

Desarrollo de *Sinapis alba* subsp. *mairei* y Producción de Glucosinolatos con Diferentes Dosis de Siembra y Tipos de Abonado



1.- Introducción y Objetivo

2.- Material y Métodos

3.- Resultados

4.- Conclusiones

5.- Recomendaciones



Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera
**CONSEJERÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA,
PESCA Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



Desarrollo de *Sinapis alba* subsp. *mairei* y Producción de Glucosinolatos con Diferentes Dosis de Siembra y Tipos de Abonado [Saavedra, M., De Haro, A., Carbonell, R., Alcántara, C.] – Consejería de Agricultura, Pesca, Ganadería y Desarrollo Sostenible. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, 2019. 1-20 pp. - (Protección Vegetal Sostenible).

Mostaza blanca – fertilización – biofumigación – *Sinapis alba*



Este documento está bajo Licencia Creative Commons.
Reconocimiento-No comercial-Sin obra derivada.
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es>

Desarrollo de *Sinapis alba* subsp. *mairei* y Producción de Glucosinolatos con Diferentes Dosis de Siembra y Tipos de Abonado.

© Edita JUNTA DE ANDALUCÍA. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.
Consejería de Agricultura, Pesca, Ganadería y Desarrollo Sostenible.
Córdoba, junio de 2019.

Autoría:

Milagros Saavedra Saavedra ¹
Antonio De Haro Bailón ²
Rosa Carbonell Bojollo ¹
Cristina Alcántara Braña ¹

¹ IFAPA, Centro Alameda del Obispo

² IAS-CSIC, Córdoba

Colaboradores:

Verónica Pedraza Jiménez ¹
Rafael García Ruíz ¹
Rafaela Ordóñez Fernández ¹
Rubén Romero García ¹
Juana Mesa Escudero ¹
Sara Obregón Cano ²
José Luis Luque Ojeda ²

Agradecimientos:

Proyectos: TRA-2019.010 “Experimentación, Cooperación y Transferencia de Tecnología en Olivar”, TRA-201600.2 “Transferencia de Tecnología y Cooperación en Olivar y Aceite” y AVA 201601.17 “Investigación e Innovación Tecnológica para la Sostenibilidad de los Cultivos Herbáceos Extensivos en Andalucía”, financiados con fondos FEDER e IFAPA.

A M^a Ángeles Gutiérrez y Cristóbal Martínez por su asistencia en el ensayo.

Desarrollo de *Sinapis alba* subsp. *mairei* y Producción de Glucosinolatos con Diferentes Dosis de Siembra y Tipos de Abonado

1.- Introducción y Objetivo

Sinapis alba subsp. *mairei* es una subespecie autóctona, muy bien adaptada a las condiciones de cultivo del olivar, es muy **competitiva con las malas hierbas** cuando su desarrollo es idóneo y no necesita ayuda de herbicidas. Pero esta competencia depende en gran medida del tiempo que tarde en cubrir el suelo, por lo que la densidad de siembra y la fertilidad para alcanzar un gran desarrollo, pueden jugar un papel importante. Esta especie es relativamente **exigente en N para producir biomasa**, como puede observarse en la **Figura 1**, y además **necesita azufre para sintetizar los glucosinolatos**, que son en gran medida responsables de su eficacia cuando se incorpora al suelo como biofumigante. Es por tanto deseable, no solo producir biomasa, sino también que esta tenga un alto contenido en glucosinolatos.

En cuanto a la cantidad de N, Sáez-Bastante *et al.* (2016) determinaron que se necesitan en torno a 100 Ud fertilizantes para obtener la máxima producción de aceite de su semilla. Sin embargo, para emplearla como cobertura vegetal, estas cantidades podrían ser algo más bajas, puesto que la planta se pica e incorpora al suelo en estado vegetativo o en floración, y no completa el ciclo. Por otro lado, en las condiciones en que se ha de desarrollar la planta para hacer la biofumigación, **en los olivares, es frecuente una baja fertilidad del suelo**, lo que limita su desarrollo, y esto hay que tenerlo en cuenta. Además, en los olivares suele haber **irregularidades en el terreno que dificultan la instalación** de las plantas y es preciso hacer siembras con una cantidad de semilla mayor que si se tratara de cultivos herbáceos, en los que normalmente los suelos son más homogéneos y se preparan mejor para la siembra. Por ello, antes de determinar la dosis de semilla, se debe tener en cuenta también el estado del suelo, y es importante conocer la importancia de este factor en el desarrollo de la especie.

Por todo lo anterior **se considera necesario evaluar la respuesta a la fertilización y las dosis de siembra de la especie *Sinapis alba***. Entre los fertilizantes de uso habitual en el olivar, el **sulfato amónico**, que tiene un alto contenido en azufre, proporcionó buenos resultados en ensayos anteriores (Saavedra *et al.* 2016). Pero también, según la experiencia de los investigadores del IFAPA, Dr. R. García-Ruiz y su equipo, expertos en el cultivo de especies crucíferas similares a *Sinapis alba*, el uso de abonado **NPK en fondo y nitrosulfato amónico** en cobertera podría ser adecuado.

El objetivo de este trabajo ha sido: evaluar las dosis de siembra de *Sinapis alba* y las estrategias de abonado, adecuadas para maximizar el desarrollo de la planta y el contenido de glucosinolatos de esta especie, con el fin de que sea eficaz cuando se emplea como cobertura vegetal para biofumigación.

- Sáez-Bastante *et al.* 2016. Evaluation of *Sinapis alba* as feedstock for biodiesel production in Mediterranean climate. Fuel, 184: 656-664.
- Saavedra *et al.* 2016. Implantación y manejo de *Sinapis alba* subsp. *mairei* para cubierta vegetal y biofumigación. CAPDER-IFAPA. 1-28 pp.

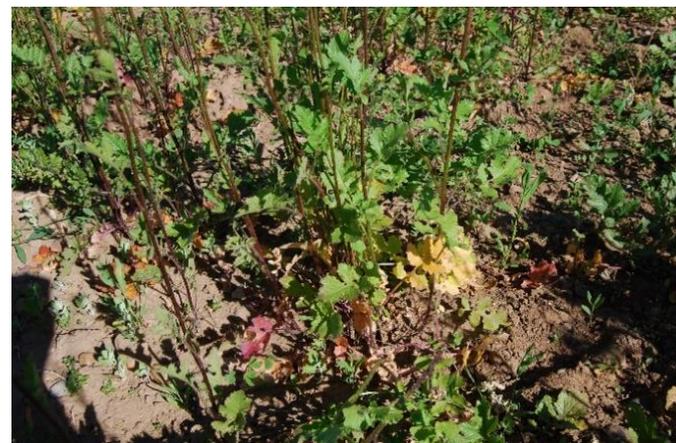


Figura 1. Síntomas de falta de nitrógeno en *Sinapis alba* subsp. *mairei*: hojas amarillas y rojizas, tallos rojizos, escasa biomasa, adelanto del estado fenológico, senescencia de hojas bajas.

Desarrollo de *Sinapis alba* subsp. *mairei* y Producción de Glucosinolatos con Diferentes Dosis de Siembra y Tipos de Abonado

2.- Material y Métodos

Se han llevado a cabo **dos ensayos** en las fincas del IFAPA Alameda del Obispo y Las Torres-Tomejil (Alameda y Tomejil) durante la campaña 2015-2016. Los suelos son profundos en las dos localidades, en Alameda de textura franca, pH=8,6 y 19,2 % de carbonatos, y en Tomejil de textura arcillosa, pH=7,9 y 25,39 % de carbonatos.

