

Evaluation of phenology and deficit irrigation of *Allium sativum* L. in La Rioja (Argentina)

Evaluación en fenología y riego deficitario de *Allium sativum* L. en La Rioja (Argentina)

Ibáñez, A. A.^{1*} & Carrizo, J. E.¹

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria –INTA, Estación Experimental Agropecuaria –EEA Chilecito, Ruta de la Producción km 7 1/2 Tilimuqui, 5360 Chilecito, La Rioja, Argentina.

*Autor de correspondencia: ibanez.antonio@inta.gob.ar

Recibido: 10/03/2023

Acceptado: 03/08/2023

ABSTRACT

Ibáñez, A. A.; Carrizo, J. E. (2023). Evaluation of phenology and deficit irrigation of *Allium sativum* L. in La Rioja (Argentina). *Horticultura Argentina* 42 (108): 156-174. <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s18519342/j7qsg0r9a>

Agriculture in arid regions requires physiological and agronomic studies. Phenology was analysed and morphological and productive responses of garlic (cv. Morado INTA) to irrigation strategies were evaluated in an arid region of La Rioja. The trial was carried out in INTA EEA Chilecito in 2022. The design was a randomized complete block design with three replications and three irrigation treatments were applied: T1-100%, T2-120% and T3-75% of crop evapotranspiration (ETc) during 28 days after the 12th visible leaf of the main growth stage 1 (main shoot). The extended garlic phenological scale was used. Leaves, plant height, plant pseudostem and neck, basal disc, diameter, height and bulb weight were measured.

Phenology results: 97.8% sprouting at 19 dap (days after planting) and 368 growing degree-days (GDD), main shoot development (12th leaf) at 142 dap and 1823 GDD and the 100% bulb diameter at 212 dap and 3095 GDD. Irrigation results: T3 did not affect height, number of leaves or pseudostem length, but modified the basal leaf with respect to T1 and T2. T3 reduced neck diameter and bulb height without affecting final bulb weight, and consequently increased the bulbification index with respect to T2. The application of controlled deficit irrigation (75% of ETc) during the month of September and the return to full irrigation until bulb harvest are strategies that optimize water use and production in the garlic crop (cv. Morado INTA).

Keywords: garlic cv. Morado INTA, arid region, vegetative growth, bulb growth, water restriction.



RESUMEN

Ibañez, A. A. & Carrizo, J. E. (2023). Evaluación en fenología y riego deficitario de *Allium sativum* L. en La Rioja (Argentina). *Horticultura Argentina* 42 (109): 156-174. <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s18519342/j7qs g0r9a>

La agricultura hacia regiones áridas requiere estudios fisiológicos y agronómicos. Se analizó la fenología y se evaluaron las respuestas morfológicas y productivas del ajo (cv. Morado INTA) a estrategias de riego en una región árida de La Rioja. Se realizó en INTA EEA Chilecito en 2022. El diseño fue en bloques completos al azar con tres repeticiones, se aplicaron tres tratamientos de riego: T1-100%, T2-120% y T3-75% de la Evapotranspiración del cultivo (ETc) durante 28 días después de la 12^{da} hoja visible del crecimiento de brote principal. Se utilizó la escala fenológica ampliada del ajo. Se midieron hojas, altura y pseudotallo de la planta y el cuello, disco basal, diámetro, altura y peso del bulbo.

Resultados fenológicos: 97,8 % brotación a 19 ddp (días después de plantación) y 368 grados días (GDD), desarrollo del brote principal (12^{da} hoja) a 142 ddp y 1823 GDD y 100% de diámetro de bulbo a 212 ddp y 3095 GDD. Resultados en riego: T3 no afectó altura, número de hojas ni longitud de pseudotallo, pero modificó la hoja basal respecto a T1 y T2. T3 redujo el diámetro de cuello y altura de bulbos sin afectar su peso final, en consecuencia, aumentó el índice de bulbificación respecto a T2. La aplicación del riego deficitario controlado (75% de la ETc) durante el mes de septiembre y el regreso del riego completo hasta la cosecha de bulbos, son estrategias que optimizan el uso de agua y la producción en el cultivo de ajo (cv. Morado INTA).

Palabras claves: ajos cv. Morado INTA, región árida, crecimiento vegetativo, crecimiento de bulbo, restricción hídrica.

1. Introducción

El ajo (*Allium sativum* L.) pertenece al género *Allium*, es una de las hortalizas cultivadas más antiguas y el segundo *Allium* más producido, después de la cebolla (*Allium cepa* L.) (Ammarellou *et al.*, 2022). Se destina para fines culinarios, medicinales y obtención de aceites esenciales para el control de plagas en la agricultura (Getahun & Getaneh, 2019; Ohtani & Nishimura, 2020; Demeter *et al.*, 2021). A escala mundial, los principales productores son China, India, Corea, Egipto, Tailandia y España (Anwar *et al.*, 2021). Las provincias de Cuyo de la Argentina, principalmente Mendoza y San Juan, concentran más del 90% de la producción de ajo (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2021).

La agricultura en regiones áridas y semiáridas tiene diversos factores limitantes, como la escasez de agua, el calor extremo, la sequía frecuente, los suelos áridos y marginales, la topografía vulnerable a los riesgos naturales, la lluvia erosiva y el viento (Golla, 2021; Naorem *et al.*, 2023). La expansión de la agricultura hacia regiones áridas requiere del estudio agronómico de los cultivos, tal como sucede con el cultivo del ajo en la región oeste de la provincia de La Rioja (Argentina); siendo oportuno estudiar las repuestas fisiológicas y productivas (*e.g.* la fenología y el rendimiento) a la aplicación de estrategias de manejo (*e.g.* uso del riego por goteo y el riego deficitario) para determinar la viabilidad y el rendimiento potencial del cultivo.

La temperatura óptima del cultivo del ajo es de 12 °C a 24 °C (Khade *et al.*, 2017; Mekonnen & Gadisa, 2021). La emergencia o brotación, el crecimiento vegetativo, la bulbificación, el crecimiento del bulbo, la senescencia y la dormición forman las etapas fenológicas del ajo

(Burba, 2003; Pinzon, 2003; Atif *et al.*, 2020). La fenología puede registrarse y analizarse agrónomicamente (Fitchett *et al.*, 2015; Lopez-Bellido *et al.*, 2016) incluyendo su variabilidad, para planificar las prácticas agrícolas (Ruml & Vuljić, 2005) y evaluar los impactos del cambio climático sobre la producción de los cultivos (Xiao *et al.*, 2021; Xiao *et al.*, 2022).

La escasez de agua en la agricultura es un factor limitante de la producción hortícola (Yang *et al.*, 2022) y requiere del manejo integral del agua (Betancourt Aguilar *et al.*, 2017) o de estrategias de riego; tal como, la aplicación del riego deficitario regulado (RDI) para mejorar la eficiencia del uso de agua, manteniendo la calidad de los productos agrícolas (Yang *et al.*, 2022). Los recursos hídricos superficiales permanentes son escasos e íntegramente aprovechados y el aumento de las demandas de agua para consumo humano, riego e industrias de La Rioja se satisfacen mediante explotaciones intensivas del agua subterránea (Salvioli, 2002) de las cuencas (Zambrano & Torres, 2000); en este contexto, la utilización del riego deficitario en la actividad agrícola de la región oeste de La Rioja, aumentaría la eficiencia de uso de agua y disminuiría el consumo eléctrico de bombeo de agua.

El ajo se cultiva bajo riego, pero puede prosperar en regiones con una precipitación anual entre 450 mm a 1.000 mm, es una especie bastante tolerante a la sequía, sin embargo, no le debe faltar el agua en las etapas de germinación y formación de bulbos (Ruiz Corral *et al.*, 2013). El déficit hídrico afecta, diferencialmente, el rendimiento de bulbos según la etapa de crecimiento y cultivar de ajo (Fabeiro Cortés *et al.*, 2003; Lipinski & Gaviola, 2011; Taha *et al.*, 2019); asimismo, se establecieron los índices de tolerancia al déficit hídrico en cultivares de ajo (Bradán, 2015) y los cambios transcriptómicos inducidos por la sequía (Zhou *et al.*, 2021). Un déficit hídrico durante la fase de bulbificación, mejora la eficiencia de uso de agua en la producción de materia seca del ajo (Fabeiro Cortés *et al.*, 2003). La reposición del 80% de la ETc (evapotranspiración del cultivo) genera un rendimiento de ajo comparable al del riego completo (Chala & Quraishi, 2015). Un déficit hídrico del 70% de la ETc disminuye el rendimiento del ajo, pero alcanza la mayor productividad y la menor huella hídrica (Léllis *et al.*, 2022). El uso combinado de datos climáticos y ORDI (riego deficitario regulado optimizado) aumenta el rendimiento de ajo (Domínguez *et al.*, 2013). Estos estudios se desarrollaron en EE.UU., España, Argentina (región Cuyo), Etiopía y Egipto en diferentes condiciones ambientales (suelo, temperatura, precipitación y viento *e.g.* el viento Zonda, un viento cálido y seco predominante de la región Cuyo) y prácticas de cultivo (fertilización, dosis y frecuencias de riego). Por ello, es importante la validación de estos conocimientos previo a su aplicación a escala productiva en otras regiones.

