo, es un cultivo reconocido por su bajo contenido calórico y su alta concentración de fibra dietética, vitaminas (como C y E), minerales (como potasio y fósforo) y compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes, tales como fenoles, flavonoides y saponinas (Fuentes-Alventosa et al., 2013; Hamdi et al., 2020). Estudios recientes destacan su potencial como alimento funcional por su contenido de compuestos bioactivos para moderar procesos relacionados con la inflamación y el estrés oxidativo (González-Gallego et al., 2016).

2.1.1. Importancia mundial y nacional

El mayor productor de espárrago es China con alrededor de 7 millones de toneladas, seguido por Perú y en tercer lugar está México con cerca de 347, 000 toneladas. Los principales estados productores son Sonora, Guanajuato y Baja California Sur (SIAP, 2024; FAOSTAT, 2024).

La mayor parte de la producción mexicana es exportada a Estados Unidos, por su preferencia del producto en fresco, gracias al alto valor económico de este cultivo, su producción se ha incrementado en los últimos seis años, lo que hace

que esta hortaliza tenga más importancia económica (SIAP, 2024; FAOSTAT, 2024).

2.1.2. Clasificación botánica

Reino: Plantae

División: Angiospermae

Clase: Monocotyledoneae

Orden: Liliaceae

Familia: Asparagaceae

Género: Asparagus

Especie: *Asparagus officinalis* L. (Guo et al., 2023).

2.1.3. Morfología

Raíz

El sistema radicular del espárrago, también denominado corona, está compuesto por raíces carnosas que son aquellas donde se almacenan los carbohidratos y nutrientes, son de gran diámetro e inician a partir del rizoma; yemas, que son clave para determinar el rendimiento potencial que tendrá la planta; raíces fibrosas, las cuales ayudan a distribuir el agua y los nutrientes. Estas raíces pueden vivir varios años y tienen una gran capacidad de almacenamiento de reservas (Drost, 2023).

El tipo de suelo, el cultivar, la profundidad, la nutrición de la planta y el riego, son aspectos que afectan directamente al crecimiento de la raíz y los cambios que esta pueda tener a lo largo de su etapa productiva. Además, se han encontrado compuestos bioactivos en esta parte de la planta, tales como ácido ferúlico, málico, cítrico y fumárico, así como compuestos fenólicos, saponinas y esteroides, lo que resalta la importancia que suelen tener las raíces en este cultivo (Guo et al., 2023; Drost, 2023).

Tallo

En tallo subterráneo o rizoma, se producen las yemas, que son los órganos que dan origen a los turiones, es decir, los brotes o tallos que se cosechan tiernos y son la parte comestible. Estos tienen un alto contenido de fibra, agua y compuestos bioactivos. Cuando no se cosechan, se desarrollan en tallos aéreos ramificados que pueden alcanzar hasta los 150 cm y cumplen funciones de sostén y alimentación gracias al follaje que permitirá la fotosíntesis (Firpo et al., 2007; Guo et al., 2023).

Helecho

Se le llama helecho a la parte aérea o follaje, el cual se constituye de brácteas, ramificaciones primarias y secundarias, en donde crecen tallos modificados pequeños que dan apariencia de hojas y se denominan cladófilas, estas son de 20 a 30 mm de longitud y 1.5 mm de diámetro, este helecho puede alcanzar alturas superiores a los 2 m. El desarrollo de esta parte aérea es de suma importancia, ya que, las cladófilas son los principales órganos fotosintéticos y la capacidad fotosintética tiene una relación positiva con el rendimiento de los turiones. Normalmente en otoño, los helechos entran en una etapa de senescencia, por lo que la actividad fotosintética disminuye, al término de esta etapa el helecho estará seco y deberá cortarse completamente con el fin de acumular reservas en la corona para la siguiente temporada (Drost, 2020; Del Pozo, 1999).

Flor y fruto

Las flores del espárrago son pequeñas, con tonos entre blancos y amarillos, son dioicas normalmente (separadas en plantas masculinas y femeninas), tienen forma de pequeñas campanas y miden de 3 a 8 mm, se desarrollan en las axilas de las brácteas y cuelgan de un pedúnculo en grupos de seis flores. Las flores femeninas tienen tres pistilos y las masculinas seis estambres, la polinización se realiza mediante insectos.

El fruto es una baya globosa de color verde en etapas tempranas y rojas al madurar, tienen de 6 a 10 mm de diámetro y contiene de tres a seis semillas negras redondas, ubicadas en tres lóculos y miden entre 3 y 4 mm. Estos frutos son venenosos para los humanos, por lo que no deben consumirse (Del Pozo, 1999; Guo et al., 2022).

2.2. Requerimientos edafoclimáticos y nutrimentales

El clima templado es el adecuado para el desarrollo del espárrago, sobre todo cuando se tienen inviernos fríos bien definidos, para que puedan tener un periodo de reposo o dormancia, durante el cual se almacenan reservas (carbohidratos), para producir yemas en la primavera, y, por lo tanto, mayores rendimientos en la temporada productiva. Así mismo, se requieren veranos cálidos para la estimulación de la brotación de los turiones con temperaturas entre 14 y 24 °C. Se adapta a climas tropicales y sub tropicales, sustituyendo el efecto que causan las bajas temperaturas, con fuertes y constantes podas (Pressman et al., 1993; Del Pozo, 1999).

En cuanto al suelo, el espárrago se desarrolla mejor en suelos franco-arenosos, bien drenados, profundos, con pH de 6.0–7.5. Es un cultivo moderadamente tolerante a sales, requiere suelos ricos en materia orgánica (mínimo 2 %), una buena aireación y una iluminación intensa, estos son factores clave para su establecimiento a largo plazo (CIREN, 1988; Tejacal & Pérez, 2008).

Es importante contar con agua suficiente para riego durante el periodo de crecimiento del helecho, ya que este factor influye directamente en la asimilabilidad de los nutrientes, debido a que este cultivo se caracteriza por la acumulación de reservas en la temporada previa, así, cuando entra al periodo de producción de turiones, la planta tendrá las reservas suficientes y el consumo de agua disminuirá (Ferreira et al., 1995).

2.2.1. Necesidades de nutrimentos del espárrago

El espárrago presenta una demanda nutricional específica debido a su carácter perenne. Durante el establecimiento y producción, los principales nutrientes requeridos son nitrógeno (N), el cual favorece la brotación y el crecimiento del follaje ($100\text{-}250\text{ kg. ha}^{-1}$), fósforo (P) fundamental para el desarrollo radicular ($30\text{-}100\text{ kg. ha}^{-1}$), potasio (K) mejorador de la calidad y longevidad del cultivo y participa en la síntesis de compuestos secundarios ($150\text{-}250\text{ kg. ha}^{-1}$). Los requerimientos de estos nutrimentos aumentarán con la edad de la esparraguera. Un manejo adecuado de la fertilización, ayudará a obtener buenas producciones con la calidad adecuada y aumentar la longevidad de las plantas. Si bien, N, P y K son los nutrimentos que requiere en mayores cantidades, no se deben dejar del lado algunos otros que cumplen con funciones muy específicas para el desarrollo del cultivo, tal es el caso del calcio (Ca), magnesio (Mg) y micronutrientes como el zinc (Zn) y el boro (B). (Ortega, 1999; Ramírez & Sadesian, 2009).

La nutrición balanceada es crítica para mantener el equilibrio entre producción de biomasa aérea y almacenamiento de reservas en la corona.

2.3. Germinación

La germinación del espárrago es lenta y heterogénea, debido a la presencia de inhibidores naturales en la cubierta seminal y a una fisiología de embrión que responde poco a condiciones estándar de imbibición (Li & Wolyn, 1996). Las temperaturas óptimas de germinación están entre $25\text{--}30\text{ }^{\circ}\text{C}$, y el proceso puede durar de 10 a 30 días, dependiendo del tratamiento previo a la semilla.

La temperatura mínima para que el espárrago germine es de $5.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, y la tasa de germinación aumenta a medida que la temperatura incrementa hasta llegar a un óptimo de $26\text{ }^{\circ}\text{C}$, al rebasar esta temperatura la tasa de germinación comienza a disminuir, la temperatura máxima es de $43.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Del Pozo, 1999)

Las semillas del espárrago son duras, negras y esféricas, con una cubierta seminal gruesa que limita el paso de agua y gases. Esto influye negativamente en la velocidad y uniformidad de germinación, por lo cual se emplean técnicas de pre germinación o acondicionamiento.

2.3.1. Métodos para optimizar la germinación

Existen diferentes factores que influyen en un correcto proceso de germinación como la variedad, el lugar de producción, la temperatura, la humedad, entre otros; hay semillas que necesitan romper la dormancia del embrión o eliminar cubiertas seminales para que se lleve a cabo el proceso de la germinación, algunos métodos para estimular los procesos y optimizar la germinación son:

Escarificación: Es un proceso mediante el cual se rompen barreras físicas externas y mejora significativamente la entrada de agua a la semilla, este proceso puede ser mecánico o químico

Métodos comunes incluyen el lijado superficial, el uso de ácidos como sulfúrico diluido, o tratamientos térmicos. La escarificación permite romper el reposo físico asociado a la testa (Demir & Mavi, 2008; Katsenios et al., 2019).

Imbibición: La imbibición es el proceso mediante el cual las semillas absorben agua. Para ello, se sumergen en soluciones osmóticas o en agua durante un periodo determinado, lo que permite homogenizar la humedad en el interior de las semillas para que la hidratación de las células sea uniforme y suficiente, y así activar los procesos metabólicos responsables de la germinación de forma uniforme y mejorar la uniformidad del porcentaje de germinación (Pérez et al., 2016).

Tratamientos hormonales: también es una práctica común que se realicen remojos con reguladores de crecimiento como el ácido giberélico (AG_3), el cual mejora la capacidad germinativa al promover la síntesis de enzimas (como la alfa-amilas, en gramíneas), estimular la división y elongación celular y compensar déficits hormonales internos. Cabe mencionar que la combinación de dos o más

de los tratamientos mencionados, puede incluso, potenciar los resultados (Gupta et al., 2002).

2.4. Fertilización orgánica e inorgánica y bioestimulación

Dentro del manejo de los cultivos la fertilización es una de las actividades principales; se han formulado numerosas soluciones nutritivas, un ejemplo de ellas es la solución nutritiva de Steiner, la cual ha sido ampliamente utilizada para el desarrollo de plantas sin suelo, ya que, al no tener nutrimentos propios de la tierra, las plantas necesitan una fuente externa y esta solución puede satisfacer los requerimientos nutrimentales gracias a su equilibrio iónico y fácil asimilación (Luna-Fletes et al., 2021). Sin embargo, se han buscado alternativas naturales como los fertilizantes orgánicos, uno de los más ampliamente utilizados es el bocashi, el cual es un abono sólido fermentado que mejora las características físicas, químicas y biológicas del suelo, mejora su permeabilidad y le proporciona materia orgánica, así como macro y micronutrimentos (Ruíz-Sánchez et al., 2022).

Cualquier sustancia o microorganismo que mejore la eficiencia nutricional al ser aplicado a las plantas, puede ser considerado “bioestimulante”, independientemente de los nutrimentos que contenga. Estos productos han sido reconocidos por los beneficios que otorgan a la planta aplicados en pequeñas cantidades, tales como, la tolerancia al estrés abiótico, la eficiencia en el uso de nutrimentos y su disponibilidad en el suelo (Kergosien et al., 2023, du Jardin, 2015).

El estudio de estos productos es relativamente reciente y sus beneficios siguen siendo estudiados, como la resistencia que ofrecen a los cultivos ante el cambio climático, el desarrollo de raíces para la absorción de la planta y la activación de algunos genes relacionados con el estrés oxidativo. Se han podido observar los efectos de productos que contienen algas marinas, ácidos húmicos, ácidos fulvicos, aminoácidos, microorganismos, etc. Una de las ventajas que representa su uso, es que se requieren en cantidades mínimas y junto a una buena

fertilización, pueden potenciar el crecimiento rendimiento, diámetro y área foliar (Jasso de Rodríguez et al., 2023, Ruíz-Sánchez et al. 2022; Barreto, et al., 2023).

2.5. Poscosecha

La cosecha del espárrago se realiza, por lo general, a inicios de la primavera, una vez que los turiones alcanzan una altura de 24 cm aproximadamente, la primera cosecha se puede realizar a los dos años de edad de la planta, y normalmente la recolección en campo se hace por la mañana (Del Pozo, 1999).

Una vez cosechados los turiones, se deben tener cuidados específicos ya que, la actividad metabólica de los tejidos continua después de la cosecha, por lo que se debe hacer un pre-enfriado con agua temperaturas entre 1 y 2 °C, debido a que las tasas respiratorias de este vegetal son muy altas, es importante almacenarlos en refrigeración para evitar la deshidratación que provoca un exceso de fibrosidad y demerita la calidad ya que se modifica el sabor, hay una pérdida de azúcares, de peso y de turgencia (Albanese et al., 2007).

2.6. Composición nutricional

El espárrago tiene un alto valor nutricional gracias a su bajo contenido calórico y alto contenido de fibra, vitaminas, minerales, aminoácidos, fructanos, flavonoides, saponinas etc. (Chin & Garrison, 2008). En el Cuadro 1 se describe el contenido nutricional estimado para 100 g de espárrago en crudo y cocido.

Además de ser una fuente de nutrientes, se ha señalado un alto valor potencial en la salud, lo anterior por su alto contenido de fibra, así como de compuestos bioactivos, tales como las saponinas, que poseen un potencial efecto hipocolesterolémico, inmunomodulador y anticancerígeno; flavonoides que son potentes antioxidantes y fructanos, también asociados a efectos inmunomoduladores y antioxidantes (Fuentes-Alventosa et al., 2013).

Cuadro 1. Perfil nutricional de espárrago en crudo y cocido (Pegiou et al., 2019).

	Valor por cada 100 g	
	crudo	cocido
Calorías	20 kcal	20 kcal
Fibra dietética	2.1 g	2 g
Azúcar	1.9 g	1.3 g
Proteínas	2.2 g	2.4 g
Grasas	0.12 g	0.22 g
Vitamina B1, tiamina	0.143 mg	0.162 mg
Vitamina B2, Riboflavina	0.141 mg	0.139 mg
Vitamina B3, niacina	0.978 mg	1.1 mg
Vitamina B9, folato	52 µg	149 µg
Vitamina C, ácido ascórbico	5.6 mg	7.7 mg
Vitamina E, alfa-tocoferol	1.13 mg	1.5 mg
Vitamina K	41.6 µg	50.6 µg
Calcio, Ca	24 mg	23 mg
Cobre, Cu	0.19 mg	0.19 mg
Hierro, Fe	2.14 mg	0.91 mg
Magnesio, Mg	14 mg	14 mg
Manganeso, Mn	0.158 mg	0.158 mg
Potasio, K	202 mg	224 mg
Selenio, Se	2.3 µg	10.8 µg
Sodio, Na	2 mg	14 mg
Zinc, Zn	0.54 mg	0.54 mg

2.6.1. Análisis proximal

El análisis proximal es una técnica comúnmente utilizada para determinar la composición nutritiva de un alimento. El análisis implica un conjunto de métodos diseñados para determinar las principales fracciones químicas de un alimento sin determinar sustancias nutritivas definibles, asociando combinaciones orgánicas que tienen como resultado reacciones analíticas. La metodología implica el análisis del contenido de humedad, proteína cruda (nitrógeno total), fibra cruda, lípidos crudos (por extracción con solventes como el éter), ceniza y extracto libre de nitrógeno (azúcares y almidones) (Olvera et al., 1993; AOAC, 2019).

Contenido de humedad

Es la cantidad de agua en un alimento, este dato puede ser un índice de estabilidad debido a la relación que existe entre el contenido de agua en los alimentos y su capacidad de deterioro, ya que el agua acelera procesos de degradación hidrolítica propiciando el desarrollo de microorganismos (Fon & Zumbado, 2019).

La determinación del contenido de humedad puede realizarse mediante el método gravimétrico (secado en estufa), este es el más utilizado debido a que es rápido y de bajo costo, se basa en la separación del agua por secado en estufa a temperaturas superiores a 100°C hasta peso constante y se determina a través de la diferencia de peso entre el material húmedo y seco. Existen equipos que permiten obtener resultados rápidos de forma automática como la termobalanza, que es un equipo de análisis térmico automatizado, el cual seca la muestra mediante resistencia eléctrica o halógeno, registrando peso en tiempo real (Zumbado, 2004; AOAC, 2019).

Proteína cruda

El análisis se realiza mediante el método de Kjeldahl, el cual evalúa el contenido de nitrógeno total, incluyendo no proteínas y proteínas verdaderas. La metodología implica tres etapas fundamentales: Digestión, Destilación y Valoración. El procedimiento implica que después de que la muestra fue digerida con ácido sulfúrico en presencia de un catalizador (mercurio o selenio), posteriormente se destila mediante la adición de un álcali y por último mediante un análisis volumétrico utilizando una solución ácida básica se determina el nitrógeno total, transformado a través de un factor de proteína (Fon & Zumbado, 2019).

Fibra cruda

La fibra cruda comprende todas aquellas sustancias orgánicas no nitrogenadas que pueden disolverse tras hidrólisis sucesivas, en un medio ácido y en un medio

alcalino. La fibra cruda se conforma de la suma de celulosa, hemicelulosa y lignina, componentes de la pared celular vegetal, si bien la fibra cruda no representa toda la fibra dietética total, puesto que deja exenta a las fracciones solubles (pectinas, gomas y mucílagos) (Olvera et al., 1993).

Este método permite determinar el contenido de fibra en la muestra, después de ser digerida con soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio y calcinado el residuo. La diferencia de pesos después de la calcinación nos indica la cantidad de fibra presente.

Extracto etéreo

Los lípidos son sustancias de origen vegetal o animal compuestas mayoritariamente (97-98 %) de triglicéridos, se caracterizan por ser relativamente insolubles en agua y solubles en solventes orgánicos, como el éter, cloroformo y benceno. En este método, las grasas de la muestra son extraídas con éter de petróleo y evaluadas como porcentaje del peso después de evaporar el solvente (Olvera et al., 1993).

Existen diferentes metodologías que permiten la cuantificación de lípidos, se tienen aquellas que implican métodos de extracción con disolventes orgánicos como Soxhlet, Goldfich y Mojonnier, así como métodos que no incluyen disolventes orgánicos como el método Babcock y Gerber (Snow et al., 1997).

2.7. Compuestos nutraceuticos

Pérez (2006), refiere que fue en el año de 1989 que el Dr. Stephen de Felice definió la palabra nutraceutico, como “aquellas sustancias químicas o biológicas presentes como componentes naturales de los alimentos o adicionados a los mismos, capaz de proporcionar beneficios a la salud”.

Dentro de los compuestos nutraceuticos reportados o estudiados en el esparrago se encuentran los compuestos fenolicos tales como flavonoides, ácidos fenolicos y lignanos, saponinas, inulina, fructooligosacáridos (FOS), aminoácidos,

vitaminas, minerales y pigmentos (clorofilas y carotenoides) (Fuentes-Alventosa et al., 2008).

2.7.1. Clorofila

Este pigmento de color verde es una sustancia con la capacidad de convertir energía luminosa en energía química mediante el proceso conocido como fotosíntesis (Manrique, 2003). Existen diferentes tipos de clorofilas, las cuales se clasifican de acuerdo con su estructura química. En las plantas superiores se distinguen dos tipos; la clorofila a, que se encuentra en mayor proporción sobre la mayoría de los vegetales, es esencial para captar la luz solar y convertir la energía luminosa en química durante la fotosíntesis y actúa como el pigmento primario en los centros de reacción fotosintéticos donde inicia el transporte de electrones. Por su parte, la clorofila b es un pigmento secundario presente en los cloroplastos y su principal función es ampliar el espectro de luz absorbida, en longitudes de onda que la clorofila a no absorbe, posteriormente, esta luz es transferida a la clorofila a, logrando un mejor rendimiento fotosintético (Sandoval-Cancino et al., 2021).

Lichtenthaler (1987), indicó que las clorofilas a y b difieren en su composición química, generando así una diferencia sobre las longitudes de onda, este comportamiento es importante puesto que permite la cuantificación de la concentración.

2.7.2. Capacidad antioxidante

Los antioxidantes son moléculas que tienen la capacidad de disminuir o inhibir la oxidación de otras moléculas las cuales protegen del daño causado por los efectos de los radicales libres (pueden provenir de fuentes endógenas o exógenas) al impedir su formación, eliminarlos o al favorecer su descomposición (Coronado et al., 2015).

Dentro de los antioxidantes más comunes están las vitaminas (A, C y E), minerales, carotenoides, compuestos fenólicos, entre otros (Speisky et al., 2012),

y pueden ser clasificados según su naturaleza (naturales o sintéticos), origen (sintetizados por el organismo o de fuentes externas), solubilidad (hidrosolubles o liposolubles).

