



“Efecto de la aplicación foliar de boro, calcio y ácido indolbutírico sobre la producción de semilla de cebolla (*Allium cepa* L.)”

Carlos Guillermo GABRI MARTÍN

Director: Dr. Claudio R. Galmarini

Codirector: Dra. Verónica C. Soto

Comisión Asesora:

Dr. Ambrosio R. Bottini

Dr. Ricardo Melgar†

Tesis presentada para optar al título de

DOCTOR EN AGRONOMÍA

Universidad Nacional de Cuyo

Facultad de Ciencias Agrarias

Escuela de Posgrado

2025

Declaro que el material incluido en esta tesis es original producto de mi propio trabajo, salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros, y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en esta u otra institución.

Agradecimientos

A mi esposa Eugenia, por su comprensión y empuje a lo largo de la carrera, siempre allanando el camino para que pudiera alcanzar este objetivo.

A mis hijas María Emilia y Felicitas, por su paciencia en momentos de cansancio y por impulsarme a dar siempre mi mejor versión.

A mis padres Víctor y Liliana, por ser mi ejemplo a seguir y por inculcarme el valor del esfuerzo para conseguir grandes cosas.

A mi director Claudio, por brindarme su confianza desde el principio, por compartir su experiencia conmigo y por estar presente en cada una de las etapas de la carrera.

A mi codirectora Carolina, por alentarme y apuntalarme especialmente a partir del análisis de datos y posterior escritura del artículo científico y del presente escrito.

A Graciela Cuesta, por confiar en mi para emprender el programa de Doctorado y por orientarme en los inicios de la carrera, especialmente respecto al plan de trabajo.

A Alberto Ibañez, por brindarse al máximo y poner a disposición toda su experiencia para acompañarme y guiarme a lo largo de la carrera.

Al personal de la EEA San Juan de INTA, en especial a Hugo Morales y Andrés Castro por su colaboración en la puesta a punto y ejecución de cada uno de los ensayos.

A CONICET e INTA, por su respaldo en el marco de la beca doctoral cofinanciada CONICET-INTA.

A la Escuela de Posgrado de Facultad de Ciencias Agrarias de la UNCuyo por abrirme las puertas para formarme durante todos estos años.

A BAYER AG por permitirme seguir perfeccionándome e incursionando en el fabuloso mundo de la producción de semillas de hortalizas.

Publicaciones derivadas de la tesis

- Gabri, C. G.; Ibañez, A. A.; Güell, J. M.; Galmarini, C. R. 2020. Effect of Foliar application of boron, zinc and calcium on onion seed production. *Horticultura Argentina* 39 (99), pp 6-16. ISSN 1851-9342
- Gabri, C. G.; Soto, V. C.; Ibañez, A. A.; Galmarini, C. R. 2024. Foliar application of boron, calcium, and indole-3-butyric acid on onion plants to improve seed production. *Italian Journal of Agronomy*. 19 (2). <https://doi.org/10.1016/j.ijagro.2024.100008>

Resúmenes presentados en congresos

- Gabri, C. G.; Ibañez, A.; Galmarini, C. R. 2020. Aplicación foliar de nutrientes sobre la producción de semilla de cebolla. Libro de resúmenes. 1er Congreso Argentino de Semillas “Germinando Nuevas Ideas”, p 393
- Gabri, C. G.; Ibañez, A.; Galmarini, C. R. 2020. Aplicación foliar de fitohormonas sobre la producción de semilla de cebolla. Libro de resúmenes. 1er Congreso Argentino de Semillas “Germinando Nuevas Ideas”, p 394

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Índice de tablas.....	viii
Índice de figuras	x
Resumen	1
Abstract	2
CAPÍTULO I.....	3
1 Introducción	4
1.1 Importancia económica del cultivo de cebolla.....	4
1.1.1 A nivel mundial	4
1.1.2 A nivel nacional	4
1.2 Origen y distribución de la especie	5
1.3 Taxonomía y morfología.....	5
1.4 Fisiología de la cebolla	8
1.5 Producción de semilla de cebolla	10
1.6 Fertilización foliar	13
1.6.1 Fertilización foliar a base de nutrientes.....	13
1.6.2 Fertilización foliar a base de hormonas.....	15
1.7 Antecedentes de la aplicación de nutrientes y hormonas en la producción de semilla de cebolla.....	17
1.8 Hipótesis y objetivos.....	18
1.8.1 Hipótesis.....	18
1.8.2 Objetivos	18
1.9 Estructura de tesis.....	19
CAPÍTULO II.....	4
2 Efecto de la aplicación foliar de boro, calcio y zinc en la producción de semilla de cebolla de un cultivar de polinización abierta a campo.....	21
2.1 Introducción.....	21
2.2 Hipótesis y objetivos.....	22
2.2.1 Hipótesis.....	22
2.2.2 Objetivos	22
2.3 Materiales y métodos	22
2.3.1 Material vegetal	22
2.3.2 Manejo del cultivo	23

2.3.3	Diseño experimental	24
2.3.4	Tratamientos.....	24
2.3.5	Cosecha, trilla y limpieza de semillas.....	26
2.3.6	Variables evaluadas	27
2.3.7	Análisis estadístico	29
2.4	Resultados	29
2.4.1	Parámetros de rendimiento.....	29
2.4.2	Parámetros de calidad	32
2.4.3	Correlaciones entre las variables	32
2.5	Discusión.....	35
2.6	Conclusión	35
CAPÍTULO III.....		37
3 Efecto de la aplicación foliar de boro, calcio y ácido indol butírico en la producción de semilla de cebolla de un cultivar de polinización abierta en condiciones controladas		
		39
3.1	Introducción.....	39
3.2	Hipótesis y objetivos.....	40
3.2.1	Hipótesis.....	40
3.2.2	Objetivos	41
3.3	Materiales y métodos	41
3.3.1	Material vegetal	41
3.3.2	Manejo del cultivo	42
3.3.3	Diseño experimental	43
3.3.4	Tratamientos.....	44
3.3.5	Cosecha, trilla y limpieza de semillas.....	45
3.3.6	Variables evaluadas	46
3.3.7	Análisis estadístico	47
3.4	Resultados	47
3.4.1	Parámetros de rendimiento.....	47
3.4.2	Parámetros de calidad	48
3.4.3	Correlaciones entre las variables	48
3.5	Discusión.....	51
3.6	Conclusión	51
CAPÍTULO IV		53

4	Efecto de la aplicación de boro, calcio, ácido indol butírico y una combinación triple en la producción de semilla de cebolla de un cultivar de polinización abierta en condiciones controladas	54
4.1	Introducción.....	54
4.2	Hipótesis y objetivos.....	55
4.2.1	Hipótesis.....	55
4.2.2	Objetivos	55
4.3	Materiales y métodos	55
4.3.1	Material vegetal	55
4.3.2	Manejo del cultivo	56
4.3.3	Diseño experimental	57
4.3.4	Tratamientos.....	57
4.3.5	Cosecha, trilla y limpieza de semillas.....	59
4.3.6	Variables evaluadas	59
4.3.7	Análisis estadístico	59
4.4	Resultados	60
4.4.1	Parámetros de rendimiento.....	60
4.4.2	Parámetros de calidad	61
4.4.3	Correlaciones entre las variables.....	61
4.5	Discusión.....	63
4.6	Conclusión	64
	CAPÍTULO V	65
5	Efecto de la aplicación foliar de una mezcla triple de boro, calcio y ácido indol butírico en la producción de semilla de cebolla de una línea fértil y una línea androestéril a campo.....	67
5.1	Introducción.....	67
5.2	Hipótesis y objetivos.....	68
5.2.1	Hipótesis.....	68
5.2.2	Objetivos	68
5.3	Materiales y métodos	68
5.3.1	Material vegetal	68
5.3.2	Manejo del cultivo	69
5.3.3	Diseño experimental	71
5.3.4	Tratamientos.....	71
5.3.5	Cosecha, trilla y limpieza de semillas.....	72

5.3.6	Variables evaluadas	73
5.3.7	Análisis estadístico	73
5.4	Resultados	73
5.4.1	Parámetros de rendimiento.....	74
5.4.2	Parámetros de calidad	74
5.4.3	Correlaciones entre variables	75
5.5	Discusión.....	77
5.6	Conclusión	77
CAPÍTULO VI		78
6	Conclusiones finales	79
Bibliografía.....		82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Fechas de aplicación de los tratamientos en la temporada 2017-2018.	25
Tabla 2.2: Tratamientos asperjados vía foliar en ensayo a campo en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA en la temporada 2017-2018.	26
Tabla 2.3: Correlaciones entre las variables estudiadas y el rendimiento luego de la aplicación foliar de diferentes dosis de B, Zn y Ca en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA en la temporada 2017-2018.	33
Tabla 2.4: Efecto de la aplicación foliar de diferentes dosis de B, Zn y Ca sobre parámetros de rendimiento y calidad de semilla en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA en la temporada 2017-2018.	34
Tabla 3.1: Fechas de aplicación de los tratamientos en la temporada 2018-2019.	44
Tabla 3.2: Tratamientos asperjados vía foliar en ensayo en macetas en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA en la temporada 2018-2019.	45
Tabla 3.3: Correlaciones entre las variables estudiadas y el rendimiento luego de la aplicación foliar de diferentes dosis de B, Ca e IBA en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA en la temporada 2018-2019.	49
Tabla 3.4: Efecto de la aplicación foliar de diferentes dosis de B, Ca e IBA sobre parámetros de rendimiento y calidad de semilla en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA en la temporada 2018-2019.	50
Tabla 4.1: Fechas de aplicación de los tratamientos en la temporada 2019-2020.	57
Tabla 4.2: Tratamientos asperjados vía foliar en ensayo en macetas en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA en la temporada 2019-2020.	58
Tabla 5.1: Fechas de aplicación de los tratamientos en la temporada 2020-2021.	71
Tabla 5.2: Tratamientos asperjados vía foliar en ensayo a campo en la producción de semilla de cebolla de una línea fértil y una línea androestéril en la temporada 2020-2021.	72
Tabla 5.3: Correlaciones entre las variables estudiadas y el rendimiento luego de la aplicación foliar de un tratamiento combinado de B+Ca+IBA en la producción de semilla de cebolla de una línea fértil y una línea androestéril en la temporada 2020-2021.	75
Tabla 5.4: Efecto de la aplicación foliar de un tratamiento combinado de B+Ca+IBA sobre parámetros de rendimiento y calidad de semilla en la producción de semilla de cebolla de una línea fértil y una línea androestéril en la temporada 2020-2021.	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Representación esquemática del del tallo, hojas y raíces en una planta de cebolla.	6
Figura 1.2: Escapo e inflorescencia de la cebolla.	7
Figura 1.3: Flor y fruto de la cebolla.	8
Figura 1.4: Representación esquemática del ciclo bianual de la cebolla.	9
Figura 1.5: Cultivo comercial destinado a la producción de semilla híbrida de cebolla en la provincia de San Juan.	11
Figura 1.6: Uso de colmenas y polinización en producción de semilla de cebolla.	13
Figura 2.1: Imagen satelital del cuadro de ensayo en la temporada 2017-2018.	23
Figura 2.2: Sector seleccionado para el ensayo a campo en la temporada 2017-2018.	24
Figura 2.3: Aplicación foliar de diferentes dosis de B, Zn y Ca en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA en la temporada 2017-2018.	25
Figura 2.4: Ilustración de la metodología de aplicación foliar utilizada a campo para asperjar diferentes dosis de B, Zn y Ca en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA en la temporada 2017-2018.	25
Figura 2.5: Secado de umbelas en bolsas de malla luego de la aplicación foliar de diferentes dosis B, Zn y Ca en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA en la temporada 2017-2018.	26
Figura 2.6: Determinación del peso de mil semillas en laboratorio en la temporada 2017-2018.	28
Figura 2.7: Determinación de poder germinativo en INSEMI en la temporada 2017-2018.	29
Figura 2.8: Porcentaje de cuaje en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA luego de la aplicación foliar de diferentes dosis de B, Zn y Ca en la temporada 2017-2018.	30
Figura 2.9: Número de semillas por fruto en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA luego de la aplicación foliar de diferentes dosis de B, Zn y Ca en la temporada 2017-2018.	31
Figura 2.10: Rendimiento por umbela en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA luego de la aplicación foliar de diferentes dosis de B, Zn y Ca en la temporada 2017-2018.	31
Figura 2.11: Poder germinativo en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA luego de la aplicación foliar de diferentes dosis de B, Zn y Ca en la temporada 2017-2018.	32

Figura 3.1: Bulbo de cebolla Angaco INTA calibrado en la temporada 2018-2019.....	41
Figura 3.2: Disposición de los bulbos en macetas en la temporada 2018-2019.	42
Figura 3.3: Jaulón de ensayo en la EEA San Juan de INTA en la temporada 2018-2019.	43
Figura 3.4: Núcleos de abejas en el interior del jaulón en la temporada 2018-2019....	43
Figura 3.5: Imagen panorámica del ensayo en macetas bajo el jaulón en la temporada 2018-2019.	44
Figura 3.6: Ilustración de la metodología de aplicación foliar utilizada en macetas para asperjar diferentes dosis de B, Ca e IBA en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA en la temporada 2018-2019.	44
Figura 3.7: Aplicación con pulverizador manual en la temporada 2018-2019.....	45
Figura 3.8: Cosecha de cinco umbelas de cada unidad experimental en la temporada 2018-2019.	46
Figura 3.9: Conteo de flores, frutos y semillas para determinar las variables de estudio en la temporada 2018-2019.	46
Figura 3.10: Rendimiento por umbela en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA luego de la aplicación foliar de diferentes dosis de B, Ca e IBA en la temporada 2018-2019..	48
Figura 4.1: Distribución de bulbos en las macetas en la temporada 2019-2020.....	56
Figura 4.2: Colocación de núcleos de abejas en el interior del jaulón en la temporada 2019-2020.	56
Figura 4.3: Distribución de las macetas dentro del jaulón en la temporada 2019-2020.	57
Figura 4.4: Ilustración de la metodología de aplicación foliar utilizada en macetas para asperjar diferentes dosis de B, Ca e IBA en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA en la temporada 2019-2020.	58
Figura 4.5: Aplicación foliar con pulverizador manual en la temporada 2019-2020.	58
Figura 5.1: Imagen satelital de la ubicación del ensayo a campo en la temporada 2020- 2021.	69
Figura 5.2: Imagen del trasplante de la línea fértil en la temporada 2020-2021.	70
Figura 5.3: Grupo de colmenas colocadas en los bordes del cultivo en la temporada 2020-2021.	70
Figura 5.4: Imagen del diseño de bloques utilizado en el ensayo a campo en la temporada 2020-2021.....	71
Figura 5.6: Imagen de la aplicación del 16/10/2020 en ensayo a campo de la temporada 2020-2021.	72

Figura 5.6: Ilustración de la metodología de aplicación foliar utilizada a campo para asperjar el tratamiento combinado B+Ca+IBA en la producción de semilla de cebolla de una línea fértil y una línea androestéril en la temporada 2020-2021.	72
Figura 5.7: Ensayo a campo próximo a cosecha en la temporada 2020-2021.	73
Figura 5.8: Rendimiento por umbela en la producción de semilla de cebolla de una línea fértil y una línea androestéril luego de la aplicación foliar de un tratamiento combinado de B+Ca+IBA en la temporada 2020-2021.	74

RESUMEN

La cebolla (*Allium cepa* L.) es uno de los cultivos hortícolas más importantes a nivel mundial. El rendimiento y la calidad de semilla de cebolla dependen, entre muchos otros factores, de la fertilización utilizada. En el mundo se producen cultivares de polinización abierta (OP) e híbridos de primera generación (HF1), para lo cual se emplean líneas androestériles (MSL). Una variedad OP tiene rendimientos de semilla entre los 800 y 1200 kg. ha⁻¹ mientras que en HF1 disminuye hasta un 60%. En consecuencia, es necesario obtener un buen rendimiento de semillas para que la producción de semillas híbridas sea económicamente viable. La fertilización foliar permite suministrar nutrientes y reguladores de crecimiento a órganos específicos de la planta cuando distintos factores limitan su disponibilidad o entrega. El objetivo de esta tesis fue evaluar los efectos de la aplicación foliar de diferentes dosis de nutrientes (calcio y boro) y reguladores de crecimiento vegetal (ácido indolbutírico), en forma simple y combinada, sobre el rendimiento y la calidad en producción de semilla de cebolla. El estudio se llevó a cabo durante cuatro temporadas (2017-2018, 2018-2019, 2019-2020, 2020-2021), en condiciones controladas y de campo, utilizando líneas fértiles y líneas androestériles. A cosecha se evaluaron variables como rendimiento, cuaje, número de semillas por fruto, peso de mil semillas y germinación. La aplicación foliar de boro, calcio y ácido indolbutírico demostraron un efecto significativo sobre los parámetros de rendimiento sin afectar la calidad de semilla. Aplicaciones de boro, a razón de 500 ppm, aumentaron el rendimiento considerablemente respecto del control. El ácido indolbutírico aumentó el rendimiento cuando se aplicó en forma individual y combinado con boro y calcio en un 40 y 45% para líneas OP y MSL respectivamente. Estos resultados demuestran que dichas aplicaciones son efectivas en ambos tipos de líneas y son útiles para agricultores y empresas de semillas.

Palabras clave: fertilización foliar - nutrientes - reguladores de crecimiento - producción de semillas - *Allium cepa* L.

ABSTRACT

Onion (*Allium cepa* L.) is one of the most important vegetable crops worldwide. Yield and quality of onion seed depend, among many other factors, on the fertilization used. Open pollinated cultivars (OP) and first generation hybrids (F1H) are used around the world, which requires the use of male sterile lines (MSL). An OP variety has seed yields between 800 and 1200 kg. ha⁻¹ while in hybrids it decreases up to 60%. Consequently, for hybrid seed production it's necessary to obtain good seed yield to be economically viable. Foliar fertilization allows to apply nutrients and growth regulators to specific plant organs when different factors limit their availability or delivery. The objective of this thesis was to evaluate the effect of foliar application of different doses of nutrients (calcium and boron) and plant growth regulators (indole butyric acid), in a simple and combined way, on onion seed yield and quality. The study was carried out during four seasons (2017-2018, 2018-2019, 2019-2020, 2020-2021), in open field and controlled conditions, using fertile and male sterile lines. At harvest, variables such as seed yield, fruit set, number of seeds per fruit, weight of thousand seeds and germination were evaluated. Foliar application of boron, calcium and indole butyric acid showed a significant effect on yield parameters without affecting seed quality. Boron had the best performance at a rate of 500 ppm, increasing the seed yield considerably compared to the control. Indole butyric acid increased yield when was applied individually and combined with boron and calcium up to 40 and 45% for OP and MSL lines respectively. Applications are effective on both types of lines and are useful for growers and seed companies.

Keywords: foliar fertilization - nutrients – plant growth regulators – seed production - *Allium cepa* L.

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Importancia económica del cultivo de cebolla

1.1.1 A nivel mundial

La producción mundial de cebolla se estima en 106.000.000 t y una superficie estimada de 5.700.000 ha (FAOSTAT, 2023). De esta manera, la cebolla se posiciona entre las hortalizas con mayor superficie cosechada, sólo superada por la papa y el tomate (Jaldo Alvaro, 2017). Un número reducido de países concentran el 65% de la producción global. China e India son los principales países productores con 20.500.000 y 13.000.000 t respectivamente, seguidos por Estados Unidos, Egipto, Irán, Turquía, Pakistán, Brasil, Rusia y Corea (Galmarini 2018 a).

Los principales exportadores son Holanda, China, México, India, USA, Egipto, España, Nueva Zelanda y Argentina, mientras que los principales importadores son USA, Reino Unido, Malasia, Alemania, Arabia Saudita, Japón, Canadá, República Checa, Corea y Brasil (TRADEMAP, 2023). A pesar de tratarse de una de las hortalizas más consumidas, sólo se intercambia el 5,5% del volumen producido, lo que indica que los principales productores son, al mismo tiempo, los mayores consumidores (Jaldo Alvaro, 2017).

1.1.2 A nivel nacional

En Argentina se siembran entre 17.000 y 20.000 ha anuales por campaña, que rinden aproximadamente 600.000 a 750.000 t y que representan el 1% de la producción mundial. Argentina logra autoabastecerse de cebolla ya que tiene un consumo interno de 480.000 t. año⁻¹ y exporta alrededor del 30% de la producción (SAGYP, 2023). La distribución del cultivo en las distintas regiones del país permite ofrecer el producto en el mercado la mayor parte del año gracias al uso de distintas variedades, que se diferencian entre destinadas al consumo en fresco y a la industria (Iurman, 2012).

La provincia de Buenos Aires (Zona Sur) y el Valle de Río Negro son las mayores regiones productoras, seguidas por Mendoza, San Juan y Santiago del Estero. También se cultiva en otros puntos del país, pero su volumen es más reducido. Además, en los cinturones hortícolas de las grandes ciudades, especialmente Buenos Aires y Rosario, se produce cebolla para verdeo. Se estima que el 90% de la producción local se destina al consumo en fresco, con un consumo anual de 10-12 kg. habitante⁻¹, similar a los 11 kg. habitante⁻¹ del consumo mundial (SAGYP, 2023).

La necesidad de semillas de cebolla en el país oscila entre 150 y 200 t. año⁻¹ y también se encuentra totalmente abastecida por la producción nacional. Las principales zonas productoras de semilla se encuentran en los valles andinos del oeste del país, principalmente en San Juan y Mendoza. Se producen para mercado interno entre 120 y 150 t. año⁻¹ de semilla de cebolla, la mayoría cultivares de polinización abierta. Además, en los últimos años se radicaron en la zona productora numerosas empresas que producen entre 220 y 250 t. año⁻¹ de semillas híbridas para exportación (Galmarini, 2018 b; Albani, 2019).

1.2 Origen y distribución de la especie

La cebolla se cultiva desde épocas remotas, la mayoría de los botánicos opinan que ya no se puede encontrar en el estado silvestre. El primer registro proviene de Egipto, donde las cebollas aparecen talladas en las paredes de las pirámides y en las tumbas 2700 a. C. (Jones y Mann, 1963).

La zona de origen serían los actuales territorios de Irán y Pakistán (Hanelt, 1990; Fritsch y Friesen, 2002). Los centros secundarios de desarrollo y distribución fueron Asia Occidental y los países del Mediterráneo, desde donde fue introducida posteriormente en América a través de viajeros y emigrantes (Acosta *et al.*, 1993; Gomez, 2017).

1.3 Taxonomía y morfología

Según Rabinowitch y Brewster (1990), el género *Allium* se sitúa en el siguiente contexto taxonómico:

- Clase: Monocotiledónea
- Superorden: Liliflorales
- Orden: Asparagales
- Familia: Aliáceas
- Subfamilia: Alioideas
- Tribu: Alieas
- Género: *Allium*
- Especie: *Allium cepa* L.

La planta tiene un sistema radicular superficial y fibroso que no sobrepasa los 50 cm de profundidad (la mayor parte se extiende dentro de los 30 cm de la superficie del suelo (Hayward, 1938). La formación de nuevas raíces adventicias ocurre a partir del tallo a

medida que la planta crece y, al mismo tiempo, se produce la senescencia y la muerte de las raíces más antiguas (Yamaguchi, 1983).