Los objetivos del trabajo fueron analizar las etapas fenológicas del ajo cv. Morado INTA en condiciones de riego (por goteo) completo y evaluar las respuestas morfológicas y productivas a la aplicación de estrategias de riego en el primer ciclo de cultivo (2022) en una zona árida oeste de la provincia de La Rioja (Tilimuqui, Departamento de Chilecito).

2. Materiales y métodos

2.1. Caracterización del sitio de ensayo, material vegetal y prácticas de manejo:

El estudio se realizó en el campo experimental de EEA INTA Chilecito, ubicado en Tilimuqui (29°08' S, 67° 25' O y a una altitud de 918 m s.n.m.), Departamento de Chilecito, provincia de La Rioja. Esta provincia pertenece a la región árida de Argentina y según la clasificación climática de Köppen (Beck *et al.*, 2018), presenta varios regímenes climáticos en el ámbito provincial; entre ellos el árido cálido (BWh), el árido frío (BWk), el semiárido cálido (BSh), el semiárido frío (BSk) y el polar glacial (EF).

La región árida de La Rioja se caracteriza por una fuerte continentalidad, débil humedad, fuerte insolación diaria, limpidez atmosférica, lluvias estacionales (violentas y torrenciales), fuerte

evaporación y vientos cálidos y secos (Rosa, 2000). La Rioja posee 36,13 % de la superficie provincial con afloramientos rocosos, con tres órdenes taxonómicos de suelos: entisoles, aridisoles y molisoles (Regairaz, 2000).

El suelo donde se desarrolló el ensayo es de textura franco y de pH 8,6 (Godagnone *et al.*, 2010). En la tabla 1, se muestra los datos de temperatura media mensual, fotoperiodo, horas de frío y grados día del sitio de ensayo, provenientes de la estación meteorológica automática "Tilimuqui" (PESSL, iMetos 1.0) de INTA EEA Chilecito y correspondiente al año 2022.

Table 1: Temperature, photoperiod, chilling hours and degree days of the garlic crop recorded at the study site (Tilimuqui) of the experimental field of INTA EEA Chilecito. La Rioja. Argentina. 2022.

Tabla 1: Temperatura, fotoperiodo, horas de frío y grados días del cultivo de ajo registrados en el sitio de estudio (Tilimuqui) del campo experimental de INTA EEA Chilecito. La Rioja. Argentina. 2022.

Parámetros climáticos	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Tm	27,7	24,6	22,2	18,9	13,4	9,6	11,9	12,9	15,2	19,5	24,6	26,5
Fm	14,7	14,0	13,1	12,2	11,5	11,2	11,3	11,9	12,8	13,7	14,5	14,9
HF			2	12	74	291	185	146	40	2	4	
DD o GDD				368	409	280	363	403	462	614	197	

Datos de temperatura del aire en el año 2022, registrados por la estación meteorológica automática de INTA EEA Chilecito (Tilimuqui). Tm: temperatura media. Fm: Fotoperiodo promedio en horas (software VarAst 1.0) en Tilimuqui HF: Horas de frío (0 °C a 7 °C). DD o GDD: grados días o grados días de crecimiento desde plantación hasta cosecha.

Se analizaron los datos de temperatura ambiental y de horas de frío totales (temperaturas entre 0 °C y 7 °C) registradas por la estación meteorológica automática Tilimuqui. El cálculo de la acumulación de grados día (DD, degree days) se realizó aplicando el método residual (Snyder, 1985) o growing degree-days (GDD, °C-day) mencionados por McMaster and Wilhelm (1997) mediante la ecuación 1:

$$(1) \text{ DD o GDD} = [(T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}}) / 2] - T_{\text{HR}} \text{ o } T_{\text{BASE}}$$

T_{máx}= temperatura máxima diaria.

T_{mín}= temperatura mínima diaria.

T_{HR} o T_{BASE} = temperatura umbral o base del cultivo, para el ajo se consideró como THR = 0 °C (Buwalda, 1986).

La temperatura base de 0 °C en el cultivo de ajo fue establecida por Buwalda (1986) y reportada en estudios de Saluzzo *et al.* (2010), de Cárdenas Velázquez *et al.* (2019) y de Burba (2022).

Se utilizaron ajos de la cv. Morado INTA, con un peso medio de 99,7 g (bulbo) y 6,7 g (bulbillo), provenientes de la EEA INTA La Consulta. La cv. Morado INTA, pertenece al grupo ecofisiológico IIIa, de adaptación climática a ambiente templado a templado frío, de crecimiento vegetativo otoño-invernal y vigoroso, de bulbo grande y de cosecha temprana (Burba, 2008; Burba, 2022). Los ajos se plantaron el 11 de abril de 2022. Se utilizaron fertilizantes minerales sólidos (urea granulada como aportante de nitrógeno y compuestos granulados de fósforo, nitrógeno, potasio, azufre y calcio), cada 15 días, desde la brotación hasta la bulbificación. Se realizaron aplicaciones de fungicidas durante el crecimiento vegetativo.

2.2. Diseño experimental, tratamientos de riego y parámetros fisiológicos:

Se estableció el diseño de estudio en bloques completos al azar con tres repeticiones (Kuehl, 2001). Los bloques se trazaron transversalmente a la dirección del riego, para minimizar el

efecto de pérdida de presión por desnivel de terreno (<2%). La unidad experimental se formó por una cama de 1 m de ancho por 3,5 m de largo. En cada cama se plantaron 3 hileras de ajos distanciados a 0,15 m en la hilera y a 0,30 m entre las hileras. El agua se aplicó mediante el sistema de riego por goteo, con frecuencias diaria (principalmente) y cada dos días (ocasionalmente). Los requerimientos hídricos se estimaron mediante el método (2) FAO Penman-Monteith (Allen *et al.*, 2006).

$$(2) ET_c = ET_o \times K_c$$

Donde ET_o , es la evapotranspiración de referencia (mm.día^{-1}) y K_c es el coeficiente de cultivo. La ET_o se calculó con datos procedentes de la estación meteorológica automática de INTA EEA Chilecito (Tilimuqui) y mediante el uso de software CROPWAT 8.0. Los valores de K_c se establecieron considerando los registros de Fabeiro-Cortés *et al.* (2003), de Allen *et al.* (2006) y de Lipinski (2015).

En el ciclo de cultivo 2022, se aplicaron los siguientes tratamientos de riego:

- Tratamiento T1: repone el 100% de la ET_c durante todo el ciclo de cultivo.
- Tratamiento T2: repone el 120% de la ET_c desde la 12^{da} hoja visible (11 112) de la etapa de crecimiento principal 1 de desarrollo de hoja (brote principal) y durante 28 días (31/08 al 27/09).
- Tratamiento T3: repone el 75% de la ET_c desde la 12^{da} hoja visible (11 112) de la etapa de crecimiento principal 1 de desarrollo de hoja (brote principal) y durante 28 días (31/08 al 27/09).

El primer evento de lluvias efectiva (Pe), después de iniciar los tratamientos, fue establecido como la fecha final de aplicación de las láminas de riego de T2 y T3, correspondiente a 24,6 mm entre el 27 y el 29 de septiembre de 2022 (Pe :21 mm). En la tabla 2, se presentan los datos climáticos, valores de K_c y láminas de riego aplicadas en cada tratamiento.

Table 2: Elements of climate and crop coefficients used in irrigation scheduling applied to cv. Morado INTA in the experimental field of INTA EEA Chilecito (Tilimuqui). La Rioja. Argentina. 2022.

Tabla 2: Elementos de clima y coeficientes de cultivo utilizados en la programación del riego aplicado a la cv. Morado INTA en el campo experimental de INTA EEA Chilecito (Tilimuqui). La Rioja. Argentina. 2022.