Guo et al. (2020), mencionan una serie de estudios donde se ha reportado la capacidad antioxidante del esparrago, pues contiene compuestos como flavonoides (rutina, quercetina y kaempferol); ácidos fenólicos (ácido cafeico, ferúlico y p-cumárico) y carotenoides (luteína y β -caroteno).

Compuestos fenólicos y flavonoides

Los compuestos fenólicos o polifenoles pertenecen a una clase de metabolitos secundarios derivados de plantas. Su estructura química implica al fenol, que se compone de un anillo aromático o bencénico (fenil) y el cuál está unido a un grupo hidroxilo (OH), este anillo representa un papel importante en las propiedades antioxidantes (Peñarrieta et al., 2014). Los compuestos fenólicos se encuentran no solo en la parte comestible del esparrago (turiones), sino en hojas, tallos y raíces.

Existen diferentes procedimientos que permiten la cuantificación de fenoles. El método Folin-Ciocalteu el más utilizado, consiste en una reacción de oxidación-reducción entre el reactivo y los fenoles generando un complejo azul que se mide espectrofotométricamente a 765 nm (Singleton et al., 1999).

Parte de los fenoles son los flavonoides, compuestos que se encuentran de forma natural en las plantas, se caracterizan por su alto poder antioxidante y constituyen uno de los grupos más diversos con alrededor de 6000 estructuras diferentes (Winkel-Shirley, 2001). La cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), es la metodología más comúnmente utilizada para identificar y cuantificar flavonoides individuales, como quercetina, kaempferol o rutina (Mizzi, 2020). Solana et al. (2015), señalaron a la rutina como el flavonoide más abundante en el espárrago con hasta un 80 % del contenido fenólico total.

2.7.3. Métodos para determinar la capacidad antioxidante

La transferencia de electrones de un átomo a otro, conocida como oxidación, es un proceso esencial en el metabolismo de los organismos aerobios, ya que el oxígeno actúa como aceptor final de electrones. Este flujo de electrones puede desacoplarse y generar radicales libres, que son especies químicas capaces de existir de forma independiente y que poseen uno o más electrones no apareados. Entre ellos se encuentran las especies reactivas de oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés), consideradas radicales debido a la presencia de al menos un electrón no apareado, y que tienen la capacidad de oxidar biomoléculas (Gülçin, 2006).

Aunque estas moléculas cumplen funciones fisiológicas importantes en las células, cuando no son eliminadas de manera eficaz por los mecanismos antioxidantes endógenos, pueden iniciar reacciones en cadena que dañan componentes celulares como lípidos, proteínas y ADN, lo que puede derivar en procesos patológicos o enfermedades crónicas (Gülçin, 2012).

Para evaluar la capacidad de los compuestos presentes en los alimentos de neutralizar las ROS, se han desarrollado diversos métodos analíticos. Estos se clasifican, principalmente, en dos grupos (Prior et al., 2005; Apak, 2016).

1. **Métodos basados en transferencia de hidrógeno (HAT)**, que evalúan la capacidad del antioxidante para donar un átomo de hidrógeno (ORAC, TRAP).
2. **Métodos basados en transferencia de electrones (SET)**, que miden la habilidad del antioxidante para donar un electrón a un agente oxidante, generando un cambio de color que se cuantifica mediante espectrofotometría (ABTS, FRAP, DPPH). Los cuales son más simples, rápidos y menos costosos, su determinación es relativamente más sencilla.

ABTS (ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico): El radical ABTS⁺ se neutraliza con los electrones donados por los compuestos

antioxidantes de la muestra y pierde color, va de un tono turquesa a blanco, la absorbancia se lee a 734 nm.

FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power): Mide la capacidad de reducir hierro férrico (Fe^{3+}) a ferroso (Fe^{2+}), el color se torna azul y la absorbancia se mide a 530 nm.

DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo): Mide la capacidad antioxidante mediante el cambio de color morado a amarillo gracias a la transferencia de electrones del anión fenolato al DPPH, se mide a 515 nm.

Las absorbancias se pueden medir en instrumentos ópticos que permiten cuantificar la luz absorbida, como los espectrofotómetros, lectores de microplacas o colorímetros.

2.7.4. Literatura citada

- Albanese, D., Russo, L., Cinquanta, L., Brasiello, A., & Di Matteo, M. (2007). Physical and chemical changes in minimally processed green asparagus during cold-storage. *Food Chemistry*, 101(1), 274-280. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.048>
- AOAC International. (2023). Official Methods of Analysis of AOAC International Manual con los métodos oficiales para la determinación de humedad, proteínas, grasas, fibra y cenizas. (22st ed.). <https://doi.org/10.1093/9780197610145.001.0001>
- Apak, R., Özyürek, M., Güçlü, K., & Çapanoğlu, E. (2016). Antioxidant activity/capacity measurement. 1. Classification, physicochemical principles, mechanisms, and electron transfer (ET)-based assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(5), 997-1027. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04739>
- Barreto-Macías, A., Jimenez-Pluas, R. S., Facuy-Delgado, J., & Barreto-Campoverde, K.L. (2023). Efecto de bioestimulantes orgánicos como complemento de la fertilización edáfica en (*Oryza sativa* L.), variedad SFL-11 zona Santa Lucía – Guayas. *MQR Investigar*, 7(2), 358-380. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.2.2023.358-380>
- Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). (1988). <http://www.ciren.cl/web/>
- Chin, C. K., & Garrison, S. (2008). Functional elements from asparagus for human health. *Acta Horticulturae*, 776(1), 219-226. [10.17660/ActaHortic.2008.776.27](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.776.27)

- Del Pozo, A. (1999). Morfología y funcionamiento de la planta. In M. I. González & A. del Pozo. (Eds.) *El cultivo del espárrago* (pp. 9-28). Instituto de investigaciones agropecuarias, Centro de investigaciones Quilamapu. https://www.researchgate.net/publication/260165031_El_Cultivo_del_Esparrago
- Demir, I., & Mavi, K. (2004). The effect of priming on seedling emergence of differentially matured watermelon (*Citrullus lanatus*) (Thunb.) Matsum and Nakai) seeds. *Scientia Horticulturae*, 102(4), 467-473. [10.1016/j.scienta.2004.04.012](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.04.012)
- Drost, D. (2023). Asparagus (*Asparagus officinalis* L.) Root Distribution Varies with cultivar during early establishment years. *Horticulturae*, 9(2), Article 125. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9020125>
- Drost, D. T. (2020). Asparagus. In H. C. Wien & H. Stutzel (Eds.) *The Physiology of vegetable crops* (pp 457-479). CABI eBooks. <https://doi.org/10.1079/9781786393777.0457>
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196(1), 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- FAOSTAT. (2024). *Cultivos y productos de ganadería*. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Fon Fay Vásquez, F. M, & Zumbado Fernández, H. (2019). *Análisis proximal en alimentos: Fundamentos teóricos y técnicas experimentales*. (1ª ed.) Colloquium.
- Ferreira, R., Sellés van S., G., Peralta A., J. M., Fritsch F., N., Contador F., F., & Rubio F., A. (1996). Respuesta nutricional del espárrago (*Asparagus officinalis* L.) ante diferentes niveles de estrés hídrico. *Agricultura Técnica*, 56(1), 11-17. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/f3f97ab1-6bba-4386-a963-0aadea5054ef/content](https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/f3f97ab1-6bba-4386-a963-0aadea5054ef/content)
- Firpo, I., Rotondo, R., Drincovich, F., Chaves, A., López, F., Cointry, E., & García, S. (2007). Caracterización de aspectos de calidad a cosecha de cinco híbridos de espárrago, bajo dos sistemas de manejo. *Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 7(11), 67-70. <https://rehip.unr.edu.ar/bitstreams/fd918bd8-ee1-4029-8ecc-a921772d4d7d/download>
- Fuentes-Alventosa, J. M., Jaramillo-Carmona, S., Rodríguez-Gutiérrez, Rodríguez-Arcos, R., Fernández-Bolaños, J., Guillén-Bejarano, R., Espejo-Calvo, J. A., G., S., & Jiménez-Araujo, A. (2009). Effect of the extraction method on phytochemical composition and antioxidant activity of high dietary fibre powders obtained from asparagus by-product. *Food Chemistry*, 116(2), 484-490. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.02.074>

- Fuentes-Alventosa, J., Jaramillo, S., Rodríguez-Gutiérrez, G., Cermeño, P., Espejo, J. A., Jiménez-Araujo, A., Guillén-Bejarano, R., Fernández-Bolaños, J., & Rodríguez-Arcos, R. (2008). Flavonoid profile of green asparagus genotypes. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(16), Article 6977-84. [10.1021/jf8009766](https://doi.org/10.1021/jf8009766).
- Fuentes-Alventosa, J.M., Jaramillo-Carmona, S., Rodríguez-Gutiérrez, G., Guillén-Bejarano, R., Jiménez-Araujo, A., Fernández-Bolaños, J., & Rodríguez-Arcos, R. (2013). Preparation of bioactive extracts from asparagus by-product. *Food and Bioprocess Processing*, 91(2), 74-82. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.12.004>
- González-Gallego, J., Sánchez-Campos, S., & Tuñón, M. (2007). Anti-inflammatory properties of dietary flavonoids. *Nutrición hospitalaria*, 22(3), 287-293. https://www.researchgate.net/publication/6226174_Anti-Inflammatory_properties_of_dietary_flavonoids
- Gülçin, İ. (2012). Antioxidant activity of food constituents: an overview. *Archives of Toxicology*, 86, 345-391. <https://doi.org/10.1007/s00204-011-0774-2>
- Gülçin, İ., Elias, R., Gepdiremen, A., & Boyer, L. (2006). Antioxidant activity of lignans from fringe tree (*Chionanthus virginicus* L.). *European Food Research and Technology*, 223(1), 759-767. <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0265-5>
- Guo, Q., Wang, N., Liu, H., Li, Z., Lu, L., & Wang, C. (2020). The bioactive compounds and biological functions of *Asparagus officinalis* L. – A review. *Journal of Functional Foods*, 65, Article 103727. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103727>
- Guo, Y., Liu, Z., Wan, Y., Zhang, Y., Abdu, H., Yang, M., Pei, J., Yue, T., Zhang, X., Hacimuftuoglu, A., & Abd, A.(2023). Literature analysis on asparagus roots and review of its functional characterizations. *Frontiers in Nutrition*, 9, Article 1024190. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1024190>
- Gupta, S., Kumar, A., & Sharma, S. N. (2002). Improvement of seed germination in *Asparagus racemosus* Willd. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 9(1), 3-9. https://doi.org/10.1300/j044v09n01_02
- Hamdi, A., Jaramillo-Carmona, S., Rodríguez-Arcos, R., Jiménez-Araujo, A., & Guillén-Bejarano, R. (2020). Asparagus. In A. K. Jaiswal (Ed). *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables* (pp 121-140). Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/C2016-0-04117-7>
- Jasso de Rodríguez, D., Rocha-Rivera, M. F, Ramírez-Rodríguez, H., Villarreal-Quintanilla, J. Á., Díaz-Jiménez, L. V., Rodríguez-García, R., & Carrillo-Lomelí, D. A. (2023). Extractos de plantas como bioestimulantes de crecimiento, rendimiento y calidad de fruto en pimiento morrón. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 10(2), Article 3559. <https://doi.org/10.19136/era.a10n2.3559>

- Katsenios, N., Roussis, I. E., Efthimiadou, A., Kakabouki, I., & Bilalis, D. (2019). Seed treatment techniques to improve germination of wild asparagus (*Asparagus acutifolius* L.), a potential new crop. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(3), 995–1000. <https://doi.org/10.15835/nbha47311554>
- Kergosien, N., Stiger-Pouvreau, V., Connan, S., Hennequart, F., & Brébion, J. (2023). MiniReview: brown macroalgae as a promising raw material to produce biostimulants for the agriculture sector. *Frontiers in Agronomy*, 5, Article 1109989. <https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1109989>
- Li, B., & Wolyn, D.J. (1996). Absciscic acid and ancymidol promote conversion of somatic embryos to plantlets and secondary embryogenesis in *Asparagus officinalis* L. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 32, 223–226. <https://doi.org/10.1007/BF02822691>
- Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350-382. [https://dx.doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://dx.doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
- Luna-Fletes, J. A., Cruz-Crespo, E., & Can-Chulim, Á. (2021). Piedra pómez, tezontle y soluciones nutritivas en el cultivo de tomate cherry. *Terra Latinoamericana*, 39, Article 781. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.781>
- Mizzi, L., Chatzitzika, C., Gatt, R., & Valdramidis, V. (2020). HPLC Analysis of phenolic compounds and flavonoids with overlapping peaks. *Food Technology and Biotechnology*, 58(1), 12-19. <https://doi.org/10.17113/ftb.58.01.20.6395>
- Olvera, M. A., Martínez, C. A., & Real de León, E. (1993). *Manual de técnicas para laboratorio de nutrición de peces y crustáceos* (Documento de campo No. 7). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). <https://www.fao.org/4/ab489s/ab489s00.htm>
- Ortega, R. (1999). Manejo de la fertilización. In M. I. González & A. del Pozo (Eds.) *El cultivo del espárrago* (pp. 79-96). Instituto de investigaciones agropecuarias, Centro de investigaciones Quilamapu. https://www.researchgate.net/publication/260165031_El_Cultivo_del_Esparrago
- Pegiou, E., Mumm, R., Acharya, P., de Vos, R., & Hall, R. (2020). Green and white asparagus (*Asparagus officinalis*): A source of developmental, Chemical and Urinary Intrigue. *Metabolites*, 10(1), 1-23. <https://doi.org/10.3390/metabo10010017>
- Peñarrieta, J. M., Tejeda, L., Mollinedo, P., Vila, J. L., & Bravo, J. A. (2014). Phenolic compounds in food. *Revista Boliviana de Química*, 31(2), 68–81. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5018.1840>
- Pérez, C., Carrillo, G., Vidal, E., & Ortiz, E. (2016). Efecto de la imbibición en la calidad fisiológica de semillas de jitomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(7), 1765-1773.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000701765&lng=es&tlng=es.

- Pérez, H. (2006). Nutracéuticos: componente emergente para el beneficio de la salud. *ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 40(3), 20–28. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120665003>
- Pressman, E., Schaffer, A., Compton, D., & Zamski, E. (1993). Seasonal changes in the carbohydrate content of two cultivars of asparagus. *Scientia Horticulturae*, 53(1), 149-155. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(93\)90145-G](https://doi.org/10.1016/0304-4238(93)90145-G)
- Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10), 4290–4302. <https://doi.org/10.1021/jf0502698>
- Ramírez, A. M., & Sadeghian, K. (2009). Respuesta del espárrago a nitrógeno, fósforo y potasio en la zona cafetera de Colombia. *Cenicafé*, 60(3), 269-281. <http://hdl.handle.net/10778/177>
- Sandoval-Cancino, G., Zelaya-Molina, L., Ruíz-Ramírez, S., Cruz-Cárdenas, C., Aragón-Magadán, M., Rojas-Anaya, E., & Chávez-Díaz, I. (2021). Agricultural genetic resources as a source of resilience in the face of the covid-19 pandemic in Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 25(1), 1-26. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3841>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2024). *Panorama agroalimentario 2018 - 2024. La ruta de la transformación agroalimentaria*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
- Singleton, V. L., Orthofer, R. & Lamuela-Raventós, R. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin–Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299(1), 152–178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Snow, N., Dunn, M., & Patel, S. (1997). Determination of crude fat in food products by supercritical fluid extraction and gravimetric analysis. *Journal of Chemical Education*, 74(9), 1108-1108. <https://doi.org/10.1021/ed074p1108>
- Tejacal, I., & Pérez, G. (2022). El espárrago para uso ornamental. *Inventio*, 4(8), 49–52. <https://inventio.uaem.mx/index.php/inventio/article/view/641>
- Winkel-Shirley, B. (2001). Flavonoid biosynthesis. A colorful model for genetics, biochemistry, cell biology, and biotechnology. *Plant Physiology*, 126(2), 485–493. <https://doi.org/10.1104/pp.126.2.485>
- Zumbado, F. (2004). *Análisis químico de los alimentos: métodos clásicos*. Editorial Universitaria. https://www.researchgate.net/profile/Hector-Zumbado-Fernandez/publication/348560034_Analisis_Quimico_de_los_Alimentos_

Metodos_Clasicos/links/6004b45692851c13fe1bd399/Analisis-Quimico-de-los-Alimentos-Metodos-Clasicos.pdf

3. EFFECT OF BIOSIMULANTS AND ORGANIC FERTILIZER ON THE GROWTH OF ASPARAGUS IN GREENHOUSE

Effect of biostimulants and organic fertilizer on the growth of asparagus in greenhouse

Efecto de bioestimulantes y abono orgánico en el crecimiento de espárrago en invernadero

Running head: Bocashi and biostimulants on asparagus growth

Adela G. Rosas-Rosas¹; Juan Guillermo Cruz-Castillo²; Diana Guerra-Ramírez³; Ana María Castillo-González¹

¹Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Estado de México, C. P. 56230, MÉXICO. ORCID <https://orcid.org/0009-0006-2062-6280>, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8661-6433>

²Centro Regional Universitario Oriente, Km. 6 Carretera Huatusco – Jalapa, Huatusco, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8687-6235> jcruz@chapingo.mx*

³Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Preparatoria Agrícola. Carretera México- Texcoco km 38.5, Chapingo, Estado de México, C. P. 56230, MÉXICO. ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9840-975X>

3.1. Abstract

Asparagus officinalis L. is a perennial crop that, due to its nutritional value, is cultivated in more than 60 countries. Fertilization plays a crucial role in achieving expected yields, and currently, the application of biostimulants is a complementary practice in many crops. The objective of this study was to determine the best combination of fertilization source and biostimulant for improving the morphological characteristics of green asparagus plants under greenhouse conditions. Eight treatments were used, two fertilization sources Steiner nutrient solution at 100% [SNS] and bocashi at 10% [BCH] alone or mixed with the biostimulants seaweed extract [SWE], L-amino acids [L-A], and humorganic fertilizer [HF]. The evaluated variables were: plant height (PH), number of shoots (NS), shoot diameter (SD), number of roots (NR), primary root length (PRL), root diameter (RD), crown diameter (CD), number of buds (NB), fresh weight aerial (FWA), and the percentage of dry matter in the aerial part (%DMA) and root (%DMR). In the growth curve, the SNS+SWE treatment

Sometido a: Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo
Estatus: Enviado

showed the greatest increase in PH (80.1 cm) at 123 days after transplanting. Overall, combining BCH with biostimulants showed better results in %DMR, NB, CD, and PRL. The FWA was increased by SNS + HF. The PRL was increased by BCH + SWE.

Keywords

Asparagus officinalis L., seaweed extracts, Steiner solution, fertilization.

3.2. Resumen

Asparagus officinalis L. es un cultivo perenne que, debido a su valor nutricional, se cultiva en más de 60 países. La fertilización desempeña un papel crucial para alcanzar los rendimientos esperados, y actualmente, la aplicación de bioestimulantes es una práctica complementaria en muchos cultivos.

El objetivo de este trabajo fue determinar la mejor combinación de fuente de fertilización y bioestimulante en las características morfológicas de las plantas de espárrago verde. Se emplearon ocho tratamientos, resultantes de dos fuentes de fertilización solución nutritiva de Steiner al 100 % [SNS] y bocashi al 10 % [BCH] solas y mezcladas con los bioestimulantes extracto de algas marinas [EAM], L-aminoácidos [L-A] y fertilizante humorgánico [FH]). Las variables evaluadas fueron: altura de planta (AP), número de brotes (NB), diámetro de brote (DB), número de raíces (NR), longitud de raíz principal (LRP), diámetro de raíz (DR), diámetro de corona (DC), número de yemas (NY), peso fresco aéreo (PFA), y porcentaje de materia seca de la parte aérea y de la raíz (%MSA y %MSR). En la curva de crecimiento, el tratamiento SNS+EAM presentó el mayor incremento en AP (80.1 cm) a los 123 días después del trasplante. En general, la combinación de bocashi con bioestimulantes mostró mejores resultados en %MSR, NY, DC y LRP. El PFA fue incrementado con SNS + HF. La RLP fue mayor con BCH + SWE.

Palabras clave

Asparagus officinalis L, extractos de alga, solución Steiner, fertilización.

3.3 Introduction

Asparagus (*Asparagus officinalis* L.) is native to the eastern Mediterranean and Asia Minor. It is cultivated in over 60 countries, including Mexico (18). In response to growing demand in international markets, production systems have been optimized to maximize yield (11) without damaging the environment (28). As part of crop management, fertilization is one of the main activities. This is widely used in the development of soilless crops. Since these plants lack the nutrients naturally present in soil, they require an external source. Replacing chemical fertilizers with organic alternatives is a healthy way of producing horticultural commodities. Organic fertilizers and biostimulants are being extensively studied to enhance the sustainable productivity of horticultural crops (24).

