

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Nutrición y Fertilización del Cultivo de Espárrago (*Asparagus officinalis* L.)

Por:

JOSÉ RAFAEL TORRES VENEGAS

MONOGRAFÍA

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Nutrición y Fertilización del Cultivo de Espárrago (*Asparagus officinalis* L.)

Por:

JOSÉ RAFAEL TORRES VENEGAS

MONOGRAFÍA

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Dr. Armando Hernández Pérez
Asesor Principal

Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal

Coasesor

Dra. Laura Raquel Luna García

Coasesor

Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador de la División de

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2025

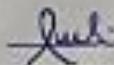
DECLARACIÓN NO PLAGIO

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, vídeos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



JOSÉ RAFAEL TORRES VENEGAS

Firma y Nombre

DEDICATORIAS

A Dios

En primer lugar, por haberme dado el don de tener la dicha maravillosa de lo que es la vida, en la cual me he podido desarrollar y primeramente me conceda la oportunidad de crecer profesionalmente.

A mis padres

Les dedico este trabajo que, con su apoyo incondicional, sus consejos y su muestra de cariño hacia mí para poder guiarme a perseguir mis sueños fuera de casa y con su esfuerzo de ellos, fue mi impulso y motivación para poder terminar este trabajo de investigación.

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por haberme dado la sabiduría y permitirme terminar mi trabajo de investigación, por darme otro día más con vida y tener salud hoy en día.

A mi alma mater

Por haberme brindado la estancia en esta honorable institución y abrirme las puertas desde el primer día que llegue a Saltillo, ofreciéndome hospedaje en los internados, comedor y transporte que fueron de gran importancia en mi estancia en la institución. Además de brindarme los conocimientos agronómicos y herramientas en cada una de las materias cursadas de los diferentes departamentos, tales como: departamento de horticultura, departamento de fitomejoramiento, departamento de parasitología y otros más que aportaron en mi formación académica. Ahora como Ingeniero Agrónomo en Horticultura, estoy y estaré siempre agradecido con mi alma mater y siempre pondré en alto a esta bella institución que se convirtió en una experiencia que nunca olvidare. Sobre todo, con orgullo siempre diré que soy buitre de la narro.

A mi asesor

Dr. Armando Hernández Pérez

Le agradezco infinitamente por haberme apoyado en las revisiones y consultas de mi investigación, adquiriendo de su tiempo y atención para poder realizar de manera correcta este trabajo de titulación.

A mis padres

Rafael Torres Martínez y María Mercedes Venegas Solorzano

Les agradezco infinitamente por haberme siempre impulsado en la realización de este trabajo y por siempre creer en mí, dándome ánimos alentándome a siempre seguir adelante ante cualquier circunstancia durante mi investigación. Además, de haberme dado la oportunidad y confianza para estudiar lejos de mi casa para perseguir mis sueños, apoyándome de la mejor manera durante toda mi formación académica y a lo largo de mi vida en la toma de decisiones. Por eso y muchas cosas más nunca les voy a terminar de agradecer por todo lo que han hecho por mí, y estaré eternamente agradecido con ellos.

A mis hermanos

Angélica, Mercedes, María Guadalupe y Juan

Les agradezco mucho por siempre recibir su apoyo emocionalmente y económicamente, y los tantos consejos que me transmitieron a lo largo de mi formación profesional, sobre todo en este de tantos trabajos en que recibí su apoyo.

A mis maestros

A cada uno de ellos que me compartieron su conocimiento y su experiencia en campo para el reforzamiento de mi aprendizaje durante mi formación académica

dentro y fuera del aula. Solo queda estar agradecido con los tantos maestros que fueron partícipes en transmitir conocimientos en nuestra gloriosa institución.

A mis amigos y compañeros de la universidad

Les agradezco mucho a todos los compañeros que estuvieron a lo largo de mi formación académica, por compartir su conocimiento, hermandad dentro de la universidad y por las buenas y malas experiencias que pase con todos ustedes. Por los momentos irrepetibles que estuvieron llenos de risas, anécdotas, enojos, diversiones, entre otras cosas. Sobre todo, agradecer a todos aquellos que estuvieron desde el inicio de mi estancia académica hasta el día de hoy, que vivimos un sinfín de anécdotas que serán inolvidables en esta bella institución, que hicieron que el tiempo de estudiantes foráneos se pasara más rápido y olvidar por un momento el estar lejos de casa. Gracias por su amistad y espero que en un futuro reunidos sean recordadas todas esas anécdotas que juntos pasamos.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	vi
1.- INTRODUCCIÓN	1
2.- HISTORIA Y ORIGEN GEOGRÁFICO	2
3.- PRODUCCIÓN MUNDIAL Y NACIONAL DEL ESPÁRRAGO	2
4.- COMPOSICIÓN NUTRITIVA DEL ESPÁRRAGO	5
5.- CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	7
5.1.- Características botánicas	7
5.1.2. - Raíz	8
5.1.3. – Corona	9
5.1.4.- Tallo	10
5.1.5.- Hojas	11
5.1.6.- Flores	12
5.1.7.- Fruto	12
5.1.8.- Semilla	13
6.- CICLO BIOLÓGICO DEL CULTIVO DE ESPÁRRAGO	15
7.- REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMÁTICOS	16
7.1.- Temperatura	16
7.2.- Suelo	18
7.3.- Humedad del suelo y manejo del riego	18
8.- VARIEDADES	19
9.- NUTRICIÓN Y FERTILIZACIÓN	21
9.1.- Concepto de nutrición	21
9.2.- Funciones de los elementos químicos en las plantas	21
9.2.1- Macroelementos primarios	21
9.2.2.- Macroelementos secundarios	22
9.2.3.- Microelementos	24

9.3.- Deficiencias nutricionales del espárrago	27
9.4.- Dosis de fertilización del espárrago (macronutrientes y micronutrientes).....	41
10.- CONCLUSIÓN.....	46
11.- BIBLIOGRAFÍA	47

ÍNDICE DE CUADROS

- Cuadro 1.** Los países con mayor producción de espárragos a nivel mundial en el año 2023. 3 **¡Error! Marcador no definido.**
- Cuadro 2.** Comparación del valor nutricional de espárragos crudos y cocidos por cada 100 gramos 6 **¡Error! Marcador no definido.**
- Cuadro 3.** Rango de temperatura requerido para el cultivo de espárrago en distintas etapas fenológicas 17 **¡Error! Marcador no definido.**
- Cuadro 4.** Necesidades nutricionales del cultivo de espárrago en la zona centro-sur de Chile. **¡Error! Marcador no definido.**
- Cuadro 5.** Extracción de nutrientes con la cosecha de turiones de espárrago **¡Error! Marcador no definido.**
- Cuadro 6.** Principales nutrientes extraídos por un cultivo de espárragos con un rendimiento de 5 toneladas por hectárea **¡Error! Marcador no definido.**
- Cuadro 7.** Concentración foliar óptima de macro y micronutrientes en helecho de espárrago sano (6–11 semanas después de la cosecha) **¡Error! Marcador no definido.**

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Volumen de la producción nacional de espárrago en México, 2014–2023 (miles de toneladas)..... 4**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 2.** Estructura morfológica del sistema radical del espárrago. **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 3.** Corona de espárrago; (A) ilustración botánica y (B) estructura real utilizada en producción comercial. 9**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 4.** Emergencia de turiones de espárrago. 11**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 5.** Fruto maduro en planta de espárrago..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 6.** Semillas de espárrago. **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 7.** Morfología foliar y reproductiva del espárrago. 15**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 8.** Síntomas de deficiencia de nitrógeno en espárrago (*Asparagus officinalis*). Se observa follaje de color verde claro con estructura abierta. 28**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 9.** Déficit de fósforo en espárrago (*Asparagus officinalis*). Se observa amarillamiento y necrosis apical en hojas, con tallos de color verde oscuro y menor tamaño. 29**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 10.** Síntomas de deficiencia de potasio en espárrago (*Asparagus officinalis*). Se observa clorosis en hojas jóvenes y amarillamiento generalizado. **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 11.** Síntomas de deficiencia de calcio en espárrago (*Asparagus officinalis*). Se observa necrosis apical y reducción del crecimiento en brotes jóvenes... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 12.** Síntomas de deficiencia de magnesio en espárrago (*Asparagus officinalis*). Se observa clorosis intervenal progresiva, marchitez y necrosis en hojas adultas..... 32**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 13.** Síntomas de deficiencia de azufre en espárrago (*Asparagus officinalis*). Se observa clorosis en hojas jóvenes de zonas terminales. **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 14.** Síntomas de deficiencia de hierro en espárrago (*Asparagus officinalis*). Se observa clorosis severa con puntas blancas y atrofia de hojas jóvenes... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 15.** Síntomas de deficiencia de manganeso en espárrago (*Asparagus officinalis*). Se observa clorosis en hojas terminales, con síntomas similares a la deficiencia de calcio. **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 16. Síntomas de deficiencia de cobre en espárrago (*Asparagus officinalis*). Muerte regresiva en tallos primarios jóvenes. **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 17. Síntomas de deficiencia de zinc en espárrago (*Asparagus officinalis*). Las plantas presentan tamaño reducido, ramificaciones limitadas y clorosis en puntas. **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 18. Síntomas de deficiencia de molibdeno en espárrago (*Asparagus officinalis*). Se observan clorosis dispersa y muerte regresiva en hojas de distintas edades. **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 19. Síntomas de deficiencia de boro en espárrago (*Asparagus officinalis*). Se observa clorosis generalizada y marchitez apical. **¡Error! Marcador no definido.**

RESUMEN

El cultivo de espárrago (*Asparagus officinalis* L.) requiere un manejo nutricional preciso para lograr altos rendimientos y calidad comercial. Esta monografía presenta una revisión detallada sobre los requerimientos de macro y micronutrientes, su función fisiológica, síntomas de deficiencia y las dosis de fertilización recomendadas por diferentes autores. Asimismo, se abordan los efectos del nitrógeno, fósforo y potasio en la producción del cultivo. Se destaca la importancia de un equilibrio nutricional para prevenir deficiencias, optimizar la formación de turiones y prolongar la vida productiva de la esparraguera. La información aquí reunida busca servir como herramienta técnica para productores, estudiantes y profesionales del área agrícola, con el fin de favorecer un manejo agronómico eficiente y sustentable del cultivo.

Palabras clave: Espárrago, deficiencias, dosis de fertilización, nutrientes, macroelementos primarios y rendimiento.

1.- INTRODUCCIÓN

El espárrago (*Asparagus officinalis* L.) es una hortaliza de gran valor nutricional y comercial que se cultiva en varias regiones del mundo, incluidas zonas templadas y subtropicales. Se caracteriza por ser un cultivo perenne que puede mantenerse en producción por más de diez años, lo que hace indispensable implementar un manejo agronómico eficiente, especialmente en lo relacionado con la nutrición mineral del suelo.

Una adecuada nutrición del cultivo favorece la formación de turiones, la calidad del follaje y la productividad general de la planta. La fertilización debe ser planificada cuidadosamente, considerando las demandas de macronutrientes y micronutrientes durante las distintas etapas fenológicas del cultivo. El conocimiento de los requerimientos nutricionales del espárrago permite optimizar el crecimiento vegetativo, mejorar el rendimiento y prolongar la vida útil de la esparraguera.

Por otra parte, identificar oportunamente los síntomas de deficiencia de nutrientes facilita su corrección antes de que afecten significativamente la producción. Una nutrición desequilibrada, puede interferir en los procesos fisiológicos fundamentales de la planta, comprometiendo la brotación, el metabolismo y la sanidad del cultivo.

El presente trabajo tiene como objetivo compilar y analizar información relevante sobre la función de los elementos minerales en el cultivo del espárrago, los síntomas de sus deficiencias y las recomendaciones de fertilización reportadas en la literatura, para poder mejorar la productividad y la calidad del cultivo mediante una nutrición adecuada.

2.- HISTORIA Y ORIGEN GEOGRÁFICO

Se cree que el espárrago (*Asparagus officinalis L.*) tiene su origen en las orillas de los ríos Tigris y Éufrates, en la región que actualmente corresponde a Irak. En el antiguo Egipto ya se consumía de manera habitual como vegetal, como lo evidencian pinturas encontradas en tumbas antiguas. Su cultivo se expandió por Europa gracias a los griegos y romanos. Sin embargo, durante la Edad Media su uso disminuyó, para luego recuperar popularidad en el Renacimiento (MAPA, 2014).