La cebolla presenta dos tipos de tallo, uno en la base del bulbo, representado por un disco subcónico de entrenudos muy cortos y otro tipo constituido por los escapos florales desarrollados sobre la yema central o yemas axilares. Estos son huecos y presentan una dilatación en su mitad inferior (Brewster, 2008).

El tallo del que surgen las raíces es muy corto, el diámetro aumenta con el crecimiento y aparece como un cono invertido acortado cuando madura. Las hojas son huecas, aparecen en el corto cuello caulinar en sucesión apretada, y las vainas de las hojas viejas más externas recubren a las más jóvenes (Yamaguchi, 1983) (Figura 1.1).

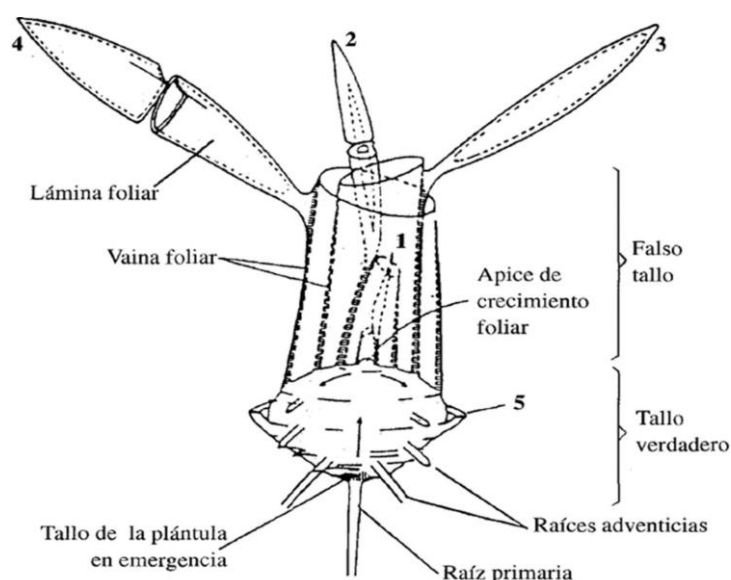


Figura 1.1: Representación esquemática del del tallo, hojas y raíces en una planta de cebolla. Extraído de Brewster, 2008

La inflorescencia es una umbela terminal, llevada por un escapo que alcanza una altura media de 0,90 m a 1,20 m, pero ocasionalmente puede alcanzar 1,80 m. Es subtendida por una espata apergaminada que consiste en dos o tres brácteas, que encierran la umbela hasta ser separadas por el desarrollo de las primeras flores (Hayward, 1938) (Figura 1.2).



Figura 1.2: Escapo e inflorescencia de la cebolla. Fotografías propias.

Las flores son actinomorfas y hermafroditas; están formadas por tres carpelos unidos en su pistilo, tres estambres interiores y tres exteriores, tres segmentos periantos interiores y tres exteriores (Parodi, 1978; González *et al.*, 2023). En la axila de los tres estambres inferiores se ubican los nectarios que segregan sustancias azucaradas para atraer insectos polinizadores (Galmarini, 1997; González *et al.*, 2023) (Figura 1.3). Presentan protandria, ya que las anteras liberan el polen antes de que el estigma esté receptivo, sin embargo, esto no evita que los agentes polinizadores traigan el polen desde otras flores de la misma umbela (Acosta *et al.*, 1994).

La estructura floral comprende: el ciclo más interno del gineceo compuesto por tres carpelos unidos en su pistilo, tres estambres interiores y tres exteriores, tres tépalos del perigonio interior y tres exteriores. El ovario contiene tres carpelos y tres lóculos y cada uno encierra dos óvulos (Currah y Ockendon, 1978).

El fruto de la cebolla es una cápsula trilocular, con dos óvulos por lóculo, que puede contener seis semillas (Fritsch y Friesen, 2002) (Figura 1.3). En las plantas que son buenas productoras de semillas hay normalmente de 3 a 4 semillas maduras en cada ovario (Galmarini, 1997; Brewster, 2008).

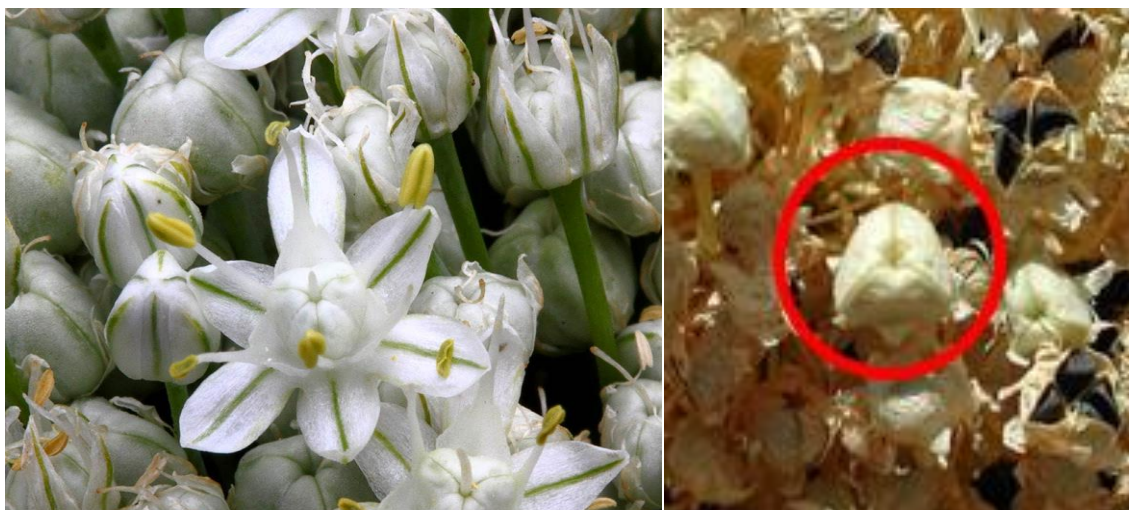


Figura 1.3: Flor y fruto de la cebolla. Fotografía de la derecha propia. Fotografía de la izquierda extraída de <https://www.vidaenlatierra.com/cebolla-allium-cepa/>.

1.4 Fisiología de la cebolla

La cebolla es una planta herbácea bienal que generalmente se cultiva como anual, excepto para la producción de semillas (Yamaguchi, 1983). Presenta el bulbo como una etapa invernal del ciclo de vida, que después de un período de frío invernal, florece en la primavera (Brewster, 2008). Según Guiñazú (1996), a lo largo del ciclo de la cebolla se distinguen las siguientes fases:

- *Fase de crecimiento herbáceo*: la planta desarrolla su sistema radicular y foliar, este mayor crecimiento ocurre cuando las temperaturas oscilan entre los 18 y 25 °C y la tasa de crecimiento disminuye con temperaturas superiores a los 30 °C. En este período la cebolla requiere los mayores niveles de fertilización.
- *Fase de formación de bulbos*: el desarrollo de la parte aérea se va paralizando y la planta comienza a acumular sustancias de reserva en la base de las hojas inferiores, que se engrosan formando el bulbo.
- *Fase de reposo vegetativo*: el bulbo está en latencia y la planta cesa su desarrollo.
- *Fase de reproducción sexual*: implica la floración, se observa el desarrollo de uno o varios tallos florales que rematan en la umbela.

Las secuencias de las fases señaladas pueden no sucederse en ese orden. Su ocurrencia dependerá del estado fenológico del cultivo y las condiciones del ambiente que puedan favorecer los procesos fisiológicos involucrados (Figura 1.4).

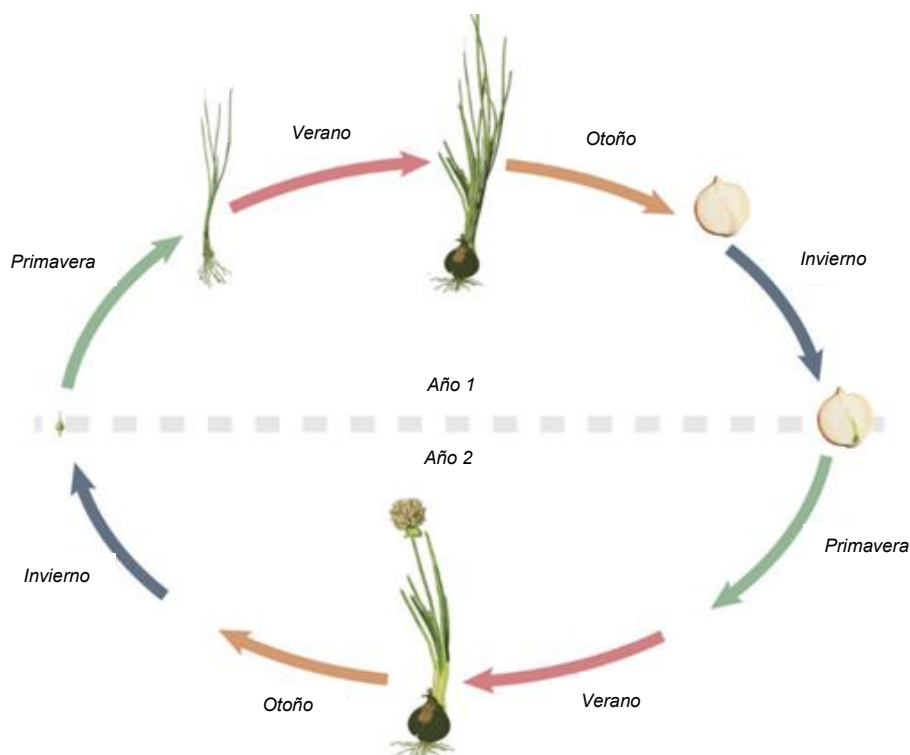


Figura 1.4: Representación esquemática del ciclo bianual de la cebolla. Fuente Lee *et al.*, 2013.

El bulbo se forma en condiciones favorables de duración del día y temperatura cuando la planta ha alcanzado una determinada etapa de crecimiento. La bulbificación ocurre cuando los días se alargan y los cultivares se clasifican según el fotoperíodo necesario para alcanzarla: día corto (requiere más de 12-13 horas), día intermedio (requiere más de 13-14 horas), día largo (requiere más de 14 horas) y día muy largo (requiere más de 16 horas) (Brewster, 2001).

La vernalización, el proceso por el cual la exposición a temperaturas frías induce la iniciación floral, es un requerimiento indispensable para la producción de semillas de cebolla (Chouard, 1960). Tal es así que tanto los productores de semillas como los obtentores deben comprender y manipular dicho fenómeno para lograr una floración uniforme (D'angelo y Goldman, 2019).

Las temperaturas que oscilan entre 2 y 17 °C, con un óptimo entre 7 y 12 °C, pueden producir vernalización (Wiebe, 1990). Sin embargo, plántulas con menos de 6 mm de diámetro y bulbillos de cebolla de menos de 16 mm de diámetro no se vernalizan (Shishido y Saito 1977; Yamaguchi, 1983; Brewster, 1987).

El requerimiento de bajas temperaturas puede cumplirse tanto durante el almacenaje de los bulbos, como durante el crecimiento de las plantas. No obstante, en ambos casos existe un tamaño crítico a partir del cual se logra esta inducción (Guiñazú, 1996).

Las plántulas deben pasar una fase juvenil para que sean receptivas al enfriamiento (Holdsworth y Heath, 1950). La fase juvenil depende del cultivar y puede variar desde la etapa de 4 a 14 hojas, después de lo cual las plantas se vernalizan durante 60 días (Shishido y Saito, 1976; Rabinowitch y Brewster, 1990; Khokhar, 2014).

La inflorescencia que aparece después de la vernalización presenta flores que se abren en forma irregular durante un período de dos y cuatro semanas (Galmarini, 1997). Las flores comienzan a abrirse en la parte superior de la umbela y progresa hacia abajo, debido a ello una planta que produce varias inflorescencias puede ir abriendo sus flores durante un mes o a veces más (Currah y Ockendon, 1978).

La ausencia de polinizadores naturales en las plantaciones de semillas de cebolla plantea un grave problema para los obtentores de todo el mundo (Wilkaniec *et al.*, 2004). Las abejas (*Apis mellifera* L.) son considerados los polinizadores más eficientes e importantes, debido a su comportamiento instintivo en la recolección de néctar y polen y la eficiencia en su transferencia (Williams y Free, 1974); de hecho, en la producción comercial de semillas, la industria depende de la abeja para la polinización (Mayer y Lunden, 2001).

Los cultivares de cebolla varían notablemente en muchos rasgos fisiológicos y hortícolas, por ejemplo, en la respuesta al fotoperíodo, a las temperaturas durante el almacenamiento y el crecimiento, en el contenido de materia seca, en el sabor, la pungencia, la forma, en el número, la adhesión y color de las catáfilas, y en el color de la pulpa (Brewster, 2008).

1.5 Producción de semilla de cebolla

En el mundo se producen 50.000 t de semilla de cebolla cada año, lo que representa un porcentaje importante del valor económico total de semillas de hortalizas comercializado (Galmarini, 2018 a). Los principales países productores son Estados Unidos, Países Bajos, Japón, Turquía, China, España, Italia, Francia, Australia, Chile, Argentina y Sudáfrica (Galmarini, 2018 a).

En Argentina, San Juan y Mendoza poseen excelentes condiciones agroecológicas y anualmente cultivan entre 800 y 1000 hectáreas anuales (Gaviola, 2020 b). Se producen aproximadamente 120 t de semilla de cebolla para abastecer el mercado interno (Acosta *et al.*, 1993; Gaviola, 2006, Galmarini, 2018 b). Además, existen empresas extranjeras que producen entre 220-250 t de semilla de cebolla por año para ser exportadas (Albani, 2019) (Figura 1.5).

Se emplean normalmente dos métodos para producir semillas: semilla-bulbo-semilla y semilla-semilla. El método semilla-bulbo-semilla sigue el ciclo bienal de la especie y

demanda entre 16 y 20 meses mientras que el método semilla-semilla permite la floración de las plantas y la cosecha de las semillas en 12 y 13 meses (Gaviola, 2020 a).

El método semilla-bulbo-semilla consiste en producir los bulbos en el primer ciclo para plantarlos en el segundo ciclo. Los bulbos cosechados en el primer ciclo se seleccionan de acuerdo con las características de la variedad (forma, color, tamaño y sanidad) y se conservan en ballenas a campo o en bins dentro de depósitos techados. Los bulbos se plantan en surcos, colocando uno al lado del otro (entre 8-10 bulbos por metro), cuidando posicionarlos con el tallo o disco hacia abajo, y luego se cubren con no más de 2-3 cm de tierra. En el método semilla-semilla la semilla se obtiene en un ciclo productivo y no permite hacer selección por las características de los bulbos por lo que siempre la semilla madre debe provenir del método bulbo-semilla. Puede hacerse por siembra directa, trasplante de almácigos o mediante cepellones (Gaviola, 2020 a).



Figura 1.5: Cultivo comercial destinado a la producción de semilla híbrida de cebolla en la provincia de San Juan.

Cultivares de polinización abierta (Open Pollinated - OP) e híbridos de primera generación (HF1) son empleados en todo el mundo (Sidhu *et al.*, 2004). Los HF1 ofrecen más vigor, uniformidad y combinan una mejor resistencia al estrés biótico y abiótico que los materiales OP, y brindan propiedad intelectual a los mejoradores (Colombo y Galmarini, 2017). Para la producción de semillas híbridas, es necesario cruzar una línea androestéril (MSL) con una fértil, por lo que el mejoramiento de híbridos comerciales de

cebolla requiere el desarrollo de MSL seleccionadas, mantenedores endogámicos y líneas de polinizadores endogámicos con buena aptitud combinatoria (Soto *et al.*, 2018). Una variedad OP tiene rendimientos de semilla que oscilan entre los 800 y 1200 kg. ha¹ (Galmarini, 2018 b). Por el contrario, el rendimiento de semillas híbridas es variable y mucho menor que para las variedades OP, con una disminución de hasta el 60% (Caselles *et al.*, 2019). Debido a esto, es imprescindible mejorar el rendimiento en la producción de semillas híbridas para lograr que dicha producción sea económicamente viable (Soto *et al.*, 2013; Gupta y Singh, 2016).

Caracteres florales como el tamaño, el color, el volumen de néctar y la composición de dicho néctar son los factores más importantes para atraer a las abejas (Muth *et al.* 2016). En cebolla, sin embargo, el tamaño de las anteras y los tépalos parecen ser los rasgos más importantes para la atraktividad de abejas, ya que líneas con tépalos más grandes y estilos más cortos muestran mayores rendimientos de semillas (Soto *et al.* 2013).

Si bien el néctar de cebolla no es particularmente atractivo para la abeja (Wilkaniec *et al.*, 2004), el perfil de azúcares y en particular la concentración de fructosa del néctar están altamente correlacionados con la frecuencia de búsqueda de alimento de las abejas en umbelas de cebolla (Soto *et al.*, 2021). Aumentar el rendimiento de semillas de cebolla depende en gran medida del aumento de la actividad de estos insectos polinizadores (Abrol, 2010) (Figura 1.6). Sin embargo, la mera colocación de colmenas de abejas en cultivos de semilla de cebolla no garantiza que se obtengan buenos resultados (Mayer y Lunden, 2001). Para variedades de polinización abierta 8 a 12 colmenas por hectárea son generalmente satisfactorias, mientras que en el caso de líneas androestériles, cuyas flores producen menos néctar, el número de colmenas de abejas debería casi duplicarse (Voss *et al.*, 2013). En ciertas condiciones, por ejemplo, en las jaulas de malla utilizadas por los mejoradores para aislar las plantas de los insectos portadores de polen no deseado, es común utilizar moscas (*Musca domestica*) ya que con abejas la polinización puede disminuir hasta sólo el 23-56% (Brewster, 2001; Gaviola, 2020 a).



Figura 1.6: Uso de colmenas y polinización en producción de semilla de cebolla.

1.6 Fertilización foliar

La fertilización foliar no sustituye a la fertilización tradicional de los cultivos, pero permite suplementar requerimientos nutrimentales del cultivo que no pueden abastecerse mediante la fertilización tradicional (Trinidad y Aguilar, 1999; Bhuyan *et al.*, 2012). Así, se convierte en un sistema complementario muy eficaz (Khan y Kuruwanshi, 2015) que permite, además, suministrar nutrientes a órganos específicos de la planta cuando la etapa de crecimiento del cultivo, la demanda interna de la planta y las condiciones ambientales limitan la entrega de estos (Fernández y Brown, 2013).

La fertilización foliar es una práctica habitual en cultivos de flores y plantas ornamentales (El-Naggar y El-Sayed, 2008; Abou-Sreea y Yassen, 2016), de árboles frutales (Saadati *et al.*, 2016; Kurešová *et al.*, 2019) y de hortalizas (El-Tohamy *et al.*, 2011; Dewdar *et al.*, 2018). La fertilización foliar es la más económica y efectiva, porque el producto rociado ingresa a través de los estomas o la cutícula de la hoja rápidamente a las células (Fageria *et al.*, 2009; Behairy *et al.*, 2015). Se aplican sustancias como: reguladores de crecimiento, bioestimulantes y macro o micronutrientes (Rajasekar *et al.*, 2017; Alshaal y El-Ramady, 2017).

1.6.1 Fertilización foliar a base de nutrientes

La fertilización foliar satisface los requerimientos de nutrientes secundarios (calcio, magnesio y azufre) y micronutrientes (zinc, manganeso, hierro, cobre, boro y molibdeno) (Patil y Chetan, 2018). Los nutrientes, especialmente boro, zinc y calcio, actúan como componentes metálicos de varias enzimas, como cofactores funcionales o como

reguladores que están asociados con el metabolismo de los carbohidratos, la fotosíntesis y la síntesis de proteínas (Hänsch y Mendel, 2009; Marschner, 2012).

- Boro

El boro (B) desempeña un papel importante en la diferenciación de las células de meristema (Brown *et al.*, 2002), transporte de carbohidratos (Wang *et al.*, 2003), metabolismo fenólico, metabolismo del nitrógeno y del ácido indolacético (Cervilla Medina, 2009). Además, interviene en el crecimiento del tubo polínico, viabilidad y germinación del polen (Blevins y Lukasevsky, 1998; Wang *et al.*, 2003), incremento del cuajado y rendimiento en diversos frutos (Botta *et al.*, 2007), aumento de la división celular o la síntesis de ácido nucleico en frutos en desarrollo, aumentando la retención de estos en la planta (Sánchez y Curetti, 2009).

En muchas especies la longitud del tubo polínico es significativamente mayor en presencia de boro y en algunas otras, el grano de polen solo germina en presencia de boro (Bárcenas *et al.*, 2003; Callejas *et al.*, 2006, Martí *et al.*, 2012). El boro es un microelemento de baja movilidad a través del floema por lo que los órganos florales y los frutos son sensibles a su deficiencia.

Se ha reportado que la deficiencia de boro retrasa el desarrollo de la antera y disminuye la viabilidad del polen en cereales y legumbres (Huang *et al.*, 2000; Pandey *et al.*, 2013; Atique-ur-Rehman *et al.*, 2018), en frutales (Ganie *et al.*, 2013; Fang *et al.*, 2019) y en hortalizas (Mehraj *et al.*, 2015; Ningawale *et al.*, 2016). Un aporte externo de boro en floración puede asegurar una retranslocación suficiente en esta etapa fenológica del cultivo (Botta *et al.*, 2007).

- Zinc

El zinc (Zn) es un micronutriente esencial cuya deficiencia limita el crecimiento y el rendimiento de las plantas (Kutman *et al.*, 2011). Influye en la estabilización de la fracción ribosomal y en la síntesis de citocromo (Grotz y Guerinot, 2006). Además, participa en el metabolismo de los carbohidratos, síntesis de proteínas y formación del polen, siendo esencial para la síntesis de auxinas, la división celular y el mantenimiento de la estructura y funciones de la membrana (Ishimaru *et al.*, 2011).

El Zn interviene en la regulación de la expresión de genes relacionados con la tolerancia a distintos tipos de estrés en plantas reduciendo efectos adversos de cortos periodos de calor y presencia de sales (Hafeez *et al.*, 2013). En especies deficientes en zinc se reduce el tamaño de las anteras, la capacidad de producir polen, su viabilidad y la receptibilidad del estigma (Pandey *et al.*, 2006). En exceso puede reducir la germinación

del polen y la tasa de crecimiento del tubo polínico, por lo que es importante ajustar la dosis a utilizar (Tuna *et al.*, 2002).

El pH alcalino, el alto contenido de carbonato de calcio, los bajos niveles de materia orgánica y el exceso de aplicación de fertilizantes fosfatados son las principales razones de la deficiencia de Zn en suelos calcáreos de regiones áridas y semiáridas (Marschner, 1995). La cebolla es sensible a la deficiencia de Zn y se espera una reducción significativa en el rendimiento y la calidad de esta hortaliza en condiciones de deficiencia de Zn, particularmente en suelos calcáreos (Alloway, 2008). La respuesta positiva de la planta de cebolla a la aplicación de fertilizantes de Zn al suelo se ha informado (El-Nagerabi y Ahmed, 2003), pero hay información limitada disponible sobre la eficacia de la aplicación foliar de Zn (Rafie *et al.*, 2017).