Asparagus respond adequately to organic fertilizers, and this is an alternative to commercial fertilizers (36). One of the most widely used organic fertilizers is bocashi, a solid fermented compost. Its effects have been evaluated in several crops, such as peanut (29), banana (16), beetroot (10), tomato (25), and lettuce (34). In *asparagus* cultivation, the information is limited. However, studies on other biofertilizers such as vermicompost, sheep wool and leather shavings, manure, and compost have shown positive effects on root fresh weight, fresh and dry weight of shoots, nitrogen supply to the soil, plant height, and yield (17, 35). Thus, the application of bocashi in the establishment of *asparagus* could be a viable option.

A biostimulant is any substance (including microorganisms) that stimulates plant nutrition processes, regardless of the nutrient content of the product (8, 32). The effect of the bioestimulants on plant growth is indirect (23). The benefits of biostimulants include improved nutrient use efficiency, increased nutrient availability in the soil, and enhanced tolerance to abiotic stress (22). Biostimulants applied to various crops, such as bell peppers, habanero chili peppers, and rice, have shown favorable results in terms of growth, yield, thickness, and leaf area (3, 19, 21). In green *asparagus*, an increase in root biomass (6, 7, 14), and an improvement in vegetative development and

yield were reported (27). Applications of seaweed + ácido 5-aminolevulínico also increased the branch length of asparagus (1).

Organic fertilization and biostimulants would maximize the early growth of asparagus seedlings in the greenhouse. The objective of this study was to determine the best combination of fertilizer source and biostimulant to optimize early growth of asparagus plants.

3.4. Materials and methods

The research was conducted in a greenhouse located at the Agricultural Experimental Field of the Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, State of Mexico (19° 29' 29.531" N latitude, 98° 54' 23.898" W longitude, and at an altitude of 2250 m from February to August 2024.

The seedlings were obtained from seeds collected in a plantation in Huatusco, Veracruz, Mexico. This plantation was propagated by seeds of the UC 157 F1 variety. The seeds were subjected to imbibition in water for 24 h and sown in transparent clamshells containing a mixture of perlite and peat (1:1, v/v) in December 2023. After 68 days, plants taller than 20 cm were selected and transplanted into 1 L bags with a mixture of peat and perlite (1:1, v/v). They were kept in a greenhouse for an additional 5 months for evaluation. The average temperature and relative humidity in the greenhouse were 20.5 °C and 53%, respectively.

Eight treatments were applied to the substratum, combining the Steiner nutrient solution 100% (33), and the organic fertilizer bocashi 10% with three biostimulants (Cuadro 2). The bocashi had a single application starting in the second week of the experiment.

The Steiner solution and the bioestimulants were applied weekly, 18 times, starting in the second week of the experiment. The bioestimulants applied and doses (Cuadro 2) were: 1) seaweed extract (Algamar®) (3 g L⁻¹) composed by 82.54 % seaweed (*Ascomyllum nodosum*, *Sargassum*, *Laminaria*, *Macrosystis pirifera*, *Egregia menzies*), macro and microelements (N, P, K, Ca, S, Mg, Cu, Fe, B), and Alginate Acid. 2) L-Amino acids (Amikrone®) (2 mL L⁻¹) contains 51.22% L-amino acids, peptides and polypeptides of natural origin (Aspartic Acid, Threonine, Serine, Glutamic Acid, Glycine, Alanine, Cysteine, Valine, Methionine, Isoleucine, Tyrosine, Phenylalanine, Histidine, Lysine, Arginine, and

Proline), as well as microelements (Cu, Mn, Zn, and Ca), organic conditioners, and diluents. 3) humorganic fertilizer (Humic-P®) (1.5 mL L⁻¹) has 7% Nitrogen, rich in humic (20%), fulvic (20%), and carboxylic acids (18%), plus essential macro- and microelements (Fe, Mn, Cu, S, Ca, Mg, Zn, B, Co, Mo).

The bokashi was prepared with bovine manure (2000 L), rock flour (50 kg), crushed coal (20 kg), sugarcane molasses (10 L), commercial bread yeast (450 g), and a microbial consortium made by growers (2 L) mixed in 100 L of water. It was moistened and left to ferment for 28 days, maintaining an internal temperature of 50 °C and turning every third day.

Table 2. Treatments used for fertilizing asparagus plants in a greenhouse.

Cuadro 2. Tratamientos usados para fertilizar plantas de espárrago en invernadero.

Treatments	Fertilizers	†Biostimulants, *BCH, and †SNS controls
1	*bokashi 10 % (BCH)	seaweed extract (SE)
2		L-Amino acids (L-A)
3		humorganic fertilizer (HF)
4		bokashi control (BCHC)
5	† Steiner nutrient	seaweed extract (SE)
6	solution 100 %(SNS)	L-Amino acids (L-A)
7		humorganic fertilizer (HF)
8		Steiner nutrient solution control (SNSC)

*Single application; †weekly application of 80 mL per plant; SE (3 g L⁻¹); L-A (2 mL L⁻¹); HF (1.5 mL L⁻¹).

*Una sola aplicación; †aplicación semanal de 80 mL por planta; SE (3 g L⁻¹); L-A (2 mL L⁻¹); HF (1.5 mL L⁻¹).

The plant height (cm) (PH) was evaluated every week over 123 days. In the final evaluation (August 2024), shoot diameter (mm) at 3 cm from the substratum (SD), number of shoots (NS), number of roots (NR), primary root length (cm) (PRL), root diameter (mm) (RD), crown diameter (cm) (CD), number of buds (NB), fresh and dry weight of the root and aerial parts (g), percentage of dry matter in the aerial part (%DMA) and root (%DMR) (12), were measured. Weekly and final length measurements were carried out using a 50 cm metal ruler. Diameter was determined with a Steren digital vernier, and weight was measured with a Matcha EK6012 digital scale.

The data were analyzed using the SAS 9.4 statistical software, with eight treatments in a 2x4 factorial design. Steiner nutrient solution at 100% and bocashi at 10%, and three biostimulants (seaweed Extracts (SWE), L-Amino Acids (L-A), and humorganic Fertilizer (HF)), plus the controls (Steiner nutrient solution at 100%, and bocashi at 10%). The experimental unit consisted of five plants per treatment with seven replications. The significance of the results was tested using a two-way ANOVA with crossed factors. The means comparisons were calculated using Tukey's test at a 5%.

3.5. Results and discussion

On day 34 the growth patterns of the plants began to differentiate (Figura 1). The treatments with the least initial growth were bocashi + seaweed extracts (T1) (25.05 cm) and bocashi alone o control (T4) (24.88 cm). However, by the end of the evaluation, the treatment with the least growth was T1, while the treatment with the highest growth was T5 (Steiner nutrient + seaweed extract) with 80.1 cm. Thus, the effect of this fertilizer on asparagus growth was enhanced when mixed with the biostimulant seaweed extract.

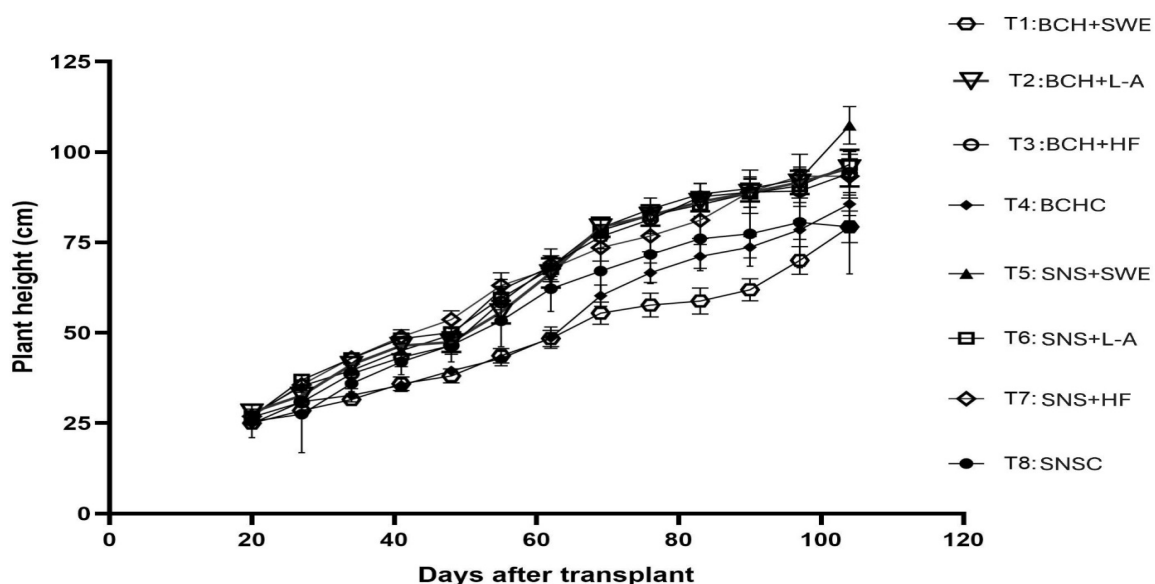


Figura 1. Altura de planta (PH) de espárrago verde producida con dos tipos de fertilizantes y tres bioestimulantes en invernadero.

T1: bocashi + extractos de alga, T2: bocashi + L-amino acids, T3: bocashi + fertilizante humorganico, T4: bocashi testigo, T5: solución de Steiner + extractos de alga, T6: Solución de Steiner + L-amino acids, T7: Solución de Steiner + fertilizante humorganico, T8: Solución de Steiner testigo

Figure 1. Plant height (PH) of asparagus plants produced with two types of fertilizers and three biostimulants in greenhouse.

T1: bocashi + seaweed extracts, T2: bocashi + L-amino acids, T3: bocashi + humorganic fertilizer, T4: bocashi control, T5: Steiner solution + seaweed extracts, T6: Steiner solution + L-amino acids, T7: Steiner solution + humorganic fertilizer, T8: Steiner solution control. Data were collected weekly over 123 days after transplanting. The standard errors are shown.

It was observed that with the same biostimulant (SWE) but different fertilizer sources, for example bocashi + extract of seaweed, the growth results were the opposite (Figura 1). The formulation of bioactive compounds, the concentration of algae, and the dosage could have influenced this outcome (13). In general, the treatments with the Steiner nutrient solution (SNS) achieved the best growth at 123 days (Figura 1). The balance between anions and cations of the SNS, combined with the properties of the biostimulants, may have enhanced nutrient absorption (9). This highlights the

importance of using organic products that help promote development in sustainable agricultural systems (5).

There was a significant interaction between the fertilizers and the bioestimulants ($P \leq 0.05$) on plant height (PH), number of shoots (NS), shoot diameter (SD), number of roots (NR), and primary root length (PRL) 220 days after asparagus was established. The Steiner nutrient solution (SNS) mixed with biostimulants had the highest average values for plant height (PH) (99.9 cm), number of shoots (NS) (11.6), and shoot diameter (SD) (3.6 mm), compared with those fertilized with bocashi (BCH) + biostimulants. In contrast, bocashi mixed with the biostimulants showed the highest number of roots (NR) (41.5), primary root length (PRL) (26.5 cm), and root diameter (RD) (3.1 mm) (Cuadro 3). The effect of the bocashi on number of roots was improved when it was applied mixed with L-Amino acids (L-A) (T2) and the humorganic fertilizer (HF) (T3) (Cuadro 3). Therefore, the organic fertilizer application alone requires the nutritional contribution of other sources. The primary root length was increased mainly by bocashi + seaweed (T1) (Cuadro 3). The seaweed application promotes microbial diversity and has a positive effect on soil nitrogen respiration and mobilization, creating an ideal environment for root development (1). In addition, preparations based on seaweed extracts provide trace elements that stimulate plant growth and activate their defense mechanisms (30). Root diameter was not influenced by the treatments (Cuadro 3). Regardless of the biostimulant used, factors such as dosage, application frequency, and the type of substratum must be considered (4). Amino acids are considered important due to their ability to stimulate enzymatic activity and nutrient assimilation (5), while humic and fulvic acids act as soil amendments, providing plants with essential micronutrients (20).

Table 3. Morphological characteristics of asparagus produced with Steiner nutrient solution, bocashi, and biostimulants 220 days after greenhouse establishment.

Cuadro 3. Características morfológicas de espárrago producido con una solución nutritiva de Steiner, bocashi y bioestimulantes 220 días después de su establecimiento en el invernadero.

Treatment	Plant height (cm)		Number of shoots		Shoot diameter (mm)		Number of roots		Primary root length (cm)		Root diameter (mm)	
BCH + SWE	81.7	b	7.7	ab	2.6	b	38.4	b	29.7	a	3.1	ab
BCH + L-A	98.3	ab	9.7	ab	3.2	ab	50.7	a	27.4	ab	3.2	ab
BCH + HF	95.3	ab	12.3	ab	3.4	ab	52.6	a	26.0	b	3.4	a
BCHC	82.2	b	6.6	b	2.4	b	24.1	c	23.0	c	2.9	ab
SNS + SWE	108.2	a	10.6	ab	3.5	ab	40.3	b	25.2	b	2.8	ab
SNS + L-A	102.6	ab	10.7	ab	3.5	ab	37.7	b	18.4	d	2.2	b
SNS + HF	101.1	ab	14.3	a	3.8	a	40.0	b	20.5	c	2.7	ab
SNSC	87.9	ab	10.9	ab	3.6	ab	44.3	b	21.0	c	3.1	ab

Different letters in the same column indicate significant differences ($p \leq 0.05$) by Tukey. BCH=bokashi control, SWE=seaweed extracts, L-A=L-Amino Acids, HF=humorganic fertilizer, BCHC=bokashi alone, SNS=Steiner solution, SNSC=Steiner solution control.

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) por Tukey. BCH=bokashi, SWE=seaweed extracts, L-A=L-Amino Acids, HF=fertilizante humorganico, BCHC=bokashi testigo, SNS=solución de Steiner testigo, SNSC=solución de Steiner testigo.

The number of buds, crown diameter, and root fresh and dry weights, which are direct indicators of the plant's ability to produce spears, were enhanced when bokashi was mixed with seaweed extract (T1), L-amino acids (T2), and humorganic fertilizer (T3) (Table 3). Moisture conditions influence the root system of asparagus, and using bokashi as a solid fertilizer could hinder nutrient uptake due to water stress (15), and its application in combination with biostimulants could promote tolerance to water stress (18) and improve asparagus nutrition. The aerial fresh and dry weights were increased by Steiner nutrient solution + humorganic fertilizer (T7). Humic acids stimulate the root system of

plants, and fulvic acids form complexes of micro and macrolelements that are integrated into the plant's physiology and promote the increase of dry weight in the root system (31). In general, the % root dry matter was better in the treatments with bocashi + biostimulants. The % of aerial dry matter was not influenced significantly when the two fertilizers were mixed with the biostimulants. Some studies have shown inconsistent results with the use of biostimulants (2). Therefore, it is important to adjust the doses of application (26).

Table 3. Root characteristics, and fresh and dry weight of asparagus produced with Steiner nutrient solution, bocashi, and biostimulants at 220 days after establishment.

Cuadro 4. Características de la raíz, y masa fresca y seca de espárragos producidos con la solución nutritiva de Steiner, bocashi, y bioestimulantes 220 días después de su establecimiento.

Treatment	Number of buds	Crown diameter (cm)	Aerial fresh weight (g plant ⁻¹)	Aerial dry weight (g plant ⁻¹)	Aerial % dry matter	Root fresh weight (g plant ⁻¹)	Root dry weight (g plant ⁻¹)	Root % dry matter
BCH + SWE	12.3 ab	6.4 a	12.1 c	3.0 c	24.8 ab	57.5a	16.1 ab	28.3 ab
BCH + L-A	16.6 a	6.0 ab	33.4 b	7.9 ab	23.7 bc	61.1a	18.7 a	30.2 ab
BCH + HF	15.6 a	6.3 ab	30.6 b	7.3 b	23.9 bc	56.4a	19.2 a	34.3 a
BCHC	8.1 b	3.2 c	10.5 c	2.4 c	22.7 bc	19.1b	5.1 c	26.1 ab
SNS + SWE	12.9 ab	4.8 abc	36.6 ab	8.5 ab	23.0 bc	44.8ab	11.3 abc	24.1 c
SNS + L-A	8.6 b	3.9 c	38.6 ab	8.3 ab	21.2 c	36.9ab	6.2 c	15.4 d
SNS + HF	8.9 b	4.4 bc	50.5 a	11.2 a	22.1 bc	41.3ab	7.5 bc	17.2 cd
SNSC	12.3 ab	5.1 abc	28.2 b	7.5 b	26.8 a	63.0a	16.6 a	26.3 ab

Different letters in the same column indicate significant minimum differences ($p \leq 0.05$). 1: BCH + SWE; 2: BCH + L-A; 3: BCH + HF; 4: BCH; 5: SNS + SWE; 6: SNS + L-A; 7: SNS + HF; 8: SNSC.

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) por Tukey. BCH=bokashi, SWE=seaweed extracts, L-A=L-Amino Acids, HF=fertilizante humorganico, BCHC=bokashi testigo, SNS=solución de Steiner testigo, SNSC=solución de Steiner testigo.

3.6. Conclusion

In general, the bocashi application combined with biostimulants enhanced the asparagus growth in greenhouse. The number of roots, number of buds, crown diameter, and root fresh and dry weights were improved with the mixed application with seaweed extract, L-Amino acids and the humorganic fertilizer. Bocashi + seaweed also increased the primary root length. This effect was not clearly observed with the Steiner nutrient solution mixed with biostimulants, which generally showed less favorable results, and a weak synergy was observed between them, as the solution alone produced better effects. These results suggest exploring other options besides mineral fertilizers.

3.7. Acknowledgements

To the National Council of Humanities, Sciences, and Technologies (CONAHCYT) and to the Autonomous University of Chapingo for the support provided to carry out this research.