Se evaluaron **3 dosis de siembra y 4 estrategias de abonado más un testigo sin abonar (Tabla 1)**. El diseño fue 4 bloques en Strip-Plot, con factor horizontal “abonado” y factor vertical “dosis de siembra”. Las parcelas elementales fueron de 4 m x 4,5 m, con pasillos de separación de 2 m.

Análisis de Residuos de Herbicidas en Suelo

Antes de la siembra, en septiembre 2015, se tomaron muestras de suelo a 10 cm de profundidad en cada bloque compuestas por 5 cilindros de 2,5 cm de diámetro y se analizaron en el laboratorio de la UCO (SCAI) los posibles residuos que pudiera haber como consecuencia de tratamientos anteriores con herbicidas al trigo. La sensibilidad del análisis era 0,01 microg/kg (ppb).

Se detectaron residuos de mesosulfurón, que fueron muy bajos en el bloque 2 de Alameda y bloque 4 de Tomejil y algo más elevados en el bloque 3 de Tomejil (1,43 µg/kg), pero al tratarse de un herbicida contra especies gramíneas no se le atribuyen efectos sobre especies dicotilédneas como *Sinapis alba*. No se detectaron metsulfurón-metil, tribenurón-metil ni iodosulfurón-metil-sodio.

Análisis de Nitrógeno en Suelo

En septiembre, poco antes de la siembra, se tomaron muestras de suelo en cada bloque, compuestas por 4 submuestras por bloque y a las profundidades: 0-10, 10-30 y 30-60 cm, y se determinaron los contenidos en nitrato y amonio (mg/kg=ppm) en el laboratorio del IFAPA.

Los resultados de los análisis mostraron contenidos para el bloque 1 de Tomejil anormalmente elevados y fuera de los límites planteados para este ensayo, por lo que se eliminó. Los valores medios de los bloques elegidos se muestran en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Valores del contenido inicial de nitrógeno en suelo a las profundidades 0-10, 10-30 y 30-60 cm.

	Profundidad cm	N.NO3- mg/kg	N.NH4+ mg/kg
Tomejil (3 bloques)	0-10	24,12	6,93
	10-30	24,95	4,06
	30-60	12,37	7,41
Alameda (4 bloques)	0-10	41,96	5,00
	10-30	18,74	1,78
	30-60	14,04	2,53

Desarrollo de *Sinapis alba* subsp. *mairei* y Producción de Glucosinolatos con Diferentes Dosis de Siembra y Tipos de Abonado

Abonado Ud de N por ha

Se establecieron 4 tratamientos de abonado y un testigo sin abonar. Se emplearon sulfato amónico (SA), nitrosulfato amónico (NSA) y Triple 15. Las aplicaciones en fondo se hicieron en el momento anterior a la siembra (8 y 9 de octubre 2015) sin enterrar el abono, y las coberteras con plantas de 35-40 cm (11 y 15 de enero 2016). Las dosis de fertilizante y las unidades totales aportadas en cada momento se indican en la **Tabla 2**. Se empleó una abonadora centrífuga de tracción manual y se dieron 2 pases, en ambos sentidos, para que la distribución fuera uniforme (**Figura 2A**).

Composición de los Abonos

- SA: Sulfato amónico, N-21 %, SO_3 -60 %.
- NSA: Nitrosulfato amónico, N-26 % (nitrógeno 6,5%, amoniacal 19,5%), SO_3 -37 %.
- Triple 15: N-15 % (amoniacal 13%, ureico 2 %), P_2O_5 -15%, K_2O -15%, SO_3 -20 %.

Siembra y Dosis de Semilla

Las siembras se realizaron el 9/10/2015 en Alameda y el 8/10/2015 en Tomejil a las dosis **D1=5, D2=7,5 y D3=10 kg/ha**, equivalentes a 132, 198 y 264 semillas viables/m² respectivamente. Se utilizó una sembradora de precisión a chorrillo automotriz (**Figura 2B**).



Figura 2. Detalle del abonado y de la siembra.

Tabla 2. Tipo de abono y dosis aplicada en cada tratamiento de abonado. Se indican las unidades fertilizantes aportadas de N y SO_3 en fondo y cobertera.

		TRATAMIENTOS DE ABONADO				
		A1	A2	A3	A4	A5
kg/ha y Tipo de abono	FONDO	156 SA	70 SA	50 Triple 15	100 Triple 15	0
	COBERTERA	0	242 SA	100 NSA	200 NSA	0

		UNIDADES APORTADAS				
		A1	A2	A3	A4	A5
N	FONDO	32,7	14,7	7,5	15	0
	COBERTERA	0	50,8	26	52	0
	TOTAL	32,7	65,5	33,5	67	0
SO_3	FONDO	93,6	42	10	20	0
	COBERTERA	0	145,2	37	74	0
	TOTAL	93,6	187,2	47	94	0

SA: Sulfato amónico, N-21 %, SO_3 -60 %.

NSA: Nitro sulfato amónico, N-26 % (nitrógeno 6,5 %, amoniacal 19,5 %), SO_3 -37 %.

Triple 15: N-15% (amoniacal 13 %, ureico 2 %), P_2O_5 -15%, K_2O -15 %, SO_3 -20 %.

Desarrollo de *Sinapis alba* subsp. *mairei* y Producción de Glucosinolatos con Diferentes Dosis de Siembra y Tipos de Abonado

Muestreo y Análisis de datos:

- Plantas Instaladas: Densidad (Nº plantas/m²) y Emergencia (%)

Se contaron las plantas emergidas en 10 muestras de 0,1 m² en cada parcela, en Alameda (30/10/2015) y en Tomejil (10/11/2015). En Alameda en los tratamientos de abonado A3 y A4 se tomaron 10 muestras adicionales (30/11/2015), hasta un total de 20.

- Aspecto

En Alameda el 9/2/2016 se anotó el aspecto general de cada parcela según un criterio agronómico de agricultor, valorando su frondosidad, biomasa, homogeneidad, etc., siguiendo una escala de 0 a 5, donde 0=sin planta, 1=muy mal, 2=mal, 3=regular, 4=bueno y 5=Excelente.

- Precocidad en la Floración

En Alameda, cuando se iniciaba la floración, se tomaron datos visuales de cantidad de flores abiertas el 9/2/2016, siguiendo una escala de 0 a 10, donde 0=sin flores y 10=antesis, es decir, interpolando los valores entre los de la escala BBCH 60 (Valor 1) y 65 (Valor 10). Se utilizó este rango más amplio para diferenciar mejor la evolución de la floración que en *Sinapis alba* es relativamente larga en el tiempo.

- Altura de las Plantas, Biomasa y Nº de Tallos

Se segaron 2 muestras de 0,5 m x 0,5 m en cada parcela, uniéndolas y haciendo un total de 0,5 m², el 17 y 18 de febrero, al inicio de floración (**Figura 3**), momento en el que se considera adecuado realizar la biofumigación. Se obtuvo peso fresco, peso seco, nº de tallos producidos por brotación muy a ras de suelo y se midieron las plantas, que ya estaban florecidas aunque no totalmente elongados los tallos. Se estimaron las relaciones entre peso seco/peso fresco, nº de tallos/nº de plantas emergidas.

Se realizaron los análisis de varianza y se establecieron las diferencias significativas mediante el test Tukey a $P < 0,05$ o $P < 0,10$.