El cultivo del espárrago se originó en comunidades del sur de Europa y Asia, especialmente en zonas con suelos arenosos. Se estima que esta hortaliza ha sido cultivada con fines comerciales durante más de 2000 años y que fue altamente apreciada por las civilizaciones griega y romana. Las variedades modernas se derivan de selecciones realizadas en los Países Bajos a partir del siglo XVIII (ICTA, 2004).

3.- PRODUCCIÓN MUNDIAL Y NACIONAL DEL ESPÁRRAGO

El espárrago es un cultivo de importancia económica a nivel mundial. De acuerdo con datos de la FAOSTAT (2025), la producción de esta hortaliza en el año 2023 fue de 8,593,799.26 toneladas (t). China lidera ampliamente la producción global, con más de 7.4 millones de toneladas, lo que representa la mayor superficie cosechada (1,462,978 ha), aunque con un rendimiento moderado de 5,086.3 kg ha⁻¹.

En contraste, Perú y México destacan por su alta eficiencia productiva, alcanzando rendimientos de 11,964.0 y 9,331.3 kg ha⁻¹, respectivamente (Cuadro 1). Por su parte, Alemania, Italia y España mantienen niveles de producción más bajos, aunque con rendimientos variables. En particular, se observó que Irán, a pesar de tener una superficie limitada (878 ha), alcanza el mayor rendimiento por hectárea con 25,186.5 kg ha⁻¹, lo cual podría asociarse a prácticas altamente tecnificadas o condiciones agroecológicas específicas (Cuadro 1).

Por otra parte, se estima que la producción global de espárrago alcanzará los 10.7 millones de toneladas para el año 2026, con un incremento anual promedio del 1.4 % (ReportLinker, 2023).

Cuadro 1. Los países con mayor producción de espárragos a nivel mundial en el año 2023.

País	Producción (t)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Área cosechada (ha)
China	7,441,167.60	5,086.30	1,462,978
Perú	356,728.50	11,964.0	29,817
México	347,291.20	9,331.30	37,218
Alemania	111,900.0	5,493.40	20,370
Italia	51,880.0	7,185.60	7,220
España	44,140.0	3,313.80	13,320
Estados Unidos	35,108.0	5,525.30	6,354
Francia	27,340	4,099.0	6,670
Japón	26,658.94	5,969.50	4,466
Irán	22,118.60	25,186.50	878

Fuente: FAOSTAT (2025).

Por otra parte, en el año 2023, México se posicionó como el tercer mayor productor de espárrago a nivel mundial, con un volumen de 347,291 t. A nivel nacional, el estado de Sonora encabezó la producción con 200,820 t, seguido de Guanajuato con 44,907 t. En tercer lugar, se ubicó Baja California Sur, con una producción de 43,893 t; mientras que Baja California ocupó el cuarto lugar con 36,627 t. Finalmente, Querétaro se posicionó en quinto lugar, con una producción de 8,794 t (SIAP, 2024).

Asimismo, durante el mismo, el país exportó este vegetal a siete destinos internacionales. Estados Unidos fue el principal comprador, con un volumen de 156,584 t. Otros países importadores incluyeron a Emiratos Árabes Unidos y Belice,

con 19 y 16 t, respectivamente. Aunque Alemania y Japón son considerados mercados con alto potencial, las exportaciones hacia estos países aún son limitadas (SIAP, 2024).

Además, la producción en México presentó una tendencia al alza en el volumen de producción durante el periodo 2014 - 2023, pasando de 170 mil toneladas en 2014 a 347 mil toneladas en 2023, con un máximo registrado en 2022 (358 mil toneladas). El promedio de producción durante el periodo fue de 272 mil toneladas anuales. Este comportamiento refleja una expansión sostenida del cultivo, especialmente en los últimos cinco años (Figura 1).

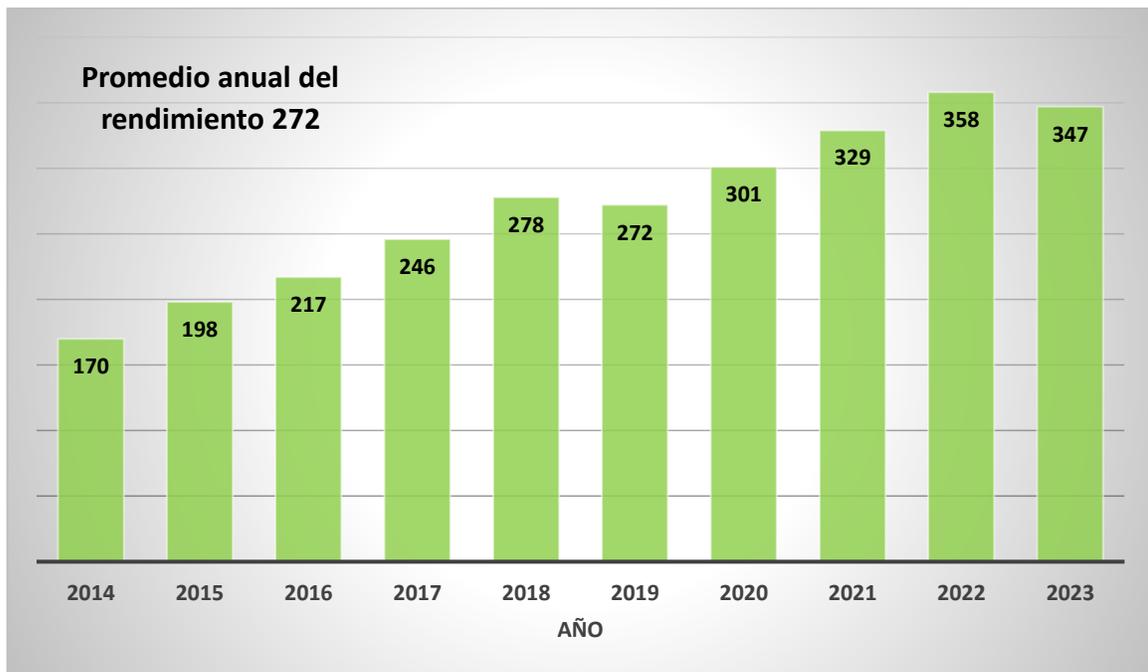


Figura 1. Volumen de la producción nacional de espárrago en México, 2014–2023 (miles de toneladas). Fuente: SIAP (2024).

4.- COMPOSICIÓN NUTRITIVA DEL ESPÁRRAGO

El espárrago es un vegetal bajo en calorías y con un alto contenido de nutrientes esenciales. Es una excelente fuente de fibra dietética, así como de vitaminas A, C, E y K, y minerales como hierro, potasio y ácido fólico. También destaca por su contenido de antioxidantes, los cuales contribuyen a la reducción del estrés oxidativo en el organismo. Una porción de 100 gramos (g) de espárrago proporciona, en promedio, aproximadamente 20 calorías, 2 g de proteína, 3 g de carbohidratos y menos de 1 g de grasa (USDA, 2024).

Se estima que el consumo de espárrago en México es de aproximadamente 900 gramos por persona al año. Esta baja ingesta podría estar relacionada con el desconocimiento de sus beneficios nutricionales, ya que se trata de una hortaliza con un perfil nutrimental muy completo. Algunos de sus componentes más destacados son:

- **Fibra:** Favorece la salud digestiva y contribuye a la prevención de enfermedades cardiovasculares.
- **Vitaminas:** Es especialmente rico en vitamina K, vitamina C, vitamina A y varias del complejo B. La vitamina K es crucial para la coagulación sanguínea, mientras que la vitamina C actúa como antioxidante.
- **Minerales:** Contiene folato, hierro, calcio y potasio, lo que lo convierte en un alimento beneficioso para el desarrollo fetal, la formación de glóbulos rojos, la salud ósea y la regulación de la presión arterial (SADER, 2024).

Cabe destacar que, el valor nutricional del espárrago puede variar ligeramente dependiendo de si se consume crudo o cocido. En el Cuadro 2 se comparan los contenidos de diversos nutrientes en ambos estados para una porción de 100 gramos. Se observa que, aunque las calorías se mantienen constantes, algunos compuestos presentan variaciones importantes tras la cocción.

Por ejemplo, el contenido de vitamina B9 (ácido fólico) y vitamina C aumenta en los espárragos cocidos. Asimismo, se incrementa la concentración de minerales como el potasio y el selenio. No obstante, algunos componentes, como los azúcares y la fibra dietética, se reducen ligeramente. Esta información es relevante para considerar el aporte nutricional según el modo de preparación del espárrago (Olas, 2024).

Cuadro 2. Comparación del valor nutricional de espárragos crudos y cocidos por cada 100 gramos.

NUTRIENTES	ESPÁRRAGOS	ESPÁRRAGOS
	CRUDOS	COCIDOS
Calorías	20 kcal	20 kcal
Fibra dietética	2.1 g	2.0 g
Azúcares	1.9 g	1.3 g
Proteínas	2.2 g	2.4 g
Lípidos	0.12 g	0.22 g
Vitamina B1	0.143 g	0.162 mg
Vitamina B2	0.141 g	0.139 mg
Vitamina B3	0.978 g	1.1 mg
Vitamina B9	52.0 µg	149 µg
Vitamina C	5.6 mg	7.7 mg
Vitamina E	1.13 mg	1.5 mg
Vitamina K	41.6 µg	50.6 µg
Calcio	24.0 mg	23.0 mg
Cobre	0.19 mg	0.19 mg
Hierro	2.14 µg	0.91 mg
Magnesio	14.0 mg	14.0 mg
Manganeso	0.158 mg	0,158 mg
Potasio	202 mg	224 mg
Selenio	2.3 µg	10.8 µg
Sodio	2 mg	14.0 mg
Zinc	0.54 mg	0.54 mg

5.- CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Reino: *Plantae*

División: *Magnoliophyta*

Subdivisión: *Angiospermae*

Clase: *Liliopsida*

Orden: *Asparagales*

Familia: *Asparagácea*

Subfamilia: *Asparagoideae*

Género: *Asparagus*

Especie: *officinalis* L. (Stevens, 2001)

5.1.- Características botánicas

El espárrago pertenece al género *Asparagus*, el cual incluye aproximadamente 150 especies; sin embargo, solo *Asparagus officinalis* L. es cultivada y comercializada para el consumo humano. Las demás especies del género se utilizan principalmente con fines ornamentales. Esta especie presenta plantas dioicas, es decir, individuos con flores exclusivamente masculinas o femeninas. El proceso reproductivo incluye una doble fecundación: la primera da lugar al embrión y la segunda al endospermo. Las semillas permanecen dentro del fruto hasta alcanzar la madurez completa. El endospermo del cotiledón se encuentra altamente desarrollado y actúa como tejido de reserva nutricional para el embrión (González y Del Pozo, 1999).

5.1.2. - Raíz

El sistema radical del espárrago se compone de dos tipos principales de raíces: las raíces adventicias y las raíces laterales o fibrosas. Las adventicias son gruesas, cilíndricas, sin ramificación, con un diámetro que varía entre 2 y 6 mm; su función principal es el almacenamiento de carbohidratos. Por otro lado, las raíces laterales o fibrosas son altamente ramificadas, presentan diámetros de 0.1 a 0.5 mm, y están especializadas en la absorción de agua y nutrientes. Las raíces de reserva se originan a partir del rizoma, específicamente en la zona de transición entre la parte aérea y la parte subterránea de la planta. En cambio, las raíces absorbentes se desarrollan desde el cámbium vascular de las adventicias. La mayor concentración de raíces fibrosas se encuentra en los extremos de las raíces de almacenamiento, y su longitud puede superar los 2 metros (González y Del Pozo, 1999).

Como se observa en la Figura 2, el sistema radical del espárrago presenta una diferenciación clara entre los tipos de raíces, de acuerdo con su forma y función. También se identifican estructuras clave como el rizoma, los turiones en desarrollo (futuros brotes comestibles) y las yemas viejas, lo que permite comprender mejor la relación entre la parte aérea y subterránea de la planta (González y Del Pozo, 1999).

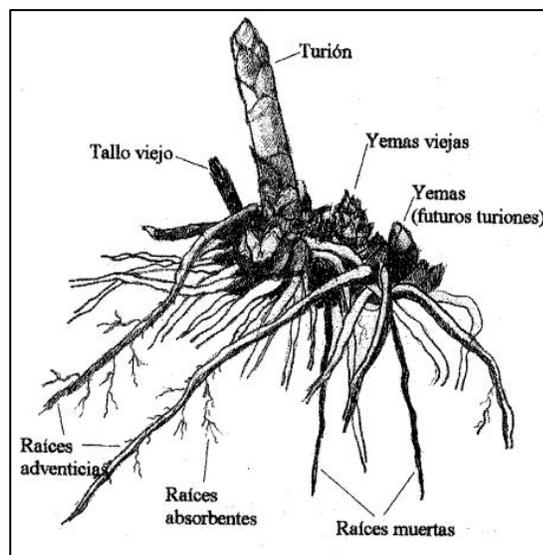


Figura 2. Estructura morfológica del sistema radical del espárrago. Fuente: González y Del Pozo (1999).