3.8. References

1. Al-Ghamdia, A.A.; Elansary, H.O. 2018. Synergetic effects of 5-aminolevulinic acid and *Ascophyllum nodosum* seaweed extracts on Asparagus phenolics and stress related genes under saline irrigation. Plant Physiology and Biochemistry. 129: 273-284. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.06.008>
2. Ampong, K.; Thilakaranthna, M.S.; Gorim, L. Y. 2022. Understanding the role of humic acids on crop performance and soil health. Frontiers in Agronomy. 4:848621. doi: 10.3389/fagro.2022.848621
3. Barreto, M. A.; Jimenez-Pluas, R.; Facuy-Felagado, J.; Barreto, C. K. 2023. Efecto de bioestimulantes orgánicos como complemento de la fertilización edáfica en (*Oryza sativa* L.), variedad SFL-11 zona Santa Lucía – Guayas. MQRInvestigar. 7(2): 358-380. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.2.2023.358-380>

4. Bulgari, R.; Franzoni, G.; Ferrante, A. 2019. Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. *Agronomy*. 9(6), 306. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060306>
5. Calvo, P.; Nelson, L.; Kloepper, J. W. 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*. 383: 3 – 41. DOI 10.1007/s11104-014-2131-8
6. Castagnino, A.M.; Díaz, K. E.; Sastre, P.; Rosini, M. B.; Sasale, S. 2011. La densidad y tamaño de plántulas con cepellón en la producción de espárrago verde. *Agronomía Mesoamericana*. 22(1): 63 – 70. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212011000100008
7. Castagnino, A. M.; Díaz, K. E.; Rosini, M. B.; García Franco, A.; Bastián, E.; Alberti, R.; Marín Castro, M. A. 2022. Influencia de la biofertilización en la producción de plantines de espárrago. *Horticultura Argentina*. 41(106):1851-9342. <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s18519342/rkhv1irio>
8. Colla, G.; Rouphael, Y.; Canaguier, R.; Svecova, E.; Cardarelli, M. 2014. Biostimulant action of a plant-derived protein hydrolysate produced through enzymatic hydrolysis. *Frontiers in Plant Science*. 9(5):448. doi: 10.3389/fpls.2014.00448.
9. Colla, G.; Rouphael, Y.; Cardarelli, M.; Marucci, A. 2017. Use of biostimulants to improve nutrient use efficiency in vegetable crops. *Scientia Horticulturae*. 225, 12–17. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.002>
10. Daiss, N.; Lobo, M. G.; Socorro, A. R.; Brückner, U.; Heller, J.; Gonzalez, M. 2008. The effect of three organic pre-harvest treatments on Swiss chard (*Beta vulgaris* L. var. *cycla* L.) quality. *European Food Research and Technology*. 226(3), 345-353. <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0543-2>
11. Drost, D. 2023. Asparagus breeding: Future research needs for sustainable production. *Frontiers in Plant Science*. 14:1148312. doi: 10.3389/fpls.2023.1148312
12. Escobar, P.; Etcheverría, P.; Vial, M.; Daza, J. 2020. Concepto de materia seca y su uso: guía práctica. Instituto de investigaciones agropecuarias. Informativo No. 119. Ministerio de agricultura de Chile. <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/5a91acd0-4101-4089-a46f-857904f57a19/content>

13. Espinosa-Antón, A.A.; Hernández-Herrera, R. M.; González-González, M. 2020. Extractos bioactivos de algas marinas como bioestimulantes. *Biotecnología Vegetal*. 20(4): 257-282. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2074-86472020000400257
14. Farahani-Kofoet, R.; Häfner, F.; Feller, C. 2023. Effect of organic and mineral soil additives on asparagus growth and productivity in replant soils. *Agronomy*. 13(6), 1464. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061464>
15. Ferreyra, R.; Sellés, G.; Peralta, J. M.; Fritsch, N.; Contador, F.; Rubio, A. 1994. Respuesta nutricional del espárrago (*Asparagus officinalis* L.) ante diferentes niveles de estrés hídrico. *Agricultura Técnica*. 56(1). https://oes.chileanjar.cl/files/V56I1A02_es.pdf
16. Formowitz, B.; Elango, F.; Okumoto, S.; Müller, T.; Buerkert, A. 2007. The role of “effective microorganisms” in the composting of banana (*Musa* ssp.) residues. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 170(5), 649-656. <https://doi.org/10.1002/jpln.200700002>
17. Ge, C.; Randnezhad, H.; Abari, M. F.; Sadeghi, M.; Kashi, G. 2016. Effect of biofertilizers and plant growth promoting bacteria on the growth characteristics of the herb *Asparagus officinalis*. *Applied Ecology and Environmental Research*. 14(3): 547-558. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1403_547558
18. Guo, Q.; Wang, N.; Liu, H.; Li, Z.; Lu, L.; Wang, C. 2019. The bioactive compounds and biological functions of *Asparagus officinalis* L. – A review. *Journal of Functional Foods*. 103727. doi: 10.1016/j.jff.2019.103727
19. Gupta S.; Doležal, K.; Kulkarni, M. G.; Balázs, E.; Van Staden, J. 2022. Role of non-microbial biostimulantes in regulation of seed germination and seedling establishment. *Plant Growth Regulation*. 97:271-313. <https://doi.org/10.1007/s10725-021-00794-6>
20. Jardin, P. 2015. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*. 196: 14(3). <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
21. Jasso de Rodríguez, D.; Rocha-Rivera, M. F.; Ramírez-Rodríguez, H.; Villarreal-Quintanilla, J. Á.; Díaz-Jiménez, L. V.; Rodríguez-García, R.; Carrillo-Lomelí, D. A. 2023. Extractos de plantas como bioestimulantes de crecimiento, rendimiento y calidad de fruto en pimiento morrón. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 10(2). <https://doi.org/10.19136/era.a10n2.3559>

22. Kergosien N.; Stiger-Pouvreau V.; Connan S.; Hennequart, F.; Brébion J. 2023. MiniReview: brown macroalgae as a promising raw material to produce biostimulants for the agriculture sector. *Frontiers in Agronomy*. 5:1109989. doi: 10.3389/fagro.2023.1109989
23. Lu Q.; Jin L.; Tong C.; Liu F.; Huang B.; Zhang D. 2024. Research progress on the growth-promoting effect of plant biostimulants on crops. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*. 93(4): 661-679. DOI: 10.32604/phyton.2024.049733
24. Muhie, S.H. 2023. Plant biostimulants in organic horticulture: a review. *Journal of Plant Growth Regulation*. 42(1): 2698-2710. <https://doi.org/10.1007/s00344-022-10738-7>
25. Ndonga, R. K.; Friedel, J. K.; Spornberger, A.; Rinnofner, T.; Jezik, K. 2011. Effective micro-organisms' (EM): An effective plant strengthening agent for tomatoes in protected cultivation. *Biological Agriculture and Horticulture*. 27(2), 189-203. <https://doi.org/10.1080/01448765.2011.9756647>
26. Olk, D.C.; Dinnes, D.L.; Scoresby, J.; Callaway, C. R.; Darlington, J. W. 2018. Humic products in agriculture: potential benefits and research challenges - a review. *Journal of Soils and Sediments*. 18(1): 2881–2891. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-1916-4>
27. Ortega-García, J.; Holguín-Peña, R. J.; Preciado-Rangel, P.; Guillén-Enríquez, R.R.; Zapata-Sigüentes, G.; Nava-Santps, J. M.; Rueda-Puente, E. O. 2021. *Bacillus amyloliquefaciens* as a halo-PGPB and chitosan effects in nutritional value and yield production of *Asparagus officinalis* L. under Sonora desert conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 49(3):12414. <https://doi.org/10.15835/nbha49312414>
28. Paoletti, A.; Benincasa, P.; Famiani, F.; Rosati, A. 2023. Spear yield and quality of wild asparagus (*Asparagus acutifolius* L.) as an understory crop in two olive systems. *Agroforest Systems*. 97(1): 1361–1373. <https://doi.org/10.1007/s10457-023-00860-0>
29. Pei-Sheng, Y.; Hui-Lian, X. 2002. Influence of EM bokashi on nodulation, physiological characters and yield of peanut in nature farming fields. *Journal of Sustainable Agriculture*. 19(4), 105-112. https://doi.org/10.1300/J064v19n04_10
30. Pei, B.; Zhang, Y.; Liu, T.; Cao, J.; Ji, H.; Hu, Z.; Wu, X.; Wang, F.; Lu, Y.; Chen, N.; Zhou, J.; Chen, B.; Zhou, S. 2024. Effects of seaweed fertilizer application on crops' yield and quality in field

- conditions in China-Ameta-analysis. Plos One. 19(7): e0307517.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0307517>
31. Pradi, V. E.; Dos Santos, O.; Zaratin A. 2014. Substâncias húmicas na qualidade fisiológica de sementes de sorgo. Journal of Agronomic Sciences, Umuarama. 3(2): 169-177.
https://www.researchgate.net/publication/317401055_SUBSTANCIAS_HUMICAS_NA_QUALIDADE_FISIOLOGICA_DE_SEMENTES_DE_SORGO
 32. Rouphael, Y.; Colla, G. 2020. Biostimulants in agriculture. Frontiers in Plant Science. 11(1):40. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>
 33. Steiner, A. A 1984. The universal nutrient solution. P 633–690 In: ISOSC Proceedings. Sixth International Congress on soilless culture. Lunteren Wageningen the Netherlands. pp. 633–650.
 34. Urra, J.; Alkorta, I.; Lanzén, A.; Mijangos, I.; Garbisu, C. 2019. The application of fresh and composted horse and chicken manure affects soil quality, microbial composition and antibiotic resistance. Applied Soil Ecology. 135(1):73-84.
<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.11.005>
 35. Vončina, A.; Mihelic, R. 2013. Sheep wool and leather waste as fertilizers in organic production of asparagus (*Asparagus officinalis* L.). Acta Agriculturae Slovenica. 101-2.
<https://doi.org/10.2478/acas-2013-0015>
 36. Warman, P.R.. 1991. Effects of manures and fertilizers on asparagus yield, fern mineral content and soil fertility. Scientia Horticulturae. 47(3-4): 231-237. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(91\)90006-K](https://doi.org/10.1016/0304-4238(91)90006-K)

4. GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE ESPÁRRAGO CON ÁCIDO GIBERÉLICO Y MÉTODOS FÍSICOS

Original Article.

Germinación de semillas de espárrago con ácido giberélico y métodos físicos

Seed germination of asparagus with gibberellic acid and physical methods

Adela Guadalupe Rosas Rosas¹✉, Juan Guillermo Cruz-Castillo²✉*

Diana Guerra-Ramírez¹✉, Ana María Castillo-González¹✉

¹Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Estado de México, C. P. 56230, MÉXICO. adelagrr11@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-2062-6280>; dguerrar@chapingo.mx, <https://orcid.org/0000-0001-9840-975X>; acastillog@chapingo.mx, <https://orcid.org/0000-0002-8661-6433>

²Centro Académico Regional Oriente, Universidad Autónoma Chapingo, Km. 6 Carretera Huatusco – Xalapa, Huatusco, jcruczc@chapingo.mx ORCID, <https://orcid.org/0000-0002-8687-6235>

* Correspondencia: Juan Guillermo Cruz-Castillo, jcruczc@chapingo.mx.

Received:

Accepted:

Published:

<https://doi.org/10.18633/biotecnia.vXX.XXX>

4.1. Abstract

In Mexico, the production of asparagus (*Asparagus officinalis* L.) is concentrated in a limited number of high-yielding regions. In contrast, other areas—such as the State of Mexico—face constraints due to the high cost and limited availability of commercial seed varieties, which reduces overall productivity. Additionally, the inherently slow and uneven germination of asparagus seeds poses challenges for the sexual propagation of the crop under commercial conditions. To address these limitations, various pre-germination treatments have been proposed to break seed dormancy and enhance early seedling development.

The objective of this study was to evaluate the effect of three pre-germination treatments—chemical scarification with sodium hypochlorite, water imbibition, and gibberellic acid (GA₃) application—on the emergence and early growth of seedlings derived from seeds obtained from a plantation established using individuals of the UC 157 F1 variety. A completely randomized design was employed with a 2 × 2 × 8 factorial arrangements, representing the combination of scarification (with or without), imbibition (with or without), and eight concentrations of GA₃ (0 to 600 ppm). Seed emergence percentage was recorded 25 days after sowing, while seedling height, primary root length, and number of roots were evaluated at 34 days after sowing.

The results revealed highly significant effects of both scarification and imbibition on seedling emergence (87.36% and 75.12%, respectively) and early growth. The application of GA₃ at 500 ppm yielded the highest emergence rate and vegetative

development. Furthermore, significant interactions among the treatments were observed, highlighting a synergistic effect when all three methods were applied concurrently. These findings demonstrate that the integration of physical and hormonal approaches can substantially improve the speed, uniformity, and quality of asparagus seedling establishment. The proposed protocol constitutes a viable technical strategy for enhancing the efficiency of sexual propagation under controlled environments.

Keywords: *Asparagus officinalis* L., scarification, imbibition, sodium hypochlorite.

4.2. Resumen

En México, la producción de espárrago (*Asparagus officinalis* L.) se concentra en pocas regiones con alto rendimiento, mientras que, en otras como el Estado de México, el bajo acceso a semillas de variedades comerciales por el costo de las mismas limita su productividad. Además, la germinación lenta y poco uniforme de las semillas, dificulta la propagación sexual del cultivo en condiciones comerciales. Para superar esta limitante, se han propuesto tratamientos pregerminativos que rompen la latencia seminal y estimulan el desarrollo inicial. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de tres tratamientos pregerminativos —escarificación química con hipoclorito de sodio, imbibición en agua y aplicación de ácido giberélico (AG₃)— sobre la emergencia y el crecimiento inicial de plántulas provenientes de semillas obtenidas en una plantación establecida a partir de individuos de la variedad UC 157 F1. Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial $2 \times 2 \times 8$, correspondiente a la combinación de escarificación (con o sin), imbibición (con o sin) y ocho concentraciones de AG₃ (0–600 ppm). Se evaluaron el porcentaje de emergencia

acumulada a los 25 días después de la siembra, y la altura de plántula, la longitud de raíz primaria y el número de raíces a los 34 días después de la siembra. Los resultados mostraron efectos altamente significativos de la escarificación e imbibición sobre la emergencia (87.36 % y 75.12 %, respectivamente) y el crecimiento de las plántulas. La concentración de 500 ppm de AG₃ promovió la mayor emergencia y desarrollo vegetativo. Se detectaron interacciones significativas entre los factores, destacando un efecto sinérgico cuando los tres tratamientos se aplicaron en conjunto. Estos hallazgos evidencian que la integración de métodos físicos y hormonales permite mejorar la velocidad, uniformidad y calidad del establecimiento de plántulas de espárrago. El protocolo propuesto representa una alternativa técnica viable para optimizar la propagación sexual del cultivo en condiciones controladas.

Palabras clave: *Asparagus officinalis* L., escarificación, imbibición, hipoclorito de sodio.

4.3. INTRODUCCIÓN

México ocupa el tercer lugar mundial en la producción de espárrago (*Asparagus officinalis* L.), con 347,291 t y un rendimiento de 9.3 t·ha⁻¹ (SIAP, 2024; FAOSTAT, 2024). A nivel nacional, los principales estados productores son Sonora (200,820.3 t; 10.3 t·ha⁻¹), Guanajuato (44,906.9 t; 9.8 t·ha⁻¹) y Baja California Sur (43,983 t; 7.8 t·ha⁻¹) (SIACON, 2023). En contraste, el Estado de México, específicamente en el municipio de Texcoco se reportó una producción de apenas 33.6 toneladas, con un rendimiento de 2.8 t·ha⁻¹, lo que representa un 70 % por debajo del promedio nacional (SIACON, 2023).

Una de las principales limitantes para incrementar la productividad del cultivo en Texcoco es la adquisición de semillas de bajo costo que, además, presenten alta velocidad y uniformidad en la emergencia. Aunque es posible propagar el esparrago de forma vegetativa mediante división del sistema rizomatoso, en los sistemas de producción comercial se prefiere la propagación sexual por semilla (Gupta *et al.*, 2002). No obstante, este proceso puede tardar de cuatro a seis semanas, según la temperatura y disponibilidad de agua en el suelo (Bittencourt *et al.* 2005). Para mejorar la eficiencia de la germinación y emergencia de este cultivo, es fundamental romper la dormancia que es común en semillas de especies pertenecientes a la familia Liliaceae (Dhoran y Gudadhe, 2012; Yamaguchi y Maeda, 2015).

Para romper esta dormancia y mejorar la germinación de las semillas, existen algunas técnicas físicas como diferentes temperaturas y lijado (Condori y Martinez, 2020), químicas como el remojo en alcohol, vinagre, ácido clorhídrico, hipoclorito de sodio, ácido sulfúrico y tratamientos osmóticos (Sánchez *et al.*, 2001; Merino-Valdéz *et al.*, 2018; Díaz *et al.*, 2019; Brondo-Ricárdez *et al.*, 2020), y hormonales como la aplicación de ácido giberélico (AG₃) y ácido abscísico (ABA) (Li y Wolyn, 1996; Dhoran y Gudadhe, 2012). Estos tratamientos dependen de la especie y la dureza de la testa.

En especies del género *Asparagus* L., diversos estudios han documentado técnicas pregerminativas efectivas como la combinación de escarificación y estratificación, que han permitido incrementar la germinación de *A. acutifolius* L. del 7 % hasta un 75.3 % (Katsenios *et al.*, 2019). Además, se ha observado que la aplicación de AG₃ combinada con escarificación, puede potenciar este efecto en *A. racemosus* L., donde se logró más del 70 % de germinación respecto al tratamiento control (Prabha *et al.*, 2018). Otro

método eficaz es la imbibición, ya que, mediante la absorción de agua se reactivan procesos metabólicos latentes, se rehidratan las estructuras celulares y se inicia la actividad enzimática esencial para la germinación (Conversa y Elia, 2009; Bhatla y Lal, 2023; Upreti *et al.*, 2024).

En espárrago comercial (*A. officinalis* L.), se han reportado porcentajes de germinación entre 19 - 82 % en el cultivar UC-157 cuando se aplicaron tratamientos pregerminativos a semillas F₂ (Dávila *et al.*, 2025). En ‘Mary Washington’ se observó emergencia de plántulas a partir de los 9.36 días con el uso de tratamientos de acondicionamiento osmótico (Bittencourt *et al.*, 2005). Estos antecedentes demuestran que, si bien la respuesta varía según el genotipo y el tratamiento, los estímulos pregerminativos representan estrategias agronómicas eficaces para mejorar la cantidad y calidad de plantas obtenidas.

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de tratamientos pregerminativos, específicamente escarificación química con hipoclorito de sodio, imbibición e inducción hormonal con AG₃, sobre la emergencia y el crecimiento inicial de plántulas de espárrago comercial, con el fin de identificar la técnica más eficiente para incrementar la velocidad de emergencia y uniformidad en el crecimiento de plántulas.

4.4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.4.1. Sitio experimental

El experimento se realizó en invierno del 15 diciembre de 2023 al 18 de enero del 2024, en un invernadero ubicado en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad

Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México (19° 29' 29.531" latitud N, 98° 54' 23.898" longitud O; altitud: 2,250 msnm), México.

4.4.2. Material vegetal, condiciones de germinación y diseño experimental

Las semillas utilizadas provinieron de frutos maduros obtenidos en una plantación establecida a partir de individuos de la variedad UC 157 F1, recolectados el 7 de septiembre de 2023 en Veracruz (19°11'12.48 latitud N, 97°11'13.75" longitud O; altitud: 1,750 msnm). Los frutos fueron sometidos a maceración manual, para extraer las semillas, las cuales se lavaron con agua corriente para eliminar los residuos de pericarpio y mucílago. Posteriormente, se dejaron secar a la sombra durante 24 h y se guardaron en un recipiente hermético a temperatura ambiente.

La siembra se realizó el 15 de diciembre de 2023 y se utilizaron contenedores transparentes de poliestireno expandido con tapa (12 x 12 x 5 cm), llenados con 250 mL de sustrato que consistió en una mezcla de turba y perlita (1:1; v/v).

El estudio se implementó bajo un diseño completamente al azar con un arreglo factorial $2 \times 2 \times 8$, correspondiente a los factores: a) escarificación química, b) imbibición y c) diferentes concentraciones de ácido giberélico (AG₃) (Cuadro 5), que integró 32 tratamientos distintos.

Cada unidad experimental consistió en un contenedor de germinación con 20 semillas sembradas sistemáticamente en 5 hileras a 1.5 cm de profundidad. El diseño incluyó tres repeticiones independientes por tratamiento, totalizando 60 semillas evaluadas por cada tratamiento.

Durante el periodo experimental, las condiciones ambientales en el invernadero se mantuvieron relativamente estables. La temperatura promedio fue de 13.94 °C, con valores mínimos y máximos diarios que oscilaron entre 11.01 y 16.11 °C. La humedad relativa promedio fue de 78 %, con un rango de variación entre 61.44 y 93.02 %.

4.4.3. Evaluación de emergencia y variables de crecimiento

La emergencia se evaluó diariamente desde la siembra (día 0) hasta el día 34, se consideró como plántula emergida aquella cuyo cotiledón era visible sobre la superficie del sustrato. Los resultados se expresaron como porcentaje acumulado de emergencia por día (PAE, %). La comparación de tratamientos se realizó con los datos registrados el día 25 después de la siembra, donde en varias unidades experimentales se alcanzó el 80 % de emergencia.

Para evaluar los parámetros de crecimiento, el 18 de enero de 2024, se realizó un muestreo aleatorio seleccionando cinco plántulas por repetición y en cada una se midió la altura del tallo (AT, cm), tomada entre la superficie del sustrato y el ápice del meristemo; y la longitud de la raíz primaria (LRP, cm) desde la base del hipocótilo hasta el extremo radicular. Todas las mediciones se efectuaron con un vernier digital (Keatronic A150, ± 0.01 cm).

4.4.5. Análisis estadístico

En el análisis estadístico se utilizaron los valores promedio por unidad experimental con el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS® (SAS OnDemand for Academics) version 3.1.0 (SAS, 2021). Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). El modelo de análisis de varianza utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + E_i + I_j + G_k + (E \times I)_{ij} + (E \times G)_{ik} + (I \times G)_{jk} + (E \times I \times G)_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde: Y_{ijk} es la variable respuesta, μ es la media general, E_i es el efecto de la formulación escarificación (i = sin escarificación, escarificación con hipoclorito de sodio), I_j es el efecto de la imbibición (j = sin imbibición, con imbibición), G_k es el efecto de la concentración de ácido giberélico ($k=0, 50, 100, 200, 300, 400, 500$ y 600 ppm) y ε_{ijk} es el error experimental.

4.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza mostró efectos significativos de los tratamientos pregerminativos sobre la emergencia de plántulas y las variables de crecimiento evaluadas (Cuadro 6). La variable emergencia presentó efectos significativos de los factores principales y algunas de sus interacciones. la escarificación química presentó un efecto altamente significativo ($p < 0.001$), al igual que la imbibición ($p < 0.001$), lo que indica que ambos tratamientos físicos contribuyeron significativamente al incremento en la emergencia de plántulas. La aplicación de AG₃ también mostró un efecto significativo ($p < 0.05$), aunque con menor magnitud. entre las interacciones, se observaron efectos significativos para escarificación $\times$ imbibición ($p < 0.01$) y para la interacción triple escarificación $\times$ imbibición $\times$ AG₃ ($p < 0.01$), lo que sugiere que la respuesta en emergencia no fue exclusivamente de los factores individuales, sino también de su combinación.