Figura 3. Detalle del muestreo:
A) muestras de 0,5 m x 0,5 m.
B) extracción de las plantas.

Desarrollo de *Sinapis alba* subsp. *mairei* y Producción de Glucosinolatos con Diferentes Dosis de Siembra y Tipos de Abonado



Figura 4. Detalle del muestreo de plantas para análisis de glucosinolatos: A) Peso de la parte superior de las plantas y B) embolsado para congelación inmediata.

- Contenido de N en Planta

Las muestras de biomasa extraídas en febrero se molieron y se determinó el contenido en N para los bloques 1, 2 y 4, y los tratamientos A1, A2, A4 y A5. Para dicha determinación se utilizó el método por combustión de alta eficiencia en analizador elemental CNS Truspec.

- Contenido en Glucosinolatos

A fin de comparar el efecto de los tratamientos sobre el contenido de glucosinolatos, en Alameda se tomaron 3 muestras de plantas por parcela, cortando los 30 cm superiores, para los tratamientos de abonado A1, A2, A4 y A5 para la densidad D2 en 3 bloques (**Figura 4**). No se consideró el tratamiento A3, ya que no aportó más biomasa ni se observó ventajas sobre los demás, ni tampoco en costes. Se analizaron los contenidos en **glucosinolatos totales** mediante el método de referencia europeo (ISO 9167-1, 1992), que conlleva la extracción de glucosinolatos en metanol caliente, la adsorción y desulfatación en resinas de intercambio iónico (Sephadex DEAE A-25) durante 16 horas y el análisis por cromatografía líquida (HPLC).

Además de los glucosinolatos totales se obtuvieron las relaciones entre:

- Contenido en glucosinolatos respecto a los testigos de cada bloque y
- Biomasa, peso seco, respecto a los testigos de cada bloque.
- De estas dos relaciones se obtuvo el porcentaje de glucosinolatos de los tratamientos de abonado respecto al testigo.
- Se establecieron las diferencias mediante el test MDS a $P < 0,05$.

Desarrollo de *Sinapis alba* subsp. *mairei* y Producción de Glucosinolatos con Diferentes Dosis de Siembra y Tipos de Abonado

4.- Resultados

Las plantas se desarrollaron con normalidad, sin daños de plagas, enfermedades o accidentes climatológicos, como puede observarse en la **Figura 5**. La pluviometría desde el 1 de septiembre hasta la recolección de las muestras para biomasa (17-18 febrero) fue de 262,8 mm en Alameda y 194,8 mm en Tomejil.

Las respuestas al tratamiento “Abonado” o a las “Dosis de Siembra” de los distintos parámetros medidos se muestran a continuación. Los análisis estadísticos de los parámetros analizados no mostraron en ningún caso interacción abono x dosis, por lo que se presentan los dos factores por separado.

4.1.- Plantas Instaladas: Densidad (Nº plantas/m²) y Emergencia (%)

Se instaló un mayor número de plantas en las dosis de siembra más altas, como era de esperar, con diferencias significativas entre dosis en las dos localidades. Sin embargo, el porcentaje de plantas emergidas respecto al número de semillas sembradas fue más bajo cuanto mayor era la dosis de siembra, y esto fue más evidente en Alameda. Ver **Figura 6**.

En Tomejil también hubo diferencias entre tipos de abonado. Este hecho podría atribuirse a cierto efecto de los abonos aportados junto con la semilla, ya que la fertilización puede afectar a la germinación y posterior establecimiento de las plantas, aunque en este caso el efecto no es claro, al tratarse de dosis relativamente bajas de fertilizante y suelos que ya cuentan con cierta cantidad de N en suelo.

Es importante señalar que **al aumentar las dosis de semilla en siembra no se consigue un incremento proporcional del nº de plantas**, sino que la competencia entre ellas hace que se reduzca el porcentaje de plantas instaladas. Es posible que con siembras a voleo no sea tan acusada la reducción, incluso que no se produzca la reducción, por estar las plantas más separadas entre si al distribirse por toda la superficie.



Figura 5. Aspecto de las plantas en Alameda el 4 de diciembre.

- D2=7,5 kg/ha de semilla; A1=156 kg/ha de sulfato amónico en fondo
- A4=100 kg/ha de triple 15 en fondo (antes de abonar en cobertera con 200 kg/ha de nitrosulfato amónico).

Desarrollo de *Sinapis alba* subsp. *mairei* y Producción de Glucosinolatos con Diferentes Dosis de Siembra y Tipos de Abonado

En esta **Figura 6** se puede observar la influencia del abonado y la densidad de siembra en las dos localidades, Alameda y Tomejil, sobre la densidad de plantas y el porcentaje de emergencia.