5.1.3. – Corona

La corona es un rizoma compuesto por raíces y yemas (Figura 3). Esta estructura se emplea como uno de los métodos más comunes para la propagación comercial de la especie. Su crecimiento es progresivo en dirección horizontal y está formado por grupos de yemas que originan nuevos brotes tiernos, conocidos como turiones, los cuales constituyen la parte comestible y comercial del cultivo (Núñez *et al.*, 2005; Anaya, 2017).

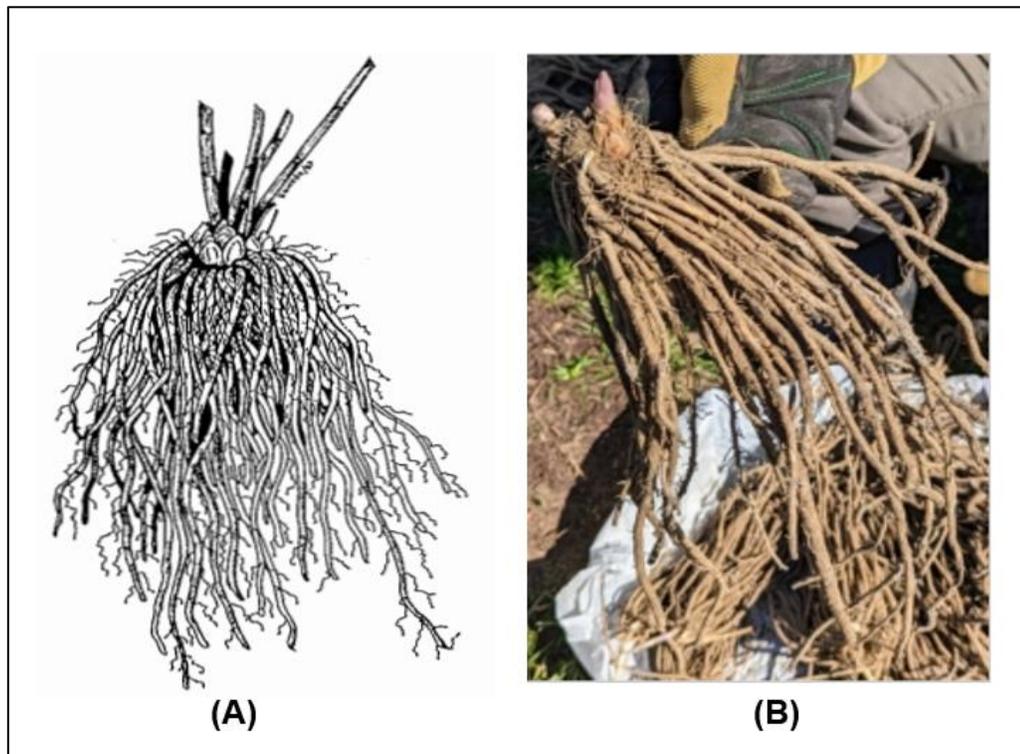


Figura 3. Corona de espárrago; (A) ilustración botánica y (B) estructura real utilizada en producción comercial. Fuente: Montes y Holle (1994); Brown (2024).

5.1.4.- Tallo

Los turiones, que corresponden a los tallos jóvenes del espárrago, constituyen la parte comestible de la planta. Mientras se desarrollan bajo tierra, presentan un color blanco y están cubiertos por hojas escumiformes que se disponen estrechamente entre sí.

Cuando el brote emerge, inicia el proceso de asimilación. Las sustancias nutritivas almacenadas en el rizoma se movilizan gracias al aumento de la temperatura del suelo, la presión de las raíces, la respiración celular y la acción de diversas sustancias presentes en los tejidos. Este proceso fisiológico permite que los brotes se desarrollen rápidamente y acumulen los recursos necesarios para la fase vegetativa inicial de la planta.

Una vez que el brote ha emergido, se activa la fotosíntesis, lo que provoca el cambio de color a verde y su crecimiento hasta alcanzar entre 15 y 20 cm sobre la superficie del suelo. A medida que crece, el turión pierde grosor y se alisa de forma proporcional, siendo más ancho en la base.

Si el turión no es cosechado, continúa su desarrollo hasta convertirse en un tallo maduro, conocido como fronde, fusta o mata, el cual puede superar los 2 metros de altura. Estos tallos se lignifican y presentan ramificaciones con estructuras modificadas llamadas cladodios, que son órganos fotosintéticos en forma de pequeñas agujas (Zamora, 1999).



Figura 4. Emergencia de turiones de espárrago (*Asparagus officinalis* L.). Fuente: Will (2022).

5.1.5.- Hojas

El follaje del espárrago se origina a partir de tallos individuales que surgen de las yemas del rizoma. Cada yema produce un solo tallo, pero un rizoma puede generar de 10 a 20 tallos durante una temporada de crecimiento. Las ramificaciones primarias se desarrollan en la parte superior del tallo, a partir de yemas axilares localizadas entre el tallo y las brácteas.

Estas brácteas, de forma triangular y características del turión, corresponden a las hojas verdaderas de la planta (González y Del Pozo, 1999). Son pequeñas, de color que varía del blanquecino al verde intenso, y están dispuestas alrededor de los tallos, apareciendo como escamas en las yemas.

El follaje propiamente dicho está constituido por ramas principales y secundarias, las cuales presentan verticilos cubiertos de filocladios, que son tallos modificados con funciones de protección, alimentación e intercambio gaseoso (Núñez *et al.*, 2005; Anaya, 2017).

5.1.6.- Flores

La planta de espárrago presenta flores unisexuales, es decir, flores masculinas y femeninas en individuos separados, ya que se trata de una especie dioica. Estas flores, de color amarillo verdoso, se distribuyen a lo largo del tallo y cuelgan en posición péndula, con forma de campana. Las flores masculinas son alargadas, con forma campanulada, y miden entre 5 y 8 mm de longitud. En contraste, las flores femeninas son semiesféricas y ligeramente más pequeñas, con una longitud de 3 a 5 mm (Núñez *et al.*, 2005; Sánchez, 2018).

5.1.7.- Fruto

El fruto del espárrago es una baya de color rojo que alcanza aproximadamente 8 mm de diámetro. Contiene tres compartimentos (lóculos), cada uno con una o dos semillas (Fehér, 1992). Al llegar a la madurez, el fruto adquiere una forma esférica. En esta etapa, tanto su pared externa como el eje central y las divisiones internas se vuelven carnosas (Montes y Holle, 1994).

Como se observa en la Figura 5, el fruto del espárrago es una baya de color rojo brillante que se desarrolla sobre la planta al alcanzar su madurez. Esta estructura corresponde a la etapa reproductiva de las plantas femeninas, y contiene las semillas que permiten la propagación sexual de la especie.



Figura 5. Fruto maduro en planta de espárrago. Fuente: Altar Produce (2023).

5.1.8.- Semilla

Las semillas del espárrago son de color negro, de forma casi redonda, y miden entre 3 y 4 mm de diámetro. El peso de mil semillas varía entre 18 y 20 gramos, mientras que el número de semillas por kilogramo oscila entre 50,000 y 60,000 (Fehér, 1992). Este valor puede diferir considerablemente entre distintos cultivares debido a su variabilidad genética.

Por otra parte, un lavado o limpieza inadecuados pueden provocar que una porción del pericarpio permanezca adherida a la superficie de la semilla, lo que se manifiesta como una fina capa blanquecina sobre los tegumentos. El embrión, que constituye la parte más pequeña de la semilla, presenta una estructura simple y una forma ligeramente curvada. En uno de sus extremos se localiza la zona radicular, identificable por una pequeña depresión en la base donde se encuentra el punto de crecimiento (Montes y Holle, 1994).



Figura 6. Semillas de espárrago.
Fuente: Market Research Intellect (2024).

Por otra parte, en la Figura 7 se aprecia la estructura completa de la planta de espárrago, incluyendo sus órganos vegetativos y reproductivos. Se representan elementos clave como el rizoma, el tallo, las hojas modificadas (brácteas), los cladodios, la flor, el fruto y la semilla, lo cual refuerza la comprensión de su morfología general (González y Del Pozo, 1999).

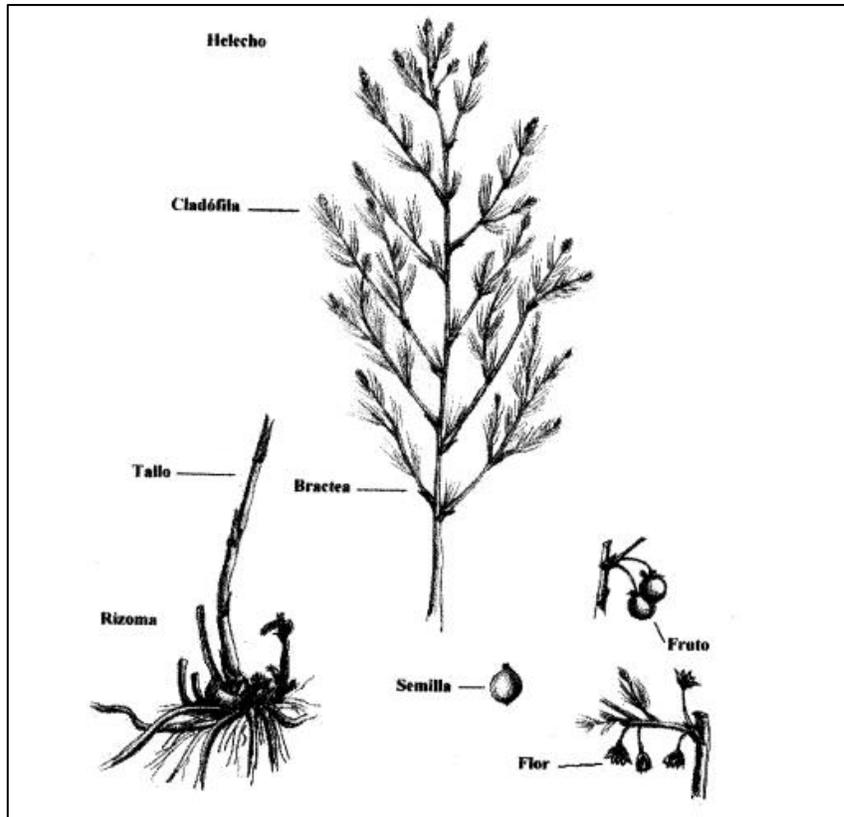


Figura 7. Morfología foliar y reproductiva del espárrago
Fuente: González y Del Pozo (1999).

6.- CICLO BIOLÓGICO DEL CULTIVO DE ESPÁRRAGO

En zonas de clima templado, únicamente la corona del espárrago permanece viva durante todo el año, entrando en estado de latencia durante el invierno. En primavera, las yemas se desarrollan a partir de las reservas almacenadas en las raíces carnosas, originando los turiones que pueden ser cosechados. Tras la cosecha, durante el verano, los turiones remanentes se transforman en la fronda o helecho de la planta, que, mediante la fotosíntesis, restituye las reservas energéticas perdidas durante la brotación. Al llegar el otoño, el follaje envejece y se seca, dejando la corona nuevamente en latencia hasta el inicio del siguiente ciclo vegetativo (Martínez, 2023).

El ciclo de crecimiento del espárrago se divide en tres etapas principales:

1. **Primer ciclo.** Las plantas emergen a partir de semilla en primavera. Durante el verano se forma el rizoma y crece el follaje. Posteriormente, aparecen flores y frutos. Al final del verano comienza la senescencia, y la planta entra en receso invernal.
2. **Segundo ciclo.** Las yemas continúan brotando y se desarrollan los turiones. No se realiza cosecha, ya que el objetivo en esta etapa es favorecer el desarrollo del follaje y el almacenamiento de carbohidratos en el rizoma. Como en el ciclo anterior, se producen flores y frutos, seguidos de la senescencia del follaje.
3. **Tercer ciclo.** En primavera se lleva a cabo la cosecha de turiones. Aquellos que no se cosechan continúan su desarrollo y generan nuevo follaje. La floración y fructificación son similares a las del ciclo anterior, y al final del periodo vegetativo, el follaje entra nuevamente en senescencia (Millán, 2014).