Mes	Tmín. °C	Tmáx. °C	HR %	Pp mm	ETo mm.día ⁻¹	Kc	Pr días	T1	T2	T3
								mm aplicados		
Enero	19,4	36,0	44,0	40,4	7,63					
Febrero	17,1	32,1	55,0	19,0	6,55					
Marzo	14,5	29,9	48,0	0,8	5,43					
Abril	11,0	26,9	46,0	0,0	3,73	0,5	19	35	35	35
Mayo	7,0	19,9	53,0	1,6	2,26	0,6	31	42	42	42
Junio	2,4	16,8	51,0	0,0	1,68	1	30	50	50	50
Julio	3,7	20,1	43,0	0,4	2,28	1	31	71	71	71
Agosto	4,5	21,3	34,0	0,4	3,13	1	31	97	97	97
Septiembre	7,3	23,2	31,0	24,8	4,53	1,3	30	156	191	112
Octubre	11,5	27,6	30,0	0,0	6,18	1,3	31	249	249	249
Noviembre	16,7	32,4	27,0	5,4	7,68	1,3	9	90	90	90
Diciembre	19,6	33,5	39,0	46,2	7,95					
Total							212	790	825	746

Datos de temperaturas del aire en el año 2022, registrados por la estación meteorológica automática de INTA EEA Chilecito (Tilimuqui). Tmín.: temperatura mínima media. Tmáx.: temperatura máxima media. HR: humedad relativa media. Pp: precipitación. ETo: evapotranspiración de referencia (software CROPWAT 8.0). Pr: periodo de riego. T1: tratamiento 1 (100% de la ETc). T2: tratamiento 2 (120% de la ETc). T3: tratamiento 3 (75% de la ETc).

La cantidad de agua en el suelo se midió en el laboratorio, mediante el método gravimétrico, expresándose como porcentaje de humedad gravimétrica (Fuentes Yagüe, 1998), sobre un perfil de 0,30 m de profundidad. Se utilizaron barreno, estufa de secado y balanza electrónica.

Los estados fenológicos se registraron mediante el uso de la Escala BBCH ampliada (Bleiholder *et al.*, 1996) para el ajo por Lopez-Bellido *et al.* (2016). Las observaciones se dividieron en dos series; la primera, sobre 20 ajos de cada unidad experimental para registrar el porcentaje de brotación y la segunda, sobre 10 plantas por unidad experimental para registrar el resto de las etapas fenológicas. Las plantas fueron seleccionadas al azar y numerándolas en cada cama de plantación. Las observaciones se realizaron cada dos a tres días por semana en las etapas iniciales, luego de uno a dos días por semana hasta la cosecha. Los estadios observados fueron:

- Etapa de crecimiento principal 0: brotación.
09 009: hoja/hojas de brotación atraviesan la superficie del suelo.
- Etapa de crecimiento principal 1: desarrollo de hoja (brote principal)
13 103: tercera hoja (filodio/limbo) plegada claramente visible (>3 cm).
16 106: sexta hoja (filodio/limbo) plegada claramente visible (>3 cm). Hojas viejas desplegadas.
11 110: décima hoja (filodio/limbo) plegada claramente visible (>3 cm). Hojas viejas desplegadas.
11 111: décima primera hoja (filodio/limbo) plegada claramente visible (>3 cm). Hojas viejas desplegadas.
11 112: (x) o más hojas (filodio/limbo) claramente visible (plegadas, desplegada, torcida, seca-muerta).
- Etapa de crecimiento principal 4: desarrollo de partes vegetativas cosechables de la planta (diferenciación de la hoja de almacenamiento desde yemas laterales y desarrollo de dientes y bulbos; 2^{da} fase de bulbificación). Superposición con la etapa 5.
48 408: se alcanza el 80% del diámetro de bulbos esperado. Suspender el riego.
49 409: se alcanza el 100% del diámetro de bulbos esperado. Planta todavía erecta y varias hojas verdes (3–5). Tiempo óptimo de cosecha (1–2 mm espesor de vainas).
- Etapa de crecimiento principal 5 (completo e incompleto solo en tipo bolting): emergencia de inflorescencia (desarrollo del escapo floral desde el ápice del brote). Superposición con las etapas 1, 2 y 4.
56 506: el escapo floral con forma de espiral o coleta.

Las características morfológicas de la planta y del bulbo se cuantificaron siguiendo los estudios de Salahuddin *et al.* (2019), de Wu *et al.* (2016) y de Atif *et al.* (2020), en 10 plantas por unidad experimental. Las plantas fueron seleccionadas al azar y numerándolas en cada cama de plantación. Los parámetros vegetativos evaluados fueron la altura de planta, el número de hojas, la longitud de hoja basal, el diámetro de hoja basal, la longitud de pseudotallo y el diámetro de pseudotallo. El número de hojas por planta tuvo dos momentos, uno en campo donde se contabilizaron las hojas nuevas más hojas viejas o envejecidas y otro momento en postcosecha-laboratorio donde se contabilizaron las hojas envejecidas sin desprenderse. La bulbificación se evaluó mediante las mediciones de diámetro de cuello, diámetro de disco basal, altura de bulbo, diámetro de bulbo, peso de bulbo y el índice de bulbificación (IB). Se utilizaron cinta métrica, calibre digital y balanza electrónica (Figura 1).

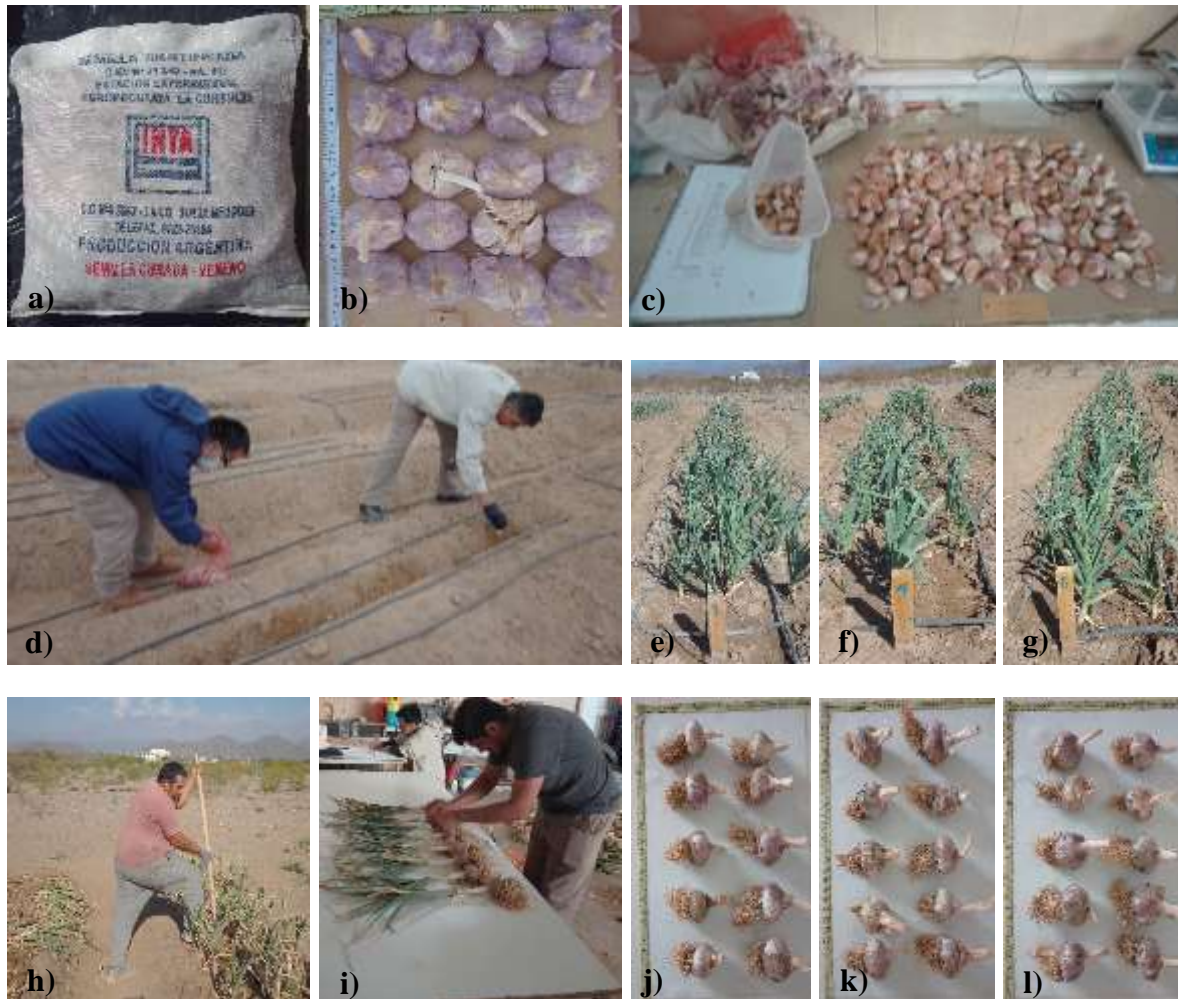


Figure 1: Photos a) b) and c) preparation of garlic cv. Morado INTA from EEA La Consulta, d) garlic planting, e) plants of T1, f) plants of T2, g) plants of T3, h) harvest, i) post-harvest measurement of plants, j) bulbs of T1, k) bulbs of T2 and l) bulbs of T3. INTA EEA Chilecito (Tilimuqui). La Rioja. Argentina. 2022.