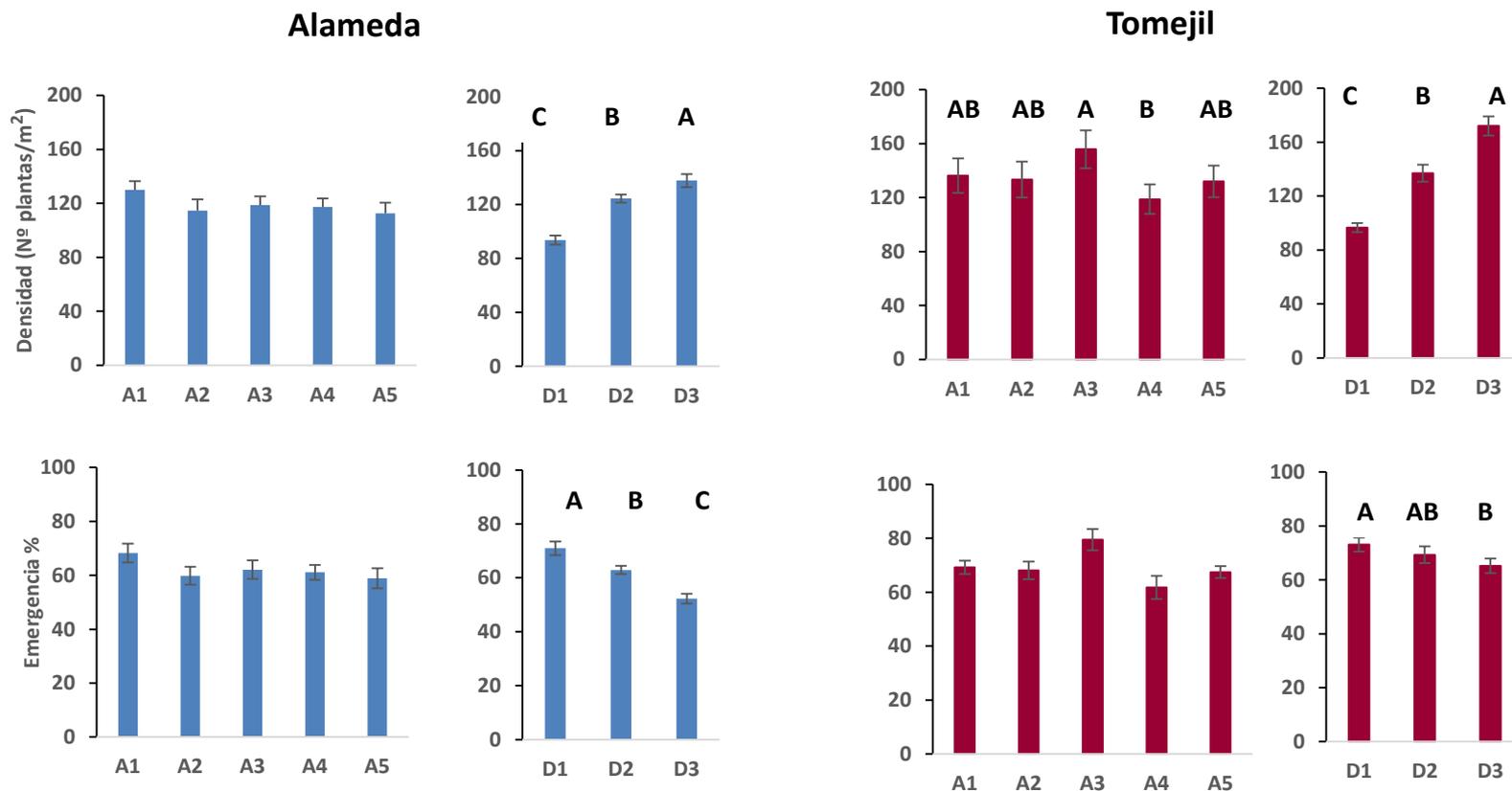


Figura 6. Densidad de plantas instaladas (Nº Plantas/m²) y porcentaje de emergencia respecto a la semilla sembrada. Letras diferentes representan diferencias significativas según el Test Tukey a P<0,05. Barras verticales representan el error estándar.

DESARROLLO DE *Sinapis alba* subsp. *mairei* Y PRODUCCIÓN DE GLUCOSINOLATOS CON DIFERENTES DOSIS DE SIEMBRA Y TIPOS DE ABONADO

4.2.- Aspecto de las Plantas en Alameda

Se observaron diferencias en el aspecto de las plantas (**Figura 7**), que fueron significativas en los diferentes abonados respecto al testigo no abonado, pero no con las densidades de siembra. En D1 las variaciones (mayor error estándar) fueron mayores que en D2 y D3. Claramente A5-Testigo sin abonar presentó peor aspecto.

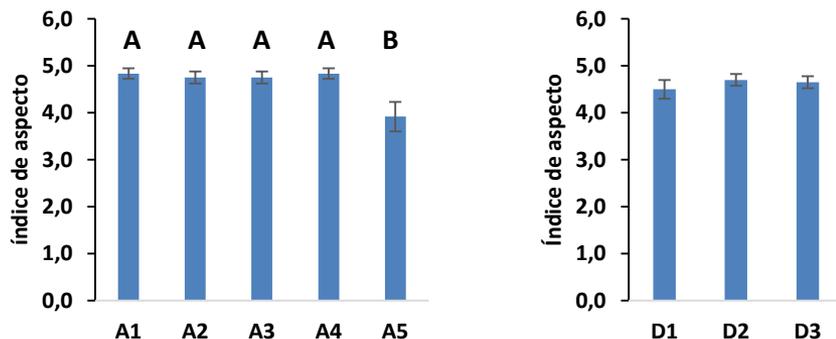


Figura 7. Aspecto de las plantas en Alameda según las diferentes estrategias de abonado y dosis de siembra (9/2/2016) al inicio de la floración.

Escala subjetiva de 0 (muy mal estado) a 5 (excelente) según criterio agronómico global desde el punto de vista de un agricultor.

Letras diferentes representan diferencias significativas según el Test Tukey a $P < 0,05$. Barras verticales representan el error estándar.



Figura 8. Aspecto de las plantas en Alameda.

El desarrollo en los diferentes tratamientos de “dosis de semilla” y “tipos de abonado” fue aparentemente similar en los estados vegetativos, salvo en el testigo no abonado que presentó peor aspecto. Las diferencias más notables se produjeron al finalizar el ciclo, sobre todo en la floración.

Desarrollo de *Sinapis alba* subsp. *mairei* y Producción de Glucosinolatos con Diferentes Dosis de Siembra y Tipos de Abonado

4.3.- Precocidad en la Floración en Alameda

Hubo diferencias entre tratamientos de abonado (**Figura 9**), pero no en las dosis de siembra. El tratamiento A5-Testigo no abonado fue significativamente más precoz en florecer, con diferencias significativas respecto a A2 que resultó ser el más tardío. Entre los tratamientos abonados, A1, A2, A3 y A4 no hubo diferencias estadísticas. En la **Figura 10** se pueden observar las diferencias entre parcelas con flores y sin flores.

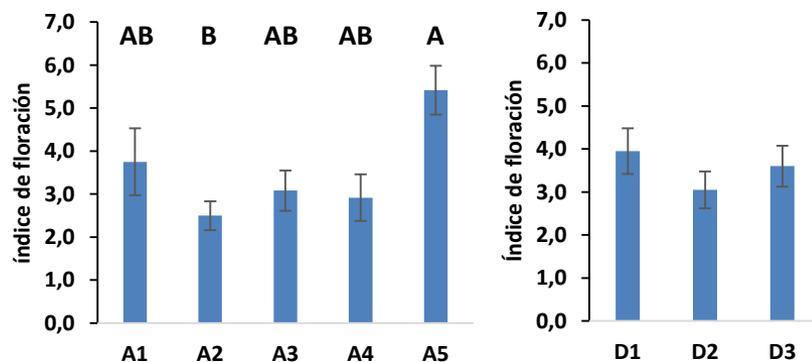


Figura 9. Índice de floración en Alameda según las diferentes estrategias de abonado y dosis de siembra.

Índice de 0-10, interpolado entre los valores de la escala BBCH de 60 (inicio de floración a 65 (Antesis, plena floración). Letras diferentes representan diferencias significativas según el Test Tukey a $P < 0,05$. Barras verticales representan el error estándar.



Figura 10. Vista general del ensayo (9/2/2016) en el que se aprecian parcelas con flores abiertas y otras aun cerradas.

Las más precoces fueron las parcelas A5-testigo y las A1, que se abonaron solo en fondo y con una dosis de N más baja.

Desarrollo de *Sinapis alba* subsp. *mairei* y Producción de Glucosinolatos con Diferentes Dosis de Siembra y Tipos de Abonado

4.4.- Altura de las Plantas

No hubo diferencias significativas, aunque se observó una tendencia a mayor altura en A4, sobre todo en Alameda, y menor en el testigo no abonado, A5 (Figura 11). También se observó una tendencia a un menor tamaño de planta conforme aumenta la densidad de planta.

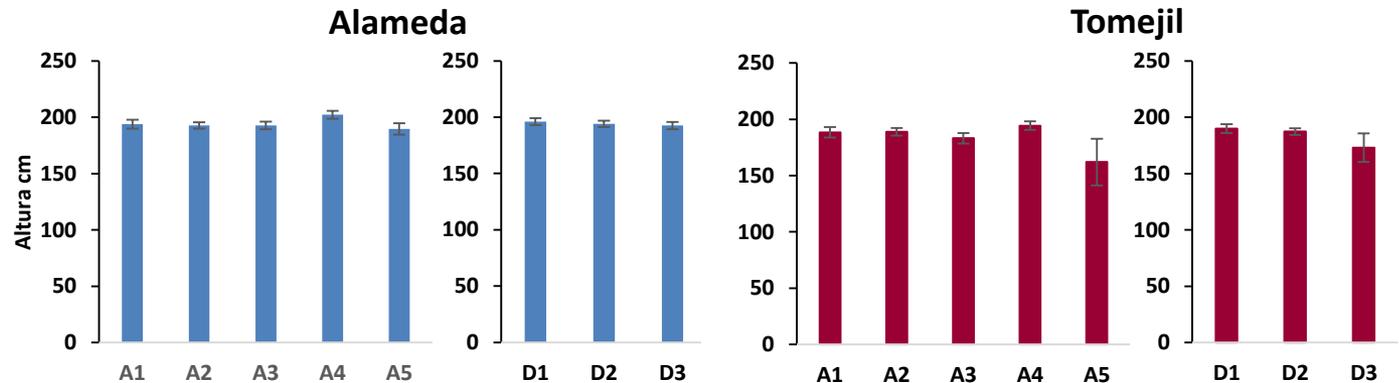


Figura 11. Altura de las plantas en los distintos tratamientos de abonado y dosis de siembra. Barras verticales representan el error estándar.