En cuanto a la altura de plántula, tanto la escarificación ($p < 0.001$) como la imbibición ($p < 0.001$) presentaron efectos altamente significativos como factores principales. El AG₃ también influyó significativamente ($p < 0.01$), aunque en menor medida. Se detectaron interacciones significativas entre escarificación $\times$ imbibición ($p < 0.001$),

imbibición $\times$ concentración de AG₃ ($p < 0.01$), y la interacción triple entre todos los factores ($p < 0.01$).

En la longitud de raíz primaria, se observaron efectos principales altamente significativos de la escarificación ($p < 0.001$) y la imbibición ($p < 0.001$), mientras que el AG₃ no fue significativo de forma aislada. No obstante, las interacciones imbibición $\times$ AG₃ ($p < 0.01$) y escarificación $\times$ imbibición $\times$ AG₃ fueron estadísticamente significativas ($p < 0.01$), lo que sugiere que el efecto del AG₃ en el crecimiento radicular se ve potenciado por la hidratación previa de las semillas.

Respecto al número de raíces, la imbibición presentó el efecto más marcado ($p < 0.001$), seguido por un efecto moderado del ácido giberélico ($p < 0.05$). Además, se identificaron interacciones significativas entre escarificación $\times$ AG₃ ($p < 0.01$), imbibición $\times$ AG₃ ($p < 0.001$), y la interacción triple ($p < 0.01$), lo que demuestra que la formación de raíces fue más eficiente cuando se combinaron los tres tratamientos.

Estos resultados demuestran que todos los tratamientos influyeron en el desarrollo de las plántulas, así, es importante combinar métodos físicos (escarificación e imbibición) con la aplicación de AG₃ para optimizar el crecimiento inicial del espárrago.

Estas respuestas concuerdan con investigaciones previas en otras especies de *Asparagus*, donde la combinación de métodos físicos y hormonales ha demostrado mejorar tanto la germinación como el desarrollo inicial (Katsenios *et al.*, 2019; Prabha *et al.*, 2018).

4.5.1. Efecto de la escarificación química

Los tratamientos de escarificación con hipoclorito de sodio incrementaron significativamente la emergencia de plántulas (87.36 %) en comparación con el testigo (37.63 %) (

Cuadro 7). Resultados similares se obtuvieron en semillas de chile amashito, donde se

Variable	Escarificación		
	Con	Sin	DMSH
Emergencia (%)	87.36 ^a	37.63 ^b	3.4222
Altura (cm)	6.99 ^a	5.78 ^b	0.1882
Longitud de raíz primaria (cm)	6.27 ^a	5.92 ^b	0.1542
Número de raíces	2.31 ^a	2.27 ^a	0.2958

logró una germinación del 93 % (Brondo-Ricárdez et al., 2020) Lo anterior indica que la escarificación facilita la entrada de agua y gases al embrión, al reducir la resistencia física de las cubiertas seminales y romper la latencia; para estos fines se han utilizado productos como ácido clorhídrico, sulfúrico y nitrato de potasio, los cuales son altamente corrosivos y pueden llegar a dañar al embrión. El hipoclorito de sodio, si bien es corrosivo también, al utilizarse en una baja concentración (3-6 %), reduce el riesgo de dañar la semilla y su manejo es menos peligroso que con los ácidos fuertes (Prado-Urbina *et al*, 2015).

También se observó un incremento significativo en la altura de la plántula (6.99 vs 5.78 cm) y en la longitud de raíz primaria (6.27 cm vs 5.92 cm), sin embargo, el número de raíces no mostró diferencias significativas lo que indica que la escarificación con hipoclorito de sodio es una técnica efectiva para mejorar la emergencia y el crecimiento

inicial del espárrago, pero no influyó directamente en la formación de raíces secundarias (Yamaguchi y Maeda, 2015).

4.5.2. Efecto de la imbibición

La imbibición previa de las semillas también generó efectos positivos en todas las variables evaluadas (Cuadro 8) Las semillas hidratadas alcanzaron un porcentaje de emergencia 75.12 % a los 25 días después de la siembra, significativamente superior al 50.82 % obtenido en semillas sin imbibición, lo que representa un aumento del 47.8 %. Estos resultados son superiores a lo obtenido en *A. acutifolius* L., donde se obtuvo una germinación del 47 % (Conversa y Elia, 2009), lo que confirma que la hidratación previa de las semillas activa procesos metabólicos esenciales para la germinación (Bhatla y Lal, 2023), además de reducir el tiempo requerido para la emergencia.

En cuanto al crecimiento, las plántulas provenientes de semillas imbibidas mostraron una mayor altura (6.99 cm vs 6.77 cm) y longitud radicular (6.27 cm vs 5.92 cm), siendo ambos estadísticamente significativos. No obstante, el efecto más notable se observó en el número de raíces secundarias, con un aumento del 38.5 % en semillas hidratadas. Este resultado destaca la importancia de la imbibición como un tratamiento pregerminativo práctico y efectivo para mejorar la uniformidad y calidad del establecimiento del cultivo.

4.5.3. Efecto del AG₃

La aplicación de AG₃ mostró efectos variables según la concentración aplicada (Cuadro 5). El mayor porcentaje de emergencia (75.24 %) se obtuvo con 500 ppm, contrario a lo obtenido por Cermeño y colaboradores (2002), quienes determinaron que a 500 ppm se inhibía completamente la germinación y a 100 ppm obtuvieron hasta 95 % de

germinación bajo temperaturas de 20-30 C. En el presente estudio, la temperatura fue de casi 14 C.

4.5.4. Efecto de la interacción de AG₃, imbibición y escarificación

La interacción triple mostró un efecto significativo para modificar las condiciones físico-químicas que rodean al embrión promoviendo la emergencia y el crecimiento inicial de las plántulas de esparrago (Cuadro 9; Figura 2). Así, la combinación de estímulos físicos (remoción de barreras mecánicas y activación metabólica), imbibición, y hormonales (estimulación del crecimiento) tuvieron un efecto sinérgico que maximizó la eficiencia germinativa (Gupta *et al*, 2002).

Los mejores resultados de emergencia, altura y desarrollo radicular se alcanzaron únicamente cuando las semillas fueron escarificadas con hipoclorito de sodio, embebidas y tratadas con 500 ppm de AG₃ (Figura 2). En particular, se observó un aumento superior al 80 % el porcentaje de emergencia y una mayor altura de plántulas en comparación con tratamientos incompletos. La remoción de barreras físicas mediante la escarificación y la activación metabólica con la imbibición fueron necesarios para que el AG₃ actuara eficazmente en el proceso de la germinación (Yamaguchi y Maeda, 2015; Bhatla y Lal, 2023).

Las curvas de emergencia acumulada muestran que la emergencia comenzó entre el día 20 y 21 después de la siembra, y alcanzó su valor máximo más rápidamente, mientras que los tratamientos sin acondicionamiento pregerminativo mostraron un patrón tardío y disperso (Figura 3). La sincronización de la emergencia es clave para lograr un establecimiento uniforme del cultivo.

Los datos también evidencian que el desarrollo radicular (número de raíces secundarias y longitud de raíz) fue más robusto en tratamientos que integraron los tres factores estudiados, lo cual tiene implicaciones directas en la calidad del trasplante y el vigor posterior de la planta en campo. Como han señalado estudios previos en otras especies de esparrago (Prabha *et al.*, 2018; Katsenios *et al.*, 2019), el uso combinado de estímulos físicos y hormonales mejora no solo la germinación, sino también el potencial fisiológico de la plántula.

En conjunto, estos resultados respaldan la implementación de un enfoque integrado en la pregerminación del esparrago, en el que los tratamientos físicos y hormonales se combinan de forma sinérgica para optimizar la germinación y el crecimiento inicial de las plántulas. Este protocolo podría representar una solución técnica efectiva para regiones con bajos rendimientos o pequeños productores con recursos limitados para adquirir semillas de alto valor comercial, como ocurre en ciertas zonas del Estado de México.

4.6. CONCLUSIONES

La combinación de escarificación con hipoclorito de sodio, imbibición en agua durante 24 horas, y aplicación de ácido AG₃ fue una estrategia efectiva para mejorar la emergencia y el crecimiento inicial de plántulas de *Asparagus officinalis* L. El uso conjunto de estos tratamientos permitió alcanzar tasas de emergencia superiores al 85 % a los 25 días después de la siembra, lo que contribuye a reducir el tiempo necesario para la multiplicación sexual del cultivo y a mejorar la calidad morfológica de las plántulas. Además, el uso de hipoclorito de sodio como agente escarificador representa una alternativa viable y menos agresiva frente a la alta corrosividad del ácido sulfúrico.

4.7. AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) y a la Universidad Autónoma Chapingo por el apoyo otorgado para llevar a cabo la presente investigación.

4.8. CONFLICTO DE INTERESES

El manuscrito fue elaborado y revisado con la participación de los autores, quienes declaran no tener ningún conflicto de intereses que declarar, que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

4.9. REFERENCIAS

- Bhatla, S. C., y Lal, M. A. 2023. Seed dormancy and germination. In Plant Physiology, Development and Metabolism (pp. 625–640). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-5736-1_28
- Bittencourt, M. L. de C., Dias, D. C. F. dos S., Dias, L. A. dos S., y Araújo, E. F. 2005. Germination and vigour of primed asparagus seeds. *Scientia Agricola*, 62(4): 319–324. <https://doi.org/10.1590/s0103-90162005000400003>
- Brondo-Ricárdez, R., Domínguez-Angulo, S., Pérez-Hernández, I., y D'Artola-Barceló, A. L. 2020. Tratamientos pregerminativos a semillas y desarrollo inicial de plántulas de chime amashito (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*). *Agroproductividad*. 13(2): 53-59. <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1589>
- Cermeño, P., del Olmo, L. A., Belda, J., y Corell, M. 2002. Pregermination and germination in *Asparagus*. *Acta Horticulturae*, 589: 341–345. doi:10.17660/actahortic.2002.589
- Condori Tarqui, Ariel, y Martinez Flores, Zenon. 2020. Tratamientos físicos y químicos en la germinación de semillas de especies nativas del Altiplano. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 7(2): 46-57.

- Conversa, G y Elia, A. 2009. Effect of seed age, stratification, and soaking on germination of wild asparagus (*Asparagus acutifolius* L.) Scientia Horticulturae. 119: 241-245. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.08.013>
- Dávila, R. E., Chávez, C. A., Emperatriz, C., Vargas, A., y Camilo, F. 2025. Uso de bacterias ácido lácticas en el tratamiento de pre-germinación para comprobar la dormición de semillas de espárrago. Agroindustrial Science, 15(1): 73–80. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2025.01.08>
- Dhoran, V.S y Gudhadhe S. 2012. Effect of plant regulators on seed germination and seedling. International Research Journal of Biological Sciences. 1(7):6-10.
- Díaz-Vázquez, D. P., Félix-Herrán, J. A., Sañudo-Ayala, E., y Ruelas-Ayala, R. D. 2019. Respuesta de las semillas de palo colorado (*Caesalpinia platyloba* S. Watson) a diferentes tratamientos pregerminativos. Tecnociencia Chihuahua. 13(3). <https://doi.org/10.54167/tch.v13i3.480>
- FAOSTAT. 2024. Cultivos y productos de ganadería. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Gupta, S., Kumar, A., y Sharma, S. N. 2002. Improvement of seed germination in *Asparagus racemosus* Willd. Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants, 9(1):3–9. https://doi.org/10.1300/j044v09n01_02
- Katsenios, N., Roussis, I. E., Efthimiadou, A., Kakabouki, I., y Bilalis, D. 2019. Seed treatment techniques to improve germination of wild Asparagus (*Asparagus acutifolius* L.), a potential new crop. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 47(3): 995–1000. <https://doi.org/10.15835/nbha47311554>
- Li, B., y Wolyn, D.J. 1996. Absciscic acid and ancymidol promote conversion of somatic embryos to plantlets and secondary embryogenesis in *Asparagus officinalis* L. In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant 32: 223–226. <https://doi.org/10.1007/BF02822691>
- Merino-Valdés, M., Andrés-Meza, P., Leyva-Ovalle, O. R., López-Sánchez, H., Murguía-González J., Núñez-Pastrana, R., Cebada-Merino, M., Serna-Lagunes, R.,

- Espinosa-Calderón, A., Tadeo-Robledo, M., Sierra-Macías, M., y Rosario-Arellano, J.L. 2018. Influencia de tratamientos pregerminativos en semillas de chile manzano (*Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.). *Acta Agronómica*. 67(4): 531-537.
- Prabha, D., Bhutia, N. T., Chauhan, J. S., y Negi, Y. K. 2018. Effect of stratification and different soaking treatments on dormancy release and germination of *Asparagus racemosus* seeds. *Vegetos- an International Journal of Plant Research*, 31(1): 162. <https://doi.org/10.5958/2229-4473.2018.00022.8>
- Prado-Urbina, G., Lagunes-Espinoza, L., García-López, E., Bautista-Muñoz, C., Camacho-Chiu, W., Mirafuentes, G., y Aguilar-Rincón, V. H. 2015. Germinación de semillas de chiles silvestres en respuesta a tratamientos pregerminativos. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*. 2(5): 139-149.
- Sánchez, J. A., Orta, R., y Muñoz, B. C. 2001. Tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación de las semillas y sus efectos en plantas de interés agrícola. *Agronomía Costarricense*, 25(1): 67-91.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2024. Panorama Agroalimentario 2018 - 2024. La ruta de la Transformación Agroalimentaria. Servicio de Información Agroalimentaria Y Pesquera. https://drive.google.com/file/d/1NXcDhaB63Z94wjRUVF6f_FK0Urv6cgvJ/view
- Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. 2023. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SIACON. <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- Upreti P, Bandara, M. S., y Tanino, K. K. 2024. The role of seed characteristics on water uptake preceding germination. *Seeds*, 3(4): 559–574. <https://doi.org/10.3390/seeds3040038>
- Yamaguchi, T., y Maeda, T. 2015. Effect of high-temperature treatments on the breaking of dormancy in one-year-old *Asparagus* (*Asparagus officinalis* L.). *Environment Control in Biology*, 53(1): 23–26. <https://doi.org/10.2525/ecb.53.23>

4.10. TABLAS Y FIGURAS

Table 5. Description of the pre-germination treatments applied to *Asparagus officinalis* L. seeds

Cuadro 5. Descripción de los tratamientos pregerminativos aplicados a semillas de *Asparagus officinalis* L.

Factor	Niveles	Descripción del tratamiento
Escarificación química	Sin escarificación	Semillas sin tratamiento previo
	Con escarificación	Inmersión en 20 mL de hipoclorito de sodio (NaClO al 5-6%), por 2.5 h, seguido de enjuague.
Imbibición	Sin imbibición	Semillas secas
	Con imbibición	Inmersión en agua por 24 horas
Ácido giberélico (AG ₃)	0, 50, 100, 200, 300, 400, 500 y 600 ppm	Remojo en solución durante 2.5 horas antes de la siembra

Table 6. Analysis of variance (ANOVA) for seedling height, primary root length, and number of roots in response to pre-germination treatments of scarification, imbibition, and gibberellic acid (GA₃).

Cuadro 6. Análisis de varianza (ANOVA) para altura de plántula, longitud de raíz primaria y número de raíces en respuesta a tratamientos pregerminativos de escarificación, imbibición y ácido giberélico (AG3).

Fuente de variación	gl	Cuadrados medios			
		Emergencia	Altura	Longitud de raíz primaria	Número de raíces
Escarificación (E)	1	4.028 ***	173.882 ***	14.840 ***	0.252 ns
Imbibición (I)	1	0.881 ***	179.953 ***	14.491 ***	66.752 ***
AG ₃ (G)	7	0.047 *	4.750 **	1.108 ns	7.219 *
E x I	1	0.150 **	24.526 ***	0.102 ns	0.469 ns
E x G	7	0.024 ns	1.960 ns	0.785 ns	8.600 **
I x G	7	0.030 ns	3.753 **	2.403 **	17.081 ***
E x I x G	7	0.064 **	3.633 **	2.237 **	7.550 **
Error	448	0.020	1.100	0.738	2.719

*= Significativo, **= medianamente significativo, ***= altamente significativo, ns= no significativo

*= Significant, **= moderately significant, ***= highly significant, ns= not significant

Table 7. Effect of scarification with sodium hypochlorite on emergence and early growth variables of asparagus seedlings (*A. officinalis* L.).

Cuadro 7. Efecto de la escarificación con hipoclorito de sodio en variables de emergencia y crecimiento inicial de plántulas de espárrago (*A. officinalis* L.)

Variable	Escarificación		
	Con	Sin	DMSH
Emergencia (%)	87.36 ^a	37.63 ^b	3.4222
Altura (cm)	6.99 ^a	5.78 ^b	0.1882
Longitud de raíz primaria (cm)	6.27 ^a	5.92 ^b	0.1542
Número de raíces	2.31 ^a	2.27 ^a	0.2958

Letras distintas entre filas indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$). DMSH = Diferencia Mínima Significativa Honesta.

Different letters within rows indicate significant differences (Tukey, $p \leq 0.05$). HSD = Honest Significant Difference.

Table 8. Effect of imbibition on emergence and early growth variables of asparagus seedlings (*A. officinalis* L.).

Cuadro 8. Efecto de la imbibición en variables de emergencia y crecimiento inicial de plántulas de espárrago (*A. officinalis* L.).

Variable	Imbibición		
	Con	Sin	DMSH
Emergencia (%)	75.12 ^a	50.82 ^b	3.4222
Altura (cm)	6.99 ^a	6.77 ^b	0.1882
Longitud de raíz primaria (cm)	6.27 ^a	5.92 ^b	0.1542
Número de raíces	2.66 ^a	1.92 ^b	0.2958

Letras distintas entre filas indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$). DMSH = Diferencia Mínima Significativa Honesta.

Different letters within rows indicate significant differences (Tukey, $p \leq 0.05$). HSD = Honest Significant Difference.

Table 9. Effect of gibberellic acid (GA₃) on emergence and early growth of asparagus seedlings (*A. officinalis* L.).

Cuadro 9. Efecto del ácido giberélico (AG₃) en la emergencia y crecimiento inicial de plántulas de espárrago (*A. officinalis* L.).

Ácido giberélico (ppm)	Variable			
	Emergencia (%)	Altura (cm)	Longitud de raíz (cm)	Número de raíces
0	62.99 ^{ab}	6.12 ^{bc}	5.93 ^a	2.57 ^{ab}
50	67.16 ^{ab}	6.20 ^{bc}	6.11 ^a	2.39 ^{ab}
100	64.68 ^{ab}	6.37 ^{abc}	5.91 ^a	1.77 ^b
200	61.57 ^{ab}	6.43 ^{abc}	6.25 ^a	2.25 ^{ab}
300	47.05 ^b	5.99 ^c	6.09 ^a	1.97 ^b
400	59.50 ^{ab}	6.51 ^{abc}	6.12 ^a	2.25 ^{ab}
500	75.24 ^a	6.88 ^a	6.29 ^a	2.90 ^a
600	66.20 ^{ab}	6.58 ^{ab}	6.06 ^a	2.23 ^{ab}
DMSH	3.33	0.58	0.48	0.92

Letras distintas entre columnas indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$). DMSH = Diferencia Mínima Significativa Honesta.

Different letters within columns indicate significant differences (Tukey, $p \leq 0.05$). HSD = Honest Significant Difference.