Figura 1: Fotos a) b) y c) preparación de ajos cv. Morado INTA proveniente de EEA La Consulta, d) plantación de ajos, e) plantas de T1, f) plantas de T2, g) plantas de T3, h) cosecha, i) medición de plantas poscosecha, j) bulbos de T1, k) bulbos de T2 y l) bulbos de T3. INTA EEA Chilecito (Tilimuqui). La Rioja. Argentina. 2022.

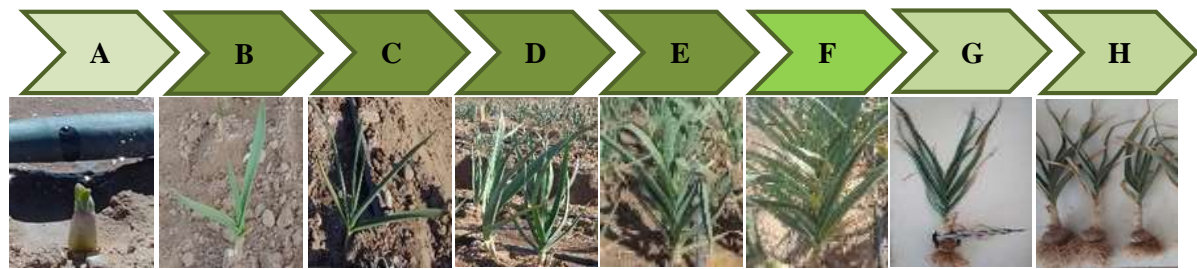
2.3. Análisis estadístico:

Los datos fenológicos y agronómicos se analizaron mediante la utilización del software estadístico InfoStat/P (versión 2020). Se aplicó el análisis de varianza con prueba de comparación de medias (test de Tukey, $p \leq 0.05$).

3. Resultado y discusión

3.1. Fenología en las condiciones ambientales áridas de la región oeste de La Rioja:

En la figura 2 se muestran los estados fenológicos registrados de la cv. Morado INTA durante el ciclo de cultivo 2022, en condiciones ambientales áridas de la región oeste de La Rioja.



- A-** Etapa de crecimiento principal 0: Brotación -09 009: 2da quincena de abril de 2022.
B- Etapa de crecimiento principal 1: desarrollo de hoja (brote principal) -13 103: 02/05/22.
C- Etapa de crecimiento principal 1: desarrollo de hoja (brote principal) -16 106: 06/06/22.
D- Etapa de crecimiento principal 1: desarrollo de hoja (brote principal) -11 110: 03/08/22.
E- Etapa de crecimiento principal 1: desarrollo de hoja (brote principal) -11 112: 31/08/22.
F- Etapa de crecimiento principal 5: emergencia de inflorescencia -56 506: 14/10/22
G- Etapa de crecimiento principal 4: desarrollo de partes vegetativas cosechables de la planta -48 408: 20/10/22.
H- Etapa de crecimiento principal 4: desarrollo de partes vegetativas cosechables de la planta -49 409: 09/11/22.

Figure 2: Phenological stages of garlic cv. Morado INTA grown at the experimental field of INTA EEA Chilecito (Tilimuqui). La Rioja. Argentina. 2022.

Figura 2: Estadios fenológicos de ajos cv. Morado INTA cultivados en el Campo experimental de INTA EEA Chilecito (Tilimuqui). La Rioja. Argentina. 2022.

El inicio de la etapa de brotación de los ajos cv. Morado INTA, se produjo 8 ddp (días después de plantación, 11 de abril), luego de acumularse 167 GDD. A los 19 ddp se alcanzó el 97,8 % de brotación (Tabla 3). La temperatura media del aire del mes de abril fue de 18,9 °C.

Table 3: Percentage of sprouting of garlic cv. Morado INTA grown at the experimental field of INTA EEA Chilecito (Tilimuqui). La Rioja. Argentina. 2022.

Tabla 3: Porcentaje de brotación de ajos cv. Morado INTA cultivados en el campo experimental de INTA EEA Chilecito (Tilimuqui). La Rioja. Argentina. 2022.

Cultivar	Fecha	Porcentaje de brotación.cama ⁻¹	N	CV	p-valor	DMS
Morado INTA	30/04/2022	97,8 a	45	23,5	<0,0001	19,2
	26/04/2022	70,6 b				
	25/04/2022	66,7 b				
	22/04/2022	41,7 c				
	19/04/2022	25,6 c				

N: número de muestras. CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa. Medias seguidas por la misma letra en la columna no difieren estadísticamente entre sí por la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad de error.

Los resultados obtenidos durante la etapa de brotación de los ajos cv. Morado INTA, concuerdan parcialmente con los datos de Saluzzo *et al.* (2010) al reportar el 50 % de brotación en un periodo de 7 a 17 ddp, en ajos morado plantados el 3/04/2002 y el 4/04/2003, en Famatina (La Rioja).

El tiempo y la uniformidad de la brotación de los ajos depende del tipo comercial de ajo y cultivar (Saluzzo *et al.*, 2010; Ghoshi *et al.*, 2020), del tamaño de bulbillos (Jiménez-Vázquez *et al.*, 2014; Desta *et al.*, 2021), del estado de latencia después de la madurez fisiológica (Tabor *et al.*, 2004; Desta *et al.*, 2022) y de las temperaturas de almacenamiento y de post plantación (Brewster, 2008; Bizuayehu *et al.*, 2018). En este sentido, los requerimientos térmicos de la cv. Morado INTA para alcanzar el 97,8 % de emergencia fueron de 368 GDD desde la plantación. El crecimiento vegetativo del ajo se estimula con el fotoperiodo corto y con las temperaturas bajas, mientras el inicio de la bulbificación y el crecimiento de bulbo requieren de la acumulación de horas de frío, de fotoperiodo largo y de temperaturas altas (Burba, 2003; Brewster, 2008; Atif *et al.*, 2020). La temperatura óptima del cultivo es de 12 °C a 24 °C (Khade *et al.*, 2017; Mekonnen & Gadisa, 2021). En nuestro ensayo, el desarrollo de hojas de la etapa de crecimiento principal 1 en la cv. Morado INTA se registró en los meses de mayo, junio y julio (Tabla 4), con temperaturas medias entre 13,4 °C y 9,6 °C, con fotoperiodo de 11,2 h a 11,5 h. Desde la plantación hasta el 31/07/2022, se acumularon 1420 GDD.

Table 4: Variation in the number of leaves (live and aged) per plant at the field of garlic cv. Morado INTA grown in the experimental field of INTA EEA Chilecito (Tilimuqui). La Rioja. Argentina. 2022.

Tabla 4: Variación del número de hojas (vivas y envejecidas) por planta a campo en ajos cv. Morado INTA cultivados en el campo experimental de INTA EEA Chilecito (Tilimuqui). La Rioja. Argentina. 2022.

Cultivar	Fecha	Número de hojas.planta ⁻¹	N	CV	p-valor	DMS
Morado INTA	31/08/2022	12,1 a	540	13,8	<0,0001	0,5
	11/08/2022	10,5 b				
	03/08/2022	10,5 b				
	06/07/2022	7,0 c				
	06/06/2022	6,1 d				
	02/05/2022	3,2 e				

N: número de muestras. CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa. Medias seguidas por la misma letra en la columna no difieren estadísticamente entre sí por la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad de error.