4.5.- Nº de Tallos/m²

Se produjo un efecto positivo de las dosis de siembra sobre el número total de tallos en Alameda y Tomejil, pero no hubo efecto del abonado (Figura 12). En respuesta al mayor nº de plantas se produjeron mayor nº de tallos. La ramificación basal de las plantas en las densidades más bajas, y no hubo diferencias en el número de tallos por planta ni en los diferentes abonados ni en las diferentes dosis.

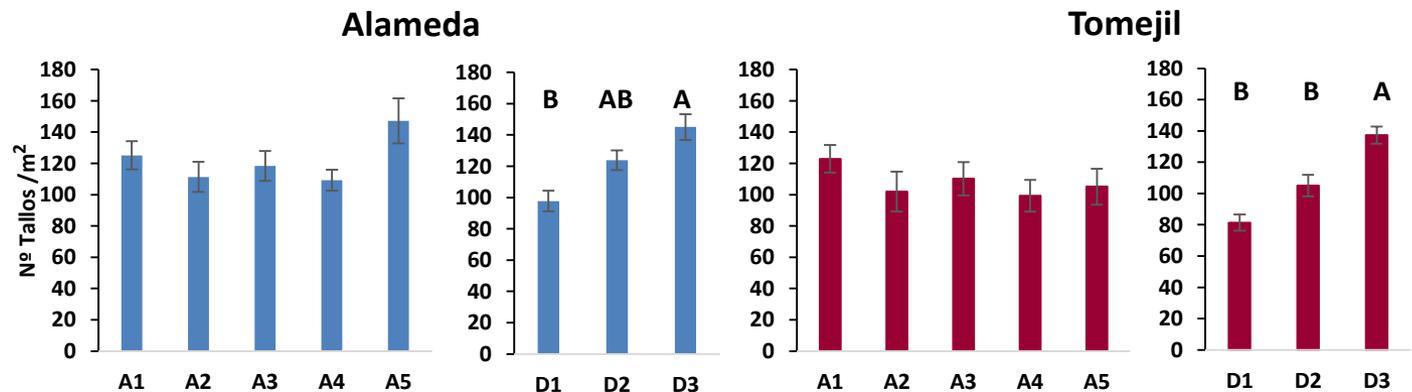


Figura 12. Número de tallos por m² en los distintos tratamientos de abonado y dosis de siembra. Letras diferentes representan diferencias significativas según el Test Tukey a P<0,05. Barras verticales representan el error estándar.

Desarrollo de *Sinapis alba* subsp. *mairei* y Producción de Glucosinolatos con Diferentes Dosis de Siembra y Tipos de Abonado

4.6.- Biomasa Peso Seco/ha

Tanto en peso fresco como peso seco producido por hectárea se produjo la misma respuesta. En la **Figura 13** se presentan los datos para peso seco, destacando el abonado A4 con diferencias significativas respecto al testigo. En las dos localidades no hubo diferencias estadísticas entre el testigo y los abonados A1, A2 y A3. Esto nos indica que en suelos de fertilidad media como los del ensayo no resulta imprescindible abonar *Sinapis alba* para obtener una biomasa aceptable como cobertura vegetal. No hubo diferencias entre dosis de siembra. Se deduce por tanto que una dosis intermedia, que asegure un desarrollo de la cobertura rápido es suficiente. En la **Figura 14** se muestra el estado de las plantas en el momento de la evaluación de la biomasa.

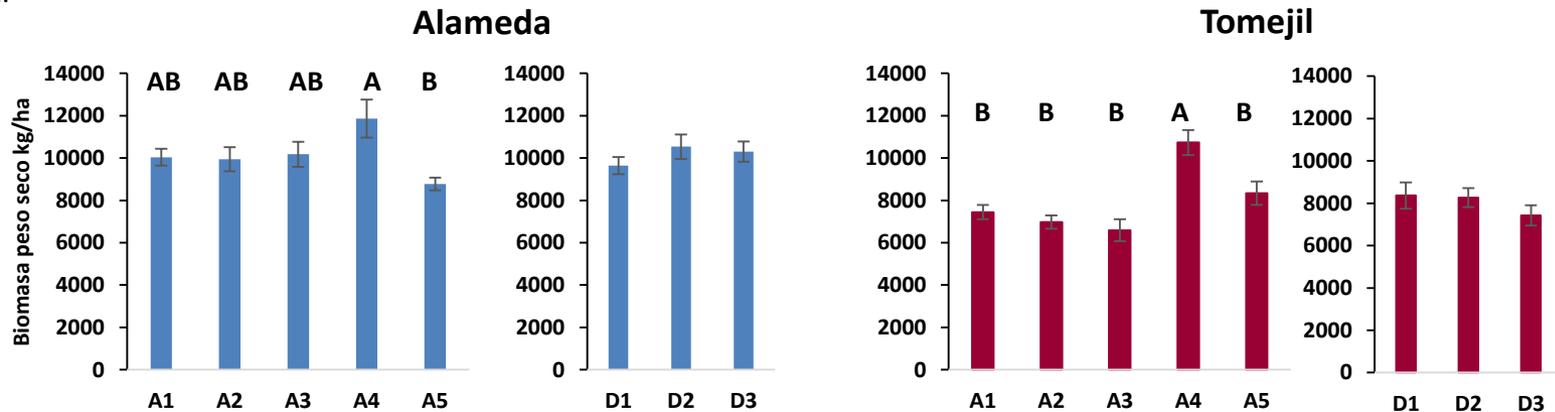


Figura 13. Biomasa, peso seco, producida por hectárea según las diferentes estrategias de abonado (A) y dosis de siembra (D). Letras diferentes representan diferencias significativas según el Test Tukey a $P < 0,05$. Barras verticales representan el error estándar.



Figura 14. Desarrollo de las plantas en el momento de la obtención de la biomasa: A) Alameda y en B) Tomejil. (17 y 18 febrero 2016).

Desarrollo de *Sinapis alba* subsp. *mairei* y Producción de Glucosinolatos con Diferentes Dosis de Siembra y Tipos de Abonado

4.7.- Peso Seco/Peso Fresco

Solo se produjeron diferencias significativas en Alameda en abonado (Figura 15). Fue más alta en el testigo A5 que en A2. Este parámetro se relaciona con el desarrollo de la planta, con un desarrollo fenológico más avanzado del testigo, que evidencia un estrés por falta de N, lo que acelera la maduración y la finalización del ciclo.