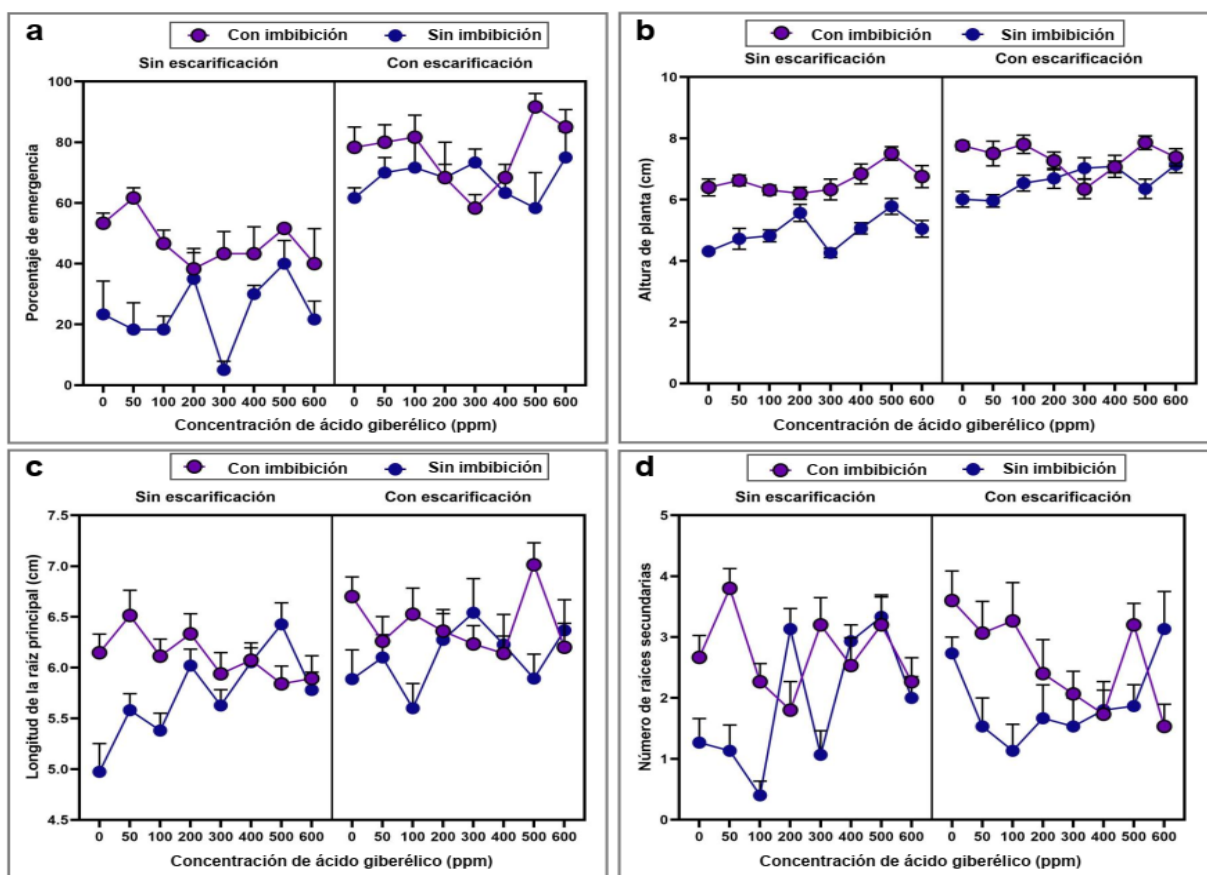


Figura 2. Interacción entre escarificación, imbibición y concentración de ácido giberélico en la emergencia y crecimiento inicial de plántulas de espárrago. Las barras indican el error estándar ($n = 3$). a) Emergencia promedio a los 25 días después de la siembra. b) Altura de plántula. c) Longitud de la raíz principal. d) Número promedio de raíces secundarias. b, c, d: Se evaluaron a los 34 días después de la siembra.

Figure 2. Interaction between scarification, imbibition, and gibberellic acid concentration on the emergence and early growth of asparagus seedlings. Bars indicate standard error ($n = 3$). a) Average emergence at 25 days after sowing. b) Seedling height. c) Primary root length. d) Average number of secondary roots. b, c, d: Evaluated at 34 days after sowing.

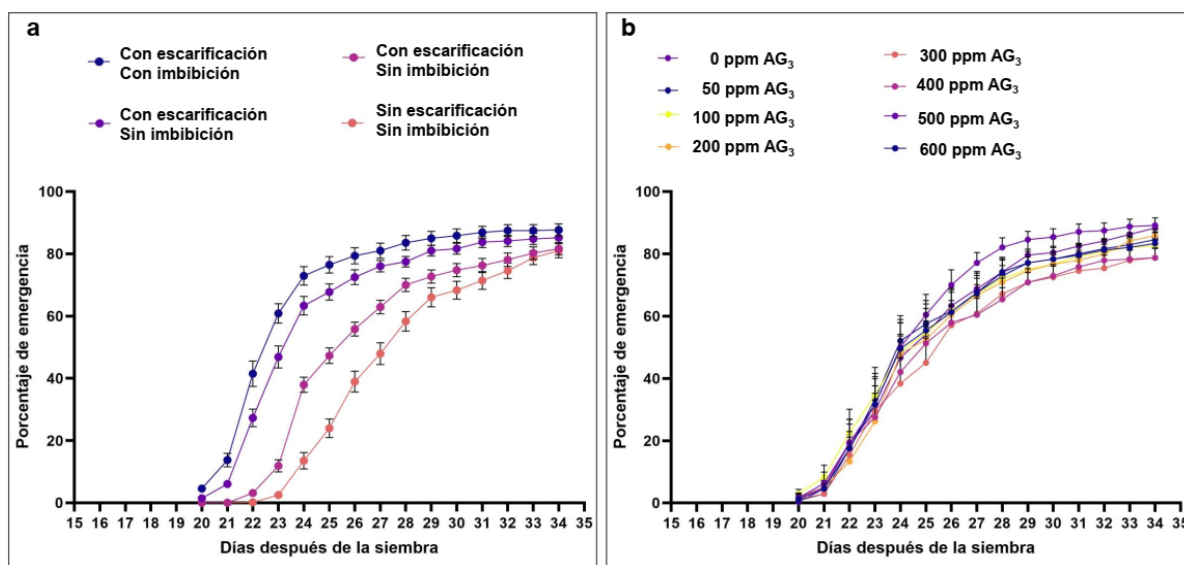


Figura 3. Porcentaje de emergencia acumulada de plántulas de *A. officinalis* L. durante 34 días después de la siembra. a) efecto de la escarificación x imbibición. b) Efecto de la aplicación de ácido giberélico. Las barras indican el error estándar ($n = 3$).

Figure 3. Cumulative emergence percentage of *A. officinalis* L. seedlings during 34 days after sowing. a) Effect of scarification $\times$ imbibition. b) Effect of gibberellic acid application. Bars indicate standard error ($n = 3$).

5. IMPACTO DEL MÉTODO DE CULTIVO EN LOS PERFILES NUTRICIONALES Y FUNCIONALES DEL ESPÁRRAGO VERDE

5. IMPACTO DEL MÉTODO DE CULTIVO EN LOS PERFILES NUTRICIONALES Y FUNCIONALES DEL ESPÁRRAGO VERDE

IMPACT OF CULTIVATION METHODS ON THE NUTRITIONAL AND FUNCTIONAL PROFILES OF GREEN ASPARAGUS

5.1. Resumen

El cultivo de espárrago ha adquirido una importancia económica a nivel mundial gracias a sus propiedades nutrimentales y al contenido de compuestos bioactivos. La necesidad de sustituir las prácticas agrícolas convencionales por sistemas más sostenibles ha promovido la búsqueda de alternativas como los abonos orgánicos. Por lo anterior, esta investigación tuvo como objetivo comparar el impacto de seis métodos de cultivo sobre las características fisicoquímicas, nutricionales y nutraceuticas de turiones de espárrago verde proveniente de dos regiones con condiciones edafoclimáticas diferentes: Atenco (Estado de México) y Huatusco (Veracruz). Los tratamientos evaluados fueron: T1 (cultivo convencional, Atenco), T2 (cultivo semiorgánico, Atenco), T3 (cultivo semiorgánico + bocashi, Atenco), T4 (cultivo de traspatio, Huatusco), T5 (cultivo de traspatio + bocashi, Huatusco) y T6 (cultivo comercial, no especificado). Los datos se analizaron bajo un diseño completamente al azar. En cuanto a la caracterización de los turiones, el T5 fue estadísticamente superior en altura (28.01 cm), mientras que el T3 presentó los mayores valores en peso, diámetro apical y basal (20.11 g, 7.69 mm y 13.17 mm, respectivamente). En el análisis proximal, no se observaron diferencias estadísticas significativas en materia seca y humedad. El tratamiento T4 fue superior en contenido de cenizas (11.96 %), T1 presentó el mayor contenido de proteínas (43.08 %), y T1 y T2 fueron estadísticamente superiores en extracto etéreo (1.61 % y 1.48 %, respectivamente), T5 fue el tratamiento con mayor concentración de fibra (33.75 %). T2 mostró los mejores resultados para la capacidad antioxidante en flavonoides (3.57 mg EQ·gbs⁻¹), FRAP (27.14 µM ET·gbs⁻¹), DPPH (16.91 µM ET·gbs⁻¹) y un valor bajo de IC₅₀ (1.31 mg·mL⁻¹), lo que indica una alta eficiencia antioxidante, T1 presentó los valores más altos en clorofilas: clorofila a (36.77 mg 100 g⁻¹bs), clorofila b (19.24 mg 100 g⁻¹bs) y clorofila total (55.59 mg 100 g⁻¹bs). Estos resultados demuestran que el método de cultivo influye significativamente en la composición química y funcional de los turiones de espárrago

Palabras clave: *Asparagus officinalis* L., bocashi, compuestos bioactivos, capacidad antioxidante, clorofilas.

5.2. Abstract

Asparagus cultivation has gained significant economic importance worldwide due to its nutritional value and the presence of bioactive compounds. The growing need to replace conventional agricultural practices with more sustainable systems has promoted the exploration of alternatives such as organic fertilizers. Therefore, the objective of this study was to compare the impact of six cultivation methods on the physicochemical, nutritional, and nutraceutical characteristics of green asparagus spears from two regions with contrasting edaphoclimatic conditions: Atenco (State of Mexico) and Huatusco (Veracruz). The evaluated treatments were: T1 (conventional cultivation, Atenco), T2 (semi-organic cultivation, Atenco), T3 (semi-organic cultivation + bocashi, Atenco), T4 (backyard cultivation, Huatusco), T5 (backyard cultivation + bocashi, Huatusco), and T6 (commercial cultivation, unspecified origin). Data were analyzed using a completely randomized design. Regarding spear characterization, T5 showed the highest height (28.01 cm), while T3 exhibited the greatest values in weight, apical diameter, and basal diameter (20.11 g, 7.69 mm, and 13.17 mm, respectively). No significant differences were observed in dry matter and moisture content. T4 had the highest ash content (11.96%), T1 showed the highest protein content (43.08%), and both T1 and T2 were statistically superior in ether extract (1.61% and 1.48%, respectively). T5 had the highest fiber concentration (33.75%). T2 demonstrated the best antioxidant capacity in terms of flavonoids (3.57 mg QE·g⁻¹ dw), FRAP (27.14 μM TE·g⁻¹ dw), DPPH (16.91 μM TE·g⁻¹ dw), and a low IC₅₀ value (1.31 mg·mL⁻¹), indicating high antioxidant efficiency. T1 showed the highest values for chlorophylls: chlorophyll a (36.77 mg·100 g⁻¹ dw), chlorophyll b (19.24 mg·100 g⁻¹ dw), and total chlorophyll (55.59 mg·100 g⁻¹ dw). These results demonstrate that the cultivation method significantly influences the chemical and functional composition of asparagus spears.

Keywords: *Asparagus officinalis* L., bocashi, bioactive compounds, antioxidant capacity, chlorophylls.

5.3. Introducción

El espárrago pertenece a la familia Liliaceae; es un cultivo monocotiledóneo y perenne cuya producción ha incrementado en los últimos años, debido al valor de su parte comestible: los turiones (Fuentes & Moreno, 2015). Esta hortaliza es considerada gourmet por su sabor, bajo contenido calórico, alto aporte de fibra y la presencia de compuestos nutraceuticos, como compuestos fenólicos, vitaminas y flavonoides, entre otros, que le confieren una destacada capacidad antioxidante. (Redondo-Cuenca et al., 2023).

Los nutraceuticos se definen como fitoquímicos presentes de forma natural en los alimentos, y se ha determinado que ofrecen beneficios para la salud. En la herbolaria tradicional China, se han utilizado extractos de espárrago como tónico, laxante, diurético, entre otros (Kamat et al., 2000; Wildman, 2001). Además, se le atribuyen propiedades antioxidantes, antiepilépticas, antitumorales y efectos reductores sobre los niveles de colesterol en el organismo (Guo et al., 2020).

Existen diversos factores que pueden afectar el contenido de fitoquímicos en el espárrago, como la variedad, la parte del turión (punta, medio o base), el método de extracción y el manejo poscosecha (Chitrakar et al., 2019). Otros aspectos relevantes son la edad del cultivo, las condiciones edafoclimáticas y las prácticas agrícolas, como la nutrición. La planta de espárrago tiene ciertas demandas de nutrimentos sin las cuales no se desarrolla de forma favorable; en el caso del nitrógeno, es absorbido en grandes cantidades, sobre todo en los primeros años de la planta, la falta de este nutrimento reduce el crecimiento y disminuye el contenido de clorofila; el fósforo, estimula el crecimiento radicular y regular el vigor de la planta; el potasio es necesario para el proceso de absorción y translocación hacia las zonas de reserva, así como para el transporte de carbohidratos; asimismo, requiere micronutrimentos en pequeñas cantidades pero son de suma importancia, tales como el calcio que ayuda al crecimiento del sistema radicular y el boro que es necesario para las paredes celulares (Ramírez, 2009). Dicho lo anterior, es evidente la importancia de la fertilización, para asegurar la calidad en el cultivo.

En la búsqueda por mejorar la calidad y el rendimiento de los cultivos, los productores han recurrido al uso irracional de fertilizantes químicos, lo que ha deteriorado las condiciones ambientales del planeta. Como parte de los esfuerzos por revertir este daño, se ha optado por retomar prácticas agrícolas sostenibles, mediante alternativas de nutrición orgánica. Tal es el caso del bocashi, un abono orgánico utilizado por los japoneses desde hace años. Su composición varía según los materiales disponibles en cada región; un ejemplo incluye carbón vegetal, estiércol, paja, melaza, levadura, cal y agua. Estos

elementos se someten a un proceso aeróbico de descomposición y, posteriormente, se incorporan al suelo con el fin de aumentar la cantidad de microorganismos, mejorar sus características físicas y aportar nutrimentos a las plantas, lo que se refleja en una mayor calidad nutricional y nutracéutica. (Boudet et al., 2015).

El objetivo de la presente investigación es comparar diferentes métodos de cultivo de *Asparagus officinalis*, para determinar cómo influyen el tipo de fertilización y las condiciones edafoclimáticas del sitio de producción en la calidad nutricia y el potencial nutracéutico de los turiones.

5.4. Materiales y métodos

5.4.1. Localización del experimento y material vegetal

Las muestras vegetales se colectaron en la comunidad del Amanal, municipio de Atenco, Estado de México (19°33'30" latitud N, 98°54'45" longitud O y 2244 msnm de altitud) en dos parcelas diferentes; la parcela Atenco 1, en la cual la fertilización se hizo mediante el método convencional o químico aplicada al drench, en este caso las muestras fueron colectadas el 18 de septiembre del 2023. En la segunda (parcela Mqz.) se hizo una fertilización semiorgánica y las muestras fueron colectadas el 17 de noviembre del 2022. Estas fertilizaciones se realizarán con productos no especificados por los dueños de las parcelas.

Las variedades de espárrago utilizadas en Atenco fueron UC 157 y UC 115 F1 y en Huatusco fueron individuos que provinieron de una plantación establecida a partir de individuos de semilla de la variedad UC 157 F1.

Una tercera muestra se colectó en la comunidad de Elotepec, en el municipio de Huatusco, Veracruz (19°11'12.48 latitud N, 97°11'13.75" longitud O y una altitud de 1750 msnm), el 7 de septiembre de 2023, en este caso, el cultivo de espárrago es de traspatio y no se le aplica ningún fertilizante y el riego es de temporal.

Posteriormente a la parcela Mqz y Huatusco, se les aplicó abono orgánico bocashi, a razón de 1 kg m² en noviembre del 2023, de las cuales se tomaron

muestras en abril y mayo del 2024, respectivamente. También se utilizó una muestra de espárrago comercial. Se consideraron seis tratamientos (Cuadro 10).

Cuadro 10. Descripción de los tratamientos aplicados.

Tratamiento	Descripción	Método de cultivo	Fecha de cosecha/ compra
*T1	Atenco 1	Cultivo convencional	14/09/23
*T2	Parcela Mqz	Cultivo semiorgánico	18/09/23
*T3	Parcela Mqz con bocashi	Cultivo semiorgánico+ bocashi	19/04/24
*T4	Huatusco	Cultivo de traspatio	27/09/23
*T5	Huatusco con bocashi	Cultivo de traspatio+ bocashi	06/05/24
T6	Comercial	No especificado	10/23

*Las muestras vegetales se tomaron al azar mediante una aleatorización en campo y posteriormente se hizo una muestra compuesta de aproximadamente 200 g por tratamiento.

5.4.2. Caracterización y Conservación de la muestra

Cada muestra consistió en 18 turiones por tratamiento y se determinaron los siguientes parámetros: peso (g), balanza electrónica (Metaltex, precisión de 1 g); altura (cm, diámetro superior y diámetro de la base (mm) vernier digital (Mitutoyo modelo CD-6" CSX, Kanagawa, Japón).

Las muestras para análisis proximal y mineral se secaron en estufa de convección durante 48 hrs a una temperatura de 40 °C. Las muestras para extractos fueron sumergidas en nitrógeno líquido (15 min) y posteriormente liofilizadas (liofilizador Labcono), trituradas (NutriBullet 600w) y guardadas en bolsas ziploc para su conservación.

5.4.3. Análisis proximal

El análisis proximal se determinó con el método descrito por la AOAC (1998), cenizas totales, proteína cruda (Kjeldhal, AOAC 2001.11, N x 6.25), fibra cruda (método de Weende), extracto etéreo (método de Goldfish).

5.4.4. Análisis mineral

El análisis de N se llevó a cabo por el método Dumas, para P, K, Ca, Mg, S, Na, Fe, Zn, Mn, Cu, B, Ni y Mo, se utilizó la digestión ácida multielemental en microondas de acuerdo al método AOAC 2006.3.

5.4.5. Obtención de extractos

Los extractos se obtuvieron mediante la metodología propuesta por Hernández-Rodríguez et al. (2016), con modificaciones. Se colocó 0.1 g de muestra liofilizada en 10 mL de metanol al 80 %, se agitó en vortex (Symphony™) por un minuto, posteriormente se ajustó el pH a 3 con HCl 1N, se agitó en vortex nuevamente por 3 minutos, después se sonicó (Ultrasonic Cleaner 8890, Cole-Palmer) durante 15 minutos, y se agitó en incubadora (Orbital incubators Prendo INO-640 M) durante 30 minutos, finalmente se centrifugó (4000 rpm, 4 °C, 15 min) y el sobrenadante se recuperó y se aforó a 10 mL con metanol al 80 %.

5.4.6. Fenoles totales (FT) y flavonoides

El contenido de fenoles totales se determinó por el método de Folin-Ciocalteu (Singleton & Rossi, 1965) adaptado a microplacas, las lecturas se realizaron en un lector de microplacas equipado con bombas de inyección automática y el software de análisis de datos Gen5™data®. La curva de calibración se preparó con ácido gálico (AG) en concentraciones de 0.001 a 0.01 mg mL⁻¹. Los resultados se expresaron en mg EAG gbs⁻¹

Los flavonoides fueron determinados por el método descrito por Kubola & Siriamonrpun (2011), con modificaciones. Se realizó una curva patrón de quercetina (Q) (marca Sigma-Aldrich) con concentraciones de 0.0005 a 0.01 mg. mL⁻¹. Los resultados se reportaron como mg EQ.gbs⁻¹.

5.4.7. Capacidad Antioxidante

Para medir la capacidad antioxidante fue evaluada por los ensayos ABTS (Re et al., 1999), FRAP (Ferric Reducing Ability of Plasma) (Benzie & Strain, 1996) y DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) (Cheng et al., 2006) adaptados a microplacas. Las curvas de calibración para estas metodologías se prepararon con Trolox (reactivo marca Sigma) en rangos de concentración de 5 a 60 µM, 3.8 a 46 µM y

2 a 32 μM respectivamente. Los resultados se expresaron como $\mu\text{mol ET gbs}^{-1}$. La concentración inhibitoria (CI_{50}) se calculó graficando el porcentaje de degradación del DPPH contra la concentración de cada extracto.

5.4.8. Clorofilas a, b y totales

La concentración de clorofilas fue determinada por el método descrito por Lichtenthaler (1987), la muestra liofilizada se mezcló con metanol al 90 % en una relación 0.1:10 (p/v). Los datos se expresaron en $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}\text{bs}$.

5.4.9. Análisis estadístico

Se consideraron seis tratamientos en un diseño completamente al azar, los datos fueron analizados con el paquete estadístico SAS® (SAS OnDemand for Academics) version 3.1.0 (SAS, 2021), con una prueba de Tukey con nivel de significancia del 5 % ($p \leq 0.05$). Los ensayos de compuestos bioactivos y proximales se realizaron por triplicado, excepto el extracto etéreo que fue por duplicado.

5.5. Resultados y discusión

5.5.1. Caracterización de los turiones

Respecto a la altura, el T5 y T2 fueron estadísticamente superiores con 28.01 y 26.78 cm respectivamente, para el caso del peso el T3 fue estadísticamente superior con respecto al T6 con 20.11 y 11.67 g respectivamente; el T3 fue estadísticamente superior en cuanto al diámetro de la punta, respecto a T1 y T2, con 7.69 y 5.79, 5.85 y 7.69 mm respectivamente y finalmente en el diámetro de la base T3 fue estadísticamente superior con 13.17 mm (Cuadro 11).