La cantidad de hojas continuó aumentando entre los meses de agosto a octubre, registrándose valores promedio de 12 hojas.planta⁻¹ (vivas y envejecidas) el 31/08/2022 (Tabla 4 y Figura 3) y de 17 hojas.planta⁻¹ el 7/10/2022 (Tabla 5). Durante estos meses, las temperaturas medias del aire fueron de 12,9 °C (agosto) y de 19,5 °C (octubre) y los fotoperiodos de 11,9 h (agosto) y de 13,7 h (octubre); acumulándose desde la plantación 1823 GDD hasta el 31/08/2022 y 2426 GDD hasta el 7/10/2022. Este rápido crecimiento vegetativo concuerda con las observaciones de Lipinski (2015), con respecto al incremento entre el 80% y el 90 % de la masa aérea total de la planta durante este periodo.



Figure 3: Main growth stage 1: leaf development (main shoot), code 11 112 on 31/08/22 in garlic cv. Morado INTA grown at the experimental field of INTA EEA Chilecito (Tilimuqui). La Rioja. Argentina. 2022.

Figura 3: Etapa de crecimiento principal 1: desarrollo de hoja (brote principal), código 11 112 el 31/08/22 en ajos cv. Morado INTA cultivados en el Campo experimental de INTA EEA Chilecito (Tilimuqui). La Rioja. Argentina. 2022.

Wu *et al.* (2016) y Atif *et al.* (2019) mencionan que el inicio de bulbificación, en varios cultivares de ajo, se produce cuando el índice de bulbificación es igual a 2. En este estudio no se determinó el inicio de bulbificación, pero podría estimarse que se produce durante el desarrollo de las últimas hojas de la etapa de crecimiento principal 1, en el mes de septiembre o inicio del mes de octubre, cuando incrementan la temperatura del aire y las horas de luz (ver figura 3, IB= 1,68 al 31 de agosto de 2022). En este sentido, Lopez-Bellido *et al.* (2016) describe el solapamiento de la etapa de crecimiento principal 2 (formación de los brotes laterales y primera fase de bulbificación) con la etapa de crecimiento principal 1 de desarrollo de hojas (formación del brote principal). Asimismo, Saluzzo *et al.* (2010) establecieron el inicio de bulbificación entre los días juliano 264 (21 de septiembre) y 274 (1 de octubre) en ajos cv. Morado INTA, para la zona de Famatina. Este aspecto fisiológico podría estudiarse en futuras investigaciones en la zona de Chilecito.

Durante el mes octubre, se registró el 35% de emergencia de escapos florales en la cv. Morado INTA. También, se observó el estado del escapo floral en forma de coleta el 14 de octubre y el estado de escapo floral de longitud máxima, erguido y espaldas cerradas el 9 de noviembre (Figura 4). Estas observaciones de varas florales del ajo coinciden con las descripciones generales de los genotipos tipos bolting, stalking o hard neck (cuello duro) mencionados por Kamanetsky & Rabinowitch (2001) y por Burba & Lanzavechia (2013).

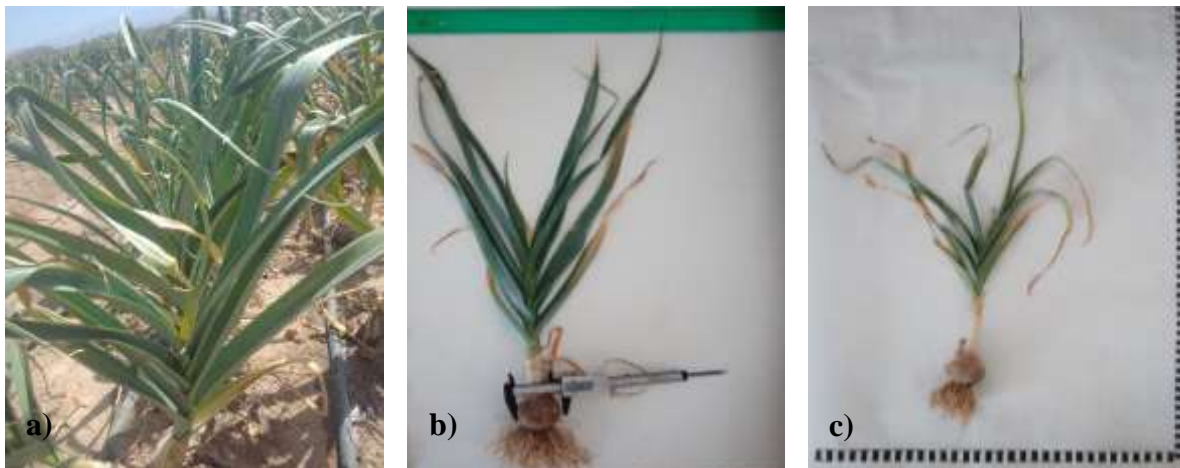


Figure 4: Main growth stage 5: inflorescence emergence, a) Stalk shape like a ‘pigtail’ (14/10/2022) and c) erect flower stalk and closed spathe (9/11/2022). Main growth stage 4: development of harvestable vegetative plant parts, b) 80% of expected bulbs diameter reached (20/10/2022). Garlic cv. Morado INTA grown at the experimental field of INTA EEA Chilecito (Tilimuqui). La Rioja. Argentina. 2022.

Figura 4: Etapa de crecimiento principal 5: emergencia de inflorescencia, a) escapo floral con forma de espiral o coleta (14/10/2022) y c) escapo floral erguido y espata cerrada (9/11/2022). Etapa de crecimiento principal 4: desarrollo de partes vegetativas cosechables de la planta, b) 80 % del diámetro esperado de bulbo (20/10/2022). Ajos cv. Morado INTA cultivados en el Campo experimental de INTA EEA Chilecito (Tilimuqui). La Rioja. Argentina. 2022.

Los ajos cv. Morado INTA alcanzaron el 80 % del diámetro de bulbos esperado (Figura 4 b) el 20 de octubre (no se suspendió el riego) y el 100 % del diámetro de bulbos el 9 de noviembre, fecha en la que se realizó la cosecha de ajos (Figuras 1 h). En noviembre la temperatura media del aire fue de 24,6 °C y el fotoperiodo de 14,5 h. Desde la plantación (11/04/2022) hasta la cosecha de bulbos, se acumularon 3095 GDD en la cv. Morado INTA. La duración del ciclo de cultivo (desde plantación hasta cosecha) fue de 212 días. Estos registros concuerdan parcialmente con los datos obtenidos por Saluzzo *et al.* (2010) de 204 a 211 días en ajos tipo morado en Famatina.

La fecha límite de plantación de ajos de la cv. Morado INTA, para los valles andinos de la zona central de Argentina, se sitúa entre el 10 al 20 de marzo (Burba, 2003; Burba, 2022). En relación a esto, los resultados obtenidos demuestran la posibilidad de extender la fecha máxima de plantación hasta el 10 de abril para la región oeste de La Rioja; este dato preliminar se continuará investigando para establecer los beneficios económicos y técnicos en las producciones frutihortícolas de la región, donde las cosechas de vid, nogal y olivo se extienden durante los primeros meses del año.

3.2. Influencia del régimen de riego sobre el crecimiento de la planta y la producción de bulbo:

La cantidad total de agua (láminas de riego y P_e de 21 mm del 27 al 29 de septiembre de 2022) desde la plantación hasta la cosecha (4/04 al 9/11/2022) fue de 811 mm en T1 (100 % de la ET_c), de 846 mm en T2 (120% de la ET_c) y de 767 mm en T3-75 de la ET_c .

Desde la plantación hasta julio, el contenido de humedad promedio del suelo fue de 16,8 % de Hg. Antes de iniciar la aplicación de los tratamientos de riego, la humedad promedio del suelo fue de 12,5 % de Hg. Al final del periodo de aplicación de los tratamientos de riego, los valores promedios se diferenciaron significativamente (prueba de Tukey, $p \leq 0,05$), obteniéndose el 20,3 % de Hg en el T2 (120 % de la ET_c), el 15,87 % de Hg en el T1 (100 % de la ET_c) y el 8,17 % de Hg en el T3 (75 % de la ET_c).

Los distintos tratamientos de riego tuvieron efectos significativos sobre los parámetros de la planta de la cv. Morado INTA, obteniéndose los mayores valores promedios en la longitud de hoja basal, en el diámetro de hoja basal y en el diámetro del pseudotallo en las plantas de T2 con respecto a las plantas de T1 y de T3 (Tabla 5).