7.- REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMÁTICOS

7.1.- Temperatura

El espárrago es una de las especies más sensibles a los cambios de temperatura, lo cual se refleja en la lentitud de sus procesos vegetativos. La temperatura atmosférica ideal para el crecimiento de los turiones oscila entre 11 y 13 °C de media mensual, mientras que el rango óptimo para su desarrollo vegetativo se encuentra entre 18 y 25 °C. Cuando la temperatura desciende por debajo de 15 °C durante el día o de 10 °C por la noche, el crecimiento se detiene; si supera los 40 °C, la planta también enfrenta dificultades para desarrollarse (Espárragos de Médano de Oro, 2021).

El espárrago puede adaptarse a diferentes tipos de clima. En climas templados a cálidos, los turiones tienden a ser más livianos y sensibles al manejo postcosecha, por lo que se recomienda su recolección mediante poda selectiva. En contraste, en climas templados a fríos, los turiones son más pesados, presentan mejor resistencia postcosecha y suelen tener un color más oscuro. En zonas con climas muy fríos, el cultivo no es recomendable, ya que se reduce significativamente la brotación y se limita la cosecha.

Se considera que el rango óptimo de temperatura para el cultivo de espárrago está entre 18 y 28 °C. Por debajo de los 18 °C, disminuye la brotación, y por encima de los 28 °C, se dificulta tanto el almacenamiento de nutrientes como la calidad de la cosecha. Además, la temperatura y la disponibilidad de agua son factores clave que afectan la brotación de los turiones. Se requiere un umbral mínimo de 10 a 11 °C para iniciar el crecimiento. Las bajas temperaturas pueden provocar la aparición de turiones con tonalidades moradas, mientras que las altas favorecen el crecimiento de yemas laterales, lo que afecta la calidad comercial al generar turiones con la punta abierta (ICTA, 2004).

Cuadro 3. Rango de temperatura requerido para el cultivo de espárrago en distintas etapas fenológicas.

Etapas del cultivo	Temperatura (grados Celsius)		
	Mínima	Óptima	Máxima
Germinación de semillas	6	25	40
Crecimiento de turiones	12	20 - 28	35
Desarrollo vegetativo		20 - 28	

Fuente: ICTA (2004).

7.2.- Suelo

El espárrago puede cultivarse en diversos tipos de suelos y condiciones climáticas; sin embargo, su desarrollo es más favorable en suelos fértiles, bien drenados, ubicados en regiones templadas y húmedas, con temporadas de crecimiento prolongadas y buena exposición solar, lo cual favorece la fotosíntesis (NETAFIM USA, 2010).

Dado que el espárrago permanece en el mismo sitio durante varios años, es fundamental asegurar que el suelo cumpla con los requerimientos de fertilidad desde el inicio. Mejorar las condiciones edáficas una vez establecidas las coronas resulta complicado, por lo que se recomienda implementar prácticas de acondicionamiento del suelo al menos un año antes de la siembra.

En cuanto al pH del suelo, si este es inferior a 6.0, debe corregirse a 6.5 mediante la aplicación de cal agrícola, siguiendo las recomendaciones obtenidas del análisis de suelo. El espárrago prefiere suelos ligeramente ácidos, siendo el rango óptimo de pH entre 6.0 y 6.8 (Brandenberger *et al.*, 2014).

7.3.- Humedad del suelo y manejo del riego

Una humedad adecuada en el suelo es esencial para el crecimiento de los helechos, el establecimiento de nuevas coronas, la calidad y el rendimiento de los turiones, así como para la producción de brotes vigorosos en el siguiente ciclo. La falta de humedad reduce significativamente el crecimiento del espárrago, resultando en turiones más delgados. Este aspecto es especialmente importante al inicio de la cosecha. En suelos arenosos, el riego adicional puede beneficiar la producción, aunque un exceso de agua puede dañar las coronas y raíces por falta de oxígeno (ICTA, 2004).

El consumo de agua por parte de las plantas de espárrago varía considerablemente según las condiciones agroclimáticas del sitio de cultivo. Durante su desarrollo, pueden llegar a consumir entre 2.5 y 5 mm de agua por día. Las raíces pueden alcanzar profundidades de hasta 3 metros, aunque la mayor absorción ocurre en la capa superior del suelo, entre 15 y 60 cm (Pardo *et al.*, 1997; Del Pozo y González, 1999).

Por ello, se recomienda mantener una humedad adecuada en esta zona, especialmente durante la fase de helecho. En este periodo, la humedad no debe descender por debajo del 50–60 % de la capacidad de retención del suelo, ni superar una tensión de 70 centibares antes de aplicar un nuevo riego. El riego debe ser equilibrado; se prefiere una aplicación moderada y espaciada en lugar de riegos ligeros y frecuentes, ya que estos últimos pueden favorecer enfermedades foliares. Asimismo, un exceso de riego puede provocar la lixiviación del nitrógeno aplicado, desplazándolo fuera de la zona radicular y potencialmente contaminando las aguas subterráneas (Extensión de la Universidad de Minnesota, 2023).

La humedad relativa ideal para el cultivo se sitúa entre el 60 y el 70 %, y la precipitación anual óptima oscila entre 400 y 800 mm (SIAP, s.f.).

8.- VARIEDADES

Existen diversas variedades de espárrago, pero los híbridos modernos son más productivos que la cepa tradicional Mary Washington. Entre los híbridos más utilizados se encuentran U.C. 157 F1 y F2, los cuales han mostrado buen desempeño en condiciones de cultivo en Oklahoma. Asimismo, los híbridos masculinos desarrollados por la Universidad de Rutgers, como Jersey Gem y Jersey Queen, presentan altos rendimientos. No obstante, estas variedades tienden a desarrollar helechos más rápidamente y puntas de lanza sueltas cuando las temperaturas durante la cosecha superan los 29 °C, especialmente en el mes de

mayo. Por esta razón, se recomienda realizar la cosecha de forma oportuna para preservar la calidad del producto (Brandenberger *et al.*, 2014).

Cabe señalar que a nivel mundial se cultivan principalmente tres tipos de espárrago: verde, blanco y morado. En México, sin embargo, únicamente se produce espárrago verde, el cual se clasifica en tres subtipos según el color y el grosor de los turiones:

1. **Constanza**: Turiones delgados, de color verde, con una longitud aproximada de 20 cm.
2. **Bassano**: Turiones gruesos, de color verde con escamas moradas y textura tierna.
3. **Colosal de Connover**: Variedad híbrida originaria de Estados Unidos, con turiones muy gruesos y de color blanco (SIAP, 2022).

9.- NUTRICIÓN Y FERTILIZACIÓN

9.1.- Concepto de nutrición

La nutrición vegetal se define como el proceso mediante el cual las plantas obtienen y absorben los compuestos químicos esenciales para su crecimiento y metabolismo. Por su parte, los nutrientes son aquellos elementos o compuestos requeridos por los organismos para llevar a cabo sus funciones vitales (Mengel y Kirkby, 2001).

9.2.- Funciones de los elementos químicos en las plantas

9.2.1- Macroelementos primarios

Nitrógeno (N)

El nitrógeno es un elemento esencial que participa directamente en la síntesis de aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos y clorofila. Su aplicación tiene un impacto significativo en el aumento de la masa seca de la planta, ya que favorece el crecimiento del tallo, el desarrollo del follaje y la formación de órganos reproductivos, como frutos y granos. Asimismo, en cultivos hortícolas se ha observado que una mayor intensidad lumínica incrementa la absorción de nitrógeno por parte de las plantas (Marschner, 1998; Rodríguez y Flórez, 2004).

Fósforo (P)

El fósforo es un nutriente esencial en el metabolismo energético de las plantas, ya que forma parte de las moléculas de AMP, ADP y ATP, fundamentales para la transferencia de energía. Asimismo, es un componente estructural de los ácidos nucleicos (ADN y ARN) y participa en procesos clave como la fotosíntesis, la respiración celular y la síntesis de almidón. También se encuentra en compuestos

como el ácido fítico, que desempeña un papel importante en la germinación de las semillas y el desarrollo de las raíces (Barceló, 1995; Marschner, 1998; Rodríguez y Flórez, 2004).

Potasio (K)

El potasio es un ion monovalente (K^+) que las plantas absorben en grandes cantidades, en proporciones comparables al nitrógeno. Su absorción depende principalmente del proceso de difusión en el suelo y puede verse afectada por la presencia de altas concentraciones de otros cationes, como calcio y magnesio, que compiten y reducen su disponibilidad. Este nutriente es el más abundante en el citoplasma celular y desempeña un papel clave en el metabolismo de carbohidratos y proteínas. Además, regula la apertura y cierre de los estomas, facilitando la captación de CO_2 y el control de la transpiración. El potasio también incrementa la actividad de más de 50 enzimas, entre ellas la piruvato quinasa, que es fundamental en la respiración celular y el metabolismo energético (Guerrero, 1993; León, 1994; Rodríguez y Flórez, 2004).

9.2.2.- Macroelementos secundarios

Calcio (Ca)

El calcio es un nutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya que forma parte de las paredes celulares y contribuye a mantener la integridad estructural y la permeabilidad de las membranas celulares. Participa activamente en los procesos de división y alargamiento celular. Además, favorece la absorción de nitrógeno (N) y puede incrementar la captación de potasio (K) en lugar de sodio (Na), lo cual es beneficioso en suelos con alta salinidad. Una vez que el calcio es depositado en los tejidos vegetales, se vuelve inmóvil, por lo que es necesario un suministro continuo a través del suelo para asegurar un desarrollo adecuado de los nuevos órganos de la planta (Hanson, 1984; Bush, 1995; Rao, 2009).

Magnesio (Mg)

El magnesio es un elemento esencial para las plantas, ya que forma parte central de la molécula de clorofila y, por tanto, es fundamental para la fotosíntesis. Además, activa numerosas enzimas involucradas en la síntesis de carbohidratos, azúcares y lípidos, y participa en procesos energéticos que requieren ATP. El magnesio también interviene en la formación de frutos, la germinación de semillas y la estructuración de los ribosomas. A nivel bioquímico, interactúa con nucleófilos y puede formar complejos de diferentes niveles de estabilidad (Clarkson y Hanson, 1980; Marschner, 1995; Rao, 2009).

Azufre (S)

El azufre es absorbido por las plantas a través de las raíces, principalmente en forma de ion sulfato (SO_4^{2-}), y su concentración varía según la especie vegetal. Este elemento es esencial para la síntesis de proteínas y vitaminas, como la tiamina (B_1) y la biotina (B_7), así como para la formación de diversas enzimas involucradas en procesos metabólicos clave. Además, el azufre se encuentra en los sulfolípidos, componentes estructurales de las membranas celulares que participan en la regulación del transporte de iones (Clavijo, 1994; Marschner, 1998; Rodríguez y Flórez, 2004).

Magnesio (Mg)

El magnesio (Mg) es esencial para las plantas, ya que participa en la formación de clorofila, facilita la acción de enzimas que producen carbohidratos, azúcares y grasas, y es necesario para procesos energéticos que involucran ATP. También es clave para la formación de frutos, la germinación de semillas y la estructura de los ribosomas. Además, interactúa con nucleófilos y puede formar complejos de diferentes estabilidades (Clarkson y Hanson, 1980; Marschner, 1995; Rao, 2009)

9.2.3.- Microelementos

Hierro (Fe)

El hierro es fundamental para la síntesis de clorofila y para los procesos de transferencia de electrones en las plantas. Forma parte de varias enzimas clave, como la peroxidasa, catalasa y los citocromos, todas ellas involucradas en reacciones de óxido-reducción. Además, el hierro es un componente esencial de la enzima nitrogenasa, indispensable en el proceso de fijación biológica del nitrógeno. Su función principal en el metabolismo vegetal radica en su participación en reacciones de oxidación-reducción reversibles, que intervienen en diversas rutas metabólicas intermedias (Buchanan, 1984; Rao, 2009).

Manganeso (Mn)

El manganeso (Mn) desempeña un papel fundamental en diversas reacciones enzimáticas asociadas con la fotosíntesis, la respiración celular y el metabolismo del nitrógeno. En las plantas, se encuentra predominantemente en forma de ion divalente (Mn^{2+}). Su función más reconocida es su participación en el proceso de evolución del oxígeno durante la fotosíntesis, al facilitar la fotólisis del agua y actuar como cofactor en la transferencia de electrones. El potencial redox del Mn se considera un factor determinante en su capacidad para intervenir en estas reacciones fotoquímicas, especialmente en el complejo liberador de oxígeno del fotosistema II (Clarkson y Hanson, 1980; Rao, 2009).