- Calcio

El calcio (Ca) es un nutriente esencial para la formación de membranas celulares y estructuras lipídicas, sus funciones celulares están principalmente relacionadas con estructura y como mensajero secundario que coordina las respuestas de numerosas señales de desarrollo y retos ambientales (White y Broadley, 2003). El calcio regula el transporte de otros nutrientes a la planta y ayuda a sintetizar el pectato de calcio (Kadir, 2004) que le confiere consistencia y rigidez a la pared celular, protegiendo los tejidos contra el ataque de hongos.

Plantas con deficiencia de Ca muestran un sistema radicular defectuoso y atrofiado (Nelson y Niedziela, 1998), por lo que es muy importante suministrarlo de forma externa para cultivos de raíces poco profundas, como la cebolla (Kumar *et al.*, 2018). Además, es un elemento importante en el crecimiento del tubo polínico (Hawkesford *et al.*, 2012).

1.6.2 Fertilización foliar a base de hormonas

Los reguladores del crecimiento de las plantas son sustancias químicas orgánicas, distintas de los nutrientes y las vitaminas, que regulan el crecimiento de las plantas cuando se aplican en pequeñas cantidades (Prajapati *et al.*, 2015). Influyen en los procesos fisiológicos vinculados al crecimiento, diferenciación y desarrollo, así como el movimiento estomático (Davies, 1995). Los reguladores del crecimiento vegetal han sido un componente importante en la producción agrícola incluso antes de la identificación de las hormonas vegetales y cumplen un papel interesante en la agricultura moderna (Gianfagna, 1995; Ashraf *et al.*, 2010).

El conocimiento generado sobre las hormonas en las plantas es lo que ha orientado a la industria agroquímica a desarrollar formulaciones a base de compuestos hormonales

naturales o sintéticos, para aplicarlos a las plantas y manipular sus eventos fisiológicos (Camargo *et al.*, 2009). Las formulaciones de los productos biorreguladores contienen uno o dos compuestos hormonales, cuya acción fisiológica está muy definida para cada evento o proceso fisiológico (Cuesta y Mondaca, 2014).

El uso de reguladores de crecimiento ofrece ventajas en términos de sostenibilidad agrícola, ya que pueden reducir el uso excesivo de fertilizantes y promover buenas prácticas agrícolas (Yadav, 2020). Los reguladores de crecimiento generalmente se aplican mediante aspersiones foliares y su efectividad no sólo depende del ingrediente activo utilizado. Deben proporcionarse las condiciones adecuadas para que el compuesto penetre en la planta, así como se debe prestar atención a las condiciones climáticas antes, durante y después del tratamiento (Rademacher, 2015).

- *Giberelinas*

Las giberelinas fueron descubiertas a principios del siglo XX durante el estudio de una enfermedad común del arroz producida por *Giberella fujikuroi* (Stowe y Yamaki, 1957). Desempeñan un papel importante en diversos procesos de crecimiento que incluyen el desarrollo de semillas, elongación de órganos, la senescencia y el control del tiempo de floración (Ozga y Reinecke, 2003; Ouzounidou *et al.*, 2011). Además, se sabe que facilitan el transporte y la asignación de fotoasimilados favoreciendo la descarga de azúcares desde las fuentes (Daie 1987), así como en la regulación de la estatura de la planta (Wang *et al.*, 2017) y la latencia de las semillas (Groot y Karssen, 1987).

Las giberelinas intervienen en varios procesos relacionados con el desarrollo de las flores, induciendo la formación de polen (Liu *et al.*, 2017) y estimulando el alargamiento de los filamentos (Gastaldi *et al.*, 2020), de hecho, aplicaciones de ácido giberélico (GA₃) exógeno muestran que mejora el desarrollo de anteras y polen (Li *et al.*, 2020). Estos estudios resaltan el papel potencial de los tratamientos con ácido giberélico al promover la fructificación y mejorar el rendimiento en diversos cultivos (Gao y Chu, 2020; Castro Camba *et al.*, 2022).

- *Auxinas*

Las auxinas son fundamentales en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Frick y Strader, 2018). Desempeñan un papel clave en la elongación celular, la diferenciación del tejido vascular, la dominancia apical, la floración y el cuajado de frutos (Enders y Strader, 2015; Devi *et al.*, 2018). La principal auxina activa es el ácido indol-3-acético (IAA) que se produce principalmente en yemas del ápice brotes y en las hojas jóvenes pero también en otros tejidos meristemáticos, flores, frutos y semillas jóvenes (Zazímalová *et al.*, 2010; Sadak *et al.*, 2013).

Durante décadas, el ácido indol-3-butírico (IBA) fue descrito como una auxina sintética que provocaba efectos similares a los de las auxinas (Zimmerman y Wilcoxon, 1935), pero estudios posteriores han demostrado que es un compuesto endógeno de diferentes especies (Korasick *et al.*, 2013). De hecho, muchas especies convierten IBA en IAA (Epstein y Ludwig-Müller, 1993).

Existen estudios que demuestran que la aplicación de auxinas aumenta el rendimiento de semillas. La respuesta depende de la concentración, el momento correcto de aplicación y la etapa de aplicación, así como de la sensibilidad varietal (Ghani *et al.*, 2013).

1.7 Antecedentes de la aplicación de nutrientes y hormonas en la producción de semilla de cebolla

El rendimiento y la calidad de semilla de cebolla dependen de componentes ambientales y genéticos (Voss *et al.*, 2013; Khokhar, 2014), del manejo en pos-cosecha (Rao *et al.*, 2006; Nikus y Mulugeta, 2010; Adongo *et al.*, 2015) y de prácticas de cultivo (Kumar *et al.*, 2018; Majumder *et al.*, 2018) como el tamaño de bulbo plantado (Mollah *et al.*, 2015; Debashis *et al.*, 2016) o la fertilización utilizada (Shehata *et al.*, 2012; Haque *et al.*, 2014). Referido a la fertilización, existen antecedentes de la aplicación foliar de nutrientes y fitohormonas en producción de semilla de cebolla.

Geetharani *et al.* (2008) reportaron aumentos en el rendimiento de semilla mediante aplicaciones de ácido bórico y reguladores de crecimiento durante la emergencia del tallo floral y el 10 % de floración. Abdelghafar *et al.* (2016) obtuvieron mejoras en rendimiento y de calidad de semilla de cebolla mediante la aplicación foliar de calcio, así como Mansoor *et al.* (2019) aumentaron el rendimiento de semilla con la aplicación foliar combinada de zinc y boro. Shehata *et al.* (2012) reportaron el aumento del peso de mil semillas con la aplicación foliar de boro.

Además, existen antecedentes locales sobre la aplicación foliar de nutrientes en cultivos de cebolla para semilla. En 2013, con la aplicación de tres dosis de boro en dos líneas de cebolla (OP y MSL) se observó que la mayor dosis produjo un aumento significativo en el número de semillas por fruto en los dos cultivares (Cuesta *et al.*, 2014). En 2014, también sobre una línea OP y una MSL, se evaluó el efecto de la aplicación de B, y la mezcla de B y Ca en dos cultivares de cebolla, una OP tipo torrentina y un híbrido de ciclo corto. Las umbelas tratadas con B mostraron mayor número de semillas por fruto, pero no se encontró efecto de la aplicación de Ca (Cuesta *et al.*, 2016).

A pesar de todo lo expuesto, actualmente continúan observándose grandes dificultades para alcanzar buenos rendimientos en la producción de semilla de cebolla,

especialmente cuando se utilizan líneas androestériles para la producción de híbridos de primera generación. Hasta el momento no se han encontrado alternativas económicamente viables que apunten a aumentar dichos rendimientos y la aplicación foliar con nutrientes y reguladores de crecimiento podría ser una buena opción.

1.8 Hipótesis y objetivos

1.8.1 Hipótesis

- Hipótesis general

- La aplicación foliar de nutrientes y ácido indolbutírico afecta el rendimiento y la calidad de semillas de cebolla.

- Hipótesis específicas

- La aplicación foliar de nutrientes y ácido indolbutírico incrementa el rendimiento de semillas tanto en líneas fértiles como en líneas androestériles.
- La aplicación foliar de nutrientes y ácido indolbutírico mejora la calidad de las semillas tanto en líneas fértiles como en líneas androestériles.
- La aplicación foliar de nutrientes y ácido indolbutírico aumenta el rendimiento de semillas en mayor medida cuando estos se aplican en forma combinada.
- El aumento en el rendimiento de semillas se debe a un mayor cuaje y número de semillas por fruto.

1.8.2 Objetivos

- Objetivo general

- Evaluar el efecto de la aplicación foliar de nutrientes y ácido indolbutírico sobre el rendimiento y la calidad de semillas de cebolla.

- Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de la aplicación foliar de nutrientes y ácido indolbutírico sobre los parámetros de rendimiento y calidad en la producción de semillas de cebolla.

- Evaluar el efecto de la aplicación foliar de nutrientes y ácido indolbutírico sobre el rendimiento de semillas en líneas fértiles y androestériles.
- Evaluar el efecto de la aplicación foliar de nutrientes y ácido indolbutírico, simples y combinados, sobre el rendimiento de semillas de cebolla.
- Evaluar el efecto de la aplicación foliar de nutrientes y ácido indolbutírico sobre cuaje y el número de semillas por fruto.

1.9 Estructura de tesis

A lo largo del estudio se ensayaron nutrientes y un regulador de crecimiento, partiendo de dosis sugeridas por la bibliografía, y realizando ensayos en condiciones controladas y a campo, sobre líneas fértiles y androestériles. Año tras año se fueron seleccionando las sustancias según su desempeño y probando mayores dosis y/o diferentes combinaciones.

El estudio se estructura en capítulos. El capítulo II comprende el primer año de estudio, en el que se realizó un ensayo exploratorio a campo con una línea OP y utilizando sólo nutrientes. El capítulo III abarca el segundo año de estudio, esta vez en condiciones controladas, con la misma línea OP y utilizando nutrientes y un regulador de crecimiento en forma simple. El capítulo IV comprende el tercer año de estudio, nuevamente en condiciones controladas, con la misma línea OP y utilizando nutrientes y un regulador de crecimiento en forma simple y combinada. El capítulo V abarca el cuarto año de estudio, en el que se realizó un ensayo a campo, utilizando el mejor tratamiento a lo largo de los años de estudio, sobre una línea fértil y una línea androestéril de un cultivo comercial de semillas. Finalmente, en el capítulo VI se expresan las conclusiones finales.

CAPÍTULO II

2 EFECTO DE LA APLICACIÓN FOLIAR DE BORO, CALCIO Y ZINC EN LA PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE CEBOLLA DE UN CULTIVAR DE POLINIZACIÓN ABIERTA A CAMPO

2.1 Introducción

La cebolla (*Allium cepa* L.) es una especie bienal de la familia Alliaceae, siendo la más cultivada de esta familia y la tercera hortaliza de importancia mundial (Zaman *et al.*, 2019; Triharyanto *et al.*, 2022). Anualmente se producen 50.000 t de semilla de cebolla, destacando como principales países productores Estados Unidos, Países Bajos, Japón, Turquía, China, España, Italia, Francia, Australia, Chile, Argentina y Sudáfrica (Galmarini, 2018 a).

El rendimiento y la calidad de semilla de cebolla dependen de componentes ambientales y genéticos (Voss *et al.*, 2013; Khokhar, 2014), del manejo en poscosecha (Adongo *et al.*, 2015) y de prácticas de cultivo (Kumar *et al.*, 2018;) como el tamaño de bulbo plantado (Debashis *et al.*, 2016) o la fertilización utilizada (Haque *et al.*, 2014). La fertilización foliar es un sistema complementario muy eficaz que permite suministrar nutrientes a órganos específicos de la planta cuando la etapa de crecimiento del cultivo, la demanda interna de la planta y las condiciones ambientales limitan la entrega de estos (Fernández y Brown, 2013).

Los nutrientes son elementos esenciales para el crecimiento y el desarrollo de las plantas. El boro (B) interviene en el desarrollo reproductivo, el zinc (Zn) actúa en la formación de enzimas y proteínas de las plantas (Hossain *et al.*, 2017) y el calcio (Ca) participa en el crecimiento de la raíz, brotes y tubo polínico, además de reducir efectos de estrés abiótico (Tuteja y Mahajan, 2007). En forma combinada, el B junto al Ca forman complejos con varios componentes de la pared celular (Ahmad *et al.*, 2009). También, B, Zn y Ca influyen diferencialmente en el rendimiento y en la calidad de los cultivos, tal como sucede en la producción de bulbos (Begum *et al.*, 2015) y en el rendimiento de semilla de cebolla (Hossain *et al.*, 2017). No obstante, es importante profundizar y esclarecer los efectos de la aplicación foliar de estos nutrientes individualmente sobre el rendimiento y calidad en producción de semilla de cebolla. En el presente capítulo se expone un ensayo de carácter exploratorio con el propósito de comenzar a ensayar diferentes nutrientes y dosis en un cultivo comercial a campo.

2.2 Hipótesis y objetivos

2.2.1 Hipótesis

- La aplicación foliar de boro, calcio y zinc incrementa el rendimiento en la producción de semilla de cebolla en líneas de polinización abierta.
- La aplicación foliar de boro, calcio y zinc mejora la calidad de la semilla de cebolla en líneas de polinización abierta.
- Existe una relación dosis - respuesta en la aplicación foliar de calcio, boro y zinc.

2.2.2 Objetivos

- Evaluar el efecto de la aplicación foliar de boro, calcio y zinc sobre parámetros de rendimiento en la producción de semilla de cebolla de una línea de polinización abierta.
- Evaluar el efecto de la aplicación foliar de boro, calcio y zinc sobre parámetros de calidad en la producción de semilla de cebolla de una línea de polinización abierta.
- Evaluar distintas dosis en la aplicación foliar de boro, calcio y zinc en la producción de semilla de cebolla de una línea de polinización abierta.

2.3 Materiales y métodos

2.3.1 Material vegetal

El estudio se realizó en la temporada 2017-2018 en una propiedad ubicada en el departamento de Pocito, provincia de San Juan (31°37'10,7"S 68°33'42,9"W) (Figura 2.1).



Figura 2.1: Imagen satelital del cuadro de ensayo en la temporada 2017-2018.

Se utilizó un cultivo destinado a la producción comercial de semilla de cebolla, realizado mediante el método bulbo-semilla, cuyos bulbos se trasplantaron el 20/03/17.

Los bulbos utilizados fueron del cultivar Angaco INTA, una variedad de polinización abierta (OP), tipo valencianita, de color amarillo y día corto, que presenta plantas no muy vigorosas, con abundante follaje de hojas finas y alargadas de color verde intenso (Acosta *et al.*, 1993). Esta variedad se seleccionó por ser la más difundida en la provincia de San Juan y originaria de la Estación Experimental Agropecuaria San Juan de INTA, ubicada en Pocito, centro neurálgico de la horticultura de esa provincia.

2.3.2 Manejo del cultivo

El cultivo se regó por surcos, sin descarga al pie, utilizando el programa fitosanitario y de fertilización que comúnmente realiza un productor en la provincia de San Juan (Luzi *et al.*, 2017).

Según muestras de suelo extraídas a una profundidad de entre 0 y 30 cm, el suelo presentó una textura franco - franco limosa y una conductividad eléctrica entre 1400 y 2800 $\mu\text{S. cm}^{-1}$. El análisis de fertilidad mostró niveles medios de nitrógeno (800-900 ppm), niveles muy buenos de fósforo (25 ppm) y niveles medios también de potasio (100 y 150 ppm). Se aplicaron 100 unidades de N. ha^{-1} , 40 unidades P. ha^{-1} y 40 unidades de K. ha^{-1} , utilizando como fuentes urea (46-0-0), fosfato mono amónico (11-52-0) y sulfato de potasio (0-0-50-18S).

Para el control de malezas, se utilizó en pre-emergencia Pendimetalín (Herbadox) (2 l. ha^{-1}) y en post-emergencia Haloxifop (Galant LPU) (2 l. ha^{-1}) y Linuron (Linurex 50) ($0,8 \text{ l. ha}^{-1}$). Para el control de peronospora se utilizó Mancozeb + Metalaxil (Manconyl) (250 g. hl^{-1}) y para el control de trips se utilizó Clorpirifós + Cipermetrina (Lorsban Plus) ($0,15 \text{ l. ha}^{-1}$).

2.3.3 Diseño experimental

La parcela experimental consistió en 5 bordos (1 m de ancho x 7 m de largo), en los 3 bordos centrales se realizaron las distintas mediciones de rendimiento y calidad de semilla. Se dejó 1 metro de bordura en ambos extremos de cada bordo. El diseño experimental fue completamente aleatorizado (DCA) con 4 repeticiones (Figura 2.2).



Figura 2.2: Sector seleccionado para el ensayo a campo en la temporada 2017-2018.

2.3.4 Tratamientos

Se realizaron cuatro aplicaciones foliares, la primera previo a floración, cuando la espata aún no terminaba de abrir, y las otras tres aplicaciones a los 7, 14 y 21 días posteriores a la primera (Tabla 2.1) (Figura 2.3). Los tratamientos se asperjaron con un pulverizador manual de compresión previa, utilizando $1,5$ litros de caldo por parcela experimental (400 l. ha^{-1}). A cada una de las soluciones se le agregó un coadyuvante comercial (alcohol láurico etoxilado 20%) a razón de $0,3 \text{ cm}^3 \text{ l}^{-1}$ (Figura 2.4).

Tabla 2.1: Fechas de aplicación de los tratamientos en la temporada 2017-2018.

Aplicación	Fecha	% de Floración
1	06/10/2017	0
2	13/10/2017	10
3	20/10/2017	25
4	27/10/2017	50



Figura 2.3: Aplicación foliar de diferentes dosis de B, Zn y Ca en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA en la temporada 2017-2018.

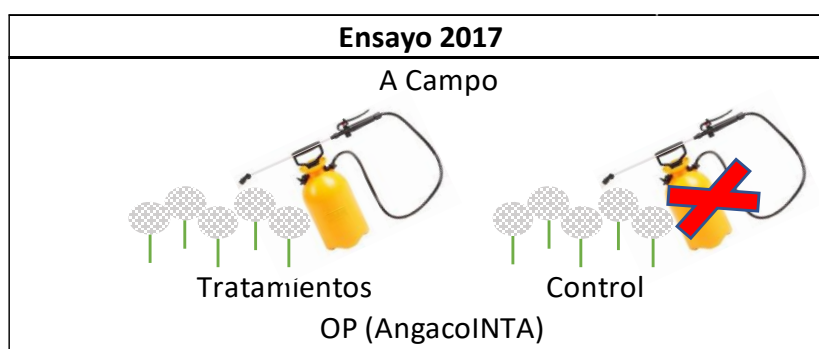


Figura 2.4: Ilustración de la metodología de aplicación foliar utilizada a campo para asperjar diferentes dosis de B, Zn y Ca en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA en la temporada 2017-2018.

Se utilizaron tres dosis para cada uno de los productos tomando como referencia las dosis citadas en los antecedentes bibliográficos. En el caso del boro (B) se utilizó ácido bórico (H_3BO_3) con dosis de 100, 200 y 300 ppm; para el zinc (Zn) se utilizó sulfato de

zinc (ZnSO_4) con dosis de 200, 400 y 800 ppm; y para el calcio (Ca) se utilizó nitrato de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) con dosis de 100, 300 y 500 ppm (Tabla 2.2).

Tabla 2.2: Tratamientos asperjados vía foliar en ensayo a campo en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA en la temporada 2017-2018.

Tratamientos			
Control	Ácido Bórico (H_3B_3)	Sulfato de Zinc (ZnSO_4)	Nitrato de Calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$)
-	100 ppm	200 ppm	100 ppm
	200 ppm	400 ppm	300 ppm
	300 ppm	800 ppm	500 ppm

2.3.5 Cosecha, trilla y limpieza de semillas

La cosecha se realizó el día 06/12/2017, las umbelas fueron colocadas en bolsas de malla para su posterior secado (Figura 2.5). Las bolsas fueron rotándose a diario y la humedad se controló cada dos días con un sensor de humedad John Deer® calibrado para cebolla. Cuando la humedad promedio llegó al 14% se procedió a la trilla, zaranda y aventado final. Las semillas limpias se recolectaron en bolsas y se pesaron para calcular el rendimiento de semillas y se expresaron en kilogramos por hectárea (kg. ha^{-1}).



Figura 2.5: Secado de umbelas en bolsas de malla luego de la aplicación foliar de diferentes dosis B, Zn y Ca en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA en la temporada 2017-2018.

2.3.6 Variables evaluadas

- *Porcentaje de cuaje*

Al momento de cosecha se seleccionaron 5 umbelas de cada unidad experimental, en las que se realizó el conteo de frutos cuajados y de flores no cuajadas o abortadas. Esta clasificación contempla la totalidad de elementos que contiene la umbela, por lo que la suma de los mismos corresponde al 100%, logrando obtener así el porcentaje de cuaje. Para determinar el porcentaje de cuaje, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de cuaje} = n^{\circ} \text{ de frutos} \times 100 / n^{\circ} \text{ frutos} + n^{\circ} \text{ de flores}$$

- *Número de semillas por fruto*

Del total de frutos cuajados de esas 5 umbelas, se eligieron 15 frutos al azar y se colocaron en bolsas de papel madera hasta su secado. Estos frutos fueron trillados a mano, realizando el conteo de y obteniendo así el número de semillas en 15 frutos para luego dividir en quince y expresar el resultado como número de semillas por fruto.

- *Rendimiento*

Las semillas limpias se pesaron para obtener el rendimiento por parcela y luego se calculó el rendimiento por umbela al dividir este valor por el número de umbelas presentes en cada parcela que se contaron previamente a la aplicación de los tratamientos. Los resultados se expresaron en g. umbela⁻¹.

- *Peso de mil semillas*

Para determinar el peso de mil semillas (PMS), se extrajeron 8 muestras de 100 semillas, se pesaron y se realizó un promedio. El promedio obtenido se multiplicó por 10 para obtener el PMS (ISTA, 2017) (Figura 2.6).

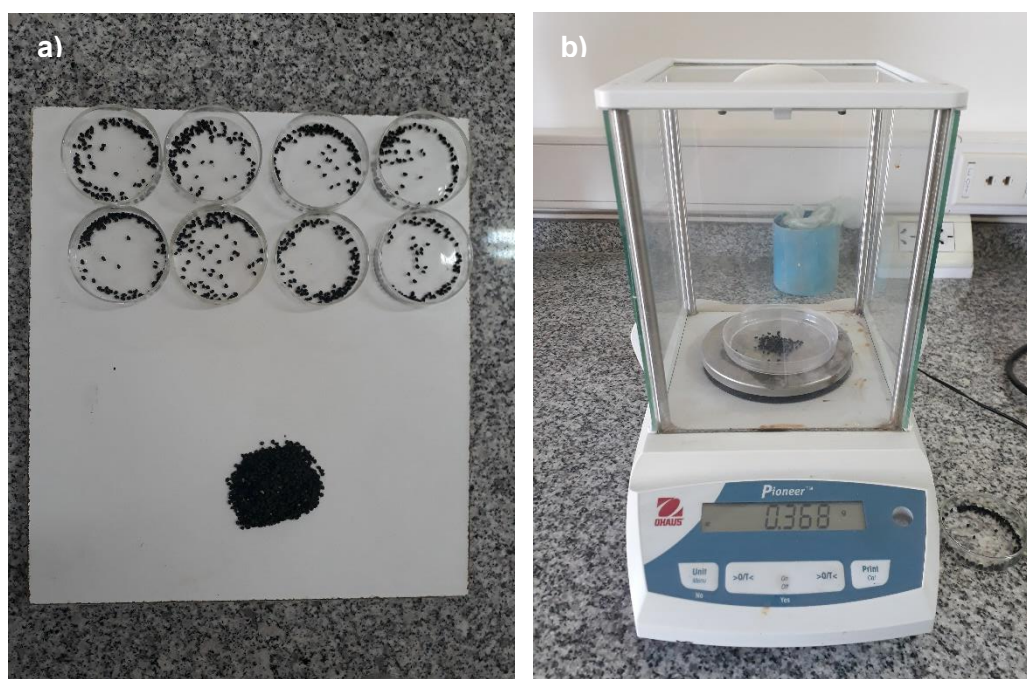


Figura 2.6: Determinación del peso de mil semillas en laboratorio en la temporada 2017-2018. a) Extracción de ocho muestras de cien semillas. b) Medición del peso de cada una de las muestras.