Table 5: Mean values of plant parameters of garlic cv. Morado INTA subjected to the application of irrigation treatments at the experimental field of INTA EEA Chilecito (Tilimuqui). La Rioja. Argentina. 2022.

Tabla 5: Valores medios de los parámetros de planta en ajos cv. Morado INTA sometido a la aplicación de tratamientos de riego en el campo experimental de INTA EEA Chilecito (Tilimuqui). La Rioja. Argentina. 2022.

Tratamiento	Parámetros de planta de ajo en cv. Morado INTA						
	Altura (cm)	Número de hojas.planta ¹		Long. hoja basal (cm)	Diámetro de hoja basal (mm)	Long. de pseudotallo (cm)	Diámetro de pseudotallo (mm)
		1	2				
T1-100% ETc	65,73	17,03	10,37	41,23 b	33,64 b	13,58	19,46 b
T2-120% ETc	65,53	16,73	10,80	44,27 a	36,43 a	13,43	21,27 a
T3-75% ETc	63,23	17,43	10,13	43,73 ab	35,53 ab	14,13	19,19 b
N	90	90	90	90	90	90	90
CV	9,57	7,90	15,42	10,19	11,80	9,74	14,15
DMS	-----	-----	-----	2,70	2,56	-----	1,74
p-valor	ns	ns	ns	0,02	0,03	ns	0,01

Número de hojas.planta¹ 1: hojas nuevas y envejecidas a campo (7/10/2022) y 2: hojas envejecidas sin desprenderse a cosecha. N: número de muestras. CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa. ns: no significativo al 5 % de probabilidad de error. Medias seguidas por la misma letra en la columna no difieren estadísticamente entre sí por la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad de error.

Los valores medios más altos en el diámetro de cuello y en la altura de bulbo de la cv. Morado INTA, se obtuvieron en plantas de T2 con respecto a las plantas de T1 y de T3; no obstante, el índice de bulbificación fue mayor en las plantas de T3 (Tabla 6).

La aplicación del riego deficitario controlado, desde la 12^{da} hoja (vivas y envejecidas) de la etapa de crecimiento principal 1 (brote principal), en la cv. Morado INTA, afectó leve y diferencialmente el crecimiento vegetativo y los parámetros de bulbo. La aplicación del 75 % de la ETc (T3) no modificó la altura de planta, el número de hojas, ni la longitud del pseudotallo, pero generó hojas basales de longitud y diámetro con valores intermedios a las plantas con riego del 100 % de la ETc (T1) y del 120 % de la ETc (T2). La aplicación del 75 % de la ETc afectó el diámetro de cuello y la altura de bulbo, pero sin alterar el diámetro de disco basal, el diámetro de bulbo, ni el peso final de los bulbos a cosecha, en consecuencia, se obtuvo el mayor índice de bulbificación con respecto a las plantas regadas al 120 % de la ETc.

Estas respuestas del crecimiento vegetativo y de la producción de bulbos a la aplicación del riego deficitario controlado podrían relacionarse con: a) la plasticidad fenotípica y la regulación de la conductancia estomática de las cultivares de ajo (morado, castaño y blanco) a la disponibilidad limitada de agua (Sánchez-Virosta *et al.*, 2021), b) la recuperación de la actividad metabólica de las plantas durante el regreso del riego completo hasta cosecha y c) el menor intervalo entre riegos (diaria o cada dos días) durante todo el ciclo de cultivo; asimismo, el intervalo más corto entre riegos, con menor cantidad, en el cultivo del ajo mejora la productividad del agua (Tefera *et al.*, 2021). Estos fundamentos justificarían el rendimiento agronómico superior de la gestión del riego deficitario en relación con el riego completo (100% de ETc).

Table 6: Mean values of bulb parameters of garlic cv. Morado INTA subjected to the application of irrigation treatments at the experimental field of INTA EEA Chilecito (Tilimuqui). La Rioja. Argentina. 2022.

Tabla 6: Valores medios de los parámetros de bulbo en ajos cv. Morado INTA sometido a la aplicación de tratamientos de riego en el campo experimental de INTA EEA Chilecito (Tilimuqui). La Rioja. Argentina. 2022.

Tratamiento	Parámetros de bulbos en cv. Morado INTA					
	Diámetro de cuello (mm)	Diámetro de disco basal (mm)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	IB	Peso (g)
T1-100% ETc	18,43 ab	31,44	68,18	41,86 b	3,56 ab	95,07
T2-120% ETc	19,60 a	30,79	71,67	46,14 a	3,42 b	93,40
T3-75% ETc	17,17 b	31,20	71,18	41,99 b	3,78 a	97,30
N	90	90	90	90	90	90
CV	19,3	14,07	8,69	12,50	14,67	14,79
DMS	2,18	-----	-----	3,33	0,323	-----
p-valor	0,03	ns	ns	0,003	0,03	ns

IB: índice de bulbificación. N: número de muestras. CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa. ns: no significativo al 5 % de probabilidad de error. Medias seguidas por la misma letra en la columna no difieren estadísticamente entre sí por la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad de error.

Los datos iniciales, de este estudio, demuestran la factibilidad de aplicar riego deficitario controlado (reduciendo el valor de Kc de 1,3 a 0,97) durante 4 semanas desde la 12^{da} hoja de la etapa de crecimiento principal 1 (posible solapamiento con la etapa de crecimiento principal 2 de formación de brotes laterales y primera fase de bulbificación) de la cv. Morado INTA, sin afectar el rendimiento final de bulbos. Estos resultados se diferencian, parcialmente, de los resultados de Fabeiro Cortés *et al.* (2003) y de Lipinski & Gaviola (2011) en la aplicación de riego deficitario controlado con niveles más bajos de restricción hídrica.

Fabeiro Cortés *et al.* (2003) recomiendan la aplicación de déficit hídrico (Kc de 0,8) durante la etapa de bulbificación, afectándose el peso fresco de los bulbos, pero mejorando la producción de materia seca. Asimismo, Lipinski & Gaviola (2011) registraron la respuesta diferencial al riego deficitario entre las cultivares de ajo, obteniendo la reducción del 8.5% del rendimiento en la cv. Nieve INTA, en comparación con las cultivares Lican INTA y Unión, con la aplicación del 50% de la ETc durante el crecimiento de bulbo.

La aplicación del riego deficitario controlado en el cultivo de ajo y las variantes del riego deficitario, tal como el riego deficitario sostenido (Chala & Quraishi, 2015; Gupta *et al.*, 2022) y el riego deficitario controlado optimizado (ORDI) de Léllis *et al.* (2022) son estrategias de uso eficiente del riego en regiones con disponibilidad limitada de agua.

Por último, se continuará con el estudio de los efectos del riego deficitario sobre la fisiología, el rendimiento, la productividad del agua y la conservación (poscosecha); incluyendo mediciones de fotosíntesis o conductancia estomática y diferentes cultivares, etapas fenológicas, niveles de restricción y frecuencias de riego con evaluaciones en la sanidad y en la colorimetría de bulbos, considerando que las condiciones ambientales (clima y suelo) y el manejo del cultivo (frigorificación y fertilización) afectan la pigmentación con antocianinas en las catáfilas protectoras del bulbo (Cavagnaro & Burba, 2022).

4. Conclusiones

En la plantación de otoño en ajos cv. Morado INTA, con riego por goteo y en condiciones ambientales áridas de Chilecito, el crecimiento de hojas se extiende desde mayo hasta inicio de octubre y el máximo tamaño de bulbos se obtiene en noviembre. La aplicación de riego deficitario controlado en ajos cv. Morado INTA, con dosis del 75 % de la ETc durante el mes de septiembre, no afectan el crecimiento vegetativo ni el peso final de los bulbos, a excepciones de la hoja basal, el diámetro de pseudotallo, el diámetro de cuello y la altura de bulbo; obteniéndose el mayor índice de bulbificación. La aplicación del riego deficitario controlado (75% de la ETc) durante el mes de septiembre y el regreso del riego completo hasta la cosecha de bulbos, son estrategias que optimizan el uso de agua y la producción en el cultivo de ajo (cv. Morado INTA).

5. Agradecimientos

Al Sr. Javier Andrés Castro de San Juan. Al personal de ayudantes de campo de la EEA Chilecito (Sr. Leonardo Díaz, Sr. Carlos Brizuela y Sr. Iván Carpio). Al Proyecto Estructural (2019-PE-E6-I508-001) “Diversificación de la oferta varietal de especies hortícolas de uso intensivo” y a la Red nacional de ensayos de cultivares de ajo de INTA. Al Proyecto Disciplinario (2023-PD-L01-I127) “Mejoramiento genético y evaluación de hortalizas, ornamentales, aromáticas y medicinales, basados en el mercado, la intensificación sostenible y el cambio climático”.