Cobre (Cu)

El cobre es un micronutriente esencial que se acumula principalmente en las raíces de las plantas y desempeña un papel clave en varios procesos fisiológicos. Participa en el metabolismo del nitrógeno, así como en la actividad enzimática relacionada

con la transformación de carbohidratos y proteínas. Además, el cobre interviene en la lignificación de las paredes celulares, lo que contribuye a la fortaleza estructural de los tejidos vegetales. Una proporción considerable de este elemento se localiza en los cloroplastos, donde actúa como donador de equivalentes reductores en el fotosistema I, al formar parte de la plastocianina, una proteína terminal de la cadena de transporte de electrones durante la fotosíntesis (Sandmann y Böger, 1983; Rao, 2009).

Zinc (Zn)

El zinc (Zn) es un micronutriente esencial para el ciclo de vida de las plantas, debido a su participación en numerosos procesos fisiológicos fundamentales (Horeth *et al.*, 2015; Vatansever *et al.*, 2017). Es absorbido por las raíces en forma de catión divalente (Zn^{2+}) y transportado principalmente por el xilema, aunque presenta una movilidad limitada dentro de la planta. El zinc actúa como cofactor en una amplia variedad de enzimas, como la alcohol deshidrogenasa, la ARN polimerasa y la superóxido dismutasa Zn/Cu, que participan en la regulación del crecimiento, la síntesis de proteínas y la defensa antioxidante. Además, interviene en la estabilización de estructuras proteicas y en la integridad de las membranas celulares. Su deficiencia puede provocar clorosis, reducción del crecimiento y alteraciones en la síntesis de auxinas (Fox y Guerinot, 1998; Vatansever *et al.*, 2017).

Molibdeno (Mo)

El molibdeno es un micronutriente esencial que participa en la formación del cofactor de molibdeno (Moco), indispensable para la actividad de varias enzimas clave, como la sulfito oxidasa, la aldehído oxidasa, la xantina deshidrogenasa y la nitrato reductasa (Kruse *et al.*, 2010; Vatansever *et al.*, 2017). Estas enzimas desempeñan funciones fundamentales en distintos procesos metabólicos, entre ellos la biosíntesis de fitohormonas, el metabolismo de purinas, la desintoxicación de

sulfitos y la asimilación de nitratos (Mendel y Leimkühler, 2015; Vatansever *et al.*, 2017).

Boro (B)

El boro es un micronutriente esencial que favorece el crecimiento y desarrollo saludable de las plantas (Coudray *et al.*, 2016). Participa en diversos procesos fisiológicos clave, como la absorción de amonio y nitrógeno (Shen *et al.*, 1993; Camacho y González, 2007), la formación del citoesqueleto (Bassil y Brown, 2004), la comunicación celular (González *et al.*, 2008), y la regulación del potencial y la permeabilidad de la membrana (Ferrol y Donaire, 1992; Wang *et al.*, 1999). Además, interviene en el control de la porosidad y la resistencia a la tracción de la pared celular (Fleischer *et al.*, 1999; Vatansever *et al.*, 2017), así como en la modificación de compuestos fenólicos (Camacho *et al.*, 2002).

Cloro (Cl)

El cloro es un micronutriente esencial que desempeña diversas funciones fisiológicas en las plantas. Contribuye a la regulación del pH y de la presión de turgencia, además de influir en la actividad de enzimas citoplasmáticas. Asimismo, participa en el mantenimiento del potencial de membrana y actúa como cofactor en la fotosíntesis, particularmente en la fotólisis del agua durante la fase luminosa (Marschner, 1995; Baetz *et al.*, 2016; White y Broadley, 2001; Vatansever *et al.*, 2017). Por otra parte, se ha reportado que el equilibrio del cloro en los tejidos vegetales está estrechamente relacionado con la tolerancia a la salinidad, favoreciendo mecanismos fisiológicos de adaptación a ambientes salinos (Moya *et al.*, 2003; Teakle *et al.*, 2006; Vatansever *et al.*, 2017).

9.3.- Deficiencias nutricionales del espárrago

La disponibilidad adecuada de nutrientes esenciales es determinante para el crecimiento, desarrollo y productividad de las plantas. La deficiencia de uno o más elementos puede provocar alteraciones fisiológicas, morfológicas y bioquímicas que afectan directamente el rendimiento del cultivo. Estas deficiencias suelen manifestarse a través de síntomas visibles en el follaje, los tallos o las raíces, y varían en función del nutriente afectado, su movilidad en la planta, y la etapa fenológica en la que ocurre (Havlin *et al.*, 2014).

En el cultivo de espárrago, la identificación temprana de deficiencias nutricionales es fundamental para evitar pérdidas en la formación de turiones, la acumulación de reservas en las coronas y la longevidad de la plantación. A continuación, se describen las principales deficiencias de nutrientes en este cultivo, con énfasis en los síntomas generales en plantas y sus manifestaciones específicas en este cultivo.

Nitrógeno (N)

Cuando las plantas presentan deficiencia de nitrógeno, el síntoma más característico es una clorosis generalizada en las hojas más viejas, debido a la redistribución del nutriente hacia órganos más jóvenes. Esta clorosis puede progresar hacia necrosis si la deficiencia persiste. También se observa una reducción en el crecimiento, menor número de brotes, tallos delgados y menor acumulación de biomasa (Marschner, 1995).

En espárrago, la deficiencia de nitrógeno se manifiesta como un color verde claro en el follaje, con una estructura abierta y aireada. Las plantas afectadas muestran menor vigor, y en estados más avanzados pueden presentar una coloración pálida más notoria en estructuras maduras. Estos síntomas comprometen la capacidad fotosintética y, por tanto, la acumulación de reservas en las coronas, lo que afecta directamente la productividad en ciclos posteriores (Choto, 2014).

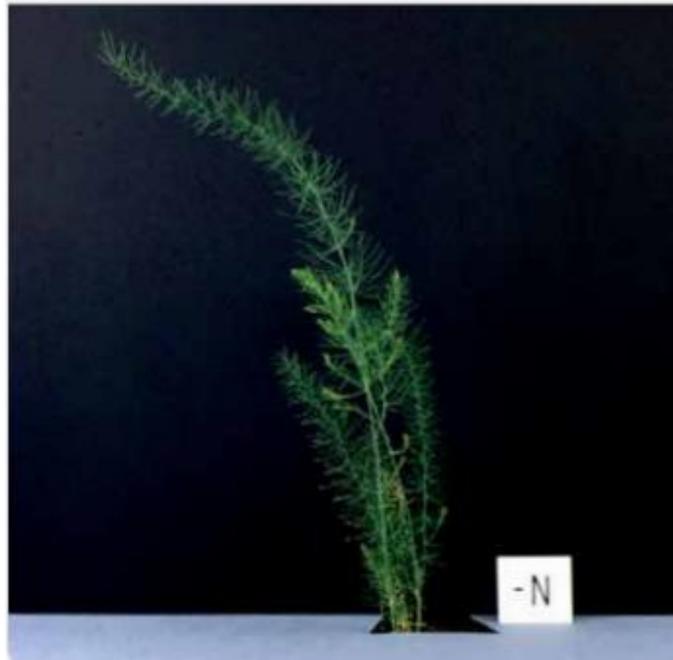


Figura 8. Síntomas de deficiencia de nitrógeno en espárrago (*Asparagus officinalis* L.). Se observa follaje de color verde claro con estructura abierta. Fuente: Choto (2014).

Fósforo (P)

La deficiencia de fósforo se manifiesta principalmente en las hojas más viejas, con un crecimiento reducido, menor desarrollo radicular y una coloración verde oscuro o violácea, especialmente en condiciones de baja temperatura. Además, las plantas deficientes muestran retraso en la madurez y disminución en el número y calidad de estructuras reproductivas (Havlin *et al.*, 2014).

En espárrago, la deficiencia de fósforo provoca una decoloración amarilla en las puntas de las hojas, que posteriormente se tornan marrones. Los tallos suelen ser de menor estatura y adquieren una tonalidad verde más oscura que lo normal. Esta sintomatología refleja la interrupción de procesos energéticos clave y una reducción general en el vigor de la planta (Choto, 2014).

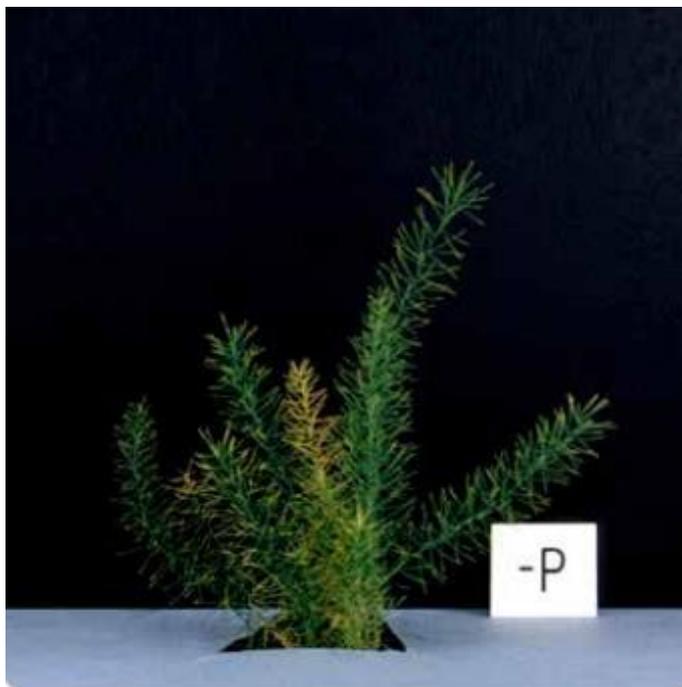


Figura 9. Déficit de fósforo en espárrago (*Asparagus officinalis* L.). Se observa amarillamiento y necrosis apical en hojas, con tallos de color verde oscuro y menor tamaño. Fuente: Choto (2014).

Potasio (K)

El potasio es un nutriente móvil esencial que participa en la regulación osmótica, la apertura estomática, la síntesis de proteínas y el transporte de azúcares. Su deficiencia genera síntomas visibles principalmente en hojas viejas, debido a su redistribución hacia los tejidos jóvenes. Las plantas deficientes presentan clorosis marginal, necrosis en los bordes foliares, debilidad en tallos y reducción del

crecimiento general. En casos severos, las hojas pueden enrollarse y secarse progresivamente (Havlin *et al.*, 2014).

En el cultivo de espárrago, la deficiencia de potasio se manifiesta como una coloración entre verde claro y amarillo a lo largo de las hojas, particularmente en las plantas jóvenes. En plantas más maduras, las hojas más viejas presentan clorosis marginal y síntomas de necrosis en las puntas. Estas alteraciones afectan la fotosíntesis y la movilidad de solutos, disminuyendo la calidad y vigor de la planta (Choto, 2014).



Figura 10. Síntomas de deficiencia de potasio en espárrago (*Asparagus officinalis* L.). Se observa clorosis en hojas jóvenes y amarillamiento generalizado. Fuente: Choto (2014).

Calcio (Ca)

El calcio es un nutriente inmóvil en el floema, fundamental para el crecimiento de tejidos meristemáticos, la estabilidad de las paredes celulares y la integridad de las membranas. Su deficiencia afecta primero a los órganos en crecimiento activo,

como las puntas de raíces y brotes jóvenes, provocando necrosis apical, deformaciones y colapso celular. Además, puede interferir con la elongación celular y aumentar la susceptibilidad a patógenos por debilitamiento estructural (Taiz *et al.*, 2015).

En espárrago, la deficiencia de calcio se manifiesta como una necrosis regresiva en las puntas del follaje, especialmente en plantas jóvenes. Se observa una muerte progresiva de los tejidos apicales, afectando también el desarrollo de las ramas laterales del tallo principal. Estos síntomas comprometen el crecimiento vegetativo y la arquitectura de la planta (Choto, 2014).



Figura 11. Síntomas de deficiencia de calcio en espárrago (*Asparagus officinalis* L.). Se observa necrosis apical y reducción del crecimiento en brotes jóvenes. Fuente: Choto (2014).

Magnesio (Mg)

El magnesio es un nutriente móvil que forma parte central de la molécula de clorofila y participa activamente en la fotosíntesis, la activación enzimática y el metabolismo de carbohidratos. Su deficiencia se manifiesta primero en hojas viejas, donde se observa clorosis intervenal (las nervaduras permanecen verdes mientras el tejido circundante se vuelve amarillo). Esta clorosis puede progresar hacia necrosis si la deficiencia se prolonga. También puede afectar el transporte de fotoasimilados y la eficiencia enzimática (Taiz *et al.*, 2015).