- Poder germinativo

La determinación del poder germinativo se realizó en las instalaciones del Instituto Semillero de la provincia de San Juan (INSEMI). En este instituto se realizan regularmente este tipo de análisis siguiendo las normas establecidas por la Asociación Internacional de Análisis de Semilla (ISTA, 2017) (Figura 2.7).

Para realizar dicha determinación, en laboratorio se sembraron sobre papel *tissue*, 4 repeticiones de 50 semillas para cada una de las parcelas evaluadas. Una vez sembradas, se colocaron en la cámara de pre frío (3 °C) por tratarse de semillas recientemente cosechadas y que aún podían encontrarse dormidas, donde permanecieron 3 días, para luego pasar definitivamente a la cámara de germinación a 20 °C durante 12 días. Los resultados se expresaron como el porcentaje de plántulas normales respecto del total de semillas sembradas.



Figura 2.7: Determinación de poder germinativo en INSEMI en la temporada 2017-2018. a) y b) Siembra y acondicionamiento de la muestra, c) Colocación de muestras en cámara de pre frío, d) Colocación de muestras en cámara de germinación.

2.3.7 Análisis estadístico

Todos los valores se expresaron como las medias $\pm$ desviación estándar de la media (DE) de cuatro repeticiones. Para analizar los datos se realizaron correlaciones, análisis de varianza (ANOVA) y las medias fueron comparadas empleando la prueba de significación de Tukey. Las diferencias se consideraron significativas si $p \leq 0,05$. Los datos se analizaron con el software estadístico InfoStat 2020 (Di Rienzo *et al.*, 2018) para Windows.

2.4 Resultados

2.4.1 Parámetros de rendimiento

- *Porcentaje de cuaje*

El porcentaje de cuaje fue significativamente mayor en todos los tratamientos con respecto al testigo. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre las 3 dosis de cada nutriente. En general, los tratamientos con boro arrojaron mayores porcentajes de cuaje que los tratamientos de zinc y calcio. Además, el tratamiento B200 (88,60) fue significativamente superior a los tratamientos Zn200, Zn400, Ca100 y Ca300 (Figura 2.8; Tabla 2.4).

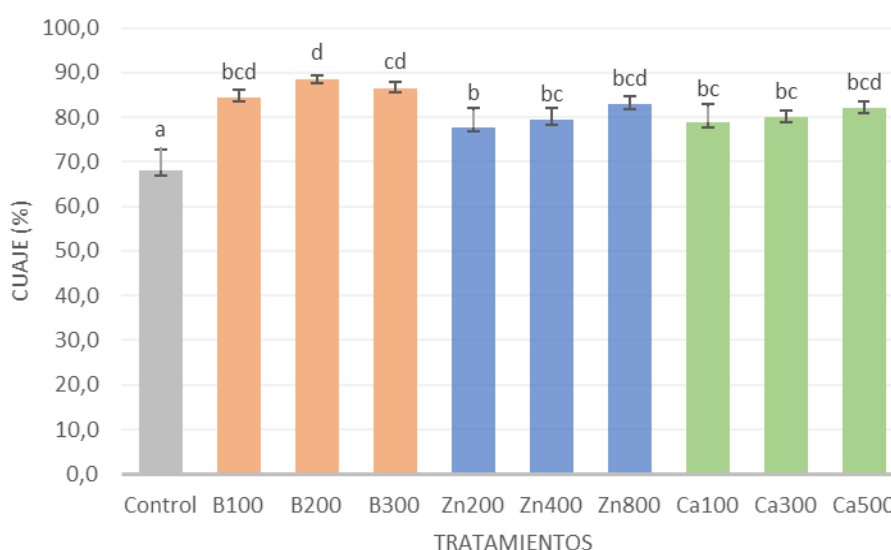


Figura 2.8: Porcentaje de cuaje en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA luego de la aplicación foliar de diferentes dosis de B, Zn y Ca en la temporada 2017-2018. Letras diferentes indican diferencias significativas para $p \leq 0,05$. Las barras de error corresponden a la desviación estándar de cuatro repeticiones.

- *Número de semillas por fruto*

En el número de semillas por fruto, los tratamientos B200 y B300 fueron significativamente superiores al testigo y a los tratamientos de Zn y Ca, independientemente de las dosis utilizadas. El tratamiento B300 aumentó 1,3 veces el número de semillas por fruto respecto al testigo (Figura 2.9; Tabla 2.4).

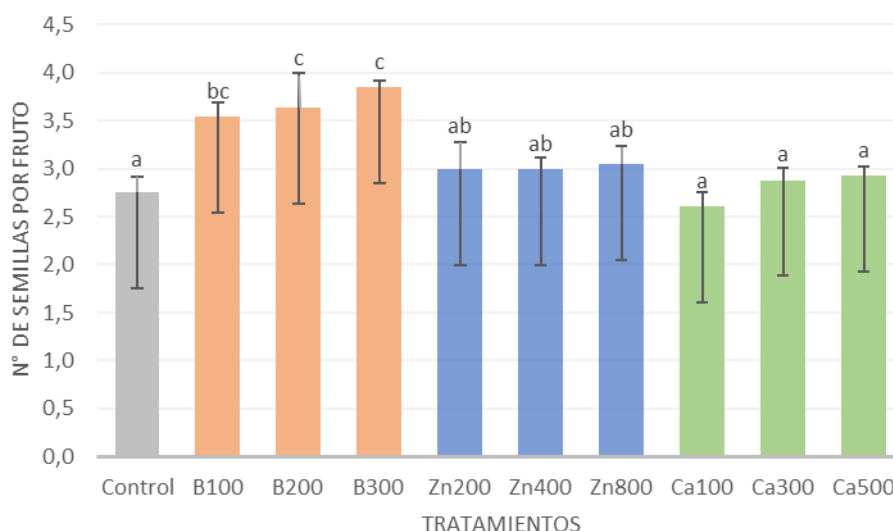


Figura 2.9: Número de semillas por fruto en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA luego de la aplicación foliar de diferentes dosis de B, Zn y Ca en la temporada 2017-2018. Letras diferentes indican diferencias significativas para $p \leq 0,05$. Las barras de error corresponden a la desviación estándar de cuatro repeticiones.

- Rendimiento

El rendimiento fue significativamente superior al testigo con los tratamientos B200, B300, Zn400 y Ca500. Sin embargo, dentro de cada nutriente, no hubo diferencias significativas entre las diferentes dosis, a excepción del B, donde sí se observó diferencias estadísticas entre B100 y B300. (Figura 2.10; Tabla 2.4).

Tanto las aplicaciones de boro como las de calcio evidenciaron una respuesta de la planta a las dosis aplicadas, donde mayores dosis se correspondieron con mayores rendimientos.

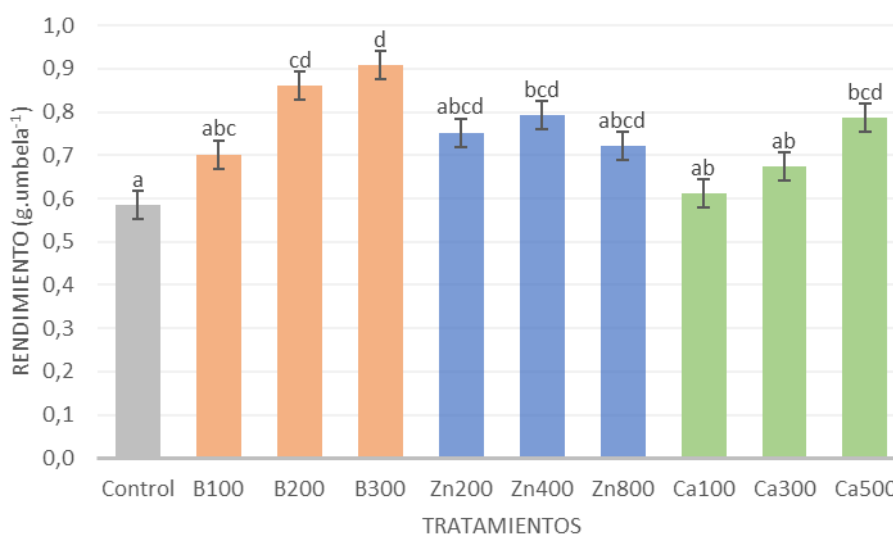


Figura 2.10: Rendimiento por umbela en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA luego de la aplicación foliar de diferentes dosis de B, Zn y Ca en la temporada 2017-2018. Letras diferentes indican diferencias significativas para $p \leq 0,05$. Las barras de error corresponden a la desviación estándar de cuatro repeticiones.

2.4.2 Parámetros de calidad

- *Peso de mil semillas*

No se observaron diferencias significativas para esta variable entre los tratamientos y el control, ni entre las diferentes dosis aplicadas (Tabla 2.4).

- *Poder germinativo*

El tratamiento Ca100 aumentó significativamente la germinación respecto del Zn200 y del testigo respectivamente (Figura 2.11; Tabla 2.4).

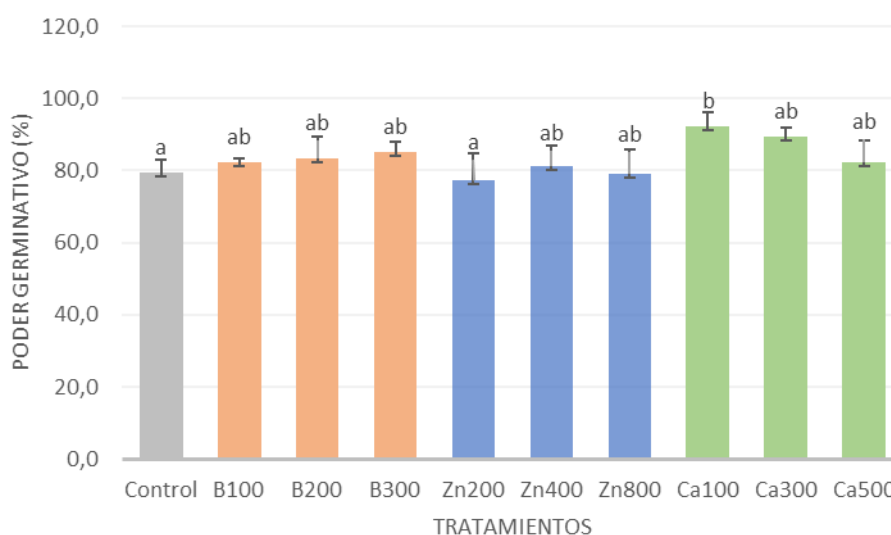


Figura 2.11: Poder germinativo en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA luego de la aplicación foliar de diferentes dosis de B, Zn y Ca en la temporada 2017-2018. Letras diferentes indican diferencias significativas para $p \leq 0,05$. Las barras de error corresponden a la desviación estándar de cuatro repeticiones.

2.4.3 Correlaciones entre las variables

En la temporada 2017-2018 se observó que tanto el porcentaje de cuaje como el número de semillas por fruto estuvieron correlacionados con el rendimiento de semillas (Tabla 2.3).

Tabla 2.3: Correlaciones entre las variables estudiadas y el rendimiento luego de la aplicación foliar de diferentes dosis de B, Zn y Ca en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA en la temporada 2017-2018.

Variable	Rendimiento (g. umbela ⁻¹)
	2017-2018
Porcentaje de cuaje (%)	0,68 ^{***}
Número de semillas por fruto	0,68 ^{***}
Peso de mil semillas (g)	0,23 ^{ns}
Poder germinativo (%)	-0,13 ^{ns}

*** significativa para $p \leq 0,001$, ns: no significativa

Tabla 2.4: Efecto de la aplicación foliar de diferentes dosis de B, Zn y Ca sobre parámetros de rendimiento y calidad de semilla en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA en la temporada 2017-2018.

Parámetros de Rendimiento y Calidad						
Tratamiento	Dosis (ppm)	Cuaje (%)	Semillas por fruto	Rendimiento (g. umbela ⁻¹)	Peso de mil semillas (g)	Germinación (%)
Control	-	67,98 ± 4,69 a	2,75 ± 0,17 a	0,58 ± 0,05 a	3,45 ± 0,12 a	79,33 ± 3,78 a
Boro	100	84,45 ± 1,82 bcd	3,54 ± 0,15 b	0,70 ± 0,08 abc	3,39 ± 0,18 a	82,17 ± 1,04 ab
	200	88,60 ± 0,85 d	3,63 ± 0,36 b	0,86 ± 0,05 cd	3,50 ± 0,13 a	83,33 ± 6,01 ab
	300	86,56 ± 1,27 cd	3,85 ± 0,07 b	0,91 ± 0,05 d	3,56 ± 0,05 a	85,17 ± 2,75 ab
Zinc	200	77,82 ± 4,28 b	2,99 ± 0,28 ab	0,75 ± 0,05 abcd	3,41 ± 0,1 a	77,17 ± 7,5 a
	400	79,36 ± 2,83 bc	2,99 ± 0,12 ab	0,79 ± 0,01 bcd	3,47 ± 0,17 a	81,17 ± 5,61 ab
	800	82,85 ± 1,89 bcd	3,05 ± 0,18 ab	0,72 ± 0,07 abcd	3,47 ± 0,17 a	79,17 ± 6,82 ab
Calcio	100	78,78 ± 4,11 bc	2,61 ± 0,14 a	0,61 ± 0,05 ab	3,47 ± 0,17 a	92,17 ± 4,01 b
	300	79,97 ± 1,67 bc	2,88 ± 0,13 a	0,67 ± 0,08 ab	3,55 ± 0,18 a	89,50 ± 2,29 ab
	500	81,99 ± 1,65 bcd	2,93 ± 0,09 a	0,78 ± 0,09 bcd	3,48 ± 0,07 a	82,17 ± 6,37 ab

Medias ± desviación estándar de cada tratamiento para cada una de las variables evaluadas. Letras diferentes para la misma variable indican diferencias significativas para $p \leq 0,05$.

2.5 Discusión

Las aplicaciones foliares de boro, zinc y calcio aumentaron significativamente el cuaje respecto del testigo. Las aplicaciones con boro en general y los tratamientos B200 y B300, en particular, fueron los que mejores resultados de cuaje mostraron entre todos los tratamientos y el testigo. Estos resultados concuerdan con los estudios de Geetharani *et al.* (2008) y de Kumar *et al.* (2018). Geetharani *et al.* (2008), demostró que la aplicación foliar de ácido bórico (100 ppm) aumenta el cuaje de frutos de las cebollas. La aplicación foliar de ácido bórico sobre las umbelas de cebolla podría afectar el crecimiento y desarrollo de los componentes reproductivos de la flor (tubo polínico, anteras, polen u óvulos) o simplemente producir un efecto de retención de flores similar al que sucede en plantas de berenjena investigadas por Suganiya y Kumuthini (2015). Kumar *et al.* (2018), demostraron que la aplicación de boro combinada con calcio y zinc incrementa el cuaje de frutos de cebolla. Esta interacción de boro con otros nutrientes es compleja y los efectos pueden ser sinérgicos o antagónicos, dependiendo de la especie, la variedad y las condiciones ambientales (Tariq y Mott, 2007).

El número de semillas por fruto fue superior cuando se aplicó boro, especialmente los tratamientos con dosis de 200 y 300 ppm. El boro aumentó el rendimiento por umbela en la dosis de 300 ppm respecto de las umbelas no tratadas. Los resultados obtenidos se asemejan a los aumentos de rendimiento de semilla reportados por Mansoor *et al.* (2019), quienes obtuvieron el máximo rendimiento de semillas (866 kg. ha⁻¹) utilizando con 0,3 kg. ha⁻¹ de boro.

Los efectos favorables obtenidos por las aplicaciones foliares de boro, zinc y calcio sobre el cuaje y el número de semillas por fruto, no se evidencian en el peso de mil semillas. Esto contrasta con las observaciones de Abdelghafar *et al.* (2016) en aplicaciones de carbonato cálcico, pero coincide con Laware y Raskar (2014) quienes tampoco observaron diferencias significativas con la aplicación foliar de nanopartículas de óxido de zinc con respecto a las plantas no tratadas.

La aplicación foliar con calcio aumentó el poder germinativo, de hecho, el tratamiento Ca en la dosis de 100 ppm fue significativamente superior al resto de los tratamientos. Estos resultados disienten de lo obtenido por Abdelghafar *et al.* (2016), quienes no reportaron diferencias significativas en el poder germinativo mediante la aplicación de carbonato cálcico.

2.6 Conclusión

Se observó que la aplicación foliar de boro, calcio o zinc mejoró el porcentaje de cuaje de los frutos, número de semillas por fruto y el rendimiento por umbela. Respecto a las variables de calidad, no se observaron diferencias en el peso de mil semillas, pero si en el poder germinativo a favor del calcio. En general, la aplicación de zinc no modificó los parámetros de calidad ni de rendimiento con respecto a las plantas no tratadas. Los mejores resultados se obtuvieron con las dosis medias y altas de los tres nutrientes. La aplicación de boro fue más consistente entre los parámetros de rendimiento, mientras que el calcio fue el único que mejoró alguno de los parámetros de calidad (poder germinativo). Además, ambos nutrientes evidenciaron una respuesta de la planta a las dosis aplicadas.

En base a lo anteriormente expresado, se decidió avanzar en un ensayo en condiciones controladas utilizando mayores dosis de boro y calcio, e incorporando un regulador de crecimiento (auxina), utilizado por muchos autores en ensayos previos y que es muy común en las formulaciones comerciales que se encuentran en el mercado.

CAPÍTULO III

3 EFECTO DE LA APLICACIÓN FOLIAR DE BORO, CALCIO Y ÁCIDO INDOLBUTÍRICO EN LA PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE CEBOLLA DE UN CULTIVAR DE POLINIZACIÓN ABIERTA EN CONDICIONES CONTROLADAS

3.1 Introducción

Aumentar el rendimiento de semillas de cebolla depende en gran medida del aumento de la actividad de las abejas (Abrol, 2010), como se mencionó en el punto 2.1, sin embargo, el rendimiento también depende prácticas de manejo como la fertilización utilizada. La aplicación foliar de nutrientes y reguladores de crecimiento es una práctica habitual en cultivos de hortalizas (Dewdar *et al.*, 2018) por ser económica y efectiva, permitiendo que el producto rociado ingrese a través de los estomas o la cutícula de la hoja rápidamente a las células (Behairy *et al.*, 2015).

Nutrientes como boro y calcio, actúan como componentes metálicos de varias enzimas, como cofactores funcionales o como reguladores que están asociados con el metabolismo de los carbohidratos, la fotosíntesis y la síntesis de proteínas (Hänsch y Mendel, 2009; Marschner, 2012). En especies hortícolas y frutales la longitud del tubo polínico es significativamente mayor en presencia de boro y en algunas especies el grano de polen solo germina en presencia de boro (Bárcenas *et al.*, 2003; Callejas *et al.*, 2006, Martí *et al.*, 2012). El calcio regula el transporte de otros nutrientes a la planta, ayuda a sintetizar el pectato de calcio y es un elemento importante en el crecimiento del tubo polínico (Kadir, 2004; Hawkesford *et al.*, 2012).

La aplicación de reguladores de crecimiento en ovarios polinizados o no polinizados de diversas especies, han llevado a la conclusión de que el establecimiento de frutos depende de las hormonas sintetizadas en el ovario o en la semilla en desarrollo luego de la polinización y fertilización (Gillaspy *et al.*, 1993), de hecho en el momento en que se produce el cese del crecimiento de ovario/óvulo a causa de un fracaso de la polinización y la fertilización, el nivel de hormona endógena cae a un nivel bajo (Ozga y Reinecke, 2003). En tales condiciones se puede intervenir con fitoreguladores, los cuales asumen el papel de hormonas naturales para estimular el crecimiento del fruto (Alpi y Tognoni, 1991).

Abu-Grab y Ebrahim (2000) demostraron que el uso de ácido naftalenacético (NAA) aumenta el rendimiento de semillas, el peso de mil semillas y la germinación. Además, Geetharani *et al.* (2008) reportaron rendimientos 22% mayores que el testigo utilizando ANA 100 ppm con aplicaciones entre la emergencia del escapo y un 10% de floración. Es importante destacar que la posibilidad de extrapolar la información referida a la aplicación de fitoreguladores está restringida por la dependencia de los resultados con

el genotipo, factores ambientales y metodología de aplicación hormonal: momento de aplicación, tipo y dosis de regulador (Agüero *et al.*, 2007).

Como se mencionó en el punto 2.6, en el presente estudio se decidió continuar con boro y calcio, incrementando las dosis a utilizar, e incorporando una auxina (ácido indolbutírico). Se realizó en condiciones controladas de sustrato, fertilización y riego para intentar aislar los resultados, evitando así interferencias con los tratamientos aplicados. De esta manera, los resultados obtenidos nos permitirían asegurar que se deben a las aplicaciones y no al resto de las condiciones.

3.2 Hipótesis y objetivos

3.2.1 Hipótesis

- La aplicación foliar de boro, calcio y ácido indolbutírico incrementa el rendimiento en la producción de semilla de cebolla de una línea de polinización abierta.
- La aplicación foliar de boro, calcio y ácido indolbutírico mejora la calidad de la semilla de cebolla de una línea de polinización abierta.
- Existe una relación dosis - respuesta en la aplicación foliar de boro, calcio y ácido indolbutírico en la producción de semilla de cebolla de una línea de polinización abierta.
- El aumento en el rendimiento de semilla se debe a un mayor cuaje y número de semillas por fruto.

3.2.2 Objetivos

- Evaluar el efecto de la aplicación foliar de boro, calcio y ácido indolbutírico sobre parámetros de rendimiento en la producción de semilla de cebolla de una línea de polinización abierta.
- Evaluar el efecto de la aplicación foliar de boro, calcio y ácido indolbutírico sobre parámetros de calidad en la producción de semilla de cebolla de una línea de polinización abierta.
- Evaluar el efecto de distintas dosis en la aplicación foliar de boro, calcio y ácido indolbutírico en la producción de semilla de cebolla de una línea de polinización abierta.
- Evaluar el efecto de la aplicación foliar de boro, calcio y ácido indolbutírico sobre cuaje y el número de semillas por fruto.