Según la norma del Codex internacional para espárrago (CODEX STAN 225-2001), la longitud debe ser de 12 a 27 cm y tener una uniformidad de no más de 5 cm En el T5 la longitud excede estos valores y no se tiene la uniformidad requerida, los otros tratamientos entran en los tamaños indicados. Para el caso del calibre por diámetro, este debe ser mayor a 3 mm, lo que se cumple en todos los tratamientos.

Cuadro 11. Valores promedio de la Altura (A), peso (P), diámetro punta (DP) y diámetro base (DB) de 18 turiones de espárrago verde bajo diferentes métodos de cultivo.

Tratamiento	Altura (cm)	Peso (g)	Diámetro punta (mm)	Diámetro base (mm)
T1	22.33 c ^z	13.43 ab	5.79 c	10.01 b
T2	26.78 ab	15.02 ab	5.85 c	9.97 b
T3	24.04 bc	20.11 a	7.69 a	13.17 a
T4	23.06 c	14.83 ab	7.23 ab	10.28 b
T5	28.01 a	15.83 ab	6.03 bc	9.68 b
T6	23.11 c	11.67 b	6.2 bc	9.89 b

^zLas medias seguidas de la misma letra en la misma columna no difieren significativamente (P=.05, Tukey's HSD). T1: Atenco 1, T2: Parcela Mqz, T3: parcela Mqz c/bocashi, T4: Huatusco, T5: Huatusco c/bocashi, T6: Comercial. Resultados reportados en base seca. Los resultados obtenidos son el promedio de tres repeticiones.

Dentro de las normas la homogeneidad entre los turiones es un parámetro para definir la calidad de estos, visualmente (Figura 4), el T2 y el T4 son los menos homogéneos, mientras que en T3 y el T6 la homogeneidad es más visible, se puede decir que la aplicación del abono orgánico tipo bocashi mejoró la apariencia de los turiones (T3), en comparación con aquellos cosechados previo a su aplicación (T2). Las empresas comercializadoras de espárrago cuidan la apariencia y calidad del producto para poder posicionarse en el mercado (T6). Para el caso de los turiones cosechados en los traspatios de Huatusco hay una mayor homogeneidad antes de aplicar bocashi (T4 vs T5). Esto se puede deber a cambio estacional en la cosecha (Motoki, 2012).



Figura 4. Turiones de espárrago por tratamiento.

T1: Atenco 1, T2: Parcela Mqz, T3: parcela Mqz c/bocashi, T4: Huatusco, T5: Huatusco c/bocashi, T6: Comercial.

5.5.2. Análisis proximal

El contenido de humedad, así como la materia seca no presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos (Cuadro 12), los valores obtenidos en este estudio son similares a los reportados por Guan et al. (2015) (88.77-98.58 %) considerando que estos autores separaron la parte media las puntas, encontraron mayor humedad en las partes medias. En datos reportados por Chatfield (1953) se menciona un contenido de humedad del 92.9 %, el T4 es el valor que más se aproxima (91.48 %). Los valores de humedad altos son característicos de esta hortaliza.

En el caso del contenido de cenizas, el T4 tuvo una fue estadísticamente superior (11.96 %) con respecto al T2 (10.29 %), T3 (10.49 %) y T6 (9.73 %) (Cuadro 12). Esto indica el contenido de minerales total que tiene el producto, cabe mencionar que en el T4 no hay un manejo agronómico específico, es decir no hay una fertilización, lo que indica que el suelo es rico en nutrimentos. Estos valores son

superiores a lo reportado por Redondo-Cuenca et al. (2023), quienes obtuvieron un valor de 8.90 % y menores a lo reportado por Chatfield (1953) con 37 %.

El contenido proteico es el parámetro más indicativo del valor nutricional de un producto ya que cumplen funciones de crecimiento, reparación celular, síntesis de enzimas e indican su contenido de aminoácidos, asimismo, los alimentos bajos en calorías y ricos en nutrientes son apreciados comercialmente (Guo et al., 2020). En este parámetro, el T1 tuvo una superioridad estadística (43.08 %) con respecto a los otros tratamientos, Guan et al. (2015) reportaron valores de 31.3 y 35.8 % en la parte media y punta, respectivamente, mientras que Redondo-Cuenca et al. (2023) reportan 46.23 % para la variedad *Herkolim*, mientras que los otros estudios son a la variedad UC-157; esto indica que la variedad, y el método de cultivo puede influir en este contenido, así como el contenido de compuestos nitrogenados en el suelo. En general, estos resultados indican un buen contenido de proteína, excepto en el T5, donde se presenta una disminución después de aplicar el bocashi al suelo (Cuadro 12).

El extracto etéreo es un indicador de la presencia de lípidos en alimentos, en hortalizas específicamente, este valor suele ser bajo, y para este estudio, los espárragos de Huatusco sin bocashi y de Atenco con bocashi (1.14 y 1.13 % respectivamente) fueron inferiores estadísticamente (Cuadro 12), sin embargo, todos los tratamientos mostraron valores inferiores a lo reportado en otras investigaciones (2.2 y 4.67 %), además tienen un contenido menor que algunas especies de hortalizas de importancia en México como huauzontles (2.8 %), romeritos (2.8 %) y verdolagas (4.1 %) (Guan et al., 2015; Román-Cortés et al., 2018; Redondo-Cuenca et al., 2023).

En cuanto al contenido de fibra, se observaron diferencias significativas entre tratamientos, destacando el tratamiento 5 con el valor más alto (33.75 %), mientras que los otros tratamientos presentaron valores entre 16.79 % y 23.74 % (Cuadro 12). Esta variabilidad puede estar relacionada con diferencias en la composición estructural de los tejidos de los turiones, posiblemente influenciadas por los tratamientos aplicados y el estado de desarrollo de las plántulas. El

elevado contenido de fibra en el tratamiento 5 también podría estar relacionado con una mayor proporción de tejidos lignificados y podría explicar el menor contenido de proteína, lo que podría impactar negativamente en la suavidad y aceptación sensorial del producto, aunque representaría una ventaja desde el punto de vista funcional, ya que, promueve el tránsito intestinal, contribuye a la saciedad, y desempeña un papel protector frente a enfermedades metabólicas. Además, la presencia de fibra puede influir en la biodisponibilidad de compuestos bioactivos y en la funcionalidad del alimento como producto nutracéutico. En general, presenta valores mayores que lo reportado por otros autores que indican contenidos de 0.3 %, 13.18 % (Guan et al., 2015) y similares a lo reportado por Redondo-Cuenca et al (2023) (23.80 %). Este contenido puede variar según el cultivar, la edad del tejido y las condiciones agronómicas, lo cual coincide con los resultados obtenidos en esta investigación (Chitrakar et al., 2019).

Cuadro 12. Análisis proximal de turiones de espárrago verde bajo seis diferentes métodos de cultivo de espárrago.

(%)							
Tratamiento	Materia seca	Humedad*	Ceniza	Proteína	Extracto etéreo	Fibra	Extracto libre de Nitrogeno
1	9.91 a ^z	90.09 a	10.86 abc	43.08 a	1.61 a	16.79 b	27.88 a
2	8.44 a	91.56 a	10.29 bc	40.64 b	1.48 ab	20.38 b	27.19 a
3	10.65a	89.35 a	10.49 bc	32.12 e	1.13 d	23.74 b	32.94 a
4	8.51 a	91.48 a	11.96 a	34.78 d	1.14 d	18.1 b	34.12 a
5	8.57 a	91.43 a	11.2 ab	25.85 f	1.21 cd	33.75 a	28.10 a
6	9.31 a	90.7 a	9.73 c	38.21 c	1.35 bc	20.29 b	30.17 a

^zLetras diferentes en la misma columna, significa que existen diferencias mínimas significativas ($p \leq 0.05$). Los resultados se expresan en base seca, excepto *. T1: Atenco 1, T2: Parcela Mqz, T3: parcela Mqz c/bocashi, T4: Huatusco, T5: Huatusco c/bocashi, T6: Comercial.

5.5.3. Contenido fenólico y de flavonoides

El contenido fenólico y de flavonoides se relaciona a beneficios nutracéuticos y es el primer indicador de que se tiene actividad antioxidante en una muestra

estudiada. En el caso del espárrago se obtuvo que T2 y T3 presentaron los niveles más altos de fenoles totales (5.15 y 5.38 mg EAG gbs⁻¹, respectivamente), lo cual sugiere una mayor capacidad antioxidante en comparación con T4 (4.05 mg EAG gbs⁻¹). En general es similar a lo reportado por Fuentes-Alventosa en 2008, que indica un contenido de 2.31 a 4.91 mg EAG gbs⁻¹ (Figura 5).

El contenido de flavonoides mostró una tendencia similar, destacando el tratamiento T2 con el valor más alto (3.57 mg EQ gbs⁻¹), siendo estadísticamente superior. Las diferencias en los resultados podrían deberse al efecto estimulante de los tratamientos aplicados sobre la vía fenilpropanoide, responsable de la biosíntesis de compuestos fenólicos, o bien a condiciones de estrés leve que promueven la acumulación de metabolitos secundarios como mecanismo de defensa (Pérez-Balibrea et al., 2008). Cabe mencionar que los tratamientos estadísticamente inferiores (T4: 1.21 y T5: 1.33 3.57 mg EQ gbs⁻¹) (Figura 5), son aquellos de los turiones producidos en Huatusco, donde las condiciones climáticas y de luminosidad son diferentes a los climas donde usualmente se desarrolla el espárrago, lo que concuerda con lo reportado por Motoki (2012), quien señala que, al limitar la cantidad de luz en un cultivo de espárrago, su contenido de flavonoides, específicamente de rutina, disminuye. Además, la temperatura ayuda al incremento de compuestos fenólicos, y en esta zona, si bien, hace calor, no da directamente a las plantas, lo que podría provocar estas deficiencias en la calidad de los turiones aquí obtenidos. El factor genético afecta el contenido de flavonoides en las plantas y los espárragos de Huatusco, éstos presentaron alta variabilidad morfológica, que podría estar relacionada con las condiciones ambientales, trópico de altura, bajo las que se desarrollan (Fuentes-Alventosa et al., 2007).

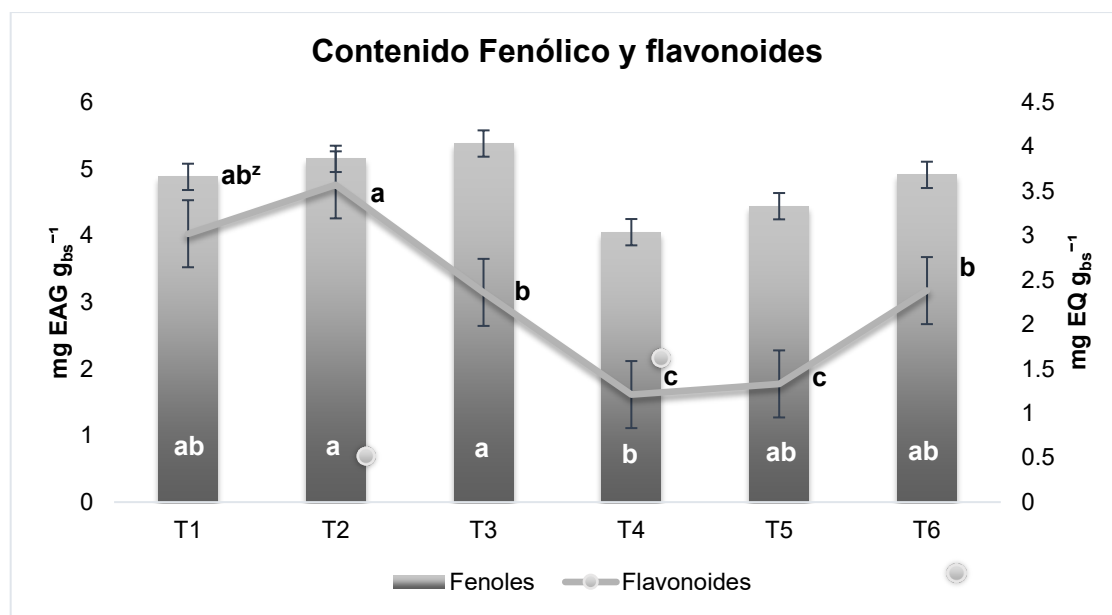


Figura 5. Contenido fenólico y flavonoides de turiones de espárrago verde bajo seis diferentes métodos de cultivo de espárrago.

^zLetras diferentes en diferente columna, significa que existen diferencias mínimas significativas ($p \leq 0.05$). Se muestran las barras de error. T1: Atenco 1, T2: Parcela Mqz, T3: parcela Mqz c/bocashi, T4: Huatusco, T5: Huatusco c/bocashi, T6: Comercial. Resultados reportados en base seca. Los resultados obtenidos son el promedio de 3 repeticiones.

5.5.4. Capacidad antioxidante

La presencia de compuestos bioactivos en el espárrago le confiere actividades antiinflamatorias, antimutagénicas y antifúngicas. Además, Fan et al. (2015) demostraron que los espárragos tienen propiedades anticancerígenas y antioxidantes. En esta investigación, la capacidad antioxidante fue evaluada mediante 3 diferentes ensayos (ABTS, FRAP y DPPH), además se obtuvo el valor de la concentración de extracto de turiones de espárrago necesaria para inhibir el 50 % del radical libre estable DPPH (IC₅₀), ver Cuadro 13.

Respecto al ensayo ABTS cabe destacar la diferencia estadística entre el T2, es decir, la parcela Mqz sin bocashi (145.73 $\mu\text{mol ET gbs}^{-1}$) y el T3 (309.22 $\mu\text{mol ET gbs}^{-1}$) que es la misma parcela con bocashi, en donde se indica un incremento en la actividad antioxidante después de haber aplicado el abono orgánico bocashi, lo que indica que método de cultivo influyó directamente en la

acumulación de compuestos antioxidantes. En general, los resultados fueron superiores a lo obtenido por Kobus-Cisowska et al. (2019), quienes reportaron valores de 49 a 73 $\mu\text{mol ET gbs}^{-1}$.

Para el caso del ensayo FRAP se mostraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos y la mayor capacidad antioxidante correspondió al T2 (27.14 $\mu\text{mol ET gbs}^{-1}$), lo cual puede estar relacionado con una mayor concentración de flavonoides, ya que estos compuestos actúan como reductores de hierro (Benzie & Strain, 1996).

En la determinación por DPPH, T2 fue estadísticamente superior (16.91 $\mu\text{mol ET gbs}^{-1}$), mientras que T4 (Huatusco sin bocashi) y T5 (Huatusco con bocashi) mostraron los valores más bajos en los 3 métodos. Resultados superiores se obtuvieron por Sun et al. (2007), (17.4 $\mu\text{mol ET gbs}^{-1}$), estos valores pueden estar influenciados por el potencial redox de los compuestos antioxidantes (Kim et al., 2016). El IC_{50} indica la concentración necesaria para inhibir el 50% de radicales DPPH, por lo que, en este caso, los valores más bajos indican mayor actividad antioxidante, en este contexto, T2 fue estadísticamente superior (1.31 $\mu\text{mol ET gbs}^{-1}$) con respecto a T4 y T5 (8.14 y 8.04 $\mu\text{mol ET gbs}^{-1}$).

En general, T2 tuvo una mejor capacidad antioxidante, a pesar de no tener mayor contenido de fenoles, esto indica otro tipo de compuestos, diferentes a los fenólicos, podrían contribuir a la capacidad antioxidante. T3 y T6 también presentaron los efectos más positivos en comparación con T4 y T5, que presentan los valores más bajos. Esto puede deberse a una mayor disponibilidad de nutrientes, condiciones de estrés controlado o prácticas agrícolas que favorecen la síntesis de metabolitos secundarios, ya que, los tratamientos de Huatusco (T4 y T5) no cuentan con prácticas agrícolas y las condiciones edafoclimáticas en esa zona son diferentes. Esto coincide con lo reportado por Chitrakar et al. (2019), quienes destacaron que las prácticas agrícolas y el manejo

poscosecha impactan significativamente el contenido de antioxidantes en hortalizas.

Cuadro 13. Capacidad antioxidante (expresada en base seca) de turiones de espárrago verde bajo seis diferentes métodos de cultivo.

Tratamiento	$\mu\text{mol ET gbs-1}$			mg mL^{-1}
	ABTS	FRAP	DPPH	IC ₅₀
T1	244.59 ab ^z	13.86 abc	14.55 ab	1.51 bc
T2	145.73 c	27.14 a	16.91 a	1.31 c
T3	309.22 a	23.85 ab	10.94 bc	1.78 abc
T4	190.72 bc	4.24 c	8.14 c	2.77 a
T5	141.08 c	12.16 bc	8.04 c	2.39 ab
T6	280.66 a	20.31 ab	10.94 bc	2.01 abc

^zLetras diferentes en la misma columna, significa que existen diferencias mínimas significativas ($p \leq 0.05$). T1: Atenco 1, T2: Parcela Mqz, T3: parcela Mqz c/bocashi, T4: Huatusco, T5: Huatusco c/bocashi, T6: Comercial. Los resultados obtenidos son el promedio de 3 repeticiones.

5.5.5. Contenido de clorofilas

El contenido de clorofila “a” en espárrago verde mostró diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre los seis tratamientos evaluados (Cuadro 14), siendo el T1 estadísticamente superior ($36.47 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1} \text{ bs}$), en cuanto a clorofila “b” el T4 fue estadísticamente inferior ($14.07 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1} \text{ bs}$) y mientras que para clorofila total T1 fue estadísticamente superior ($55.59 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1} \text{ bs}$), seguido por T6, que también mostró valores elevados, aunque significativamente menores en clorofila “a” y total.

Estas diferencias pueden atribuirse a las prácticas de manejo y nutrición vegetal aplicadas en cada tratamiento. Un mayor contenido de clorofilas indica un mayor potencial fotosintético y una mejor actividad fisiológica en la planta, lo que puede estar asociado con una mayor calidad nutracéutica del turión (Delgado & Paredes, 2003). Las clorofilas, además de ser pigmentos esenciales en la fotosíntesis, han sido relacionadas con propiedades antioxidantes y potenciales beneficios para la salud humana (Ferruzzi & Blakeslee, 2007).

Los tratamientos T3, T4 y T5 mostraron contenidos significativamente menores, con T4 presentando los valores más bajos en las tres variables evaluadas (Ca: 20.6; Cb: 14.07; Ct: 34.67 mg 100 g⁻¹ bs), dado el ambiente en que se desarrollan los turiones de este tratamiento, con baja cantidad de luz y sin prácticas agronómicas, coincide con la sugerencia de que, ya sea por deficiencia de nitrógeno, baja disponibilidad de luz o estrés abiótico, la síntesis de clorofila puede verse limitada (Taiz et al., 2015). Cabe destacar la diferencia estadística en CT, donde la aplicación de bocashi aumentó significativamente el contenido en T5 (41.52 mg 100 g⁻¹bs), en comparación con T4 (34.67 mg 100 g⁻¹bs).

En general, los tratamientos que promovieron un mayor contenido de clorofila podrían ser considerados como más adecuados para la producción de espárragos con mejores características nutraceuticas, lo cual coincide con lo señalado por Cavaiuolo y Ferrante (2014), quienes destacaron la relevancia del contenido de pigmentos como un indicador de calidad en hortalizas de consumo fresco.

Cuadro 14. Contenido de clorofilas a, b y totales en turiones de espárrago verde bajo seis diferentes métodos de cultivo. Cálculos en base seca.

Tratamiento	mg 100 g ⁻¹ bs		
	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total
T1	36.47 a ^z	19.24 a	55.59 a
T2	26.26 bc	17.8 ab	44.06 bc
T3	22.21 cd	15.22 ab	37.43 cd
T4	20.6 d	14.07 b	34.67 d
T5	24.48 cd	17.04 ab	41.52 c
T6	30.6 b	18.15 ab	49.89 ab

^zLetras diferentes en la misma columna, significa que existen diferencias mínimas significativas ($p \leq 0.05$). T1: Atenco 1, T2: Parcela Mqz, T3: parcela Mqz c/bocashi, T4: Huatusco, T5: Huatusco c/bocashi, T6: Comercial. Los resultados obtenidos son el promedio de 3 repeticiones.

5.6. Conclusiones

La calidad nutricional y nutraceutica del espárrago se ve afectada por el método de cultivo bajo el que se produce, así como las condiciones edafoclimáticas y la época de cosecha. La actividad antioxidante y el contenido de clorofilas fue menor en aquellos tratamientos donde la producción es de traspatio y los turiones provienen de individuos con alta variabilidad morfológica, lo que indica que un

manejo agronómico con una fertilización adecuada y riego, favorece a la síntesis y acumulación de metabolitos.