En el espárrago, la deficiencia de magnesio se presenta inicialmente en hojas maduras, con síntomas de clorosis en la zona media que avanzan hacia las ramas terminales. Conforme progresa, las estructuras afectadas se marchitan, adquieren un tono amarillento y finalmente mueren, lo que compromete la funcionalidad fotosintética y la productividad de la planta (Choto, 2014).



Figura 12. Síntomas de deficiencia de magnesio en espárrago (*Asparagus officinalis* L.). Se observa clorosis intervenal progresiva, marchitez y necrosis en hojas adultas. Fuente: Choto (2014).

Azufre (S)

El azufre es un macronutriente poco móvil en las plantas, esencial para la síntesis de aminoácidos azufrados (como cisteína y metionina), coenzimas y vitaminas. Su deficiencia provoca clorosis generalizada en las hojas más jóvenes, debido a su escasa redistribución desde tejidos viejos. También puede causar retraso en el crecimiento, menor contenido proteico y alteraciones en el metabolismo del nitrógeno (Havlin *et al.*, 2014).

En espárrago, la deficiencia de azufre se manifiesta como una coloración amarilla clara en grupos de hojas jóvenes, especialmente en porciones terminales de la planta. Los síntomas suelen presentarse de manera esporádica y localizada, lo que dificulta su diagnóstico temprano. Esta deficiencia puede afectar la calidad de los turiones y la capacidad de la planta para mantener un crecimiento vigoroso (Choto, 2014).



Figura 13. Síntomas de deficiencia de azufre en espárrago (*Asparagus officinalis* L.). Se observa clorosis en hojas jóvenes de zonas terminales. Fuente: Choto (2014).

Hierro (Fe)

El hierro es un micronutriente inmóvil en el floema, esencial para la síntesis de clorofila, la respiración celular y la transferencia de electrones en procesos como la fotosíntesis. La deficiencia de hierro se manifiesta principalmente en hojas jóvenes con clorosis intervenal, donde las nervaduras permanecen verdes mientras los tejidos circundantes se tornan amarillos. En casos severos, la clorosis puede volverse generalizada, afectando el crecimiento y la formación de tejidos fotosintéticos funcionales (Taiz *et al.*, 2015).

En espárrago, el déficit de hierro provoca una clorosis extrema en las hojas jóvenes, con puntas que adquieren un color blanco. En algunas agujas también puede observarse un tono rojizo. Las estructuras afectadas tienden a atrofiarse progresivamente, y en etapas avanzadas mueren, comprometiendo la actividad fotosintética y el desarrollo general de la planta (Choto, 2014).



Figura 14. Síntomas de deficiencia de hierro en espárrago (*Asparagus officinalis* L.). Se observa clorosis severa con puntas blancas y atrofia de hojas jóvenes. Fuente: Choto (2014).

Manganeso (Mn)

El manganeso es un micronutriente inmóvil en el floema, esencial para la fotosíntesis, ya que participa como cofactor en la fotólisis del agua en el fotosistema II. También interviene en la síntesis de lignina, la detoxificación de especies reactivas de oxígeno y en la activación de diversas enzimas metabólicas. La deficiencia de manganeso produce clorosis intervenal en hojas jóvenes, con manchas necróticas en casos avanzados, y puede confundirse con deficiencia de hierro o calcio (Havlin *et al.*, 2014).

En espárrago la deficiencia de manganeso se manifiesta como una clorosis en las hojas cercanas al extremo terminal de la planta. Los síntomas son similares a los observados por deficiencia de calcio, por lo que se requiere un análisis foliar para confirmar el diagnóstico. Las plantas afectadas muestran un desarrollo foliar menos vigoroso y mayor susceptibilidad al estrés ambiental (Choto, 2014).

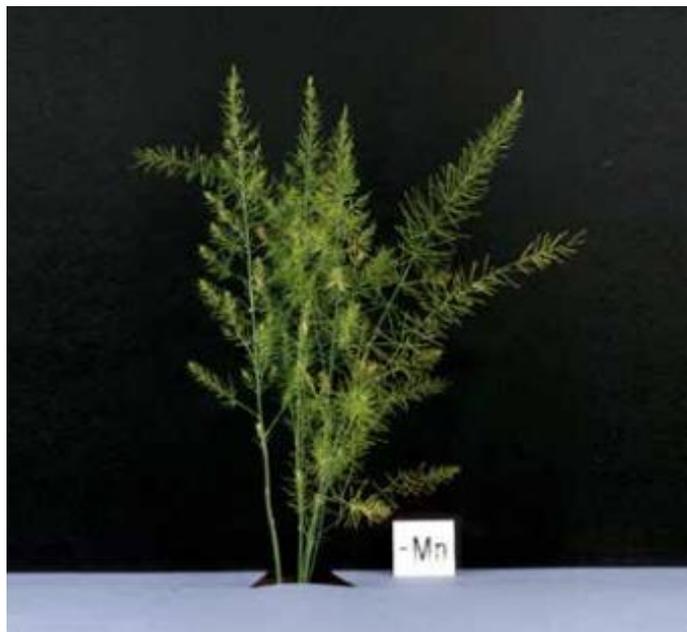


Figura 15. Síntomas de deficiencia de manganeso en espárrago (*Asparagus officinalis* L.). Se observa clorosis en hojas terminales, con síntomas similares a la deficiencia de calcio. Fuente: Choto (2014).

Cobre (Cu)

El cobre es un micronutriente esencial que participa como cofactor en numerosos procesos enzimáticos relacionados con la fotosíntesis, la lignificación de paredes celulares, el metabolismo de carbohidratos y la defensa contra el estrés oxidativo. Aunque es requerido en pequeñas cantidades, su deficiencia puede provocar clorosis apical, muerte regresiva de brotes, deformaciones en hojas jóvenes y pérdida de turgencia, particularmente en tallos en crecimiento activo (Broadley *et al.*, 2012).

En espárrago, la deficiencia de cobre provoca una muerte regresiva esporádica en tallos primarios jóvenes, especialmente en plantas en etapa de crecimiento activo. A medida que progresa, se observa marchitez y colapso de estructuras adicionales, lo que compromete la formación de nuevos brotes y reduce el vigor general de la planta (Choto, 2014).



Figura 16. Síntomas de deficiencia de cobre en espárrago (*Asparagus officinalis* L.). Muerte regresiva en tallos primarios jóvenes. Fuente: Choto (2014).

Zinc (Zn)

El zinc es un micronutriente móvil que actúa como cofactor en numerosas enzimas involucradas en la síntesis de auxinas, la elongación celular y la regulación de la expresión génica. Su deficiencia afecta el crecimiento apical, provoca entrenudos cortos, clorosis intervenal y deformaciones en las hojas. Las plantas deficientes en zinc suelen presentar un porte compacto, menor desarrollo vegetativo y retraso en la maduración (Havlin *et al.*, 2014).

En espárrago, la deficiencia de zinc se manifiesta como un crecimiento atrofiado con plantas de baja altura, compactas y con desarrollo limitado de ramificaciones laterales. Las puntas foliares pueden tornarse amarillas, y se observa una reducción en el número y tamaño de las yemas generadas en el rizoma, lo que compromete la producción de turiones (Choto, 2014).

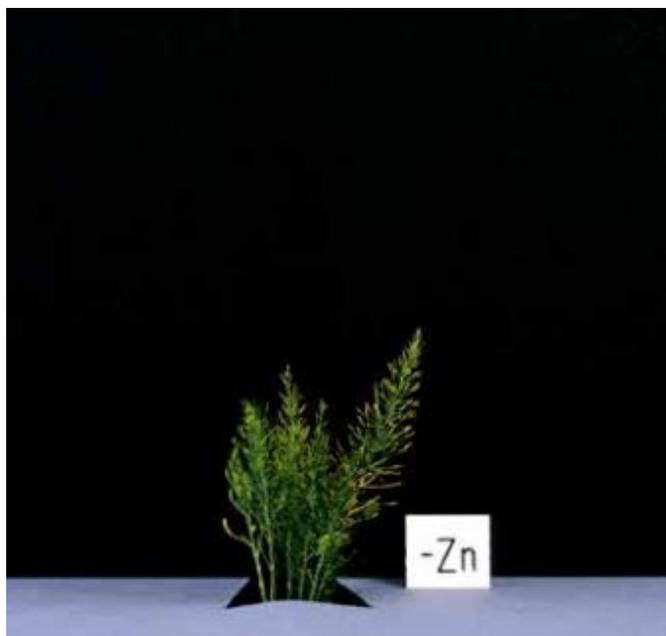


Figura 17. Síntomas de deficiencia de zinc en espárrago (*Asparagus officinalis* L.). Las plantas presentan tamaño reducido, ramificaciones limitadas y clorosis en puntas. Fuente: Choto (2014).

Molibdeno (Mo)

El molibdeno es un micronutriente requerido en pequeñas cantidades, pero esencial para la actividad de enzimas como la nitrato reductasa y la nitrogenasa, involucradas en la asimilación del nitrógeno y en procesos redox clave. Su deficiencia puede causar acumulación de nitratos no reducidos, clorosis intervenal, necrosis marginal y una reducción general en el crecimiento, afectando tanto a tejidos jóvenes como viejos (Gupta, 1997).

En espárrago, la deficiencia de molibdeno se manifiesta mediante clorosis dispersa en diferentes regiones de la planta, acompañada de una muerte regresiva que afecta tanto a estructuras nuevas como a partes envejecidas. Este deterioro generalizado impacta negativamente el desarrollo vegetativo, comprometiendo la eficiencia en la absorción de nitrógeno y la salud de la planta (Choto, 2014).



Figura 18. Síntomas de deficiencia de molibdeno en espárrago (*Asparagus officinalis* L.). Se observan clorosis dispersa y muerte regresiva en hojas de distintas edades. Fuente: Choto (2014).

Boro (B)

El boro es un micronutriente de movilidad limitada en el floema, esencial para la integridad estructural de la pared celular, la elongación de células meristemáticas y la formación de tejidos reproductivos. Su deficiencia afecta directamente el crecimiento del ápice, provoca clorosis generalizada, deformación foliar y marchitez de brotes terminales. Además, puede comprometer la absorción de nutrientes y la formación del sistema radicular (Marschner, 1995)

En espárrago, la deficiencia de boro se manifiesta como clorosis a lo largo de todo el follaje, acompañada de marchitez progresiva en los extremos de las ramas. Estas alteraciones afectan el desarrollo vegetativo y reducen la formación de yemas y raíces, resultando en un sistema radicular menos desarrollado y menor capacidad de regeneración (Choto, 2014).



Figura 19. Síntomas de deficiencia de boro en espárrago (*Asparagus officinalis* L.). Se observa clorosis generalizada y marchitez apical. Fuente: Choto (2014).

El estado nutricional del espárrago desempeña un papel fundamental en su crecimiento, desarrollo y productividad. Cada elemento mineral cumple funciones específicas dentro del metabolismo vegetal, y su deficiencia puede generar síntomas característicos que afectan directa o indirectamente el rendimiento del cultivo. La detección oportuna de estas deficiencias, mediante la observación de síntomas visuales y el apoyo de análisis foliares o de suelo, permite implementar estrategias correctivas eficaces. Por tanto, un manejo nutricional basado en el diagnóstico integral constituye una herramienta esencial en la producción sustentable del espárrago, favoreciendo tanto la calidad como la rentabilidad del cultivo.

9.4.- Dosis de fertilización del espárrago (macronutrientes y micronutrientes).

El espárrago requiere una nutrición balanceada y sostenida durante su ciclo productivo, dado que es un cultivo perenne que permanece en el mismo terreno por varios años. La demanda de nutrientes varía en función del rendimiento esperado, la edad del cultivo, las condiciones edafoclimáticas y la etapa fenológica en la que se encuentra la planta. Para diseñar un plan de fertilización adecuado, se debe considerar tanto la necesidad nutricional del cultivo como la extracción de nutrientes asociada a la cosecha de turiones.

Cabe señalar que las recomendaciones de fertilización pueden variar significativamente entre autores, ya que dependen de las condiciones locales de suelo y clima, el manejo agronómico, los objetivos de producción y los niveles de rendimiento esperados. Por ello, es común encontrar diferentes valores propuestos en la literatura técnica, los cuales deben ser ajustados a través de análisis de suelo y evaluaciones nutricionales específicas en cada región de cultivo.

Por ejemplo, en el Cuadro 5 se presentan las necesidades nutricionales estimadas para una esparraguera adulta, en función de distintos niveles de rendimiento, en condiciones del sur de Chile. Se observa que a medida que aumenta el rendimiento (de 1 a 10 toneladas por hectárea), se incrementa la demanda de nitrógeno (N), fósforo (P_2O_5) y potasio (K_2O), especialmente el nitrógeno, cuyo requerimiento pasa de 90 a 135 ($Kg\ ha^{-1}$). En contraste, la demanda de calcio (CaO) y magnesio (MgO) permanece relativamente constante, lo cual sugiere que estos elementos no están directamente relacionados con el volumen de producción sino con la estabilidad estructural y fisiológica de la planta (Hirzel, 2017).