3.3 Materiales y métodos

3.3.1 Material vegetal

En la temporada 2018-2019, el ensayo se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria de INTA en Pocito, San Juan ($31^{\circ}39'13.7''$ S $68^{\circ}35'15.2''$ W). Como se explica en el punto 2.3.1, bulbos calibrados entre 5 y 7 cm de diámetro fueron trasplantados el 26/04/18 (Figura 3.1).



Figura 3.1: Bulbo de cebolla Angaco INTA calibrado en la temporada 2018-2019.

3.3.2 Manejo del cultivo

El ensayo se realizó en condiciones controladas, utilizando macetas cilíndricas de 60 cm de diámetro y 40 cm de alto. En cada una de las macetas se colocaron 10 bulbos homogéneamente distribuidos (Figura 3.2).



Figura 3.2: Disposición de los bulbos en macetas en la temporada 2018-2019.

Se utilizó un sustrato compuesto por 80% de suelo franco y 20% de turba. Según muestra de suelo presentó una textura Franco Arenosa y el análisis de fertilidad mostró niveles bajos de Nitrógeno (N), niveles muy altos de Fósforo (P) y niveles altos de Potasio (K).

El ensayo se regó utilizando dos laterales de riego de 16 mm sobre cada maceta, cada uno de ellos con dos goteros Netafim® de 2 l. h⁻¹. La fertilización se realizó mediante la técnica de fertirrigación, aplicando en total 120 unidades de N. ha⁻¹, 50 unidades P. ha⁻¹ y 50 unidades de K. ha⁻¹, utilizando como fuente nitrosulfato amónico o “T26” de Emerger Fertilizantes S.A. (26-0-0), ácido fosfórico (0-52-0) e Hydrocomplex de Yara Argentina S.A. (12-11-18). Para el control de peronospora se utilizó Mancozeb + Metalaxil (Manconyl) (250 g. hl⁻¹) y para el control de trips se utilizó Clorpirifós + Cipermetrina (Lorsban Plus) (0,15 l. ha⁻¹).

El ensayo se realizó en una estructura rodeada por malla antiáfidos (de ahora en adelante denominada “jaulón”), de 6 m de ancho por 9 m de largo y 3 m de alto para evitar el ingreso de agentes polinizadores externos (Figura 3.3).



Figura 3.3: Jaulón de ensayo en la EEA San Juan de INTA en la temporada 2018-2019.

Se utilizaron abejas (*Apis mellifera*) como polinizadores, que fueron introducidas en el “jaulón” conforme avanzaba la floración. Se colocaron cuatro núcleos en total, ingresando el primero el día 13/10/2018 (10% de floración), el segundo el día 20/10/2018 (25% de floración) y los dos restantes el día 27/10/2018 (50% de floración) (Figura 3.4).



Figura 3.4: Núcleos de abejas en el interior del jaulón en la temporada 2018-2019.

3.3.3 Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado (DCA) con cuatro repeticiones. La parcela experimental estuvo formada por cinco plantas, por lo que cada maceta contenía dos parcelas experimentales (Figura 3.5).



Figura 3.5: Imagen panorámica del ensayo en macetas bajo el jaulón en la temporada 2018-2019.

3.3.4 Tratamientos

Se realizaron tres aplicaciones foliares, la primera al inicio de floración y las otras dos aplicaciones a los 10 y 20 días posteriores a la primera (Tabla 3.1). Los tratamientos se asperjaron con un pulverizador manual y utilizando un coadyuvante comercial como se menciona en el punto 2.3.4 (Figuras 3.6 y 3.7).

Tabla 3.1: Fechas de aplicación de los tratamientos en la temporada 2018-2019.

Aplicación	Fecha	% de Floración
1	12/10/2018	5
2	22/10/2018	25
3	01/11/2018	50

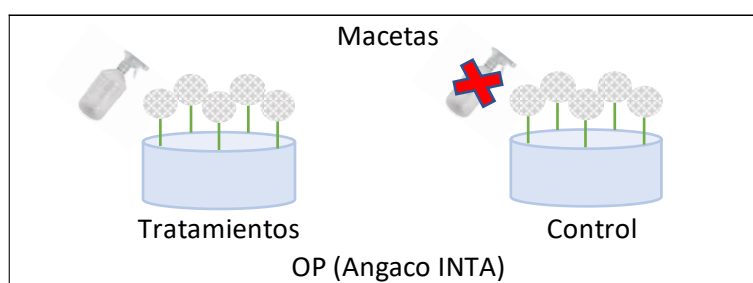


Figura 3.6: Ilustración de la metodología de aplicación foliar utilizada en macetas para asperjar diferentes dosis de B, Ca e IBA en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA en la temporada 2018-2019.



Figura 3.7: Aplicación con pulverizador manual en la temporada 2018-2019.

Se probaron tres dosis para cada una de las sustancias (Tabla 3.2). En el caso del Boro (B) se utilizó ácido bórico 99,5% DALTON® (H_3BO_3), para el Calcio (Ca) se utilizó nitrato de calcio ($\text{CaN}_2\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) BioPack® y para las auxinas se utilizó ácido 3-indolbutírico (IBA) ALKEMIT®.

Tabla 3.2: Tratamientos asperjados vía foliar en ensayo en macetas en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA en la temporada 2018-2019.

Tratamientos			
Control	Ácido Bórico (H_3B_3)	Nitrato de Calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$)	Ácido Indolbutírico (IBA)
-	300 ppm	400 ppm	25 ppm
	400 ppm	600 ppm	50 ppm
	500 ppm	800 ppm	100 ppm

3.3.5 Cosecha, trilla y limpieza de semillas

El día 10/12 se cosecharon cinco umbelas de cada unidad experimental para realizar las mediciones correspondientes (Figura 3.8). Una vez secas las umbelas, se procedió al conteo de flores, frutos, semillas y trilla manual de cada una de las umbelas, para realizar las determinaciones correspondientes (Figura 3.9).



Figura 3.8: Cosecha de cinco umbelas de cada unidad experimental en la temporada 2018-2019.



Figura 3.9: Conteo de flores, frutos y semillas para determinar las variables de estudio en la temporada 2018-2019.

3.3.6 Variables evaluadas

Se evaluaron las variables: porcentaje de cuaje, número de semillas por fruto, rendimiento, peso de mil semillas y poder germinativo, tal cual se describieron en el capítulo anterior, en el punto 2.3.6.

3.3.7 Análisis estadístico

Todos los valores se expresaron como las medias $\pm$ desviación estándar de la media (DE) de 4 repeticiones. Para analizar los datos se realizaron correlaciones, análisis de varianza (ANOVA) y las medias fueron comparadas empleando la prueba de significación de Tukey. Las diferencias se consideraron significativas si $p \leq 0,05$. Los datos se analizaron con el software estadístico InfoStat 2020 (Di Rienzo *et al.*, 2018) para Windows.

3.4 Resultados

3.4.1 Parámetros de rendimiento

- *Porcentaje de cuaje*

Todos los tratamientos, a excepción del Ca400 y Ca600, fueron significativamente superiores al testigo ($p \leq 0,05$) pero no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos. El tratamiento B500 (67,56%) obtuvo el mayor cuaje, seguido por B400 (66,82%) y el IBA100 (62,75%), mientras que el testigo obtuvo el menor valor (43,01%) (Tabla 3.4).

- *Número de semillas por fruto*

No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo, aunque es importante mencionar que la aplicación de boro mostró en promedio un mayor número de semillas por fruto (Tabla 3.4).

- *Rendimiento*

Para todos los tratamientos, a excepción del Ca400, el rendimiento fue significativamente superior al testigo ($p \leq 0,001$) pero no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, así como tampoco se observa una respuesta a la dosis utilizada (Figura 3.10).

El tratamiento IBA100 mostró el mayor rendimiento, seguido por B500 y Ca800 (1,62, 1,37 y 1,37 g. umbela⁻¹, respectivamente) mientras que el control obtuvo el menor (0,46 g. umbela⁻¹) (Tabla 3.4).

Esto significa que las aplicaciones foliares con IBA, B y Ca (600 y 800 ppm) incrementaron el rendimiento en un 108,3, 83,1 y 47,9% respectivamente en comparación con el testigo.

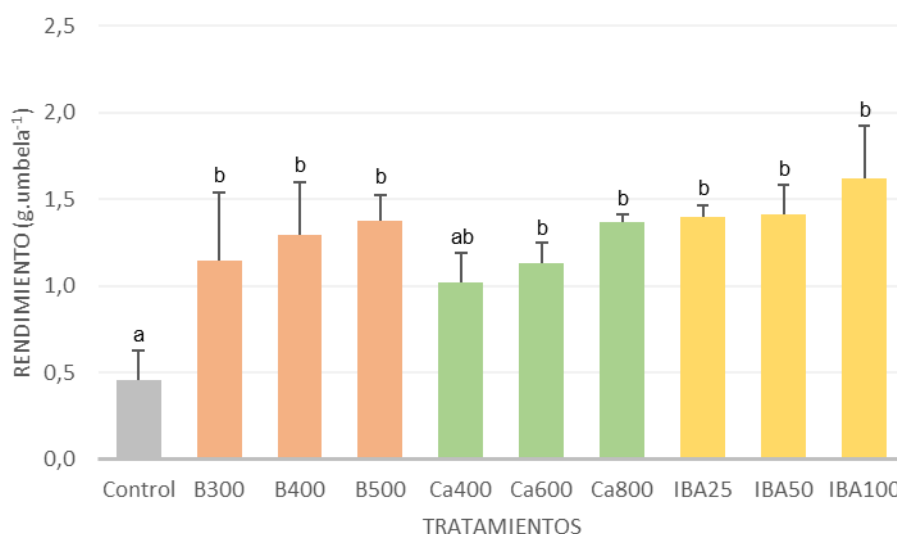


Figura 3.10: Rendimiento por umbela en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA luego de la aplicación foliar de diferentes dosis de B, Ca e IBA en la temporada 2018-2019. Letras diferentes indican diferencias significativas para $p \leq 0,05$. Las barras de error corresponden a la desviación estándar de cuatro repeticiones.

3.4.2 Parámetros de calidad

- *Peso de mil semillas*

No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo, aunque es importante mencionar que la aplicación de IBA mostró en promedio un peso de mil semillas superior al resto de las sustancias (Tabla 3.4).

- *Poder germinativo*

Al igual que ocurrió en el peso de mil semillas, en el poder germinativo no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo (Tabla 3.4).

3.4.3 Correlaciones entre las variables

En la temporada 2018-2019 se observó que tanto el porcentaje de cuaje como el número de semillas por fruto estuvieron correlacionados con el rendimiento de semillas (Tabla 3.3).

Tabla 3.3: Correlaciones entre las variables estudiadas y el rendimiento luego de la aplicación foliar de diferentes dosis de B, Ca e IBA en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA en la temporada 2018-2019.

Variable	Rendimiento (g. umbela ⁻¹)
	2018-2019
Porcentaje de Cuaje (%)	0,60 ^{***}
Número de semillas por fruto	0,39 [*]
Peso de mil semillas (g)	0,10 ^{ns}
Poder germinativo (%)	0,17 ^{ns}

^{*}, ^{***} significativa para $p \leq 0,05$ y $p \leq 0,001$ respectivamente, ns: no significativa

Tabla 3.4: Efecto de la aplicación foliar de diferentes dosis de B, Ca e IBA sobre parámetros de rendimiento y calidad de semilla en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA en la temporada 2018-2019.

Tratamiento	Dosis (ppm)	Parámetros de Rendimiento y Calidad				
		Cuaje (%)	Semillas por fruto	Rendimiento (g. umbela ⁻¹)	Peso de mil semillas (g)	Germinación (%)
Control	-	43,01 ± 3,67 a	3,41 ± 0,56 a	0,46 ± 0,17 a	4,01 ± 0,31 ab	86,23 ± 5,35 a
Boro	300	62,32 ± 2,17 bc	4,06 ± 0,55 a	1,15 ± 0,39 b	3,86 ± 0,09 ab	91,23 ± 1,57 a
	400	66,82 ± 4,38 c	4,10 ± 0,43 a	1,29 ± 0,30 b	3,72 ± 0,15 a	92,11 ± 2,21 a
	500	67,56 ± 8,47 c	4,19 ± 0,18 a	1,37 ± 0,15 b	3,97 ± 0,09 ab	90,89 ± 0,19 a
Calcio	400	52,84 ± 3,92 ab	3,36 ± 0,12 a	1,02 ± 0,17 ab	4,27 ± 0,21 ab	92,22 ± 1,39 a
	600	56,91 ± 7,43 abc	3,57 ± 0,24 a	1,13 ± 0,11 b	4,11 ± 0,21 ab	89,33 ± 2,31 a
	800	58,28 ± 2,79 bc	3,62 ± 0,33 a	1,36 ± 0,05 b	4,47 ± 0,41 b	87,67 ± 3,79 a
IBA	25	57,67 ± 2,79 bc	3,64 ± 0,32 a	1,39 ± 0,06 b	4,33 ± 0,04 ab	86,00 ± 8,0 a
	50	57,85 ± 2,54 bc	3,81 ± 0,42 a	1,41 ± 0,17 b	4,57 ± 0,31 b	89,78 ± 1,64 a
	100	62,75 ± 5,47 bc	3,85 ± 0,66 a	1,62 ± 0,30 b	4,11 ± 0,37 ab	91,11 ± 0,51 a

Medias ± desviación estándar de cada tratamiento para cada una de las variables evaluadas. Letras diferentes para la misma variable indican diferencias significativas para $p \leq 0,05$.

3.5 Discusión

Las aplicaciones foliares de IBA, B y Ca (600 y 800 ppm) aumentaron significativamente el rendimiento respecto del testigo. Además, la aplicación foliar de B y de IBA tuvo un efecto positivo en el porcentaje de cuaje.

Se ha reportado una correlación positiva entre el contenido de B en la planta y el número de flores, la proporción de flores no abortadas, el peso del fruto y la proporción de semillas estériles en algodón, soja, alfalfa, maíz y girasol (Tariq y Mott, 2007; Brdar-Jokanovic, 2020). En cebolla, el B podría tener el mismo efecto reportado en otras especies, mejorando los parámetros de rendimiento (Manna y Maity, 2016). Además, se ha informado que el B tiene efectos significativos sobre el porcentaje de germinación y la calidad de las semillas de cebolla (Archana y Pandey, 2022; Hossain *et al.*, 2017), aunque en el presente estudio no fueron observadas.

El Ca tiene un rol vital en el normal crecimiento, desarrollo y productividad de las plantas debido a su papel en el equilibrio de las paredes celulares y las estructuras de las membranas, aumentando la absorción de nutrientes y activando los procesos metabólicos (Hawkesford *et al.*, 2023). El presente estudio no mejoró los parámetros de rendimiento ni los parámetros de calidad de las semillas en comparación con las plantas no tratadas.

El ácido indolbutírico es una auxina que se utiliza para mejorar y acelerar la formación de raíces de plantas jóvenes, regular el crecimiento de flores y frutos y aumentar el rendimiento de los cultivos (Ashraf *et al.*, 2016). La mayoría de los trabajos en cebolla han reportado mejoras en el rendimiento y calidad de bulbos (Habba, 2003; Amin y El, 2007). Se han encontrado resultados similares utilizando otros reguladores de crecimiento como el ácido giberélico o el ácido indolacético (Hye *et al.*, 2002; Bista *et al.*, 2022). Estos antecedentes coinciden con lo obtenido en el presente estudio, ya que la aplicación foliar con IBA aumentó el rendimiento en mayor medida que el resto, pero sólo siendo significativamente superior al testigo.

3.6 Conclusión

La aplicación foliar de B, IBA y Ca (600 y 800 ppm) tuvo un efecto significativo en los parámetros de rendimiento, aumentando el rendimiento respecto al control, mientras que los parámetros de calidad no fueron afectados. Con los tratamientos con dosis medias a altas de B (400-500 ppm), Ca (600-800 ppm) e IBA (50-100 ppm) se obtuvieron los mejores resultados, pero no existe interacción entre la dosis utilizada y el rendimiento

obtenido. Se requiere elevar la dosis aplicada para evaluar si es posible seguir aumentando los parámetros deseados. Los aumentos en el rendimiento que presentan B e IBA se deben a un mayor número de frutos (cuaje) y no a un mayor número de semillas por fruto. En base a los resultados obtenidos, se decidió incrementar las dosis utilizadas de B, Ca e IBA y comenzar a ensayar un tratamiento combinado de las tres sustancias.

CAPÍTULO IV

4 EFECTO DE LA APLICACIÓN DE BORO, CALCIO, ÁCIDO INDOLBUTÍRICO Y UNA COMBINACIÓN TRIPLE EN LA PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE CEBOLLA DE UN CULTIVAR DE POLINIZACIÓN ABIERTA EN CONDICIONES CONTROLADAS

4.1 Introducción

Los productores constantemente se enfrentan al desafío de optimizar la producción y obtener cultivos de alta calidad bajo condiciones variables (Yeshiwas *et al.*, 2023). Los bioestimulantes tienen la capacidad de alterar las rutas del metabolismo primario y secundario de las plantas, potenciando el rendimiento en un breve periodo de tiempo y de forma rentable (Malik *et al.*, 2021). En la última década, la industria de los bioestimulantes vegetales ha crecido de forma sostenida en el sector agrícola y se ha convertido en una de las estrategias emergentes más importantes para mejorar el rendimiento y la calidad de los cultivos, así como incrementar la resistencia al estrés biótico y abiótico (García Morales *et al.*, 2021).

La fertilización foliar satisface los requerimientos de nutrientes como calcio y boro, vitales para la actividad fisiológica de la planta (Abo-Hamad y El-Feky, 2014; Patil y Chetan, 2018), así como de reguladores de crecimiento, que permiten un mayor crecimiento y desarrollo de las plantas (Campos *et al.*, 2023). Numerosos estudios han informado que la combinación de nutrientes o biorreguladores tiene mejor resultado que la sustancia única aplicada (Amin y El, 2007; Zaman *et al.*, 2019).

El presente estudio se realizó nuevamente en condiciones controladas y como se mencionó en el punto 3.6, se incrementaron las dosis de B, Ca e IBA. A y se planteó un tratamiento combinando las tres sustancias, utilizando la dosis media de cada una de ellas.

4.2 Hipótesis y objetivos

4.2.1 Hipótesis

- La aplicación foliar de boro, calcio, ácido indolbutírico y su triple combinación incrementan el rendimiento en la producción de semilla de cebolla de una línea de polinización abierta.
- La aplicación foliar de boro, calcio, ácido indolbutírico y su triple combinación mejoran la calidad de la semilla de cebolla de una línea de polinización abierta.
- Existe una relación dosis - respuesta en la aplicación foliar de boro, calcio, ácido indolbutírico y su triple combinación
- El aumento en el rendimiento de semilla se debe a un mayor cuaje y número de semillas por fruto.

4.2.2 Objetivos

- Evaluar los efectos individuales y combinados de la aplicación foliar de boro, calcio y ácido indolbutírico sobre parámetros de rendimiento en la producción de semilla de cebolla de una línea de polinización abierta.
- Evaluar los efectos individuales y combinados de la aplicación foliar de boro, calcio y ácido indolbutírico sobre parámetros de calidad en la producción de semilla de cebolla de una línea de polinización abierta.
- Evaluar distintas dosis y combinaciones en la aplicación foliar de boro, calcio y ácido indolbutírico en la producción de semilla de cebolla de una línea de polinización abierta.
- Evaluar el efecto de la aplicación foliar de boro, calcio, ácido indolbutírico y una triple combinación sobre cuaje y el número de semillas por fruto.

4.3 Materiales y métodos

4.3.1 Material vegetal

En la temporada 2019-2020 se realizó un nuevo ensayo en condiciones controladas en la misma ubicación que en la temporada anterior, la Estación Experimental Agropecuaria San Juan de INTA.

Se utilizaron bulbos de Angaco INTA que fueron calibrados como se explicó en el capítulo III, punto 3.2.1 y fueron plantados el 29/04/2019.

4.3.2 Manejo del cultivo

Se utilizaron las mismas macetas y condiciones de sustrato, riego y fertilización indicadas en el punto 3.2.2. En cada maceta se colocaron diez bulbos de Angaco INTA, cinco en cada lado. (Figura 4.1).

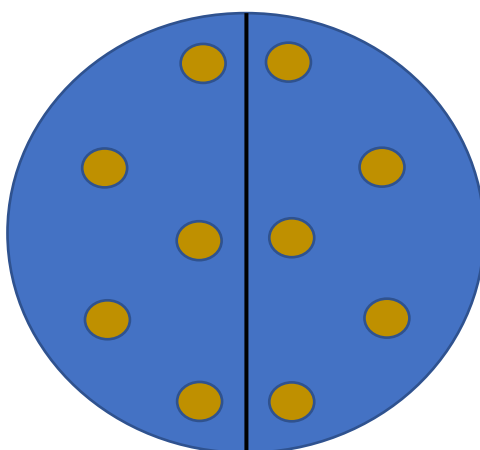


Figura 4.1: Distribución de bulbos en las macetas en la temporada 2019-2020.

Las abejas ingresaron al jaulón conforme avanzaba la floración. Se utilizaron diez núcleos en total. El día 28/10/2019 (10% de floración) ingresaron tres núcleos, el día 5/11/2019 (25% de floración) ingresaron cuatro núcleos, y los tres restantes ingresaron el día 13/11/2019 (50% de floración) (Figura 4.2).



Figura 4.2: Colocación de núcleos de abejas en el interior del jaulón en la temporada 2019-2020.

4.3.3 Diseño experimental

En el ensayo en macetas se utilizó un diseño completamente aleatorizado (DCA) con 4 repeticiones. La parcela experimental estuvo formada por cinco plantas, dos parcelas experimentales en cada maceta (Figura 4.3).



Figura 4.3: Distribución de las macetas dentro del jaulón en la temporada 2019-2020.

4.3.4 Tratamientos

Se realizaron tres aplicaciones foliares, la primera previo a floración, cuando la espata aún no terminaba de abrir, y las otras dos aplicaciones a los 10 y 20 días posteriores a la primera (Tabla 4.1). Los tratamientos se asperjaron con un pulverizador manual y utilizando un coadyuvante comercial como se menciona en el punto 3.3.4 (Figuras 4.4 y 4.5).

Tabla 4.1: Fechas de aplicación de los tratamientos en la temporada 2019-2020.

Aplicación	Fecha	% de Floración
1	11/10/2019	0
2	21/10/2019	5
3	31/10/2019	40

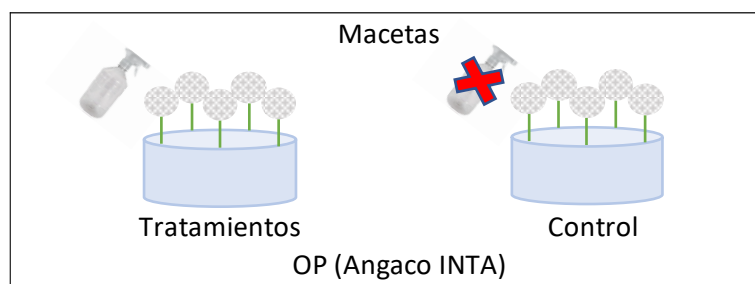


Figura 4.4: Ilustración de la metodología de aplicación foliar utilizada en macetas para asperjar diferentes dosis de B, Ca e IBA en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA en la temporada 2019-2020.