La aplicación de bocashi mejoró las características del cultivo en algunos aspectos; sin embargo, en otros incluso los disminuyó. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de seguir investigando en este tipo de prácticas agrícolas, y en su caso, mejorar las formulaciones de los abonos orgánicos para que igualen, e incluso superen las características de los tratamientos convencionales.

5.7. Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), al equipo de trabajo del Laboratorio de Productos Naturales de la Universidad Autónoma Chapingo, encabezado por la Dra. Diana Guerra Ramírez, por el apoyo otorgado para llevar a cabo la presente investigación y a los productores de Atenco y Huatusco por las facilidades otorgadas para obtener el material vegetal.

5.8. Literatura Citada

- AOAC International. (2012). *Método oficial de análisis: Asociación de químicos analíticos*. (19th ed.).
- Benzie, I., & Strain, J. (1996) The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1),70–76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
- Boudet, A., Chinchilla, V., Boicet, T., & González, G. (2015). Efectos de diferentes dosis de abono orgánico tipo bocashi en indicadores morfológicos y productivos del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) var. California Wonder. *Centro agrícola*, 42(4). <https://biblat.unam.mx/es/revista/centro-agricola/articulo/efectos-de-diferentes-dosis-de-abono-organico-tipo-bocashi-en-indicadores-morfologicos-y-productivos-del-cultivo-de-pimiento-capsicum-annuum-l-var-california-wonder>
- Cavauiolo, M., & Ferrante, A. (2014). Nitrates and glucosinolates as strong determinants of the nutritional quality in rocket leafy salads. *Nutrients*, 6(4), 1519-1538. <https://doi.org/10.3390/nu6041519>.
- Cheng, Z., Moore, J., & Yu, L. (2006). High-throughput relative DPPH radical scavenging capacity assay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(20), 29-36. <https://doi.org/10.1021/jf0611668>.
- Chitrakar, B., Zhang, M., & Adhikari, B. (2019). Asparagus (*Asparagus officinalis*): Processing effect on nutritional and phytochemical composition of spear

- and hard-stem byproducts. *Trends in Food Science & Technology*, 93(1), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.08.020>
- Codex Alimentarius Commission. (2005). *Codex standard for asparagus* (Codex Stan- 2001; amended 2005). FAO/WHO Norma del CODEX para espárrago (CODEX STAN 225-2001). https://workspace.fao.org/sites/codex/Standards/CXS%20225-2001/CXS_225e.pdf
- Delgado-Vargas, F., & Paredes-López, O. (2003). *Natural Colorants for Food and Nutraceutical Uses* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420031713>
- Fan, R., Yuan, F., Wang, N., Gao, Y., & Huang, Y. (2015). Extraction and analysis of antioxidant compounds from the residues of *Asparagus officinalis* L. *Journal of Food and Science Technology*, 52(1), 2690-2700. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1360-4>.
- Chatfield, C. (1953). *Food composition tables for international use* (2nd ed.). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/4/x5557e/x5557e00.htm>
- Ferruzzi, M. G., & Blakeslee, J. (2007). Digestion, absorption, and cancer preventative activity of dietary chlorophyll derivatives. *Nutrition Research*, 27(1), 1–12. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nutres.2006.12.003>
- Fuentes Alventosa, J., & Moreno Rojas, J. (2015). Bioactive compounds in asparagus and impact of storage and processing. In V. Preedy (Ed) *Processing and impact on active components in food* (pp 103-110). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404699-3.00013-5>
- Fuentes-Alventosa, J.M., Jaramillo, S., Rodríguez-Gutiérrez, G., Cermeño, P., Espejo, J.A., Jiménez-Araujo, A., Guillén-Bejarano, R., Fernández-Bolaños, J., & Rodríguez-Arcos, R. (2008). Flavonoid profile of green asparagus genotypes. *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 56(16), 6977–6984. <https://doi.org/10.1021/jf8009766>
- Fuentes-Alventosa, J., Rodríguez, G., Cermeño, P., Jiménez, A., Guillén, R., Fernandez-Bolaños, J., & Rodríguez-Arcos, R., (2007). Identification of flavonoid diglycosides in several genotypes of asparagus from the Huetor-Tájar population variety. *Journal of Agriculture Food Chemistry*. 55(24), 10028–10035. <https://doi.org/10.1021/jf071976z>
- Guan, Y. J., Zhou, L. Y., Bi, J. F., Yi, J. Y., & Li, S. R. (2015). Evaluation of nutritive composition and antioxidant activity in different parts of green asparagus. *Science and Technology of Food Industry*, 5, 343–347. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2015.05.064>

- Guo Q., Wang N., Liu H., Li Z., Lu L., & Wang C. (2020). The bioactive compounds and biological functions of *Asparagus officinalis* L. – A review. *Journal of Functional Foods*, 65, Article 103727. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103727>
- Hernández-Rodríguez, G., Espinosa-Solares, T., Hernández-Eugenio, G., Villa-García, M., Reyes-Trejo, B., & Guerra-Ramírez, D. (2016). Influence of polar solutions on the extraction of phenolic compounds from capulín fruits (*Prunus serotina*). *Mexican Chemical Society*, 60(2), 73-78. <https://doi.org/10.29356/jmcs.v60i2.76>
- Kamat, J., Boloor, K., Devasagayam, T., & Venkatachalam, S. (2000). Antioxidant properties of *Asparagus racemosus* against damage induced by gamma-radiation in rat liver mitochondria. *Journal of Ethnopharmacology*, 71(3), 425-435. [https://doi.org/10.1016/s0378-8741\(00\)00176-8](https://doi.org/10.1016/s0378-8741(00)00176-8)
- Kim, H., Bae, J., Jastrzebski, Z., Cherkas, A., Heo, B., Gorinstein, S., & Ku, Y. (2016). Binding, antioxidant and anti-proliferative properties of bioactive compounds of sweet paprika (*Capsicum annuum* L.). *Plant Foods for Human Nutrition*, 71(2), 129-36. <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0550-9>
- Kobus-Cisowska, J., Szymanowska, D., Szczepaniak, O., Gramza-Michalowska, A., Kmiecik, D., Kulczynski, B., Szulc, P. & Górnaś, P. (2019). Composition of polyphenols of asparagus spears (*Asparagus officinalis*) and their antioxidant potential. *Ciencia Rural*, 49(4), Article e20180863 <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180863>
- Kubola, J. & Siriamornpun, S. (2011) Phytochemicals and antioxidant activity of different fruit fractions (peel, pulp, aril and seed) of Thai gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng). *Food Chemistry*, 127(3), 1138–1145. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.115>
- Lichtenthaler, H. K. (1987) Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350-382. [http://dx.doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](http://dx.doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
- Motoki, S., Kitazawa, J., Maeda, T., Suzuki, T., Chiji, H., Nishihara, E., & Shinohara, Y. (2012). Effects of various asparagus production methods on rutin and protodioscin contents in spears and cladophylls, *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 76(1), 1047–1050. <https://doi.org/10.1271/bbb.120143>
- Pérez-Balibrea, S., Moreno, D., & García-Viguera, C. (2008). Influence of light on health-promoting phytochemicals of broccoli sprouts. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(5), 904–910. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3169>

- Ramírez, A. M., & Sadeghian, K. (2009). Respuesta del espárrago a nitrógeno, fósforo y potasio en la zona cafetera de Colombia. *Cenicafé*, 60(3), 269-281. <http://hdl.handle.net/10778/177>
- Re, R. N., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999) Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9),1231–1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Redondo-Cuenca, A., García-Alonso, A., Rodríguez-Arcos, R., Castro, I., Alba, C., Rodríguez, J., & Goñi, I. (2023). Nutritional composition of green asparagus (*Asparagus officinalis* L.), edible part and by-products, and assessment of their effect on the growth of human gut-associated bacteria. *Food Research International*, 63, Article 112284. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112284>
- Román-Cortés, N., García-Mateos, M., Castillo-González, A., Sahagún-Castellanos, J., & Jiménez-Arellanes, M., (2018). Características nutricionales y nutraceuticas de hortalizas de uso ancestral en México. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 41(3), 245-253. <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.3.245-253>
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144-158. <https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>
- Sun, T., Powers, J., & Tang, J. (2007). Evaluation of the antioxidant activity of asparagus, broccoli and their juices. *Food Chemistry*, 105(1), 101-106. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.048>
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Fisiología vegetal* (6.^a ed.). Sinauer Associates.
- Wildman R. (2001). *Handbook of nutraceuticals and functional foods* (2da ed). CRC Press, Chapter 1, 1-12. <https://doi.org/10.1201/9781420006186>

6. CONCLUSIÓN GENERAL

Los tratamientos pregerminativos en semillas de espárrago, particularmente la escarificación y la imbibición, han demostrado ser efectivos para romper la latencia y eliminar la testa que las recubre, lo que se traduce en una germinación más rápida y homogénea en semillas provenientes de una producción de espárragos de traspatio. La combinación de estos métodos con hormonas como el ácido giberélico acelera aún más el proceso germinativo. Estas prácticas pueden considerarse como una alternativa viable para establecer siembras directas en campo. El uso de sustancias menos agresivas para el medio ambiente y más seguras para el ser humano, como el hipoclorito de sodio, representa una alternativa eficaz y más sostenible para hacer la escarificación química.

En la producción de plántulas de espárrago, es esencial obtener coronas bien desarrolladas que garanticen su supervivencia tras el trasplante al campo. Por ello, deben implementarse prácticas orientadas a este objetivo. Aunque la fertilización inorgánica con solución Steiner provee nutrientes esenciales para el fortalecimiento del sistema radicular, la combinación de bioestimulantes (especialmente aquellos a base de aminoácidos y extractos de algas marinas) con abono orgánico tipo bocashi se obtuvieron resultados similares o incluso superiores, ofreciendo una alternativa más sostenible para la producción.

El método de cultivo, es un factor determinante en la calidad del turión, ya que influyen en características como la capacidad antioxidante, el valor nutricional y el contenido de clorofilas. En regiones como Huatusco, Veracruz, donde el espárrago suele cultivarse en traspatios para autoconsumo y bajo clima tropical de altura, la implementación de prácticas agrícolas adecuadas como la aplicación de fertilizantes orgánicos podría mejorar significativamente el rendimiento y la calidad del producto.

El creciente interés de los consumidores por alimentos que promuevan la salud representa una oportunidad para incrementar la producción de espárrago en México.

7. APÉNDICES

Cuadro apéndice 1. Análisis mineral de turiones de espárrago verde bajo diferentes medios de cultivo (Macronutrientes).

Macronutrientes						
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
N (%)	4.55	3.15	5.25	4.93	4.45	5.31
P (%)	0.8	0.49	0.7	0.8	0.62	0.71
K (%)	3.29	2.7	3.17	3.94	3.56	3.47
Ca (%)	0.23	0.13	0.18	0.22	0.16	0.21
Mg (%)	0.2	0.12	0.17	0.21	0.16	0.3
S (%)	0.47	0.45	0.72	0.7	0.68	0.54

T1: Atenco 1, T2: Parcela Mqz, T3: parcela Mqz c/bocashi, T4: Huatusco, T5: Huatusco c/bocashi, T6: Comercial.

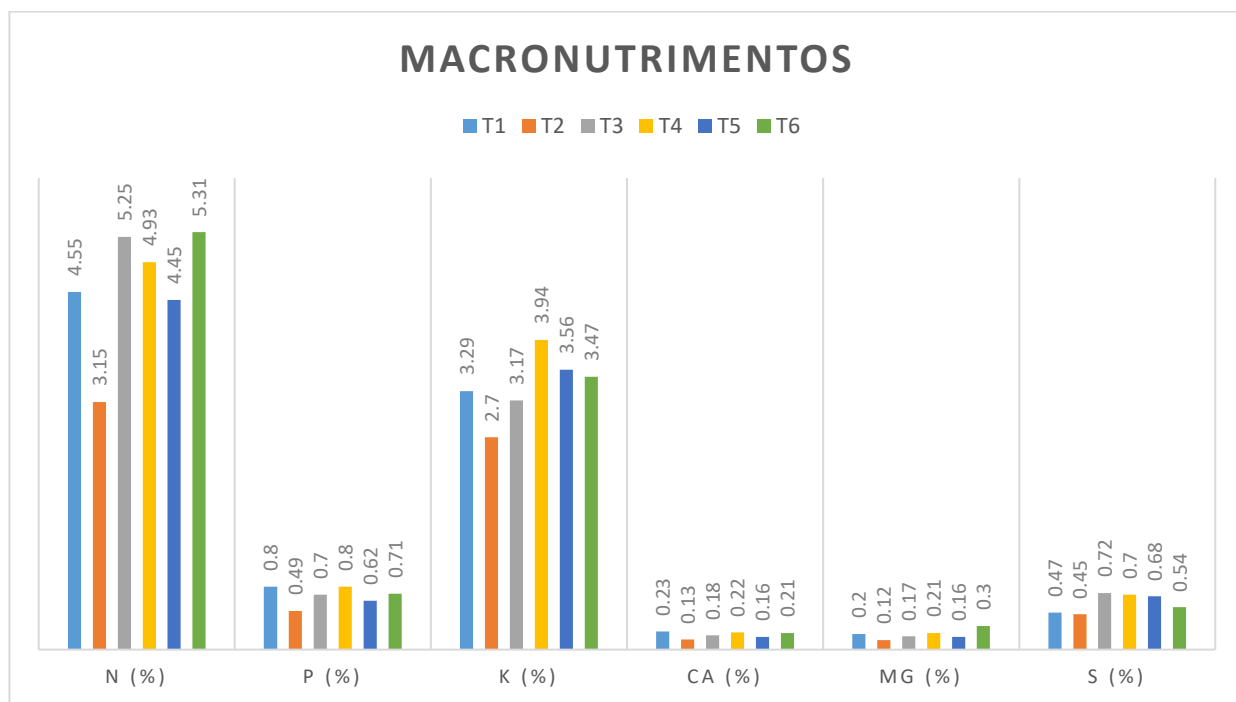


Figura apéndice 1. Macronutrientes en espárrago verde.

T1: Atenco 1, T2: Parcela Mqz, T3: parcela Mqz c/bocashi, T4: Huatusco, T5: Huatusco c/bocashi, T6: Comercial.

Cuadro apéndice 2. Análisis mineral de turiones de espárrago verde bajo diferentes medios de cultivo (Micronutrientes).

Micronutrientes						
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Na (ppm)	264	459	288	251	168	592
Fe (ppm)	169	34.1	24.1	80.4	87.3	47.3
Zn (ppm)	76.5	35.4	69.6	96.4	67.3	74.4
Mn (ppm)	19.2	13.1	21.1	15.7	18.5	31.1
Cu (ppm)	19.3	8.99	13.2	20.7	16.9	16.4
B (ppm)	18	12.4	18.4	18.8	17.6	23.2
Ni (ppm)	5.38	1.75	2.91	2.6	1.19	3.5
Mo (ppm)	2.55	0.46	0.98	2.38	0.43	1.2

T1: Atenco 1, T2: Parcela Mqz, T3: parcela Mqz c/bocashi, T4: Huatusco, T5: Huatusco c/bocashi, T6: Comercial.

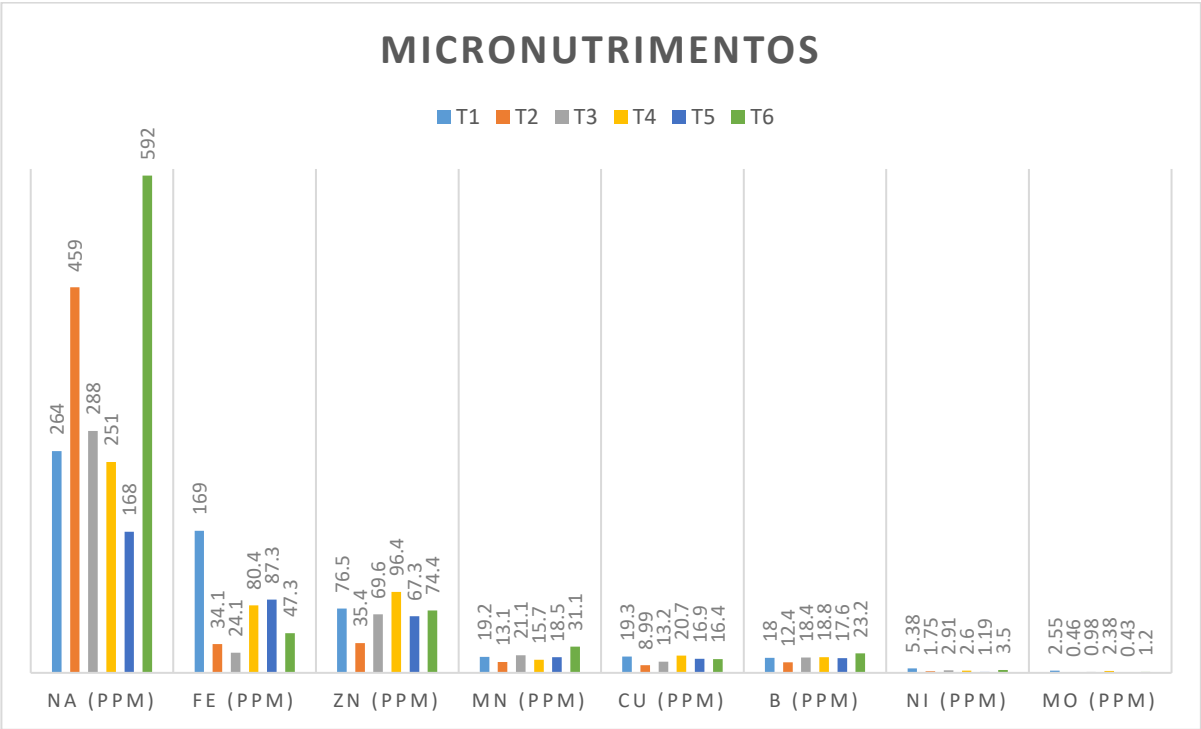


Figura apéndice 2. Micronutrientes en espárrago verde.

T1: Atenco 1, T2: Parcela Mqz, T3: parcela Mqz c/bocashi, T4: Huatusco, T5: Huatusco c/bocashi, T6: Comercial.

Cuadro apéndice 3. Análisis de suelo de parcelas de espárrago en Atenco, Estado de México y Huatusco. Veracruz

<i>Propiedades físicas</i>	Parcela Atecno convencional	Parcela Mqz (Atenco)	Huatusco
Punto de saturación (%)	55	47.2	84.4
Capacidad de campo (%)	29.4	25.2	45.4
Punto March perm (%)	17.5	15	27
Conductividad Hidráulica (cm/hr)	1.2	2.2	0.1
DAP (g/cm ³)	1.05	1.04	0.9
<i>pH y Ce</i>			
pH	7.95	8.73	5.74
Carbonatos totales (%)	1.32	1.44	0.01
CE (dS/m)	1.12	1.08	0.19
CIC	21.7	23.5	2.33
<i>Fertilidad</i>			
MO (%)	2.74	2.61	10.1
P-Bray (ppm)	75.7	234	3.18
K	1095	1992	74
Ca	2370	2344	<500
Mg	774	678	<50
Na ⁺	172	253	<25
Fe	8.75	7.17	13
Zn	2.19	3.56	0.91
Mn	1.22	1.2	1.81
Cu	13.1	13.3	0.41
B	2.98	4.36	0.22
S	36.5	54	30.6
N-NO3	24.1	26.1	17.9

Cuadro apéndice 4. Análisis del abono orgánico tipo bocashi.

Determinación	Método	Unidades	Resultados
pH	NMX-FF-109-SCFI.2008	--	9.67
Cond. Eléctrica	NMX-FF-109-SCFI-2008	dS/m	3.6
Macronutrientes			
*Nitrógeno total	Dumas	%	1.2
*Fosforo (P)	Digestión en microondas/ ICP	%	0.41
*Potasio(K)	Digestión en microondas/ ICP	%	1.41
*Calcio (Ca)	Digestión en microondas/ ICP	%	1.51
*Magnesio (Mg)	Digestión en microondas/ ICP	%	0.58
*Sodio (Na)	Digestión en microondas/ ICP	%	0.17
*Azufre (S)	Digestión en microondas / Turbidimetria	%	0.18
Micronutrientes			
*Hierro (Fe)	Digestión en microondas/ ICP	ppm	10697
*Cobre (Cu)	Digestión en microondas/ ICP	ppm	19.75
*Manganeso (Mn)	Digestión en microondas/ ICP	ppm	266
*Zinc (Zn)	Digestión en microondas/ ICP	ppm	118
*Boro (B)	Digestión en microondas/ ICP	ppm	28.7
Propiedades físicas			
Humedad	Método Gravimétrico	%	41.9
*Materia Orgánica	Calcinación	%	32.9
*Cenizas	Calcinación	%	67.1
*Carbono Orgánico	Calcinación	%	19.1
Relación C/N	Método	--	15.9

*Resultados reportados en BASE SECA