Cuadro 4. Necesidades nutricionales del cultivo de espárrago en la zona centro-sur de Chile.

Necesidades nutricionales de una esparraguera adulta (Kg ha⁻¹)					
Rendimiento en (ton ha⁻¹)					
Elemento	1	3	5	8	10
N	90.0	100.0	110.0	125.0	135.0
P ₂ O ₅	16.0	18.0	20.0	23.0	25.0
K ₂ O	53.0	59.0	65.0	74.0	80.0
CaO	20.0	21.0	21.0	22.0	22.0
MgO	10.0	10.0	11.0	11.0	11.0

Fuente: Hirzel (2017)

De manera complementaria, en el Cuadro 5 se presenta la extracción de nutrientes estimada durante la cosecha de turiones, lo cual permite cuantificar el volumen de nutrientes que se remueve del sistema productivo y, por tanto, que debe reponerse mediante prácticas de fertilización. Al igual que en el caso de las necesidades nutricionales (Cuadro 4), el nitrógeno y el potasio son los elementos extraídos en mayor proporción, seguidos del fósforo. Los elementos secundarios como calcio (CaO) y magnesio (MgO) presentan valores de extracción más bajos (0.2 a 2.0 kg ha⁻¹ y 0.1 a 1.0 kg ha⁻¹, respectivamente), aunque no por ello deben descuidarse, ya que cumplen funciones estructurales y metabólicas esenciales en la planta.

Por su parte, Choto (2014) reporta valores similares para un rendimiento de 5 toneladas por hectárea, destacando también al nitrógeno (25 kg ha⁻¹) como el nutriente de mayor extracción, seguido por el potasio (20 kg ha⁻¹) y el fósforo (4 kg ha⁻¹). Además, incluye datos sobre nutrientes secundarios como el azufre (kg ha⁻¹), el magnesio y el calcio (1 kg ha⁻¹ cada uno), que, aunque extraídos en menor cantidad, son fundamentales para el equilibrio fisiológico del cultivo (Cuadro 6).

Cuadro 5. Extracción de nutrientes con la cosecha de turiones de espárrago.

Extracción anual de nutrientes con la cosecha (Kg ha ⁻¹)					
Elemento	Rendimiento en (ton ha ⁻¹)				
	1	3	5	8	10
N	5.0	15.0	25.0	40.0	50.0
P ₂ O ₅	1.0	3.0	5.0	8.0	10.0
K ₂ O	3.0	9.0	15.0	24.0	30.0
CaO	0.2	0.6	1.0	1.6	2.0
MgO	0.1	0.3	0.5	0.8	1.0

Fuente: Hirzel (2017)

Cuadro 6. Principales nutrientes extraídos por un cultivo de espárragos con un rendimiento de 5 toneladas por hectárea.

Nutriente	Kg ha ⁻¹
Nitrógeno	25
Potasio	20
Fósforo	4
Azufre	2
Magnesio	1
Calcio	1

Por otra parte, en el Cuadro 7 se presentan los rangos comunes de concentración de macro y micronutrientes en los primeros 30 cm del helecho de espárrago sano, evaluado entre 6 y 11 semanas después de la cosecha. Estos valores permiten establecer rangos de referencia diagnóstica para evaluar el estado nutricional del cultivo mediante análisis foliar. En el caso de los macronutrientes, el nitrógeno presenta el rango más amplio (2.5 – 4.0 %), seguido del potasio (1.90 - 3.50 %). En cuanto a los micronutrientes, destacan el hierro (50 - 150 ppm), el manganeso (30 - 160 ppm) y el boro (30 - 150 ppm), los cuales son esenciales para el metabolismo del cultivo y su adecuada productividad (Choto, 2014).

Cuadro 7. Concentración foliar óptima de macro y micronutrientes en helecho de espárrago sano (6–11 semanas después de la cosecha)

Macroelemento	Rango común (%)
Nitrógeno (N)	2.5 – 4.0
Fósforo (P)	0.20 – 4.0
Potasio (K)	1.90 – 3.50
Calcio (Ca)	0.60 – 1.50
Magnesio (Mg)	0.14 – 0.45
Azufre (S)	0.30 – 0.45

Microelemento	Rango común (ppm)
Manganeso (Mn)	30 – 160
Zinc (Zn)	20 – 60
Cobre (Cu)	5 – 15
Hierro (Fe)	50 - 150
Boro (B)	30 – 150
Molibdeno (Mo)	0.08 – 0.40

Fuente: Choto (2014)

Asimismo, diversos estudios han evaluado el impacto de la fertilización con macronutrientes sobre el rendimiento del cultivo de espárrago. En cuanto al nitrógeno, se ha determinado que aplicaciones en el rango de 90 a 100 Kg ha⁻¹ son generalmente adecuadas para favorecer el desarrollo y la producción de turiones, sin provocar excesivo crecimiento vegetativo (Krarup, 2005; Hossain *et al.*, 2006; León *et al.*, 2018).

Respecto al fósforo, se han reportado respuestas positivas en dosis que oscilan entre 100 y 225 Kg ha⁻¹. Sin embargo, se ha observado que aplicaciones superiores no necesariamente generan aumentos significativos en el rendimiento, lo cual sugiere un umbral óptimo para su eficiencia agronómica (Sommeville y Whalen, 2005; Drost, 2008; León *et al.*, 2018).

En el caso del potasio, dosis comprendidas entre 200 y 300 Kg ha⁻¹ han mostrado efectos positivos en la productividad del cultivo, contribuyendo al desarrollo

radicular, la calidad del turión y la resistencia a factores abióticos (Ramirez-Jimenez y Sadeghian-Khalajabadi 2009; León *et al.*, 2018).

Por otra parte, en condiciones agroclimáticas del Perú, se han establecido dosis de fertilización anual de 450 Kg ha⁻¹ de nitrógeno, 220 Kg ha⁻¹ de fósforo y 400 Kg ha⁻¹ de potasio, como parte de un manejo nutricional intensivo orientado a maximizar la producción comercial (Casas y Sánchez, 2008; García y García, 2012; León *et al.*, 2018).

10.- CONCLUSIÓN

El conocimiento de los requerimientos nutricionales del espárrago permite mejorar el crecimiento vegetativo, la formación de turiones y la calidad del follaje, lo que se traduce en una mayor productividad. Asimismo, identificar oportunamente los síntomas de deficiencia de nutrientes facilita su corrección en el momento adecuado, evitando afectaciones fisiológicas en la planta. Por ello, es fundamental fortalecer entre los productores el conocimiento técnico sobre la función conjunta de macro y micronutrientes en el cultivo del espárrago, con el objetivo de mejorar la eficiencia en la fertilización, minimizar pérdidas y asegurar una producción agrícola sostenible.

11.- BIBLIOGRAFÍA

Anaya, R. (2017). Situación Actual de la Exportación de Esparrago (*Asparagus officinalis*) en el Perú. (Tesis de licenciatura) Universidad Nacional Agraria La Molina.
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/server/api/core/bitstreams/fbf7acbe-f8ba-4b66-9f4a-caf229710e18/content>

Altar Produce. (2023). How To Save Asparagus Seeds. Disponible en:
<https://www.linkedin.com/pulse/how-save-asparagus-seeds-altar-produce-llc>.
Fecha de consulta: 26 de abril de 2025.

Brown. (2024). Planting Asparagus at My Farm. Disponible en:
<https://www.themarthablog.com/2023/04/planting-asparagus-at-my-farm.html>.
Fecha de consulta: 5 de mayo de 2025.

Baetz, U., Eisenach, C., Tohge, T., Martinoia, E., and De Angeli, A. (2016). Vacuolar chloride fluxes impaction content and distribution during early salinity stress. *Plant Physiology*, 172(2): 1167-1181
<https://doi.org/10.1104/pp.16.00183>

Barceló C., J., Nicolás R., G., Sabater G., B. y R. Sánchez T. (1995). Nutrición mineral. En: *Fisiología vegetal*. 7 ed. Ediciones Pirámide S.A., Madrid. 151-167 pp.

Bassil, E., Hu, H., and Brown, P. H. (2004). Use of phenylboronic acids to investigate boron function in plants. Possible role of boron in transvacuolar cytoplasmic strands and cell-to-wall adhesion. *Plant Physiology*, 136 (2): 3383–3395. <https://doi.org/10.1104/pp.104.040527>

Brandenberger, L., Shrefler, J., Rebek, E., and Damicone, J. (2014). Asparagus production (Fact Sheet HLA-6018). Oklahoma Cooperative Extension Service, Oklahoma State University. <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/asparagus-production.html>

Broadley, M., Brown, P., Cakmak, I., Rengel, Z., and Zhao, F. (2012). Function of nutrients: micronutrients. In Marschner's mineral nutrition of higher plants (pp. 191-248). Academic Press.

Buchanan, B. B. (1984). The ferredoxin/thioredoxin system: A key element in the regulatory function of light in photosynthesis. *BioScience*, 34 (6): 378-383.
<https://doi.org/10.2307/1309730>

Camacho-Cristóbal, J. J., and González-Fontes, A. (2007). Boron deficiency decreases plasmalemma H⁺ -ATPase expression and nitrate uptake, and promotes ammonium assimilation into asparagine in tobacco roots. *Planta*, 226 (2): 443–451. [10.1007/s00425-007-0494-2](https://doi.org/10.1007/s00425-007-0494-2)

Camacho-Cristóbal, J. J., Anzelotti, D., and González-Fontes, A. (2002). Changes in phenolic metabolism of tobacco plants during short-term boron deficiency. *Plant Physiology and Biochemistry*, 40 (12): 997–1002 pp.
[https://doi.org/10.1016/S0981-9428\(02\)01463-8](https://doi.org/10.1016/S0981-9428(02)01463-8)

Casas, A., and Sánchez, J. (2008). Developments in asparagus cultivation under desert conditions in Peru. *Acta Horti*, 776: 29–32 pp.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.776.1>

Choto. (2014). Asparagus Crop Walkers Guide. Horticultural Development Company. Disponible en:
[https://Asparagus%20crop%20walkers%20guide%20\(1\).pdf](https://Asparagus%20crop%20walkers%20guide%20(1).pdf)

Clarkson, D. T. and J. B. Hanson (1980). The mineral nutrition of higher plants. *Annu Rev Plant Physiol* 31: 239-298 pp.
<https://doi.org/10.1146/annurev.pp.31.060180.001323>

Clavijo P., J. 1994. Metabolismo de los nutrientes en las plantas. En: Fertilidad de suelos. Silva M., F. (ed.). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá, 13-28 pp.

Coudray, N., Zhang, Z., Clark, K. M., Ubarretxena, I., Beckstein, O., Dumont, M. E., et al. (2016). Structure of the borate transporter Bor1p by cryo-

EM. Biophysical Journal, 110 (3):137–138.

<https://www.cell.com/action/showPdf?pii=S0006-3495%2815%2901968-2>

Drost, D. (2008). High phosphorus applications at planting improve asparagus root growth and yield. *Acta Horti*, 776 (6): 63–68 pp.

<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.776.6>

Espárragos de Médano de Oro (2021). Manual del Cultivo del Espárrago. Disponible en: https://www.magyp.gob.ar/normativa/_pdf/20211001150109.pdf

Extensión de la Universidad de Minnesota (2023). Manejo de nutrientes en espárragos. Disponible en: <https://extension.umn.edu/vegetable-growing-guides-farmers/nutrient-management-asparagus#nitrogen%2C-phosphorus-and-potassium-recommendations-for-asparagus-2325862>. Fecha de consulta: 22 de marzo de 2025

FAOSTAT (2025). División de Estadística. Base de datos estadísticos corporativos de la Organización para la Agricultura y la Alimentación. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>. Fecha de consulta: 24 de abril de 2025.

Fehér, E. (1992). Asparagus. Akadémiai Kiadó, Budapest. 161 pp.

Ferrol, N., and Donaire, J. P. (1992). Effect of boron on plasma membrane proton extrusion and redox activity in sunflower cells. *Plant Science*, 86 (1):41–47 pp. [https://doi.org/10.1016/0168-9452\(92\)90177-N](https://doi.org/10.1016/0168-9452(92)90177-N)

Fleischer, A., O'Neill, M. A., and Ehwald, R. (1999). The pore size of nongraminaceous plant cell walls is rapidly decreased by borate ester cross-linking of the pectic polysaccharide rhamnogalacturonan II. *Plant Physiology*, 121 (3), 829–838 pp. [10.1104/pp.121.3.829](https://doi.org/10.1104/pp.121.3.829)

Fox, T. C., and Guerinot, M. L. (1998). Molecular biology of cation transport in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 49: 669–696 pp.