Figura 4.5: Aplicación foliar con pulverizador manual en la temporada 2019-2020.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la temporada previa, se decidió continuar con boro, calcio e IBA, incrementando nuevamente las dosis a utilizar e incorporando un tratamiento que combinara las tres sustancias utilizando la dosis media de cada una de ellas. Se utilizaron las mismas fuentes especificadas en el punto 3.2.4. En la tabla 4.2 se especifican los tratamientos y las dosis utilizadas.

Tabla 4.2: Tratamientos asperjados vía foliar en ensayo en macetas en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA en la temporada 2019-2020.

Tratamientos				
Control	Ácido Bórico (H_3B_3)	Nitrato de Calcio ($Ca(NO_3)_2$)	Ácido Indol Butírico (IBA)	Combinado Ácido Bórico (H_3B_3) + Nitrato de Calcio ($Ca(NO_3)_2$) + Ácido Indol Butírico (IBA)
-	400 ppm 500 ppm 600 ppm	600 ppm 800 ppm 1000 ppm	50 ppm 100 ppm 200 ppm	500 ppm B + 800 ppm Ca + 100 ppm IBA

4.3.5 Cosecha, trilla y limpieza de semillas

La cosecha se realizó el día 11/12/19 y se utilizó la misma metodología que se mencionó capítulo II, en el punto 2.3.5, incluso para realizar el conteo de flores, frutos y semillas (Figura 4.6).



Figura 4.6: Ensayo en macetas próximo a cosecha en la temporada 2019-2020.

4.3.6 Variables evaluadas

Se evaluaron las variables: porcentaje de cuaje, número de semillas por fruto, rendimiento, peso de mil semillas y poder germinativo, como se detalló en el capítulo II, punto 2.3.6

4.3.7 Análisis estadístico

Todos los valores se expresaron como las medias $\pm$ desviación estándar de la media (DE) de 4 repeticiones. Para analizar los datos se realizaron correlaciones, análisis de varianza (ANOVA) y las medias fueron comparadas empleando la prueba de significación de Tukey. Las diferencias se consideraron significativas si $p \leq 0,05$. Los datos se analizaron con el software estadístico InfoStat 2020 (Di Rienzo *et al.*, 2018) para Windows.

4.4 Resultados

4.4.1 Parámetros de rendimiento

- Porcentaje de cuaje

Todos los tratamientos, a excepción del Ca800, fueron significativamente superiores al testigo ($p \leq 0,05$) pero no se observaron diferencias significativas entre los mismos. El tratamiento con la mezcla triple B+Ca+IBA (71,1%) obtuvo el mayor valor mientras que el testigo obtuvo el menor (59,6%) (Tabla 4.4).

- Número de semillas por fruto

Tras la aplicación foliar de B+Ca+IBA el número de semillas por fruto fue significativamente superior al testigo (3,9 y 2,8 semillas. fruto⁻¹ respectivamente) y al resto de los tratamientos ($p \leq 0,05$), a excepción del B500, que obtuvo el mayor número de semillas por fruto entre los tratamientos simples (Tabla 4.4).

- Rendimiento

La aplicación foliar de B+Ca+IBA (1,02 g. umbela⁻¹) fue significativamente superior al testigo (0,8 g. umbela⁻¹) para $p \leq 0,05$ (Figura 4.7).



Figura 4.7: Rendimiento por umbela en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA luego de la aplicación foliar de diferentes dosis de B, Ca, IBA y un combinado de B+Ca+IBA en la temporada 2019-2020. Letras diferentes indican diferencias significativas para $p \leq 0,05$. Las barras de error corresponden a la desviación estándar de cuatro repeticiones.

4.4.2 Parámetros de calidad

- *Peso de mil semillas*

No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo para el peso de mil semillas (Tabla 4.4).

- *Poder germinativo*

La aplicación foliar de B500 aumentó significativamente el poder germinativo (87,0%) con respecto al testigo (82,3%), mientras que tratamientos como Ca1000, Ca800, IBA200, B600, B400 mostraron un poder germinativo inferior a las plantas no tratadas (Tabla 4.4).

4.4.3 Correlaciones entre las variables

En la temporada 2019-2020 se observó que tanto el porcentaje de cuaje como el número de semillas por fruto estuvieron correlacionados con el rendimiento de semillas (Tabla 4.3).

Tabla 4.3: Correlaciones entre las variables estudiadas y el rendimiento luego de la aplicación foliar de diferentes dosis de B, Ca, IBA y un combinado de B+Ca+IBA en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA en la temporada 2019-2020.

Variable	Rendimiento (g. umbela ⁻¹)
	2019-2020
Porcentaje de Cuaje (%)	0,50**
Número de semillas por fruto	0,61***
Peso de mil semillas (g)	0,15 ^{ns}
Poder germinativo (%)	0,41 ^{ns}

, * significativa para $p \leq 0,01$ y $p \leq 0,001$ respectivamente, ns: no significativa

Tabla 4.4: Efecto de la aplicación foliar de diferentes dosis de B, Ca, IBA y un combinado de B+Ca+IBA sobre parámetros de rendimiento y calidad de semilla en la producción de semilla de cebolla Angaco INTA en la temporada 2019-2020.

Tratamiento	Dosis (ppm)	Parámetros de Rendimiento y Calidad				
		Cuaje (%)	Semillas por fruto	Rendimiento (g. umbela ⁻¹)	Peso de mil semillas (g)	Germinación (%)
Control	-	59,59 ± 0,50 a	2,80 ± 0,13 a	0,80 ± 0,02 a	3,98 ± 0,15 a	82,33 ± 0,77 ab
Boro	400	68,20 ± 4,86 bc	3,38 ± 0,06 b	0,89 ± 0,07 ab	3,95 ± 0,30 a	82,33 ± 2,04 ab
	500	67,18 ± 0,34 bc	3,60 ± 0,26 bc	0,91 ± 0,01 ab	4,10 ± 0,22 a	87,00 ± 1,15 c
	600	67,35 ± 0,25 bc	3,35 ± 0,20 b	0,87 ± 0,02 ab	4,04 ± 0,20 a	81,67 ± 4,37 ab
Calcio	600	66,10 ± 0,96 bc	3,09 ± 0,21 ab	0,83 ± 0,02 a	4,09 ± 0,16 a	83,67 ± 0,77 bc
	800	65,27 ± 2,89 ab	3,07 ± 0,30 ab	0,89 ± 0,04 ab	4,10 ± 0,13 a	81,00 ± 1,68 ab
	1000	69,59 ± 2,54 bc	3,09 ± 0,25 ab	0,83 ± 0,02 a	4,06 ± 0,21 a	78,00 ± 0,77 a
IBA	50	65,94 ± 1,03 bc	3,27 ± 0,20 ab	0,86 ± 0,10 a	4,15 ± 0,05 a	83,33 ± 1,68 bc
	100	66,87 ± 1,24 bc	3,20 ± 0,06 b	0,87 ± 0,06 ab	4,05 ± 0,10 a	83,00 ± 1,39 bc
	200	66,49 ± 0,68 bc	3,31 ± 0,10 b	0,88 ± 0,06 ab	3,95 ± 0,08 a	81,00 ± 1,76 ab
B + Ca + IBA	500+800+100	71,09 ± 0,74 c	3,92 ± 0,34 c	1,02 ± 0,02 b	4,15 ± 0,02 a	85,00 ± 0,38 bc

Medias ± desviación estándar de cada tratamiento para cada una de las variables evaluadas. Letras diferentes para la misma variable indican diferencias significativas para $p \leq 0,05$.

4.5 Discusión

En el capítulo anterior se discutieron las funciones de B, Ca e IBA y sus efectos en forma individual y al principio de este capítulo se mencionó que la combinación de nutrientes o biorreguladores tiene mejor resultado que la sustancia única (Bista *et al.*, 2022). En el presente estudio, la aplicación foliar de B + Ca + IBA aumentó significativamente el rendimiento, el cuaje y el número de semillas por fruto respecto del testigo, demostrando que la aplicación combinada fue más efectiva que la aplicación individual de las sustancias. El efecto no fue sinérgico sino más bien aditivo, lo que significa que cada una de las sustancias aplicadas funciona mejor cuando se encuentra combinada con las otras y es precisamente lo que se observa en Mansoor *et al.* (2019) y en Ashok *et al.* (2019).

La aplicación foliar de boro utilizando a razón de 500 ppm obtuvo el mejor resultado entre los tratamientos individuales, obteniendo valores del número de semillas por fruto y de rendimiento sólo superados por el tratamiento combinado. Estos resultados coinciden con Hossain *et al.* (2017), quienes expresan la importancia del boro en la división celular, el metabolismo de carbohidratos y nitrógeno, la translocación de azúcares y la síntesis de aminoácidos y proteínas en las plantas.

Geetharani *et al.* (2008) informaron una mejora del rendimiento y la calidad de las semillas de cebolla utilizando reguladores de crecimiento como NAA y GA₃. En este estudio, con la aplicación foliar de IBA se obtuvieron incrementos significativos respecto al testigo en el cuaje y en número de semillas por fruto, pero no así rendimiento y en los parámetros de calidad.

Birgin *et al.*, (2021) expresan que el calcio favorece la resistencia de las plantas a diferentes tipos de estrés regulando el metabolismo antioxidante, por lo que una deficiencia de Ca podría causar una reducción en la calidad del fruto. Sin embargo, en el presente estudio, la aplicación foliar de Ca con la dosis inicial de 600 ppm obtuvo valores más altos de germinación, mientras que la dosis mayor, correspondiente a 1000 ppm, obtuvo menores valores de germinación.

4.6 Conclusión

La aplicación foliar combinada utilizando las dosis medias de B, Ca e IBA tuvo un efecto notablemente superior en los parámetros de rendimiento, sin afectar la calidad de semilla de cebolla. Los resultados demuestran que la combinación de sustancias mejoró la performance de cada sustancia en forma individual. En esta aplicación combinada se observa un efecto aditivo, donde el boro tendría la mayor participación, y este es seguido por IBA y Ca, de acuerdo con los resultados individuales. Los aumentos en el rendimiento se deben a un mayor cuaje y a un mayor número de semillas por fruto. Los resultados obtenidos en este ensayo indican que sería importante replicar la aplicación foliar de la combinación de B, Ca e IBA a campo con el objetivo de terminar de confirmar estos resultados.

CAPÍTULO V

5 EFECTO DE LA APLICACIÓN FOLIAR DE UNA MEZCLA TRIPLE DE BORO, CALCIO Y ÁCIDO INDOLBUTÍRICO EN LA PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE CEBOLLA DE UNA LÍNEA FÉRTIL Y UNA LÍNEA ANDROESTÉRIL A CAMPO

5.1 Introducción

Cultivares de polinización abierta (Open Pollinated - OP) e híbridos de primera generación (HF1) son empleados en todo el mundo (Sidhu *et al.*, 2004). Los sistemas de androesterilidad citoplasmática génica (CMS) son utilizados para producir semillas híbridas (Brewster, 2008).

Una variedad de polinización abierta tiene rendimientos de semilla que oscilan entre los 800 y 1200 kg. ha⁻¹ (Galmarini, 2018 b). Sin embargo, el rendimiento de semillas híbridas es errático y considerablemente más bajo, y para que sean económicamente viables, es necesario que tengan un buen rendimiento de semillas (Soto *et al.*, 2013; Gupta y Singh, 2016).

La fertilización foliar es una buena estrategia para suministrar nutrientes ya que presenta una gran eficacia al aplicarse en cantidades controladas y en un período específico directamente sobre el objetivo, incluso siendo más respetuosa con el medio ambiente (Niu *et al.*, 2021). Existen numerosos ensayos que evalúan el efecto de la aplicación combinada de nutrientes y reguladores de crecimiento con el objetivo de aumentar el rendimiento y la calidad del producto final en diferentes cultivos (Ávila *et al.*, 2010; Andrade Melo *et al.*, 2018; Smith y Argerich, 2019).

Luego de dos años en condiciones controladas, y habiendo detectado que la aplicación foliar combinada de B, Ca e IBA fue el mejor tratamiento a largo de los años de estudio, se decidió ensayar dicho tratamiento, pero en esta oportunidad a campo, y sobre una línea fértil y una línea androestéril.

5.2 Hipótesis y objetivos

5.2.1 Hipótesis

- La aplicación foliar combinada de boro, calcio y ácido indolbutírico mejora el rendimiento en la producción de semilla de cebolla de líneas fértiles y androestériles.
- La aplicación foliar combinada de boro, calcio y ácido indolbutírico mejora la calidad de la semilla de cebolla en líneas fértiles y androestériles.
- El aumento en el rendimiento obtenido por la aplicación combinada será mayor en la línea de polinización abierta que en la línea androestéril.

5.2.2 Objetivos

- Evaluar el efecto de la aplicación combinada de boro, calcio y ácido indolbutírico sobre parámetros de rendimiento en la producción de semilla de cebolla en líneas fértiles y androestériles.
- Evaluar el efecto de la aplicación combinada de boro, calcio y ácido indolbutírico sobre parámetros de calidad en la producción de semilla de cebolla en líneas fértiles y androestériles.

5.3 Materiales y métodos

5.3.1 Material vegetal

En la temporada 2020-2021 se realizó un ensayo a campo en un cultivo destinado a la producción comercial de semilla híbrida de cebolla, ubicado en Sarmiento, San Juan (31°90'78,5"S; 68°42'74,6"W) (Figura 5.1).

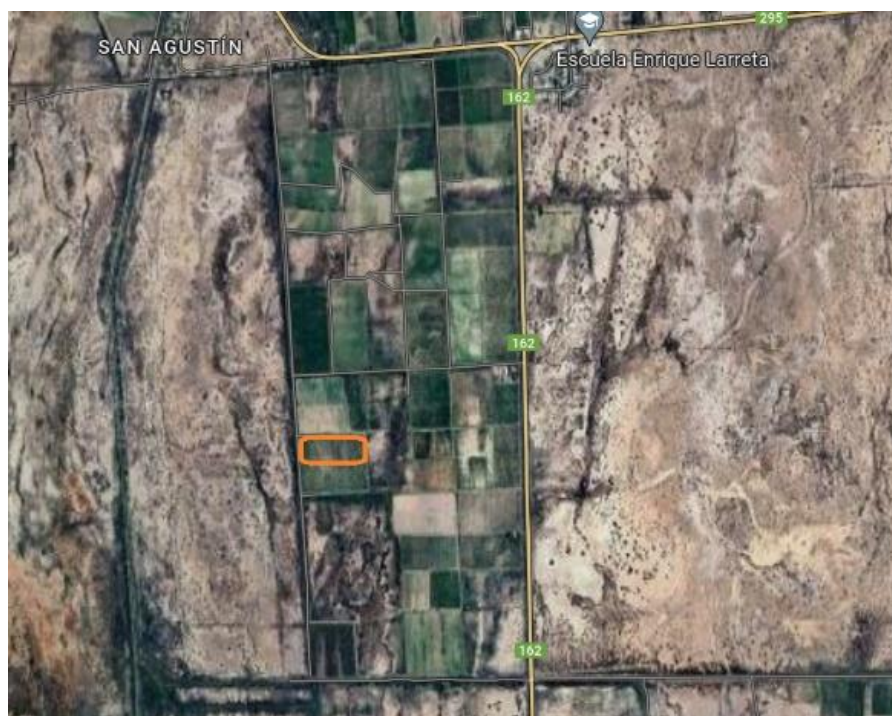


Figura 5.1: Imagen satelital de la ubicación del ensayo a campo en la temporada 2020-2021.

5.3.2 Manejo del cultivo

El ensayo se realizó mediante el método Semilla–Bulbo–Semilla (S-B-S), utilizando una relación 3:1 (3 bordos de la línea androestéril por 1 bordo de la línea fértil) y colocando 15 bulbos por metro lineal. Tanto la línea fértil como la línea androestéril fueron de un material de día corto y de bulbos de color rojo. La línea androestéril se trasplantó el 6/4/2020 y la línea fértil se trasplantó el 17/4/2020, fecha recomendada por el supervisor de producción para obtener una buena coincidencia en la floración de ambas líneas. (Figura 5.2).

El cultivo se regó por surcos, sin descarga al pie, utilizando el programa fitosanitario que comúnmente realiza el productor (Luzi et al., 2017). Según muestras extraídas a una profundidad de entre 0-30 cm, el suelo presentó una textura franco - arcillosa y una conductividad eléctrica de $1460 \mu\text{S. cm}^{-1}$ según muestras de suelo extraídas a una profundidad de entre 0-30 cm. Durante el ciclo de cultivo se aplicaron 100 unidades de N. ha^{-1} , 40 unidades P. ha^{-1} y 40 unidades de K. ha^{-1} , si bien el análisis de fertilidad mostró niveles buenos de Nitrógeno (1100 ppm), niveles muy buenos de Fósforo (25 ppm) y niveles muy buenos de Potasio (357 ppm).



Figura 5.2: Imagen del trasplante de la línea fértil en la temporada 2020-2021.

Se utilizaron abejas como polinizadores, utilizando 15 colmenas por hectárea que ingresaron el 31/10/2020 (5% de floración) y el 7/11/2020 (20% de floración) (Figura 5.3).



Figura 5.3: Grupo de colmenas colocadas en los bordes del cultivo en la temporada 2020-2021.

5.3.3 Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con 4 repeticiones (Figura 5.4).



Figura 5.4: Imagen del diseño de bloques utilizado en el ensayo a campo en la temporada 2020-2021.

5.3.4 Tratamientos

Se realizaron tres aplicaciones foliares, la primera previo a floración, cuando la espata aún no terminaba de abrir, y las otras dos aplicaciones a los 10 y 20 días posteriores a la primera (Tabla 5.1). Los tratamientos se asperjaron utilizando un pulverizador manual de compresión previa, tal cual se menciona en el punto 2.2.4 (Figuras 5.5 y 5.6).

Tabla 5.1: Fechas de aplicación de los tratamientos en la temporada 2020-2021.

Aplicación	Fecha	% de Floración
1	16/10/2020	0
2	26/10/2020	5
3	5/11/2020	40



Figura 5.6: Imagen de la aplicación del 16/10/2020 en ensayo a campo de la temporada 2020-2021.

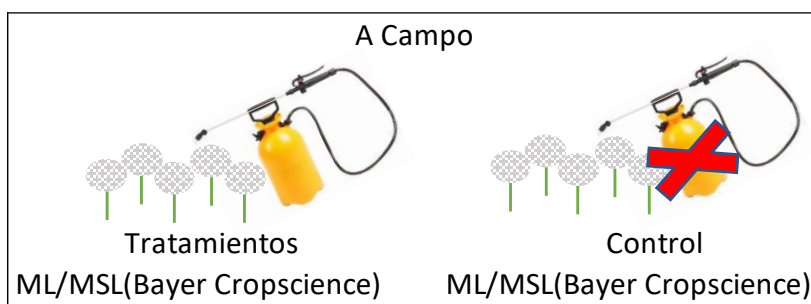


Figura 5.6: Ilustración de la metodología de aplicación foliar utilizada a campo para asperjar el tratamiento combinado B+Ca+IBA en la producción de semilla de cebolla de una línea fértil y una línea androestéril en la temporada 2020-2021.

Teniendo en cuenta los buenos resultados del tratamiento combinado en condiciones controladas, se decidió probar dicha combinación a campo sobre una línea fértil y una línea androestéril. En la tabla 5.2 se especifican los tratamientos y las dosis utilizadas.

Tabla 5.2: Tratamientos asperjados vía foliar en ensayo a campo en la producción de semilla de cebolla de una línea fértil y una línea androestéril en la temporada 2020-2021.

5.3.5 Cosecha, trilla y limpieza de semillas

Tipo de Línea	Tratamientos	
	Control	Combinado
Fértil	-	500 ppm H_3B_3 + 800 ppm $Ca(NO_3)_2$ + 100 ppm IBA
Androestéril	-	500 ppm H_3B_3 + 800 ppm $Ca(NO_3)_2$ + 100 ppm IBA

La cosecha se realizó el día 21/12/2020 y se utilizó la misma metodología que se mencionó en el punto 2.3.5 (Figura 5.7).



Figura 5.7: Ensayo a campo próximo a cosecha en la temporada 2020-2021.

5.3.6 Variables evaluadas

Se evaluaron las variables porcentaje de cuaje, número de semillas por fruto, rendimiento, peso de mil semillas y poder germinativo como se describió en el capítulo II, punto 2.3.6.

5.3.7 Análisis estadístico

Todos los valores se expresaron como las medias $\pm$ desviación estándar de la media (DE) de 4 repeticiones. Para analizar los datos se realizaron correlaciones, análisis de varianza (ANOVA) y las medias fueron comparadas empleando la prueba de significación de Tukey. Las diferencias se consideraron significativas si $p \leq 0,05$. Los datos se analizaron con el software estadístico InfoStat 2020 (Di Rienzo *et al.*, 2018) para Windows.

5.4 Resultados

5.4.1 Parámetros de rendimiento

- Porcentaje de cuaje

El tratamiento combinado aumentó significativamente el cuaje respecto al testigo, tanto en la línea fértil como en la línea androestéril. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre ambas líneas (Tabla 5.4).

- Número de semillas por fruto

De igual manera, en el número de semillas por fruto también se observaron diferencias significativas a favor del tratamiento combinado, tanto en la línea fértil como en la línea androestéril (Tabla 5.4).

- Rendimiento

El tratamiento combinado aumentó el rendimiento respecto al control, 40,45% en la línea fértil y 45,88% en la línea androestéril. Además, no se observaron diferencias significativas entre la línea fértil y la línea androestéril (Figura 5.8; Tabla 5.4).

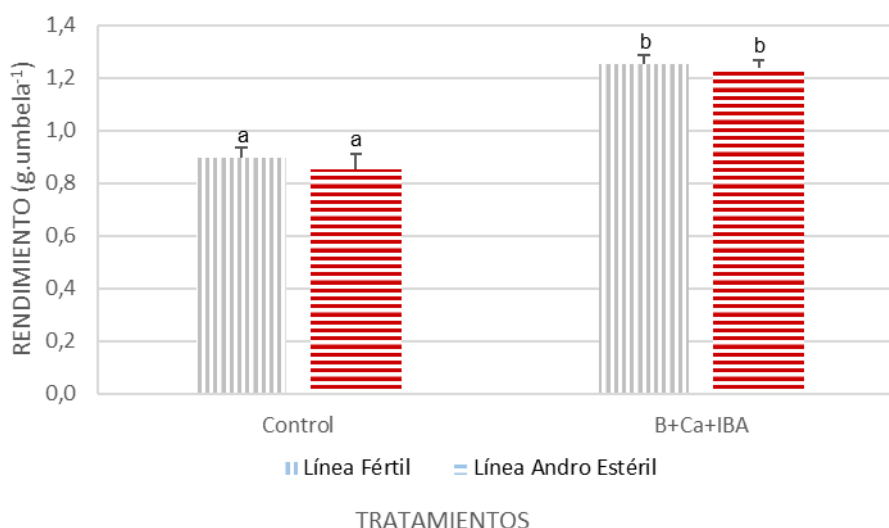


Figura 5.8: Rendimiento por umbela en la producción de semilla de cebolla de una línea fértil y una línea androestéril luego de la aplicación foliar de un tratamiento combinado de B+Ca+IBA en la temporada 2020-2021. Letras diferentes indican diferencias significativas para $p \leq 0,05$. Las barras de error corresponden a la desviación estándar de cuatro repeticiones.