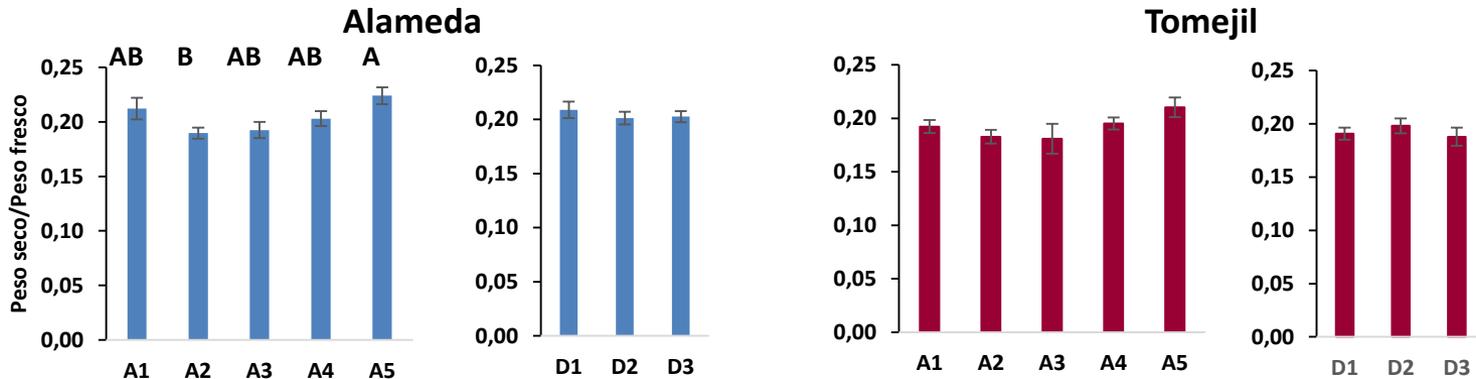


Figura 15. Relación entre peso seco y peso fresco según las diferentes estrategias de abonado y dosis de siembra.

Letras diferentes representan diferencias significativas según el Test Tukey a $P < 0,05$. Barras verticales representan el error estándar.

4.8.- Peso Seco/Tallo

Se produjeron diferencias en Tomejil en los tratamientos de abonado, resultando mayor en A4 que en A1 y A3 (Figura 16). Hubo también diferencias en las dos localidades entre densidades de siembra, siendo más grandes los tallos cuando su número es menor, es decir, cuando la densidad es más baja hay menos tallos pero son más robustos.

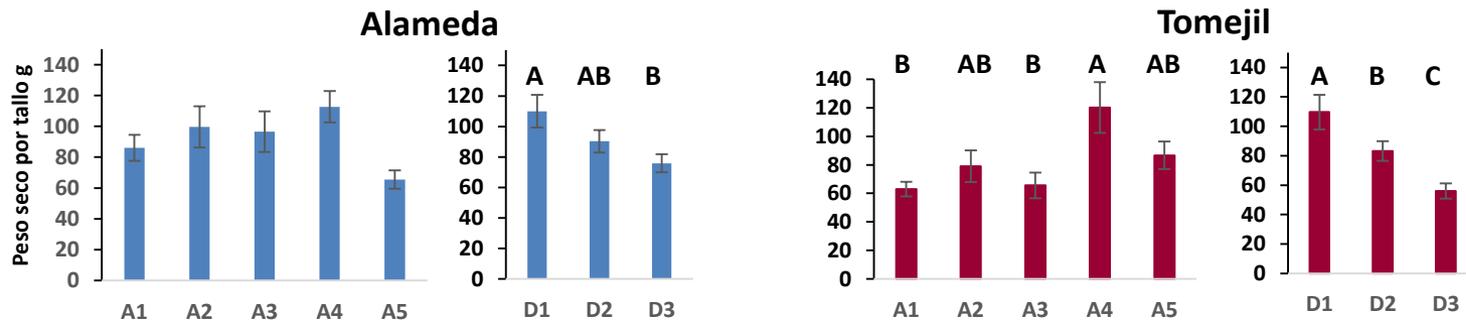


Figura 16. Peso seco por tallo según las diferentes estrategias de abonado y dosis de siembra.

Letras diferentes representan diferencias significativas según el Test Tukey a $P < 0,05$. Barras verticales representan el error estándar.

Desarrollo de *Sinapis alba* subsp. *mairei* y Producción de Glucosinolatos con Diferentes Dosis de Siembra y Tipos de Abonado

4.9.- Contenido de Nitrógeno en Planta y Nitrógeno Total Retenido

En Alameda no se apreciaron diferencias significativas en la concentración de N en planta, pero si las hubo en Tomejil, siendo el tratamiento A5-Testigo el que tuvo valores más bajos, significativamente diferentes de A1 y A2 (**Figura 17**) y también fue más baja en la densidad de siembra más alta D3. En cuanto al N total retenido en planta, los valores totales fueron muy elevados, en torno a 200-300 kg/ha, y en ambas localidades se produjo la misma tendencia (**Figura 18**), con valores más altos en A4, significativamente mayores que en A5-Testigo a $P < 0,10$.

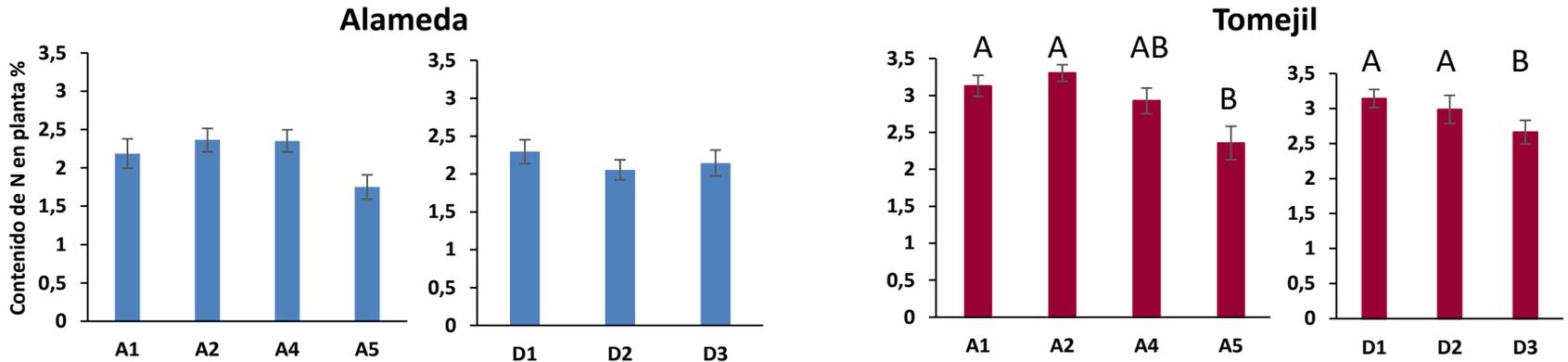


Figura 17. Contenido de N en las plantas, en porcentaje sobre peso seco, en el momento estimado para su incorporación al suelo como biofumigante (17-18 de febrero).

Letras diferentes representan diferencias significativas según el Test Tukey a $P < 0,05$. Barras verticales representan el error estándar.