6. Conflicto de intereses

Los autores declaran que este trabajo no presenta conflicto de intereses.

7. Bibliografía

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO Riego y Drenaje 56.
- Ammarellou, A., Yousefi, A.R., Heydari, M., Uberti, D. & Mastinu, A. (2022). Biochemical and botanical aspects of *Allium sativum* L. sowing. *BioTech* 11, 16, 1-9. <https://doi.org/10.3390/biotech11020016>.
- Anwar, N., Abou El-Salehein, E., El Hamady, M. & Mandour, M. (2021). Response of garlic to nitrogen and phosphorus in the common form and nano. *Journal of Productivity and Development*, 26, 4, 1033-1052. <http://doi:10.21608/jpd.2021.211842>.
- Atif, M.J., Amin, B., Ghani, M., Hayat, S., Ali, M., Zhang, S. & Cheng, Z. (2019). Influence of different photoperiod and temperature regimes on growth and bulb quality of garlic (*Allium sativum* L.) cultivars. *Agronomy* 2019, 9, 879, 1-21. <http://doi:10.3390/agronomy9120879>
- Atif, M.J., Amin, B., Ghani, M., Ali, M., Zhang, S. & Cheng, Z. (2020). Variation in morphological and quality parameters in garlic (*Allium sativum* L.) bulb influenced by different photoperiod, temperature, sowing and harvesting time. *Plant* 9, 155, 1- 16.
- Beck, H., Zimmermann, N., McVicar, T., Vergopolan, N., Berg, A. & Wood, E. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-

- km resolution. Scientific Data. 5. 180214. 10.1038/sdata.2018.214.
- Betancourt-Aguilar C., Tartabull-Puñales, T., & Labaut-Betancourt, Y. (2017). El manejo integrado del agua en la agricultura: necesidad de implementación y aspectos vinculados. *Revista Científica Agroecosistemas*, 5, 2, 40-54. <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/index>.
- Bizuayehu, D., Kebede, W., Wassu, Bekele, A. & Getachew, T. (2018). Duration of low temperature storage, clove topping and gibberellic acid on garlic sprouting and seedling vigor. *African Journal of Food Agriculture, Nutrition and Development*. Vol. 18, 2, 13420-13437. <http://doi:10.18697/ajfand.82.17065>.
- Bleiholder, H., Buhr, L., Feller, C., Hack, H., Hess, M., Klose, R., Meier, U., Stauss, R. van den Boom, T. & Weber, E. (1996). Compendio para la identificación de los estadios fenológicos de especies mono- y dicotiledóneas cultivadas, escala BBCH extendida. BASF AG.
- Bradán, A.E. (2015). Comparative analysis of some garlic varieties under drought stress conditions. *Journal of Agricultural Science*, Vol. 7, 10, 1-11.
- Brewster, J.L. (2008). Onions and Other Vegetable Alliums (No. 15). CABI. <http://dx.doi.org/10.1079/9781845933999.0000>.
- Burba, J.L. (2003). Producción de ajo. Asociación Argentina de Horticultura. Jornadas de actualización en la producción de ajo. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Comahue. Ediciones INTA, Proyecto Ajo, 1-43.
- Burba, J.L. (2008). Los grupos varietales del ajo (*Allium sativum* L.). Contribución para su entendimiento. *Horticultura Argentina* 27,62, 20-27.
- Burba, J.L. & Lanzavechia, S. (2013). Tecnología para la producción de vara florales de ajo comestibles. Estación Experimental Agropecuaria La Consulta, Documento Proyecto Ajo-INTA 109, 1-18.
- Burba, J.L. (2022). Producción de ajo. Ajo, variedad, manejo del cultivo, producción, comercialización. Ediciones INTA. 1ra Edición. 1-98.
- Buwalda, J.G. (1986). Nitrogen nutrition of garlic (*Allium sativum* L.) under irrigation. Crop growth and development. *Scientia Horticulturae* 29, 55-68.
- Cárdenas Velázquez, B., Escalante Estrada, J. A. S. & Rodríguez González, M. T. (2019). Biomasa, índice de cosecha, rendimiento y radiación interceptada en ajo en función del nitrógeno, en clima templado. *Terra Latinoamericana* 37, 3, 223-230. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i3.424>.
- Cavagnaro, P.F. & Burba, J.L. (2022). Factores genéticos y ambientales que influyen la pigmentación con antocianinas en ajo: una revisión. *Horticultura Argentina* 41, 106, 103-123. <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s18519342/sbyxehaz7>.
- Chala, M. & Quraishi, S. (2015). Effect of Deficit Irrigation on Yield and Water Productivity of Garlic (*Allium sativum* L.) under Drip Irrigation and Mulching at Wolaita Soddo, Ethiopia. *International Journal of Life Sciences*, Vol. 4, 4, 232-239.
- Demeter, S., Lebbe, O., Hecq, F., Nicolis, S., Kemene, T., Martin, H., Fauconnier, M. & Hance, T. (2021). Insecticidal activity of 25 essential oils on the stored product pest, *Sitophilus granarius*. *Foods* 10, 200, 1-13.
- Desta, B., Tena, N. & Amare, G. (2021). Growth and Bulb Yield of Garlic as Influenced by Clove Size. *The Scientific World Journal*, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2021/7351873>.
- Desta, B., Woldetsadik, K., Mohammed, W. & Tena, N. (2022). Duration of low-temperature storage, clove topping and gibberellic acid on emergence,

- yield and yield components of garlic. *The Scientific World Journal*, 1-13. <https://doi.org/10.1155/2022/2998190>.
- Domínguez, A., Martínez-Romero, A., Leite, K.N., Tarjuelo, J.M., de Juan, J.A. & López-Urrea, R. (2013). Combination of typical meteorological year with regulated deficit irrigation to improve the profitability of garlic growing in central Spain. *Agricultural Water Management* 130, 154-167.
- Fabeiro Cortés, C., Martín de Santa Olalla, F. & López Urrea, R. (2003). Production of garlic (*Allium sativum* L.) under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate. *Agricultural Water Management* 59, 155-167. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(02\)00125-7](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00125-7)
- Fitchett, J.M., Grab, S.W., & Thompson, D.I. (2015). Plant phenology and climate change: Progress in methodological approaches and application. *Progress in Physical Geography* 39, 4, 460–482. <https://doi.org/10.1177/0309133315578940>.
- Fuentes Yagüe, J.L. (1998). Técnicas de riego. Editorial Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. España.
- Getahun, D. & Getaneh, M. (2019). Performance of garlic cultivars under rain-fed cultivation practice at South Gondar Zone, Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research*. 14, 5, 272-278.
- Ghoshi, S.S., Meena, K.C., Prasad, S.N. & Naruka, I.S. (2020). Study of growth, phenology and bulb yield in garlic (*Allium sativum* L.) genotypes under Malwa plateau of Madhya Pradesh. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9, 5, 1983-1986. <https://doi.org/10.22271/phyto.2020.v9.i5ab.12630>.
- Godagnone, R.E., de la Fuente, J.C., Nakama, V. & Michelena, R.O. (2010). Estudio de suelos del campo experimental Tilimuqui - INTA, provincia de La Rioja. Estación Experimental Agropecuaria La Rioja-INTA. Agencia de Extensión Rural Chilecito-INTA. Instituto de Suelos-CIRN-INTA. 1-74.
- Golla, B. (2021) Agricultural production system in arid and semi-arid regions. *International Journal of Agricultural Science and Food Technology* 7, 2, 234-244. <https://dx.doi.org/10.17352/2455-815X.000113>.
- Gupta, R., Kulmi, G.S. & Sarathe, A. (2022). Scheduling of drip irrigation system for garlic crop in Malwa region of Madhya Pradesh, India. *Plant Archives Vol. 22, No. 1*, 421-424. <https://doi.org/10.51470/PLANTARCHIVES.2022.v22.no1.065>.
- Jiménez-Vázquez, P., Rangel-Lucio, J.A., Mendoza-Elos, M., Cervantes-Ortíz, F. & Rivera-Reyes, J.G. (2014). Efecto de tamaño del bulbo/bulbillo y densidad de plantación en la emergencia, rendimiento y calidad de ajo (*Allium sativum* L.). *Revista Internacional de Botánica Experimental*. *PHYTON* 83, 83-91.
- Kamanetsky, R. & Rabinowitch, H.D. (2001). Floral development in bolting garlic. *Sex Plant Reprod* 13, 235–241. <https://doi.org/10.1007/s004970000061>.
- Khade, Y., Thangasamy, A. & Gorrepati, K. (2017). Garlic production technology. *Indian Horticulture* 62, 57-59.
- Kuehl, R.O. (2001). Diseño de experimentos. Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación. Internacional Thomson Editores S.A. México.
- Léllis, B.C., Martínez-Romero, A., Schwartz, R.C., Pardo, J.J., Tarjuelo, J. M. & Domínguez, A. (2022). Effect of the optimized regulated deficit irrigation methodology on water use in garlic. *Agricultural Water Management* 260, 107280, 1-15.