5.4.2 Parámetros de calidad

- *Peso de mil semillas*

En el peso de mil semillas, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ni entre las líneas evaluadas (Tabla 5.4).

- *Poder Germinativo*

En el poder germinativo, tampoco se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ni entre las líneas evaluadas (Tabla 5.4).

5.4.3 Correlaciones entre variables

En la temporada 2020-2021 se observó que tanto el porcentaje de cuaje como el número de semillas por fruto estuvieron correlacionados con el rendimiento de semillas (Tabla 5.3).

Tabla 5.3: Correlaciones entre las variables estudiadas y el rendimiento luego de la aplicación foliar de un tratamiento combinado de B+Ca+IBA en la producción de semilla de cebolla de una línea fértil y una línea androestéril en la temporada 2020-2021.

Variable	Rendimiento (g. umbela ⁻¹)
	2020-2021
Porcentaje de Cuaje (%)	0,73 ^{***}
Número de semillas por fruto	0,84 ^{***}
Peso de mil semillas (g)	0,26 ^{ns}
Poder germinativo (%)	-0,20 ^{ns}

*** significativa para $p \leq 0,001$ respectivamente, ns: no significativa

Tabla 5.4: Efecto de la aplicación foliar de un tratamiento combinado de B+Ca+IBA sobre parámetros de rendimiento y calidad de semilla en la producción de semilla de cebolla de una línea fértil y una línea androestéril en la temporada 2020-2021.

Tipo de Línea	Tratamiento	Dosis (ppm)	Parámetros de Rendimiento y Calidad				
			Cuaje (%)	Semillas por fruto	Rendimiento (g. umbela ⁻¹)	Peso de mil semillas (g)	Germinación (%)
Fértil	Control	-	80,58 ± 1,93 a	2,76 ± 0,08 a	0,89 ± 0,03 a	4,11 ± 0,05 a	89,70 ± 0,33 a
	B+Ca+IBA	500+800+100	84,79 ± 1,43 b	4,06 ± 0,07 b	1,25 ± 0,03 b	4,05 ± 0,09 a	89,33 ± 0,66 a
Androestéril	Control	-	79,45 ± 1,76 a	2,76 ± 0,25 a	0,85 ± 0,06 a	4,05 ± 0,05 a	88,90 ± 1,07 a
	B+Ca+IBA	500+800+100	84,27 ± 1,61 b	4,08 ± 0,08 b	1,24 ± 0,03 b	4,21 ± 0,16 a	88,66 ± 0,57 a

Medias ± desviación estándar de cada tratamiento para cada una de las variables evaluadas. Letras diferentes para la misma variable indican diferencias significativas para $p \leq 0,05$.

5.5 Discusión

Luego de cuatro años de estudio, y en base a los resultados obtenidos en este último año, podemos decir que la aplicación combinada de B (500 ppm) + Ca (800 ppm) + IBA (100 ppm) incrementa el rendimiento en 40,45% y 45,88% en líneas fértiles y androestériles respectivamente, lo cual es muy significativo. Esto implica que si un cultivo destinado a la producción comercial de semilla de cebolla cuenta con 250.000 umbelas. ha⁻¹ y un rendimiento promedio de 250 kg. ha⁻¹, los incrementos anteriormente mencionados permitirían obtener 90 y 97,5 kg. ha⁻¹ extras en líneas fértiles y líneas androestériles, respectivamente.

Estos resultados están en línea con lo presentado por Kumar *et al.* (2018) y Bista *et al.* (2022) quienes obtuvieron los mejores resultados combinando sustancias, dejando en claro que nutrientes y reguladores de crecimiento desempeñan un papel crucial para permitir que los cultivos alcancen una productividad óptima. Además, en el presente estudio no se observaron diferencias significativas en el rendimiento entre la línea fértil y la línea androestéril, en coincidencia con lo reportado por Monasterio *et al.* (2023) y en línea con lo esperado. De esta manera, se confirma que los resultados obtenidos se deben al efecto que generan las sustancias aplicadas en la flor que recibe el polen y no a una mejora en la cantidad y calidad de polen que recibe dicha flor, de acuerdo con lo que se expresa en Soto y Cuevas (2025).

5.6 Conclusión

La aplicación foliar combinada utilizando una combinación de 500 ppm de B, 800 ppm de Ca y 100 ppm de IBA, aumentó significativamente el rendimiento tanto en la línea fértil como en la línea androestéril. Estos aumentos obtenidos a partir de la aplicación de B+Ca+IBA fueron semejantes entre ambos tipos de líneas. Sin embargo, la aplicación foliar de B+Ca+IBA no afectó la calidad de la semilla ni en la línea fértil ni en la línea androestéril.

CAPÍTULO VI

6 CONCLUSIONES FINALES

En el primer año de estudio, en un ensayo a campo y utilizando una línea fértil, se observó un efecto positivo tras la aplicación de B, Ca y Zn en los parámetros de rendimiento, aunque sólo el B y el Ca evidenciaron una respuesta de la planta a las dosis aplicadas. Respecto a los parámetros de calidad, sólo el Ca mostró un aumento de la germinación.

En el segundo año de estudio, en un ensayo en macetas y utilizando una línea fértil, se observó un efecto positivo de la aplicación de B, Ca e IBA en los parámetros de rendimiento, mientras que los parámetros de calidad no fueron afectados. Los mejores resultados se observaron con las dosis medias a altas de cada una de las sustancias.

En el tercer año de estudio, nuevamente en un ensayo en macetas y utilizando una línea fértil, se observó que la aplicación de B, Ca e IBA produjo un aumento significativo en los parámetros de rendimiento. Sin embargo, los parámetros de calidad no se vieron afectados luego de dicha aplicación.

Finalmente, en el cuarto año de estudio, en un ensayo a campo y utilizando una línea fértil y una línea androestéril, nuevamente la aplicación foliar combinada de B, Ca e IBA aumentó significativamente el rendimiento. Al igual que ocurrió anteriormente, los parámetros de calidad tampoco se vieron afectados.

Los resultados más relevantes de esta tesis demuestran la importancia de utilizar la aplicación foliar con B, Ca e IBA para aumentar el rendimiento de semillas en la producción de semilla de cebolla, tanto en líneas fértiles como en líneas androestériles. Entendiendo que el costo por aplicación es de 90 USD. ha⁻¹, realizar las tres aplicaciones propuestas implicaría un gasto de 270 USD. ha⁻¹, una pequeña inversión teniendo en cuenta que realizarlas implicaría obtener, en promedio entre líneas fértiles y androestériles, 93,75 kg. ha⁻¹ extras de semilla y que el precio del kilogramo de semilla oscila entre 25 y 50 USD. kg⁻¹ para semillas de polinización abierta e híbridos de primera generación respectivamente.

El incremento en el rendimiento podría explicarse por los efectos del B, Ca e IBA durante el proceso de floración. El boro y el calcio pudieron haber afectado el crecimiento del tubo polínico, la germinación del grano de polen y la viabilidad de este. Todo esto, sumado a la presencia del IBA, quien desempeña un papel clave en la floración y cuajado de frutos, acabaron incrementando el rendimiento de semilla de cebolla.

A futuro, se propone realizar la aplicación de B, Ca e IBA en híbridos comerciales de alta, media y baja productividad con el objetivo de establecer en tanto y en cuanto esta aplicación afecta la performance de cada uno de ellos. Además, sería importante volver a incluir al Zn, ya que, si bien en el presente estudio se descartó por no evidenciar una

respuesta de la planta a la dosis aplicada, los antecedentes avalan su importancia en los procesos estudiados.

Asimismo, se propone evaluar distintos momentos de aplicación con el objetivo de determinar en qué momento resulta más efectivo realizar las mismas ya que, si bien en el presente estudio se realizaron tres aplicaciones, en un campo de producción las posibilidades de cumplir con estas tres pueden ser variables debido a diferentes tipos de impedimentos como condiciones climáticas u otro tipo de inclemencias.

De la misma manera, sería importante profundizar en un análisis de costos para diferentes tipos de agricultores y con diferentes mercados de venta de la semilla para conocer de manera más precisa el beneficio económico del agricultor al realizar las aplicaciones propuestas.

De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo de tesis y a las hipótesis planteadas, se resuelve:

- *Hipótesis: La aplicación foliar de nutrientes y ácido indolbutírico incrementa el rendimiento de semillas tanto en líneas fértiles como en líneas androestériles.*

Se acepta esta hipótesis puesto que, a lo largo de los años de estudio y probando diferentes dosis de nutrientes y un regulador de crecimiento, se logró incrementar el rendimiento tanto en líneas fértiles como en líneas androestériles.

- *Hipótesis: La aplicación foliar de nutrientes y ácido indolbutírico mejora la calidad de las semillas tanto en líneas fértiles como en líneas androestériles.*

Se rechaza esta hipótesis ya que no se observaron mejoras en los parámetros de calidad evaluados a lo largo de los cuatro años de estudio.

- *Hipótesis: La aplicación foliar de nutrientes y ácido indolbutírico aumenta el rendimiento de semillas en mayor medida cuando estos se aplican en forma combinada.*

Se acepta esta hipótesis dado que, con la aplicación combinada de B, Ca e IBA se obtuvo el mayor incremento en el rendimiento, por encima de las aplicaciones individuales.

- *Hipótesis: El aumento en el rendimiento de semillas se debe a un mayor cuaje y número de semillas por fruto.*

Se acepta esta hipótesis ya que, en todos los casos en los que se observó un aumento en el rendimiento, se debió un aumento del cuaje y número de semillas por fruto, y no a un aumento del peso de las semillas.

Para terminar, podríamos decir que en este trabajo de tesis se demuestra que la aplicación foliar de B, Ca e IBA es una alternativa sencilla, eficaz y económicamente viable que podrían emplear agricultores, técnicos y/o empresas dedicadas a la producción de semilla de cebolla. Esta aplicación podría sumarse a las que comúnmente se realizan en el cultivo e implicaría una pequeña inversión si tenemos en cuenta los importantes beneficios que conlleva realizarla.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdelghafar M. S.; AlAbd, M. T.; Helaly, A. A.; Rashwan, A. M. 2016. Foliar application of lithovit and rose water as factor for increasing onion seed production. *Nature and Science*, 14(3): 53-61.
- Abo-Hamad, S. A.; El-Feky, S. S. 2014. Effect of boron on growth and some physiological activities of tomato plant. *Life Science Journal*, 11(7): 404-408.
- Abou-Sreea, A. I. B.; Yassen, A. A. Supplying calendula plants with some micronutrients as foliar spray under egyptian soils features. 2016. *International Journal of Pharmtech Research*, 9 (12): 097-108.
- Abrol, D. P. 2010 Foraging behaviour of *Apis florea* F., an important pollinator of *Allium cepa* L., *Journal of Apicultural Research*, 49:4: 318-325
- Abu-Grab, O. S; Ebrahim, M. K. H. 2000. Physiological response of field-grown onion to some growth regulators. *Egyptian Journal of Horticulture*, 27 (1): 117–130.
- Acosta, A.; Gaviola, J. C.; Galmarini, C. R. 1993. Producción de semilla de cebolla. In: *Manual de producción de semillas hortícolas*. Ed. Crnko, J. 3: 72-83.
- Adongo, B. A.; Kwoseh, C. K.; Moses, E. 2015. Storage rot fungi and seed-borne pathogens of onion. *Journal of Science and Technology*, 35 (2): 13-21.
- Agüero, M. S.; Barral, G.; Miguelisse, N. E.; Castillo, O. E. 2007. Establecimiento y desarrollo en el cultivo forzado de tomate: aplicación de dosis variables de fitorreguladores. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, vol. XXXIX, núm. 1, pp. 123-131. Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.
- Ahmad, W.; Niaz, A.; Kanwal, S.; Rahmatullah, Rasheed, M. K. 2009. Role of boron in plant growth: A review. *Journal of Agricultural Research*, 47 (3): 329-338.
- Albani, F. J. M. 2019. Influencia de la viabilidad del polen y de la línea androestéril en la producción de semilla híbrida de cebolla. Tesis (M. Sc.). Mendoza, Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional de Cuyo. 101 p
- Alloway, B.J. 2008. Zinc in soils and crop nutrition, 2nd ed. IZA and IFA Brussels, Belgium and Paris, France.
- Alpi, A.; Tognoni, F. 1991. Cultivo en invernadero. Ediciones Mundi-Prensa - 347 páginas.
- Alshaal, T.; El-Ramady, H. 2017. Foliar application: from plant nutrition to biofortification. *The Environment, Biodiversity y Soil Security*, 1: 71- 83.
- Amin, A. A.; El, S. M. 2007. Physiological effect of Indole -3-butyric acid and salicylic acid on growth, yield and chemical constituents of onion plants. *Journal of Applied Science*, 3(11): 1554-1563.

Andrade Melo, L. D. F.; de Silva Viana, J.; Goncalves, E. P.; de Andrade Melo Junior, J. L.; da Silva, A. C.; Cordieiro Souto, P. 2018. Peanut seed yield under influence of fertilizer and biostimulant. *Australian Journal of Crop Science*, 12(7), 1169–1176.

Archana Verma, P.; Pandey, N. 2022. Impact of boron nutrition on pollen stigma interaction and seed quality. In: *Boron in plants and agriculture. Exploring the physiology of boron and its impact on plant growth*. Academic Press, Oxford, United Kingdom, pp. 311-325.

Ashok, B. G.; Vasudevan, S. N.; Doddagoudar, S. R.; Patil, M. G.; Arunkumar, H. 2019. Effect of foliar spray of micronutrients and growth regulators on growth and seed yield of onion. *Green Farming*, 10(2): 230-233; March-April.

Ashraf, M., Akram, N. A., Arteca R. N.; Foolad, M. R. 2010. The physiological, biochemical and molecular roles of brassinosteroids and salicylic acid in plant processes and salt tolerance. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 29: 162-190.

Ashraf, M. I.; Ayyub, C. M.; Abbasi, K. Y.; Ali, M.; Kamal, S. 2016. Enhancement of yield and quality of onion by foliar application of indole-3-Butyric acid and 2,4-dichlorophenoxyacetic acid. *Proceedings of Pakistan Society for Horticultural Science*, 2nd International Conference on Horticultural Sciences, February 18-20, p 240-248.

Atique-ur-Rehman, Farooq, M.; Rashid, A.; Nadeem, F.; Stuerz, S.; Asch, F.; Bell, R. W.; Siddique, K. H. M. 2018. Boron nutrition of rice in different production systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38 (25): 1-24.

Ávila, M. R.; Barizão, D. A. O.; Gomes, E. P.; Fedri, G.; Albrecht, L. P. 2010. Fall/winter bean crop loam in association with biostimulant application and foliar fertilizer in both presence and absence of irrigation. *Scientia Agraria*, 11 (3): 221-230

Bárcenas, E. J.; Molina, M. F.; Huanosto; Aguirre, P. 2003. Contenido de macro y microelementos en hojas, flor y fruto de aguacate Hass en la región de Urupán, Michoacán. *Proceeding World Avocado Congress.*, p 365-371.

Begum, R.; Jahiruddin, M.; Kader, M. A.; Haque, M. A.; Hoque, A. B. M. A. 2015. Effects of zinc and boron application on onion and their residual effects on Mungbean. *Progressive Agriculture*, 26: 90-96.

Behairy, A. G.; Mahmoud, A. R.; Shafeek, M. R.; Ali, A. H.; Hafez, M. M. 2015. Growth, yield and bulb quality of onion plants (*Allium cepa* L.) as affected by foliar and soil application of potassium. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 4(01): 60-66.

Bhuyan, M. H.; Ferdousi, M. R.; Iqbal, M. T. 2012. Foliar spray of nitrogen fertilizer on raised bed increases yield of transplanted Aman rice over conventional method. *International Scholarly Research Network Agronomy*. p 1-8.

Birgin, Ö.; Akhoundnejad, Y.; Dasgan, H. Y. 2021. The effect of foliar calcium application in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under drought stress in greenhouse conditions. *Applied Ecology and Environmental Research*, 19(4): 2971-2982.

- Bista, D.; Sapkota, D.; Paudel, H.; Adhikari, G. 2022. Effect of foliar application of growth regulators on growth and yield of onion (*Allium cepa* L.). International Journal of Horticultural Science and Technology, 9(2): 247-254.
- Blevins, D. G.; Lukaszewski, K. M. 1998. Boron in plant structure and function. Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 49:481–500
- Botta, A.; Marcón, M.; Marín, C.; Sierras, N.; Carrión, M.; Piñol, R. 2007. Mejora en cuajado y calibre tras la aplicación de boro con aminoácidos en diferentes cultivos. XI Congreso Sociedad Española de Ciencias Hortícolas. Albacete. Actas de Horticultura, Nº 48. Albacete, España. Pp: 592.
- Brewster, J. L. 1987. Vernalization in the onion. A quantitative approach. In: Atherton, J. G. (ed.), The manipulation of flowering. Butterworths, London, p. 177-183.
- Brewster, J. 2001. Las Cebollas y otros Alliums. Editorial Acribia Zaragoza - España, p. 270.
- Brewster, J. L. 2008. Onions and other Vegetable Alliums. 2nd Edition. Cambridge, CAB International, United Kingdom.
- Brdar-Jokanovic M. 2020. Boron toxicity and deficiency in agricultural plants. Review. International Journal of Molecular Sciences, 21, 1424.
- Brown, P. H.; Bellaloui, N.; Wimmer, M. A.; Bassil, E. S.; Ruiz, J.; Hu, H. 2002. Boron in plant biology. Plant Biology, 4: 205–223.
- Callejas R.; Gutiérrez C.; Canaves, L. 2006. Efecto de las aplicaciones foliares de B y Zn en otoño invierno, sobre el corrimiento y millerandage en vides Carménere. Congreso UchileCrea, 120p.
- Camargo, P. R.; Melinsky, C.; Andrade, M.; Mazza, J. L.; Rossi, G. 2009. Agroquímicos de controle hormonal, fosfitos e potencial de aplicação dos aminoácidos na agricultura tropical. Piracicaba. Serie Produtor Rural. Universidad de São Paulo-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Divisão de Biblioteca e Documentação. São Paulo, Brasil. 83p.
- Campos, E. V. R.; do Espírito Santo Pereira, A.; Aleksieienko, I.; do Carmo, G.C.; Gohari, G.; Santaella, C.; Fraceto, L.F.; Oliveira, H.C. 2023. Encapsulated plant growth regulators and associative microorganisms: Nature-based solutions to mitigate the effects of climate change on plants. Plant Science, 331: 111688.
- Castro Camba, R.; Sánchez, C.; Vidal, N.; Vielba, J. M. 2022. Plant development and crop yield: The role of gibberellins. Plants, 11(19): 2650.
- Caselles, C.; Soto, V. C.; Galmarini, C. 2019. Effect of environmental factors on bee activity and onion (*Allium cepa* L.) seed yield. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, 51(2), 13-26.
- Cervilla Medina, L. M. 2009. Respuesta fisiológica y metabólica a la toxicidad por boro en plantas de tomate. Estrategias de tolerancia. Tesis (Ph. D). Departamento de Fisiología Vegetal. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada.

Chouard, P. 1960. Vernalization and its relations to dormancy. *Annual Review of Plant Biology*, 11: 191-238.

Colombo, N.; Galmarini, C. 2017. The use of genetic, manual and chemical methods to control pollination in vegetable hybrid seed production: a review. *Plant Breeding*, 36: 287-299.

Cuesta, G.; Mondaca, E. 2014. Efecto de un biorregulador a base de auxinas sobre el crecimiento de plantines de tomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 20(2): 215-222.

Cuesta, G.; Gines, C.; Galdeano, O.; Estesio, P.; Mondaca, S. 2014. Efecto de aplicaciones foliares de boro en floración sobre la calidad y rendimiento de semilla de dos cultivares de cebolla. *Resúmenes de Trabajos. Horticultura Argentina*, 34(85): Sep. - Dic.

Cuesta, G.; Espósito, M.; Chancay, N. 2016. Efecto de la aplicación de fertilizantes foliares a base de boro y calcio sobre el rendimiento y calidad de semilla para dos cultivares de cebolla (*Allium cepa* L.) en la provincia de San Juan. *Horticultura Argentina*, 35 (88): Sep - Dic.

Currah, L.; Ockendon, D. J. 1978. Protandry and the sequence of flower opening in the onion. *New Phytologist*, 81(2): 419-429.

Daie, J. 1987. Interaction of cell turgor and hormones on sucrose uptake in isolated phloem of celery. *Plant Physiology*, 84:1033-1037.

Davies P. J. 1995. *Plant Hormones: Physiology, biochemistry and molecular biology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands; Norwell, MA, USA.

D'Angelo, C. J.; Goldman, I. L. 2019. Breaking onion bulb endodormancy with hydrogen peroxide, *HortScience*, 54(10): 1694-1702.

Debashis M.; Santra, P.; Maity, T. K.; Basu, A. K. 2016. Quality seed production of onion (*Allium cepa* L.) cv. Sukhsagar as influenced by bulb size and date of planting. *Agriculture Research y Technology*, 2(3): 1-6.

Devi, J.; Singh, R.; Walia, I. 2018. Effect of foliar application of GA₃ and NAA on onion – A Review. *Plant Archives*, 18 (2): 1209-1214.

Dewdar, M. D. H.; Abbas, M. S.; El-Hassanin, A. S.; Abd El-Aleem, H. A. 2018. Effect of nano micronutrients and nitrogen foliar applications on Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) of quantity and quality traits in marginal soils in Egypt. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(9): 4490-4498.

Di Rienzo J.; Casanoves F.; Balzarini M.; Gonzalez L.; Tablada M.; Robledo, C. 2018. *InfoStat*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

El-Naggar, A. H.; El-Sayed, S. G. 2008. Response of *Dianthus caryophyllus* L. Plants to foliar nutrition. *Journal of Agriculture y Environment Sciences of Alexandria University, Egypt*, 7 (2): 53-67.