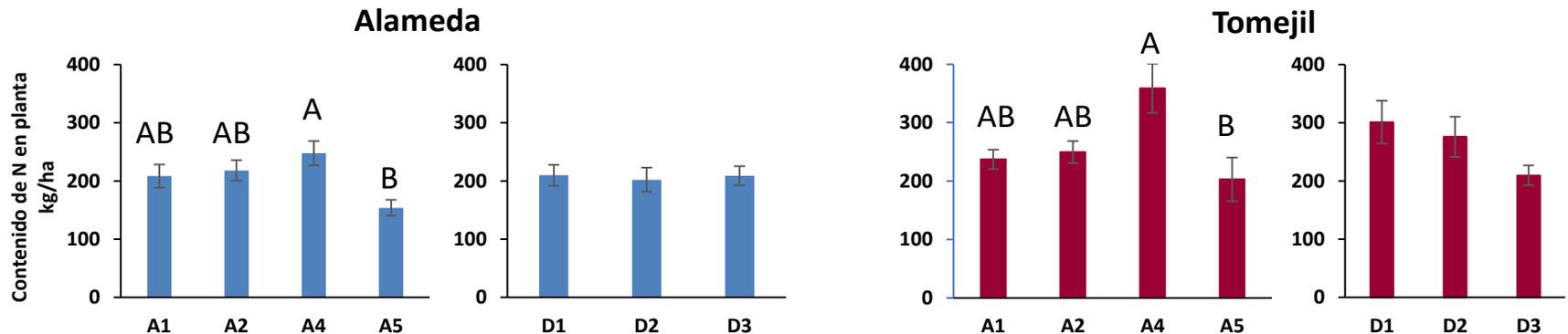


Figura 18. Contenido de N total por hectárea en las plantas en el momento estimado para su incorporación al suelo como biofumigante (17-18 de febrero).

Letras diferentes representan diferencias significativas según el Test Tukey a $P < 0,10$. Barras verticales representan el error estándar.

Desarrollo de *Sinapis alba* subsp. *mairei* y Producción de Glucosinolatos con Diferentes Dosis de Siembra y Tipos de Abonado

4.10.- Contenido de C en Planta y Carbono Total Retenido

El contenido de carbono en planta fue muy similar en todos los tratamientos y dosis en ambas localidades, y osciló en torno a 38-40%, y solo se apreciaron diferencias significativas en Tomejil entre el A5-Testigo y los tratamientos de abonado A1 y A2 (Figura 19). En cuanto al carbono total retenido los valores fueron muy elevados, especialmente en Alameda, pero sin diferencias entre abonados ni entre dosis. En cambio, en Tomejil, si se obtuvieron valores mucho más elevados en el abonado A4, con diferencias significativas respecto a los demás tratamientos, A1, A2 y A5-Testigo.

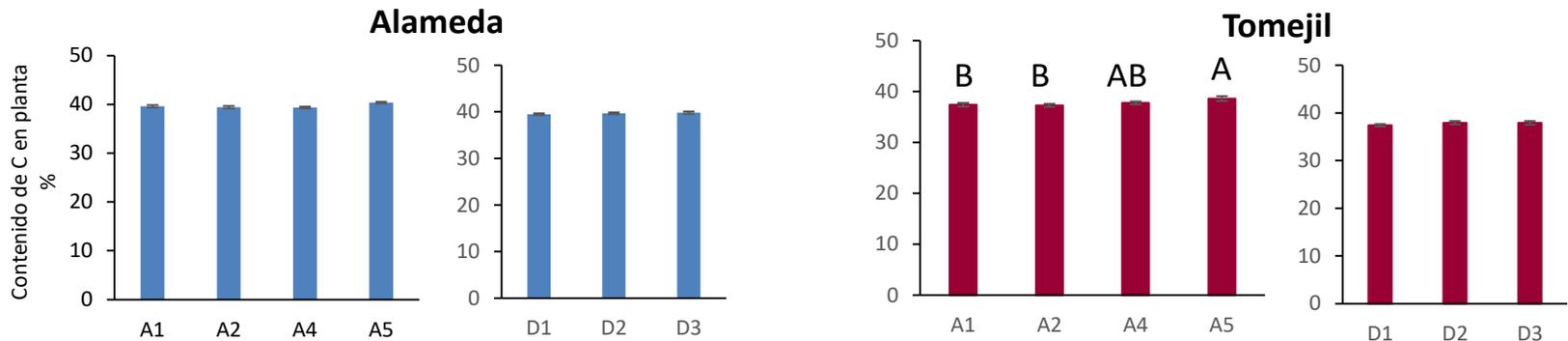


Figura 19. Contenido de C en las plantas, en porcentaje sobre peso seco, en el momento estimado para su incorporación al suelo como biofumigante (17-18 de febrero).

Letras diferentes representan diferencias significativas según el Test Tukey a $P < 0,05$. Barras verticales representan el error estándar.

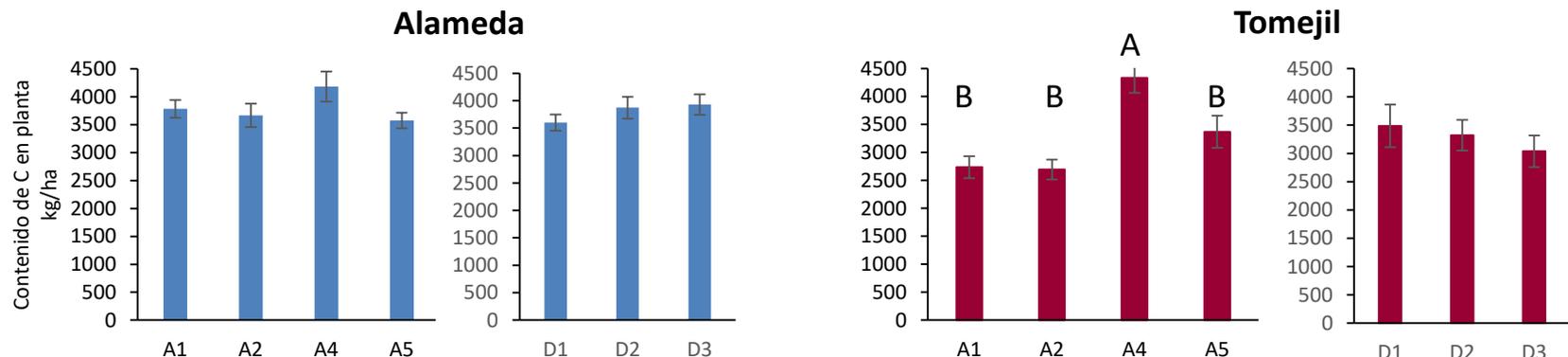


Figura 20. Contenido de C total por hectárea en las plantas en el momento estimado para su incorporación al suelo como biofumigante (17-18 de febrero).

Letras diferentes representan diferencias significativas según el Test Tukey a $P < 0,05$. Barras verticales representan el error estándar.

Desarrollo de *Sinapis alba* subsp. *mairei* y Producción de Glucosinolatos con Diferentes Dosis de Siembra y Tipos de Abonado

4.11.- Concentración de Glucosinolatos en Planta ($\mu\text{mol/g}$ Peso Seco)

Los contenidos de glucosinolatos en las partes superiores de las plantas (**Figura 21**) no fueron diferentes entre tratamientos de abonado ($P < 0,05$), pero si hubo diferencias a $P < 0,10$ según el test MDS entre los tratamientos A2 (valor más alto) y el testigo A5 (valor más bajo). Esta tendencia se mantuvo también para los glucosinolatos más abundantes: sinalbina y glucotropolina.