<https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.49.1.669>

García, S., and García, L. (2012). Evolution of soil chemical characteristics and yields after the installation of a commercial asparagus field in Ica. *Acta Horti*, 950 (26): 235–240 <https://doi.org/10.17660/ActaHortici.2012.950.26>.

González y Del Pozo (1999). El cultivo de Espárrago. Chillan: INIA, 22-36 pp.

Gonzalez-Fontes, A., Rexach, J., Navarro-Gochicoa, M. T., Herrera-Rodríguez, M. B., Beato, V. M., Maldonado, J. M., et al. (2008). Is boron involved solely in structural roles in vascular plants? *Plant Signaling and Behavior*, 3 (1):24–26 pp. [10.4161/psb.3.1.4812](https://doi.org/10.4161/psb.3.1.4812)

Guerrero, R. (1993). Los nutrientes de las plantas. En: Fertilización de cultivos en clima frío. (vol. 3). Monómeros Colombo Venezolanos S. A. (E.M.A.), Barranquilla, 9-13 pp.

Gupta, U. C. (1997). *Symptoms of molybdenum deficiency in crops. Better Crops International*, 11(2):12–15.

Hanson, J. B. (1984). The function of calcium in plant nutrition In: P. B. Tinker and A. Läuchli (eds) *Advances in Plant Nutrition*. Praeger, New York, 1, 149-208 pp. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19851993776>

Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., and Beaton, J. D. (2014). Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management (8th ed.). Pearson.

Hirzel, J. (2017). Fertilización del Cultivo de Espárrago. Disponible en: <https://www.web.inia.cl/wp-content/uploads/2017/09/6-Fertilizaci%C3%B3n-del-cultivo-del-esp%C3%A1rrago-Juan-Hirzel.pdf>

Höreth, S., Detterbeck, A., Ahmadi, H., Pongrac, P., and Clemens, S. (2015). Molecular analysis of within-plant Zn mobility in a metal hyperaccumulator and a crop model system. In *OF ABSTRACTS*, 4. 22 pp.

Hossain, K.L., Rahman, M.M., Banu, M.A., Khan, T.R., and Ali, M.S. (2006). Nitrogen fertilizer effect on the agronomic aspects of Asparagus

recemosus. Asian J. Plant Sci, 5 (6): 1012–1016 pp.

<https://doi.org/10.3923/ajps.2006.1012.1016>.

ICTA. (2004). GUÍA PARA EL CULTIVO DE ESPÁRRAGO. **Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas.** Guatemala: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Disponible en:

<https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Esparrago/Guia%20para%20el%20Cultivo%20de%20Esparragos,%202004.pdf>.

Krarp, A. (2005). Efecto de niveles de nitrógeno y densidades de población en los rendimientos de los primeros años de una esparraguera. Agro Sur, 33 (1): 20–28 <https://doi.org/10.4206/agrosur.2005.v33n1-03>.

Kruse, T., Gehl, C., Geisler, M., Lehrke, M., Ringel, P., Hallier, S., et al. (2010). Identification and biochemical characterization of molybdenum cofactor-binding proteins from Arabidopsis thaliana. Journal of Biological Chemistry, 285 (9): 6623–6635 pp. [10.1074/jbc.M109.060640](https://doi.org/10.1074/jbc.M109.060640)

León, L. A. (1994). Evaluación de la fertilidad del suelo. En: Fertilidad de suelos. Silva M., F. (ed.). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá, 154-186 pp.

León-Chang, D., Gutiérrez, P. P., Riojas, R., and Casas, A. (2018). Nitrogen, phosphorus and potassium levels in asparagus production. Acta Horticulturae, 1223 (12): 81–87. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1223.12>

Market Research Intellect. (2024). Asparagus Seeds Surge – How This Market is Redefining Agricultural Practices. Disponible en: <https://www.marketresearchintellect.com/blog/asparagus-seeds-surge-how-this-market-is-redefining-agricultural-practices/>. Fecha de consulta: 12 de mayo de 2025.

MAPA. (2014). Espárragos. **Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.** Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/eu/ministerio/servicios/informacion/esparragostcm35-102454.pdf>. Fecha de consulta: 13 de febrero de 2025

Marschner, H. (1995). Mineral Nutrition of Higher Plants. Second Edition. Academic Press. Harcourt Brace & Company, Publishers, London, 889 pp.

Marschner, H. (1998). Mineral Nutrition of higher plants. Academic Press, San Diego, 889 pp.

Martínez, S. (2023). GUIA DE ESTUDIO ESPÁRRAGO (*Asparagus officinalis*). Disponible en: https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/137660/mod_resource/content/1/UNIDAD%20E%20CULTIVO%20DE%20ESPARRAGO.pdf. Fecha de consulta: 20 de febrero de 2025.

Mendel, R. R., and Leimkühler, S. (2015). The biosynthesis of the molybdenum cofactors. JBIC Journal of Biological Inorganic Chemistry, 20 (2):337–347 pp. [10.1007/s00775-014-1173-y](https://doi.org/10.1007/s00775-014-1173-y)

Mengel, K., and Kirkby, E. A. (2001). Principles of plant nutrition (5th ed.). Kluwer Academic Publishers. 849 p.

Millán, G. S. (2014). Propagación *in vitro* de espárrago (*Asparagus officinalis* L.) Por organogénesis directa a partir de yemas del rizoma (Tesis de maestría, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.). Respositoria institucional. <https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/369/1/MILLAN-SOTO-G14.pdf>

Montes, A. y Holle, M. (1994). El Cultivo del Espárrago en el Trópico. Zamorano, 35 – 38 pp.

Moya, J. L., Gómez-Cadenas, A., Primo-Millo, E., and Talón, M. (2003). Chloride absorption in salt-sensitive Carrizo citrange and salt tolerant Cleopatra mandarin citrus rootstocks is linked to salt tolerance. Plant Science, 54 (383), 825-33 pp. [10.1093/jxb/erg064](https://doi.org/10.1093/jxb/erg064)

NETAFIM USA. (2010). Asparagus production manual. Disponible en: <https://www.netafimusa.com/globalassets/asparagus-production-manual.pdf>

Nuñez, E., Carbonell, E., Ponce, A., Caballero, C., Roque, J., Pineda, O. y Valdieso, L. (2005). Esparrago peruano: Manejo integrado de plagas. Lima: Servicio Nacional de Sanidad Agraria, 42-44 pp.

Olas, B. (2024). A Review of the Pro-Health Activity of *Asparagus officinalis* L. and Its Components. *Foods* 2024 , 13 (2): 288 pp.

<https://doi.org/10.3390/foods13020288>

Pardo,A.,Arbizu,J and Suso, M.L. 1997. Evapotranspiration and crop coefficients in white asparagus. *Acta Horticulturae* 449 (1): 187-192.

Ramirez-Jimenez, A., y Sadeghian-Khalajabadi, S. (2009). Respuesta del espárrago a nitrógeno, fósforo y potasio en la zona cafetera central de Colombia. *Cenicafe* 60 (3), 269–281 pp.

<https://www.cenicafe.org/es/publications/arc060%2803%29269-281.pdf>

Rao, I. M. (2009). Essential Plant Nutrients and Their Functions. Colombia. International Center for Tropical Agriculture, 11-16 pp.

Reid, R., and Hayes, J. E. (2005). Role of boron in plant health and growth. *Plant Biology*, 7 (2), 205-214 pp.

ReportLinker. (2023). Participación en la producción mundial de espárragos por país (toneladas métricas). Disponible en:

<https://www.reportlinker.com/dataset/35d11fa9ba518123a2aa5abfcf1b1e5cc7eac925>. Fecha de consulta: 15 de febrero de 2025

Rodríguez, M., Y Flórez, V. J. (2004). Elementos esenciales y beneficiosos. En M. Guzmán y J. López Gálvez (Eds.), *Ferti-riego: Tecnologías y programación en agroplasticultura* (pp. 25–36). CYTED.

<https://core.ac.uk/download/pdf/143458034.pdf>

SADER. (2024). El mundo del espárrago: un tesoro de nutrientes y sabores. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural Disponible en:

<https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-mundo-del-esparrago-un-tesoro-de-nutrientes-y-sabores>. Fecha de consulta: 26 de enero de 2025

Sandmann, G. and P. Boger 1983. The enzymatological function of heavy metals and their role in electron transfer processes in plants. In: A. Lauchli and R. L. Bielecki (eds) Encyclopedia of Plant Physiology, New Series, Vol 15A, Springer-Verlag, NY. 563-596 pp.

Shen, Z. G., Liang, Y. C., and Shen, K. (1993). Effect of boron on the nitrate reductase-activity in oilseed rape plants. Journal of Plant Nutrition, 16 (7): 1229–1239 pp. <https://doi.org/10.1080/01904169309364608>

Sánchez, C. (2018). “Determinación de la cosecha en espárrago (*Asparagus officinalis* L.) var. UC-157 F1 según los grados brix de sus raíces, en Virú, la libertad” (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional de Trujillo. <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e9697378-4b46-4070-81dc-ddd9ea969837/content>

SIAP. (2024). Panorama Agroalimentario 2024. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Gobierno de México. Disponible en: https://drive.google.com/file/d/1NXcDhaB63Z94wjRUVF6f_FK0Urv6cgvJ/view. Fecha de consulta: 5 de febrero de 2025

SIAP. (2022). Espárragos mexicanos. Esparrago. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Gobierno de México Disponible en: [https://www.gob.mx/agricultura/articulos/esparragos-mexicanos#:~:text=A%20nivel%20mundial%2C%20hay%20tres,nacen%20en%20tallos%20subterr%C3%A1neos\)%3A](https://www.gob.mx/agricultura/articulos/esparragos-mexicanos#:~:text=A%20nivel%20mundial%2C%20hay%20tres,nacen%20en%20tallos%20subterr%C3%A1neos)%3A) . Fecha de consulta: 4 de marzo de 2024

SIAP. (s.f.). Esparrago. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Gobierno de México. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/832816/esparrago_compressed.pdf. Fecha de consulta: 16 de mayo de 2025

Sommerville, D.W., and Whalen, J.K. (2005). Phosphorus fertilization and asparagus yield during establishment years. Can. J. Plant Sci. 85 (3): 687-692 pp. <https://doi.org/10.4141/P04-062>

Stevens, P. F. (2001). Angiosperm Phylogeny Website version 14, July 2017. Disponible en: <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>.

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., and Murphy, A. (2015). Plant physiology and development (6th ed.). Sinauer Associates. Emeritus, University of California, Santa Cruz, California, USA. 761 pp.

Teakle, N. L., Real, D., and Colmer, T. D. (2006). Growth and ion relations in response to combined salinity and waterlogging in the perennial forage legumes *Lotus corniculatus* and *Lotus tenuis*. *Plant and Soil*, 289, 369–383 pp.

USDA. (2024). Asparagus, raw. Database for the Iodine Content of Common Foods. Disponible en: <https://fdc.nal.usda.gov/>. Fecha de consulta: 18 de febrero de 2025

Vatansever, R., Ozyigit, I., and Filiz, E. (2017). Essential and beneficial trace elements in plants, and their transport in roots. A review. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 181: 464–482 pp.
<https://doi.org/10.1007/s12010-016-2224-3>

Will. (2022). Planta de Espárragos. Disponible en: https://es.123rf.com/photo_78655269_planta-de-esp%C3%A1rragos.html. Fecha de consulta: 29 de abril de 2025.

Wang, Z. Y., Tang, Y. L., Zhang, F. S., and Wang, H. (1999). Effect of boron and low temperature on membrane integrity of cucumber leaves. *Journal of Plant Nutrition*, 22 (3): 543–550 pp. <https://doi.org/10.1080/01904169909365650>

White, P. J., and Broadley, M. R. (2001). Chloride in soils and its uptake and movement within the plant: a review. *Annals of Botany*, 88 (6): 967–988 pp.
<https://doi.org/10.1006/anbo.2001.1540>

Zamora (1999). Principales Plagas y Enfermedades en el Cultivo de Espárrago (*Asparagus officinalis* L.). (Monografía de licenciatura) (Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro). Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3680/T11014>

[%20ZAMORA%20CAMARILLO%2c%20MARCO%20ANTONIO%20%20%20TESI
S.pdf?sequence=1&isAllowed=y](#)