- El-Nagerabi, S. A. F.; Ahmed, A. H. M., 2003. Storability of onion bulbs contaminated by *Aspergillus niger* mold. *Phytoparasitica*, 31, 515-523.
- El-Tohamy, W.A.; El-Abagy, H. M.; Badr, M. A.; Abou-Hussein, S. D.; Helmy Y. I. 2011. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(3): 171-174.
- Enders T. A.; Strader L. C. 2015. Auxin activity: past, present, and future. *American Journal of Botany* 102, 180–196.
- Epstein, E.; Ludwig-Müller, J. 1993. Indole-3-butyric acid in plants: occurrence, synthesis, metabolism, and transport. *Physiologia Plantarum*, 88: 382–389.
- FAO, 2023. FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/en/#data>. [Consultado noviembre 2023].
- Fageria, N. K.; Barbosa Filho, M.P.; Moreira A., Guimarães, C. M. 2009. Foliar fertilization of crop plants, *Journal of Plant Nutrition*, 32(6): 1044-1064.
- Fang, K. F.; Du, B. S., Zhang, Q.; Xing, Y.; Cao, Q. Q.; Qin, L. 2019. Boron deficiency alters cytosolic Ca²⁺ concentration and affects the cell wall components of pollen tubes in *Malus domestica*. *Plant Biology*, 21: 343-351.
- Fernández V.; Brown P. 2013. From plant surface to plant metabolism: the uncertain fate of foliar-applied nutrients. *Frontiers in Plant Science*, 4, 289: 1-5.
- Frick, E. M.; Strader, L. C. 2018. Roles for IBA-derived auxin in plant development. *Journal of Experimental Botany*, 69(2): 169–177.
- Fritsch, R.M.; Friesen, N. 2002. Evolution, domestication and taxonomy. In: *Allium crop science: Recent advances*. CAB International (eds H.D. Rabinowitch and L. Currah)
- Galmarini, C. R. 1997. Obtención de cultivares en la Argentina. In: *Manual del cultivo de la cebolla*. INTA Centro Regional Cuyo, pp 23-25.
- Galmarini, C. R. 2018 a. Economic and academic importance. In: *The Allium Genomes, Compendium of Plant Genomes*, Springer Nature Switzerland AG 2018, pp 1-9.
- Galmarini, C. R. 2018 b. Mejoramiento de cebolla en Argentina: avances y perspectivas futuras. 40° Congreso Argentino de Horticultura (pág. 23). Córdoba, Argentina: ASAHO.
- Ganie, M. A.; Akhter, F.; Bhat, M. A.; Malik, A. R.; Junaid, J. M.; Shah, M. A.; Bhat, A. H.; Bhat, T. A. 2013. Boron – a critical nutrient element for plant growth and productivity with reference to temperate fruits. *Current Science.*, 104 (1): 76-85
- Gao, S.; Chu, C. 2020. Gibberellin metabolism and signaling: Targets for improving agronomic performance of crops. *Plant y Cell Physiology*, 61(11): 1902–1911.
- García Morales, S.; García Gaytan, V.; León Morales, J. M. 2021. Chapter II: Current overview of agricultural biostimulants. In: *Topics of biotechnological tools for agricultural development*. Guadalajara, Jalisco. México. Pp 15-21

- Gastaldi, V.; Lucero, L. E.; Ferrero, L. V.; Ariel, F. D.; Gonzalez, D. H. 2020. Class-I TCP transcription factors activate the SAUR63 gene subfamily in gibberellin-dependent stamen filament elongation. *Plant Physiology*, 182: 2096-2110.
- Gaviola, J. C. 2006. Efectos del corte transversal de los bulbos de cebolla en distintas épocas de plantación sobre la brotación y la producción de semilla. *Horticultura Argentina*, 25 (59): 5-9.
- Gaviola, J. C. 2020 a. Producción de semillas hortícolas. 1° Ed. Buenos Aires. Ediciones INTA. p. 98. ISBN 978-987-8333-46-5 (digital).
- Gaviola, J. C. 2020 b. El sistema semillero hortícola argentino. *Horticultura Argentina* 39 (100): Sep. - diciembre 0. ISSN de la edición *on line* 1851-9342.
- Geetharani, P.; Manivannan, M. I.; Ponnuswamy, A. S. 2008. Seed production of onion as influenced by the application of growth regulators and nutrients. *The Asian Journal of Horticulture*, 3(2): 301-303.
- Ghani, M. A.; Amjad, M.; Iqbal, Q.; Nawaz, A.; Ahmad, T.; Hafeez, O. B. A.; Abbas, M. 2013. Efficacy of plant growth regulators on sex expression, earliness and yield components in bitter melon. *Pakistan Journal of Life Society and Science*. 11: 218-224.
- Gianfagna, T. 1995. Natural and synthetic growth regulators and their use in horticultural and agronomic crops. In: *Plant hormones physiology, biochemistry and molecular biology*. Davies, P. (ed). Kluwer Academic Publishers. pp 751-773.
- Gillaspy, G.; Ben-David, H.; Gruissem, W. 1993. Fruits: A Developmental Perspective. *The Plant Cell*, 5: 1439-1451.
- Gomez, A. M. 2017. Cebolla. In: *Cultivos Hortícolas al Aire Libre*, Serie Agricultura 13. Cajamar Caja Rural. Eds. J. V. Maroto Borrego y C. Baixauli Soria.
- González, A. M.; Maldonado, I. B.; Galmarini, C. R.; Peralta, I. E. 2023. Estructura del nectario floral, presentación del néctar y análisis morfo-anatómico de Anteras de líneas androfértiles y androestériles en cebolla (*Allium cepa*, Amaryllidaceae). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*. 58 (3).
- Guiñazú, M. E. 1996. Factores de manejo que afectan la floración en cultivos de cebolla (*Allium cepa* L.). *Avances en Horticultura*, 1(1): p.1-9.
- Groot S. P. C.; Karssen C. M. 1987. Gibberellins regulate seed germination in tomato by endosperm weakening: A study with gibberellin-deficient mutants. *Plantae*, 171: 525–531.
- Grotz N.; Guerinot, M. L.; 2006. Molecular aspects of Cu, Fe and Zn homeostasis in plants. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1763(7): 595-608.
- Gupta, A.; Singh, B. 2016. Development of hybrids and hybrid seed production of onion. En *Principles and production techniques of hybrid seeds in vegetables* (págs.101-111). ICAR-IIVR.

- Habba, E. 2003. Physiological studies of some growth regulators on the growth, yield and chemical constituents of onion plants (*Allium cepa* L.). Journal of Agricultural Science, Mansoura University, 28(3): 1645-1653.
- Hafeez, B.; Khanif, Y. M.; Saleem, M. 2013. Role of zinc in plant nutrition - A Review. American Journal of Experimental Agriculture, 3(2): 374-391.
- Hanelt, P. 1990. Taxonomy, evolution and history. In: Onions and Allied Crops. 1st Edition. CRC Press.
- Hänsch, R.; Mendel, R. R. 2009. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). Current Opinion in Plant Biology, 12(3): 259-266, ISSN 1369-5266.
- Haque, M.; Robbani, M.; Mahmudul Hasan, M.; Asaduzzaman, M.; Mainul Hasan, M.; Teixeira da Silva, J. A. 2014. Zinc and boron affect yield and quality of onion (*Allium cepa* L.) seed. International Journal of Vegetable Science, 20(2): 131-140.
- Hawkesford M.; Horst W.; Kichey T. 2012. Functions of macronutrients. In: Marschner P, ed. Marschner's mineral nutrition of higher plants, 3rd edn London: Academic Press, 135-189.
- Hawkesford, M. J.; Cakmak, I.; Coskun, D.; De Kok, L. J.; Lambers, H.; Schjoerring, J. K.; White, P. J. 2023. Functions of macronutrients. In: Marschner's Mineral Nutrition of Plants, 4th edition, Academic Press, Oxford, United Kingdom, pp. 201-281.
- Hayward, H. 1938. En: The structure of economic plants. New York. The Macmillan Company. Cap. VII. Liliaceae, *Allium cepa* L. 178-213.
- Holdsworth, M. y Heath, O. V. S. 1950. Studies in the Physiology of the Onion Plant. Journal of Experimental Botany, 1: 353-375.
- Hossain, M. M.; Khatun, K.; Haq, M. E.; Ahmed, M.; Shefat-Al-Maruf, M. 2017. Macro and micro nutritional effect on seed yield of onion. Advances in Research, 12(1): 1-9.
- Huang, L.; Pant, J.; Dell, B.; Bell, R. W. 2000. Effects of boron deficiency on anther development and floret fertility in wheat (*Triticum aestivum* L. 'Wilgoyne'). Annals of Botany, 85: 493-500.
- Hye, A.; Shahidul Haque, M.; Karim Abdul, M. 2002. Influence of growth regulators and their time of application on yield of onion. Pakistan Journal of Biological Sciences, 5(10): 1021-1023.
- Ishimaru, Y., Bashir, K., Nishizawa, N.K., 2011. Zn uptake and translocation in rice plants. Rice 4, 21–27.
- ISTA, 2017. International Seed Testing Association. International Rules for Seed Testing. Full Issue i–19-8 (296).
- Iurman, D. 2012. Aspectos del mercado de cebolla. Producción, exportación e importación. Ediciones INTA. 21p.

Jaldo Alvaro, D. M. 2017. Un análisis de la producción y comercio internacional de cebolla. Situación y perspectivas de la cadena de valor en Argentina. Asociación Argentina de Economía Agraria. 22p.

Jones, H. A.; Mann, L. K. 1963. Onions and their allies. London. Leonard Hill Hooks Limited, p. 286.

Kadir, S. A. 2004. Fruit quality at harvest of 'Jonathan' apple treated with foliarly-applied calcium chloride. Journal of Plant Nutrition, 27:1 991-2006.

Khan, S.; Kuruwanshi, V. B. 2015. Foliar nutrition of plants. Rashtriya Krishi. Hind Agricultural Research and Training Institute, India, 10 (1): 54-55.

Khokhar, K. M. 2014. Flowering and seed development in onion: A review. Open Access Library Journal, Volume 1, 1-13.

Korasick, D. A.; Enders, T. A.; Strader, L. C. 2013. Auxin biosynthesis and storage forms. Journal of Experimental Botany, 64, 2541–2555.

Kumar, S.; Tomar, B. S.; Saharawat, Y. S.; Arora, A. 2018. Foliar spray of mineral nutrients enhanced the growth, seed yield, and quality in onion (*Allium cepa* L) cv. Pusa Riddhi, Journal of Plant Nutrition, 41:9, 1155-1162.

Kurešová, G.; Menšík, L.; Haberle, J.; Svoboda, P.; Raimanová, I. 2019. Influence of foliar micronutrients fertilization on nutritional status of apple trees. Plant, Soil and Environment, 65(6): 320-327.

Kutman, U. B.; Yildiz, B.; Cakmak, I., 2011. Improved nitrogen status enhances zinc and iron concentrations both in the whole grain and the endosperm fraction of wheat. Journal of Cereal Science, 53: 118-125.

Laware, S. L.; Raskar, S. 2014. Influence of zinc oxide nanoparticles on growth, flowering and seed productivity in onion. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 3(7): 874-881.

Lee, R.; Baldwin, S.; Kenel, F. 2013. Flowering locus T genes control onion bulb formation and flowering. Nature Communications, 4: 2884.

Li, P.; Tian, J.; Guo, C.; Luo, S.; Li, J. 2021. Interaction of gibberellin and other hormones in almond anthers: Phenotypic and physiological changes and transcriptomic reprogramming. Horticulture Research, 8(1): 94.

Liu, B.; De Storme, N.; Geelen, D. 2017. Gibberellin induces diploid pollen formation by interfering with meiotic cytokinesis. Plant Physiology, 173:338–353.

Luzi, F.; Manini, M.; Sanchez, M. 2017. Buenas prácticas en la producción de semilla de cebolla. Clúster de semillas hortícolas de San Juan. 57p.

Majumder, A., Chattopadhyay, N., Dutta, S., Baidya, A. 2018. Growth and seed yield of onion (*Allium cepa* L.) cv. Sukhsagar as influenced by different sowing spacing of bulbs. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 7(1): 2393-2396.

- Malik A.; Mor V. S.; Tokas, J. 2021. Biostimulant-treated seedlings under sustainable agriculture: A global perspective facing climate change. *Agronomy* 11:14
- Manna, D.; Maity, T.K. 2016, Growth, yield and bulb quality of onion (*Allium cepa* L.) in response to foliar application of boron and zinc, *Journal of Plant Nutrition*, 39: 438-441.
- Mansoor, M.; Zaman, K.; Tariq, M.; Khan, M. A.; Ali, R.; Jamil, M.; Waheed, M. 2019. Maximizing onion seed production through foliar application of zinc and boron. *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research Biological Sciences. Series B: Biological Sciences*, 62(1): 1-7.
- Marschner, H., 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London, U.K.
- Marschner, P. 2012. Marschner's mineral nutrition of plants, 4th edition, Academic Press, Oxford, United Kingdom, pp. 201-281.
- Martí, L.; Lipinski, V.; Venier, M.; Filippini, M. F.; Bermejillo, A.; Cónsoli, D.; Valdés, A.; Michelletti, A.; Díaz Nodaro, L.; Lobato, A.; Porta, A. 2012. Importancia del aporte de boro de las aguas de riego de distintas fuentes, a las necesidades nutricionales específicas de viñedos en Mendoza. *Prácticas para incrementar la productividad y asegurar la sostenibilidad del uso del agua y del suelo. VI Jornadas de Actualización en Riego y Fertilización*. 11pp.
- Mayer D. F.; Lunden, J. D. 2001. Honeybee management and wild bees for pollination of hybrid onion seed. *Acta Horticulturae*, 561: 275-278.
- Mehraj, H.; Hussain, M. S.; Parvin, S.; Roni, M. Z. K.; Jamal Uddin, A. F. M. 2015. Response of repeated foliar application of boron-zinc on strawberry. *International Journal of Experimental Agriculture*, 5(1): 21-24.
- Mollah, M. R. A.; Ali, M. A.; Ahmad, M.; Hassan, M. K., Alam; M. J. 2015. Effect of bulb size on the yield and quality of true seeds of onion. *European Journal of Biotechnology and Bioscience*, 3: 23-27.
- Monasterio, R.; Caselles, C.; Trentacoste, E.; Olmo García, L.; Carrasco-Pancorbo, A.; Galmarini, C.; Soto, V. 2023. Use of olive pomace extract as a pollinator attractant to increase onion (*Allium cepa* L.) seed crop production. *European Journal of Agronomy*. 149:126921.
- Muth, F.; Papaj, D.; Leonard, A. 2016. Bees remember flowers for more than one reason: pollen mediates associative learning. *Animal Behaviour*, 111: 93-100.
- Nelson, P. V.; Niedziela, C. E. 1998. Effects of calcium source and temperature regime on calcium deficiency during hydroponic forcing of tulip. *Scientia Horticulturae*, 73 (2): 137-150.
- Ningawale, D. K.; Singh, R.; Bose, U. S.; Gurjar, P. S.; Sharma, A.; Gautam, U. S. 2016. Effect of boron and molybdenum on growth, yield and quality of cauliflower (*Brassica oleracea* var *botrytis*) cv. Snowball 16. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 86(6): 825-9.

- Nikus, O.; Mulugeta, F. 2010. Onion seed production techniques. A manual for extension agents and seed producers. FAO-Crop diversification and marketing development project. Asella, Ethiopia. 1-24.
- Niu, J.; Liu, C.; Huang, M.; Liu, K.; Yan, D. 2021. Effects of foliar fertilization: a review of current status and future perspectives. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21:104-118
- Ozga, J. A.; Reinecke, D. M. 2003. Hormonal interactions in fruit development. *Journal of Plant Growth Regulators*. 22: 73–81.
- Ouzounidou, G.; Giannakoula, A.; Asfi, M.; Ilias, I. 2011. Differential responses of onion and garlic against plant growth regulators. *Pakistan Journal of Botany*, 43(4): 2051-2057.
- Parodi, L. R. 1978. *Enciclopedia Argentina de agricultura y jardinería*. Buenos Aires, Acme. Tomo 1, p. 551.
- Pandey, N.; Pathak, G.C.; Sharma, C. P. 2006. Zinc is critically required for pollen function and fertilization in lentil. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 20 (2): 89-96.
- Pandey, N., Gupta, B.; Pathak, G. C. 2013. Foliar application of Zn at flowering stage improves plant's performance, yield and yield attributes of black gram. *Indian Journal of Experimental Biology*, 51: 548-555.
- Patil, B.; Chetan, H. T. 2018. Foliar fertilization of nutrients. *Marumegh: Volume 3(1)*. ISSN: 2456-2904 49.
- Prajapati, S.; Jamkar, T.; Singh, O. P.; Raypuriya, N.; Mandloi, R.; Jain, P. K. 2015. Plant growth regulators in vegetable production: An overview. *Plant Archives*, 15(2): 619-626.
- Rabinowitch, H.; Brewster, J. 1990. *Onion and allied crops*. Vol. I. Botany, Physiology, and Genetics. CRC Press LLC, 273 p.
- Rademacher, W. 2015. Plant growth regulators: backgrounds and uses in plant production. *Journal of Plant Growth Regulation*, 34, 845-872.
- Rafie, M. R.; Khoshgoftarmanesh, A. H.; Shariatmadari, H.; Darabi, A.; Dalir, N. 2017. Influence of foliar-applied zinc in the form of mineral and complexed with amino acids on yield and nutritional quality of onion under field conditions. *Scientia Horticulturae*, 216: 160-168.
- Rajasekar, M.; Udhaya Nandhini D.; Suganthi, S. 2017. Supplementation of mineral nutrients through foliar spray - A review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(3): 2504-2513.
- Rao, R. G. S.; Singh, P. M.; Rai, M. 2006. Storability of onion seeds and effects of packaging and storage conditions on viability and vigour. *Scientia Horticulturae*, 110: 1-6.
- Saadati, S.; Moallemi, N.; Mortazavi, S. M. H.; Seyyednejad, S. M. 2016. Foliar applications of zinc and boron on fruit set and some fruit quality of olive. *Vegetos*. 29:2

Sadak, M. S.; Dawood, M. G.; Bakry, A. B.; El-Karamany, M. F. 2013. Synergistic effect of indole acetic acid and kinetin on performance, some biochemical constituents and yield of faba bean plant grown under newly reclaimed sandy soil. *World Journal of Agricultural Sciences*. 9 (4): 335-344

Sánchez E. E.; Curretti M. 2009. Producción y manejo nutricional de frutales en climas templados. *Informaciones Agronómicas del cono sur*. INTA Alto Valle, Rio Negro Argentina. 5 p.

Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. 2023. Producción de cebolla en Argentina. Evolución del cultivo hasta la temporada 2021/2022. <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sagyp-informe-produccion-cebolla-enero-2023-2.pdf>

Shehata S. A., Hashem M. Y., Ghada I. M., Abd El-Gawad, K. F. 2012. Effect of some pre-harvest treatments on onion seed production under sandy soil conditions. *Journal of Applied Sciences Research*, 8(2): 763-769

Sidhu A. S.; Bal S. S.; Rani M. 2004. Current trends in onion breeding. *Journal of New Seeds* 6: 223-245.

Shishido, Y.; Saito, T. 1976. Studies on the flower bud formation in onion plants II: Effects of physiological conditions on the low temperature induction of flower buds on green plants. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 45 (2): p. 160-167.

Shishido, Y.; Saito, T. 1977. Studies on the flower bud formation in onion plants III: Effects of physiological conditions on the low temperature induction of flower buds in bulbs. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 46: 310-316.

Smith, P. A.; Argerich, C. A. 2019. The use of a hormone-based foliar biostimulant in processing tomatoes. *Acta Horticulturae*. 1233, 1-6

Soto, V.; Maldonado, I.; Gil, R.; Peralta, I.; Silva, M.; Galmarini, C. 2013. Nectar and flower traits of different onion male sterile lines. *Journal of Economic Entomology*, 106(3): 1386-1394.

Soto, V. C.; Caselles, C. A.; Silva, M. F.; Galmarini, C. R. 2018. Onion hybrid seed production: Relation with nectar composition and flower traits. *Journal of Economic Entomology*, 111(3): 1023-1029.

Soto, V. C.; Gatica, I. J. G.; Galmarini, C. R. 2021. Onion (*Allium cepa* L.) hybrid seed production: Sugar content variation during the flowering period. *Crop Science*, 61: 3529-3537.

Soto, V.C.; Cuevas, J. 2025. Pistil Development Delay Limits Seed Set in Protandrous Onion (*Allium cepa* L.). *Agronomy* 2025, 15, 552.

Stowe B. B.; Yamaki T. 1957. The history and physiological action of the gibberellins. *Annual Review of Plant Physiology*, 8:181-216.

Suganiya, S.; Kumuthini, D. H. 2015. effect of boron on flower and fruit set and yield of ratoon Brinjal crop. International Journal of Scientific Research and Innovative Technology, 2 (1): 35-141.

Tariq, M.; Mott, C. J. B. 2007. Effect of boron on the behavior of nutrients in soil-plant systems-A review. Asian Journal of Plant Sciences, 6 (1): 195-202.

Trademap, 2023. International Trade Centre. <https://www.trademap.org>. [Consultado diciembre 2023].

Triharyanto E.; Wijayanti, D. P.; Setyaningrum, D. 2022. Morphology, structure and potential of bulbils yield as a planting material of onion in tropical region. Universal Journal of Agricultural Research, 10(3): 204-212.

Trinidad Santos, A.; Aguilar Manjarrez, D. 1999. Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. Terra Latinoamericana, 17 (3): 247-255.

Tuna, A. L.; Bürün, B.; Yokas, I.; Çoban, E. 2002. The effects of heavy metals on pollen germination and pollen tube length in the tobacco plant. Turkish Journal of Biology, 26: 109-113.

Tuteja, N.; Mahajan, S. 2007. Calcium signaling network in plants: an overview. Plant signaling y behavior, 2(2): 79-85.

Voss, R. E.; Murray, M., Bradford, K., Mayberry, K. S., Miller, I., Long, R., Gillespie, S. 2013. Onion seed production in California. University of California Peer Reviewed. ANR Publication 8008.

Wang, Q., Lu, L.; Wu, X.; Li, Y.; Lin, J. 2003. Boron influences pollen germination and pollen tube growth in *Picea meyeri*. Tree Physiology, 23:345-351.

Wang, Y.; Zhao, J., Lu, W., Deng, D. 2017. Gibberellin in plant height control: Old player, new story. Plant Cell Report, 7(36): 391-398.

White P. J.; Broadley M. R. 2003. Calcium in plants. Annals of Botany, 92 (4): 487-511.

Wiebe, H. J. 1990. Vernalization of vegetable crops - A review. Acta Horticulturae, 267, 323-328.

Williams I. H. y Free J. B. 1974. The pollination of onion (*Allium cepa* L.) to produce hybrid seed. Journal of Applied Ecology, 11, (2): 409-417.

Wilkaniec, Z.; Giejdasz, K; Prószyński, G. 2004. Effect of pollination of onion seeds under isolation by the red mason bee (*Osmia rufa* L.) (Apoidea, Megachilidae) on the setting and quality of obtained seeds. Journal of Apicultural Science, 48(2): 35-41.

Yadav, A. N. 2020. Plant microbiomes for sustainable agriculture: current research and future challenges. In: Plant Microbiomes for Sustainable Agriculture; Desarrollo Sostenible y Biodiversidad; Yadav, A. N., Singh, J., Rastegari, A. A., Yadav, N., Eds.; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, pp. 475-482.

Yamaguchi, M. 1983. World vegetables: principles, production and nutritive values. *Molecular Nutrition*, 28, 1028.

Yeshiwas, Y.; Alemayehu, M.; Adgo, E. 2023. The rise and fall of onion production, Its multiple constraints on pre-harvest and post-harvest management issues along the supply chain in northwest Ethiopia. *Heliyon*, 9.

Zaman K.; Tariq, M.; Arshad K. M.; Mansoor, M.; Ali, R.; Jamil, M.; Yaqoo, M.; Waheed, M. 2019. Maximizing onion seed production through foliar application of zinc and boron. *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research Series B: Biological Sciences*, 62B (1): 1-7.

Zazímalová, E.; Murphy, A. S.; Yang, H.; Hoyerová, K.; Hosek, P. 2010. Auxin transporters - why so many? *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology* 2, a001552.

Zimmerman, P. W.; Wilcoxon, F. 1935. Several chemical growth substances which cause initiation of roots and other responses in plants. *Contributions from Boyce Thompson Institute*, 7: 209-229.