- Lipinski, V. & Gaviola, S. (2011). Optimizing water use efficiency on violet and white garlic types through regulated deficit irrigation. *Acta Horticulturae* 889, 459-468. [10.17660/ActaHortic.2011.889.58](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.889.58).
- Lipinski, V.M. (2015). Manejo del riego y la fertilización en cultivos de ajo. Estación Experimental Agropecuaria, La Consulta, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Mendoza. Argentina. 1-13.
- Lopez-Bellido, F.J., Lopez-Bellido, R.J., Muñoz-Romero, V., Fernandez-Garcia, P. & Lopez-Bellido, L. (2016). New phenological growth stages of garlic (*Allium sativum*). *Annals of Applied Biology* 169, 423-439.
- McMaster, G. S. & Wilhelm, W.W. (1997). Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology* 87, 4, 291-300. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(97\)00027-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(97)00027-0).
- Mekonnen, A. & Gadisa, N. (2021). Agronomic practices for improving garlic (*Allium sativum* L.) production and productivity in Ethiopia Review. *World Journal of Agricultural Sciences* 17, 6, 469-477.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. (2021). La Producción de Ajo en la Argentina (noviembre 2021). <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/la-produccion-de-ajo-en-la-argentina-noviembre-2021-magyp.pdf>.
- Naorem, A., Jayaraman, S., Dang, Y.P., Dalal, R.C., Sinha, N.K., Rao, Ch.S. & Patra, A.K. (2023). Soil constraints in an arid environment-challenges, prospects, and implications. *Review. Agronomy* 13, 220, 1-29.
- Ohtani, M. & Nishimjura, T. (2020). The preventive and therapeutic application of garlic and other plant ingredients in the treatment of periodontal diseases (Review). *Experimental and Therapeutic Medicine* 19, 1507- 1510.
- Pinzón, H. (2003). El cultivo del ajo (*Allium sativum* L.). Repositorio Institucional Agrosavia. Corporación colombiana de investigación agropecuaria. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/2366>
- Regairaz, C. (2000). Suelos de Mendoza. En Abraham, E.M. y Rodríguez Martínez, F. (Ed.). Argentina: recursos y problemas ambientales de la zona árida. Provincias de Mendoza, San Juan y La Rioja. Universidades y Centros de Investigación de la Región Andina Argentina, Mendoza: Junta de Gobierno de Andalucía. Universidades y Centros de Investigación de la Región Andina Argentina, Mendoza. <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/ladyot/catalogo/cdandes/cap19.htm#inhalt>.
- Rosa, H. (2000). Clima de la Provincia de La Rioja. En Abraham, E.M. y Rodríguez Martínez, F. (Ed.). Argentina: recursos y problemas ambientales de la zona árida. Provincias de Mendoza, San Juan y La Rioja. Junta de gobierno de Andalucía, Universidades y Centros de Investigación de la Región Andina Argentina, Mendoza. <http://www.cricyt.edu.ar/ladyot/catalogo/cdandes/cap15.htm#inhalt>.
- Ruml, M. & Vulie, T. (2005). Importance of phenological observations and predictions in agricultura. *Journal of Agricultural Sciences*. Vol. 50, 2, 217-225.
- Ruiz Corral, J.A., Medina García, G., Gonzales Acuña, J.I., Flores Lopez, H.E., Ramírez Ojeda, G., Ortiz Trejo, C., Byerly Murphy, K.F. & Martínez Parra, R.A. (2013). Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias CIRPAC Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. 564.

- Salahuddin, Md., Rahim, M.A., Jakir Bin Alam, M.S., Mahfujur Rahman, Md. & Jubaidur Rahman. (2019). Morphological characterization of garlic (*Allium sativum* L.) germplasm. *Malaysian Journal of Halal Research*. 2, 10, 46-52.
- Saluzzo, J.A., Villafañe, N., & Figuerola, P. (2010). Bulbificación de cuatro tipos comerciales de ajo (*Allium sativum* L.) en las condiciones ambientales del Valle Antinaco-Los Colorados, La Rioja, Argentina. *Horticultura Argentina* 29, 68, 10-19.
- Sánchez-Virosta, A., Sadras, V.O. & Sánchez-Gómez, D. (2021). Phenotypic plasticity in relation to inter-cultivar variation of garlic (*Allium sativum* L.) functional performance and yield-stability in response to water availability. *Scientia Horticulturae* 285, 110-128.
- Salvioli, G. H. (2002). Evaluación hidrogeológica de la cuenca subterránea de La Rioja Capital, Provincia de La Rioja, Argentina. En: *Groundwater and Human Development*. Bocanegra E, Martínez D, Massone H (Eds.). Argentina. 21-27.
- Snyder, R. L. (1985). Hand calculating degree days. *Agricultural and Forest Meteorology*, 35 353-358. [http://doi:10.1016/0168-1923\(85\)90095-4](http://doi:10.1016/0168-1923(85)90095-4).
- Tabor, G., Getahun, D. & Zelleke, A. (2004). Influence of storage duration on field sprouting, maturity and yield of some garlic (*Allium sativum* L.) cultivars at Debre Zeit, Ethiopia. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 79, 6, 871-876. <http://doi:10.1080/14620316.2004.11511859>.
- Taha, N.M., Abd-Elrahman, S.H. & Hashem, F.A. (2019). Improving yield and quality of garlic (*Allium sativum* L.) under water stress conditions. *Middle East Journal of Agriculture Research* 8, 333-346.
- Tefera, A.H., Kebede, S.G. & Mola, G.T. (2021). Optimal irrigation scheduling for garlic (*Allium sativum* L.) in the central highland vertisols areas of Ethiopia. *International Journal of Food Science and Agriculture*, 5, 2, 308-316. <http://doi:10.26855/ijfsa.2021.06.015>
- Wu, C., Wang, M., Cheng, Z. & Meng, H. (2016). Response of garlic (*Allium sativum* L.) bolting and bulbing to temperature and photoperiod treatments. *The Company of Biologists Ltd | Biology Open* 0, 1-12. <http://doi:10.1242/bio.016444>.
- Xiao, D., Zhang, Y., Bai, H. & Tang, J. (2021). Trends and Climate Response in the Phenology of Crops in Northeast China. *Frontiers in Earth Science*. Vol. 9, 811621, 1-13.
- Xiao, Y., Wang, M. & Song, Y. (2022). Abiotic and Biotic Stress Cascades in the Era of Climate Change Pose a Challenge to Genetic Improvements in Plants. *Forests* 13, 780, 1-3.
- Yang, B., Fu, P., Lu, J., Ma, F. Sun, X. & Fang, Y. (2022). Regulated deficit irrigation: an effective way to solve the shortage of agricultural water for horticulture. *Stress Biology* 2, 28, 1-19.
- Zambrano, J. & Torres, E. (2000). Hidrogeología de la provincia de La Rioja. En Abraham, E.M. y Rodríguez Martínez, F. (Ed.). Argentina: recursos y problemas ambientales de la zona árida. Provincias de Mendoza, San Juan y La Rioja. Junta de gobierno de Andalucía, Universidades y Centros de Investigación de la Región Andina Argentina, Mendoza. <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/ladyot/catalogo/cdandes/cap18.htm>
- Zhou, X., Condori-Apfata, J.A., Liu, X., Condori-Pacsi, S.J., Valencia, M.V. & Zhang, C. (2021). Transcriptomic changes induced by drought stress in hardneck garlic during the bolting/bulbing stage. *Agronomy*, 11, 246. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020246>.

Horticultura Argentina es licenciado

bajo Licencia Creative Commons
Atribución-No Comercial 2.5 Argentina.