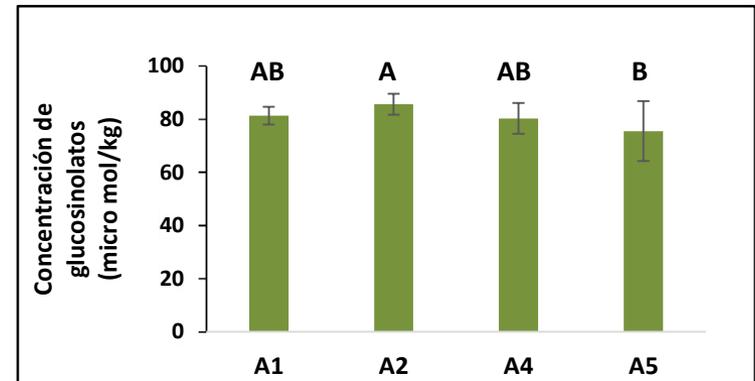


Figura 21. Concentración de glucosinolatos producidos en diferentes tratamientos de abonado (A1, A2 y A4) y sin abonado (A5).

Letras diferentes representan diferencias significativas según el Test MDS a $P < 0,10$. Barras verticales representan el error estándar.

4.12.- Contenido de Glucosinolatos Respecto al Testigo

Al considerar que la biomasa fue mayor en el tratamiento de abonado A4, los resultados nos muestran que este tratamiento aportó más glucosinolatos totales que los abonados A1 y A2, y mucho más que el testigo, como muestra la **Figura 22**, si bien las diferencias representadas se evaluaron para $P < 0,10$. Las diferencias entre tratamientos de abonado no fueron significativas a $P < 0,05$, pero si con respecto al testigo.

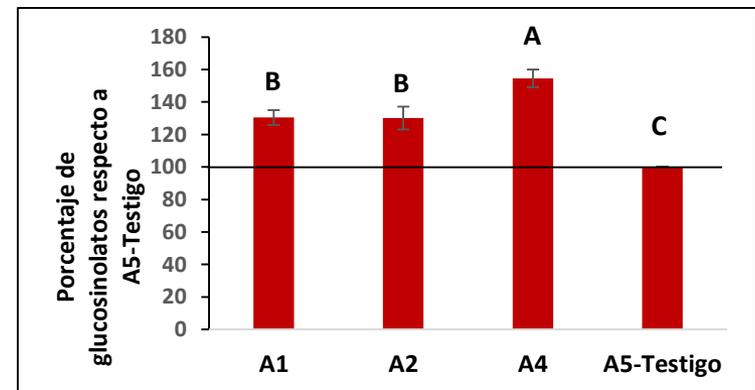


Figura 22. Porcentaje estimado de glucosinolatos totales producidos en diferentes tratamientos de abonado respecto al testigo-A5 no abonado.

Letras diferentes representan diferencias significativas según el Test Tukey a $P < 0,10$. Barras verticales representan el error estándar.

4.- Conclusiones

DOSIS DE SIEMBRA

Para cualquier abonado, **una dosis de siembra de 7,5 kg/ha de semilla con buen poder germinativo es suficiente** para alcanzar una buena cobertura del suelo.

Será necesario incrementar la dosis solo si la preparación del suelo para la siembra no es buena. En cambio, si la preparación es muy buena y las condiciones climáticas muy favorables se puede reducir la dosis de siembra.

ABONADO

El cultivo de *Sinapis alba* subsp. *mairei* como **cobertura vegetal requiere abonado a base de N y S** para producir una elevada cantidad de biomasa con alto contenido en glucosinolatos, que es el objetivo para realizar una buena biofumigación.

- El abonado que produjo **mayor concentración de glucosinolatos** fue el que aportó más cantidad de azufre: **sulfato amónico** aplicado en fondo (70 kg/ha) y cobertera (242 kg/ha).
- El abonado que produjo **más biomasa** fue **Triple 15** en fondo (100 kg/ha) y **nitrosulfato amónico** en cobertera (200 kg/ha). Este abonado a su vez fue el que aportó más cantidad de glucosinolatos por hectárea, como consecuencia de la mayor biomasa.

Se estima que **las necesidades de N para esta especie para utilizarla como cobertura, sin llegar a la producción de semilla, están en torno a las 80-85 Ud de N**. Esta cantidad puede reducirse si en el suelo existe una suficiente concentración de N (> 25 mg/kg).

El aporte de P y K, además del N, mejoró los resultados respecto al abonado exclusivamente con N.

El abonado en fondo con cantidades reducidas de N y S (156 kg/ha de sulfato amónico) mejora ostensiblemente los resultados respecto al no abonado y resulta muy económico.

Las dosis de siembra y abonado se refieren siempre a la superficie realmente ocupada por la cubierta de *Sinapis alba*

Trabajos anteriores :

- Saavedra *et al.* 2015. Características de la especie *Sinapis alba* subsp. *mairei* como cubierta vegetal y para biofumigación. CAPDER-IFAPA. 1-27 pp.

Desarrollo de *Sinapis alba* subsp. *mairei* y Producción de Glucosinolatos con Diferentes Dosis de Siembra y Tipos de Abonado

5.- Recomendaciones

En las condiciones de cultivos leñosos, y especialmente en el olivar y almendro, con suelos de fertilidad media y baja, como los que aparecen en la **Figura 16 A y B**, es necesario abonar la cubierta de *Sinapis alba* subsp. *mairei*.

Se deben seguir estas pautas:

- **Analizar el suelo** antes de implantar *Sinapis alba*, para corregir posibles carencias en los primeros estados de desarrollo.
- **Aportar en fondo un abono complejo** a base de nitrógeno, fósforo y potasio, **según la fertilidad del suelo**. En suelos muy fértiles, como las vegas del Guadalquivir, se puede prescindir de este abonado.
- Aplicar **en cobertera temprana un abono con alto contenido en N y S**, como sulfato amónico (N-21 %, SO₃-60 %) o nitro sulfato amónico (N-26 %, SO₃-37 %).
- **Ajustar el aporte de N total según los contenidos iniciales de N en suelo** (en mg/kg):
 - Bajo: 5 a 25 mg/kg, aportar en torno a 75-85 kg/ha
 - Medio: 25 a 50 mg/kg, aportar en torno a 60-70 kg/ha
 - Alto: 50 a 100 mg/kg, aportar en torno a 20-25 kg/ha solo en cobertera
 - Muy alto: >100 mg/kg, podría prescindirse del abonado, o reducirse a unos 100 kg/ha de sulfato amónico (21% de N), que tiene alto contenido en azufre (60 %), para aumentar la concentración de glucosinolatos.

A efectos prácticos, cuando las lluvias se retrasan y la siembra de *Sinapis alba* se solapa con tratamientos fitosanitarios y recolección en el olivar, podría hacerse una única aplicación de abono en fondo o de forma simultánea a la siembra, siempre que las dosis requeridas no sean muy altas porque podrían afectar a la instalación de las plantas.



Figura 16. Aspecto de *Sinapis alba* subsp. *mairei* con diferentes niveles de N en suelo: A) Muy bajo; B) Bajo; C) Adecuado. La falta de abonado, especialmente de N, implica: escasa cobertura, poco desarrollo y adelanto en la floración.

Desarrollo de *Sinapis alba* subsp. *mairei* y Producción de Glucosinolatos con Diferentes Dosis de Siembra y Tipos de Abonado

Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera

Edificio Administrativo Bermejales

Avda. de Grecia, s/n

Teléfono: 954 994 593 Fax: 955 519 107

e-mail: webmaster.ifapa@juntadeandalucia.es

www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa



www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa

Cofinanciado al 80% por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional, dentro del Programa Operativo FEDER de Andalucía 2014-2020



Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera
**CONSEJERÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA,
PESCA Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional

