

---

HORTICULTURA

---

**Phenology and production of garlic according to air and soil temperatures in La Rioja (Argentina)**

**Fenología y producción del ajo según temperaturas de aire y suelo en La Rioja (Argentina)**

**Carrizo, J. E.<sup>1\*</sup> & Ibáñez, A. A.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – INTA, Estación Experimental Agropecuaria – EEA, Chilecito, Ruta de la Producción km 7 1/2 Tilimuqui, 5361 Chilecito, La Rioja, Argentina.

\*Autor de correspondencia: carrizo.jose@inta.gob.ar

Recibido: 25/08/2023

Acceptado: 30/09/2023

---

**ABSTRACT**

Carrizo, J. E. & Ibáñez, A. A. (2023). Phenology and production of garlic according to air and soil temperatures in La Rioja (Argentina). *Horticultura Argentina* 42 (109): 70-84. <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s18519342/2o8kap38q>

Variation in weather elements affects the production of agricultural crops. Air and soil temperature control plant growth and development, as is the case in garlic (*Allium sativum* L.). The objective of the study was to evaluate the phenology and productive characteristics of two garlic cultivars according to air and soil temperature during 2022, at the Tilimuqui Experimental Field of INTA EEA Chilecito. The experimental design was Randomized Complete Blocks with three replications. The extended phenological scale of garlic was used. Soil temperature was measured at 5 cm and 15

cm depth and meteorological data recorded by the automatic weather station located at the trial site were used. Height, number of leaves, bulb weight and parameters for calculating the bulbification index were measured. For the same growing conditions, from planting date (both on 11/04/22) they showed different percentages of sprouting, number of leaves and bulb weight. The cv. Morado INTA required a heat summation of 3095 GD and a cycle of 213 days until harvest (09/11/22) and the cv. Nieve INTA required a heat summation of 3397 GD with a cycle of 225 days until harvest (21/11/22). The two cultivars had average photoperiods of 12.2 h in June and 14.5 h in November.

**Keywords:** arid climate, phenology, morphology, root zone temperature, vegetative growth, bulb characteristics.

**RESUMEN**

Carrizo, J. E. & Ibáñez, A. A. (2023). Fenología y producción del ajo según temperaturas de aire y suelo en La Rioja (Argentina). *Horticultura Argentina* 42

(109): 70-84. <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s18519342/2o8kap38q>



La variación de los elementos meteorológicos incide en la producción de los cultivos agrícolas. La temperatura del aire y del suelo controlan el crecimiento y el desarrollo de las plantas, como ocurre en el cultivo de ajo (*Allium sativum* L.). El objetivo del estudio fue evaluar la fenología y las características productivas de dos cultivares de ajo según la temperatura del aire y del suelo durante el 2022, en el Campo Experimental Tilimuqui del INTA EEA Chilecito. El diseño experimental fue en Bloques Completos al Azar con tres repeticiones. Se utilizó la escala fenológica ampliada del ajo. La temperatura del suelo se midió a 5 cm y a 15 cm de profundidad y se utilizaron datos meteorológicos registrados por la estación meteorológica automática ubicada en el sitio de ensayo. Se

midieron la altura, el número de hojas, el peso de bulbo y los parámetros para calcular el índice de bulbificación. Para iguales condiciones de cultivo, desde fecha de plantación (ambas el 11/04/22) presentaron distintos porcentajes de brotación, número de hojas y peso de bulbos. La cv. Morado INTA requirió una suma térmica de 3095 GD y un ciclo de 213 días hasta cosecha (09/11/22) y la cv. Nieve INTA requirió una suma térmica de 3397 GD con un ciclo de 225 días hasta cosecha (21/11/22). Las dos cultivares tuvieron fotoperiodos promedio de 12,2 h en junio y 14,5 h en noviembre.

**Palabras claves:** clima árido, fenología, morfología, temperatura zona radical, crecimiento vegetativo, características de los bulbos.

## 1. Introducción

El aumento de la temperatura, el cambio de las condiciones de precipitación y el aumento del contenido de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, son los principales factores climáticos que afectan la producción de cultivos (Zhang *et al.*, 2021). Las temperaturas del aire y del suelo controlan el crecimiento y el desarrollo de las plantas (Yamori *et al.*, 2022). 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 temperatura del suelo está determinada por el equilibrio de energía de entrada (onda corta) y de salida (onda larga) (Xu & Zhuang, 2023) con variación diaria y estacional (Mondal *et al.*, 2016; Dorau *et al.*, 2022) y con influencia sobre la disponibilidad de agua para las plantas (Onwuka, 2018; Heinze *et al.*, 2017; Sabri *et al.*, 2018) al actuar sobre las raíces (González-García *et al.*, 2023).

La temperatura de la zona radicular (TZR) afecta los procesos biológicos y fisicoquímicos relacionados con la tasa de disponibilidad de nutrientes en los suelos y su absorción por las plantas (Yamori *et al.*, 2022).

La fenología de los cultivos es el proceso de crecimiento de los cultivos y formación del rendimiento, que está impulsado en gran medida por las condiciones climáticas (Xiao *et al.*, 2021).

El crecimiento y desarrollo del bulbo de ajo son afectados por las variaciones del fotoperiodo y de la temperatura, influyendo en la morfología, fisiología y calidad nutritiva (Atif *et al.*, 2020). Es un cultivo resistente a las heladas, sobreviviendo incluso a -20 °C (Mathew, 2007; Singh, 2013). La temperatura óptima para el desarrollo del cultivo está en el rango de los 12 °C a 24 °C (Khade *et al.*, 2017; Mekonnen & Gadisa, 2021). Durante el crecimiento vegetativo del ajo, los procesos metabólicos y fisiológicos de la planta están orientados a formar el sistema radical y las hojas, normalmente ocurre durante otoño y gran parte del invierno (Stahlschmidt & Cavagnaro, 1997), se estimula con el fotoperiodo corto y la temperatura baja (Atif *et al.*, 2020). La brotación del ajo depende de la temperatura del aire y del período de almacenamiento

(Atashi *et al.*, 2011). En bulbos maduros, la dormancia profunda (medida en días hasta la brotación después de la siembra) se agota rápidamente con el almacenamiento entre 5 °C y 10 °C y se prolonga con temperaturas más bajas y más altas (Brewster, 2008). En esta primera etapa de cultivo, el ajo requiere de clima fresco a frío entre 8 °C y 16 °C (Burba, 1991 citado por Mardones, 1997) porque la temperatura de 30°C inhibe el crecimiento temprano del ajo (Oh *et al.*, 2015).

El objetivo del estudio fue evaluar la fenología y las características productivas de dos cultivares de ajo según la temperatura del aire y del suelo durante el 2022, en una zona árida del oeste de la provincia de La Rioja, Argentina (Tilimuqui, Departamento de Chilecito).

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Sitio de ensayo, material vegetal y prácticas de manejo:

El estudio se realizó en el Campo Experimental Tilimuqui de la EEA INTA Chilecito (29°08' S, 67° 25' O, altitud 918 m s. n. m.), Distrito de Tilimuqui, Departamento de Chilecito, provincia de La Rioja, Argentina; zona perteneciente a la región árida, y según la clasificación climática de Köppen (Beck *et al.*, 2018), la provincia presenta varios regímenes climáticos: 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 con pH 8,6, con densidad aparente de 1,59 g.cm<sup>-3</sup> (Godagnone *et al.*, 2010) y con 0,314 mS.cm<sup>-1</sup> de CE al inicio del ensayo. En la tabla 1, se exhiben los datos climáticos normales mensuales (serie 1991-2020) de las temperaturas media mínima y máxima, provenientes de la estación meteorológica Chilecito AERO del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), ubicada en el Distrito Anguinán, Departamento Chilecito, Provincia de La Rioja, Argentina, a 7 km al sur de la ubicación del sitio de ensayo.

**Table 1:** Normal monthly air temperatures (°C), series 1991-2020, from the Chilecito AERO meteorological station of the National Meteorological Service. La Rioja. Argentina. 2022.

**Tabla 1:** Temperaturas del aire (°C) normales mensuales, serie 1991-2020, de la estación meteorológica Chilecito AERO del Servicio Meteorológico Nacional. La Rioja. Argentina. 2022.

Variables	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Tm	25,7	24,4	22,3	18,1	13,6	10,3	9,5	13,1	16,6	20,7	23,2	25,6
Tm máx.	33,7	32,0	29,9	25,5	21,0	18,3	18,0	21,6	25,0	28,7	31,7	33,7
Tm mín.	19,1	17,7	16,2	11,8	6,8	2,7	1,5	3,9	7,8	12,6	16,1	18,4

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (<https://www.smn.gov.ar/observaciones>).

Tm: temperatura media, Tm máx.: temperatura máxima media, Tm mín.: temperatura mínima media.

Se utilizaron dos cultivares de ajo provenientes de la EEA INTA La Consulta: la cv. Morado INTA que 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 y la cv. Nieve INTA que pertenece al grupo ecofisiológico IIIb, de adaptación

climática a ambiente templado a templado frío, de crecimiento vegetativo otoño-fin de invierno, de bulbo mediano a grande y de cosecha tardía (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.

### 2.1. Diseño experimental, temperatura del aire y del suelo y parámetros fisiológicos:

El experimento se estableció bajo un diseño 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).

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

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 (EMA) de INTA EEA Chilecito (Tilimuqui) marca Pessl Instruments GmbH, modelo iMetos I, 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 la tabla 2, se presentan los datos climáticos mensuales del sitio de ensayo del año 2022, provenientes de la EMA Tilimuqui de la EEA INTA Chilecito, correspondientes a las temperaturas media, mínimas y máximas del aire en °C, a la suma de horas de frío (HF) (0 °C a 7 °C) desde marzo a octubre, a los grados día (GD) desde fecha de plantación a cosecha, con temperatura base de 0 °C (Buwalda, 1986) y el fotoperiodo promedio (Fm), en horas, estimado utilizando el software VARAST 1.0.

**Table 2:** Temperature (mean, minimum, maximum, minimum mean and maximum mean), photoperiod, chilling hours and degree days obtained for the study site. Chilecito. La Rioja. Argentina. 2022.

**Tabla 2:** Temperatura (media, mínima, máxima, media mínima y media máxima), fotoperiodo, horas de frío y grados días obtenidos para el sitio de estudio. Chilecito. La Rioja. Argentina. 2022.

Variables	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
Tmáx.	42,2	38,5	37,4	33,0	26,2	26,7	29,0	31,2	36,7	39,0	38,9	40,5
Tm máx.	36,0	32,1	29,9	26,9	19,9	16,8	20,1	21,3	23,2	27,6	32,4	33,5
Tmín.	11,8	13,7	5,6	4,2	1,1	-1,6	-1,9	0,1	0,8	6,1	4,5	12,5
Tm mín.	19,4	17,1	14,5	11,0	6,9	2,4	3,7	4,5	7,3	11,5	16,7	19,6
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			2,0	12,0	74,0	291,0	185,0	146,0	40,0	2,0	4,0	
GD				368	409	280	363	403	462	614	147 M 499 N	

Fuente: Elaboración propia. Tm: temperatura media. Tmáx.: temperatura máxima. Tm máx.: temperatura máxima media. Tmín.: temperatura mínima. Tm mín.: temperatura mínima media. Fm: Fotoperiodo promedio. HF: Horas de frío. GD: Grados Día, M: cv. Morado INTA, N: cv. Nieve INTA.

Se analizaron los datos de temperatura del aire y de horas de frío totales (temperaturas entre 0 °C y 7 °C) registradas por la EMA 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), McMaster and Wilhelm (1997) mediante la ecuación (1):

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

$T_{\text{máx}}$  = temperatura máxima diaria.  $T_{\text{mín}}$  = temperatura mínima diaria.  $T_{\text{HR}}$  o  $T_{\text{BASE}}$  = temperatura umbral o base del cultivo, para el ajo se consideró como  $T_{\text{HR}} = 0$  °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 utilizó sensor digital y sensor TEROS 12 para registrar la temperatura de suelo, a las 14 h, en dos profundidades (5 cm y 15 cm) en cada unidad experimental. El contenido promedio de humedad de suelo fue de 16,8 % de humedad gravedad (Hg) desde la plantación de los ajos; luego, tuvo valores medios entre 12,5 % Hg y 15,8 % Hg, durante crecimiento vegetativo y bulbificación.

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. Se requiere corte longitudinal del diente hasta la etapa secundaria.  
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).  
11-112: x) o más hojas (filodio/limbo) claramente visible (plegadas, desplegada, torcida, seco-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<sup>da</sup> fase de bulbificación). Superposición con la etapa 5.
- 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).

Las características morfológicas de la planta y del bulbo se cuantificaron siguiendo los estudios de Salahuddin *et al.* (2019), Wu *et al.* (2016) y 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: altura de planta, número de hojas y longitud de hoja basal. El número de hojas por planta se contabilizó después de la cosecha sobre hojas envejecidas sin desprenderse. La bulbificación se evaluó mediante la medición del peso de bulbo y el cálculo del índice de bulbificación (IB). Se utilizaron cinta métrica, calibre digital y balanza electrónica.

### 2.3. Análisis estadístico:

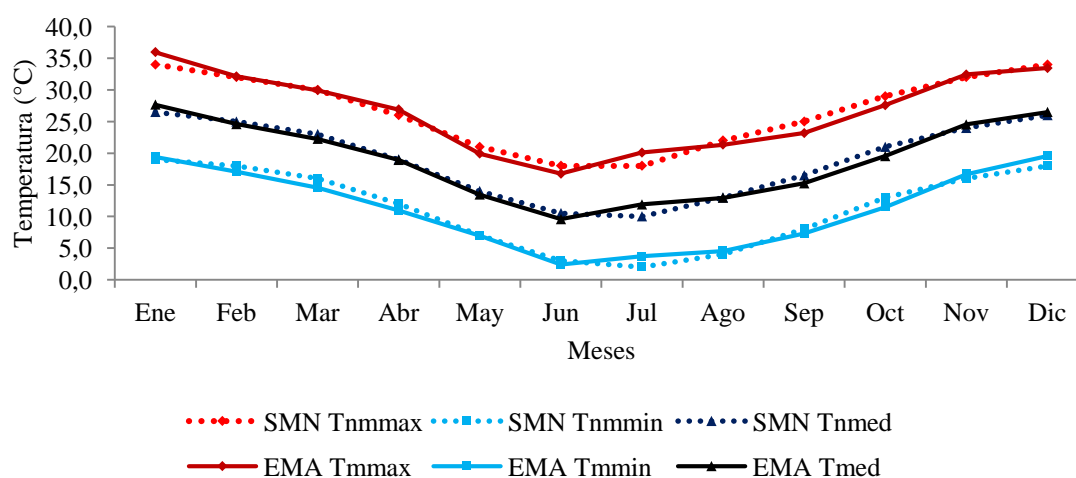
Los datos fenológicos y agronómicos se analizaron mediante la utilización del software estadístico InfoStat/P (versión 2020). Para los datos de temperaturas del suelo y porcentajes de brotación se aplicaron los análisis de varianza con prueba de comparación de medias (test de

Tukey,  $p \leq 0.05$ ). Para los datos de parámetros vegetativos, de planta y bulbo, se utilizaron las medidas descriptivas.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Relación de las temperaturas del aire registradas en el sitio de ensayo con el informe del Servicio Meteorológico Nacional (SMN):

Los datos registrados y procesados por la EMA Tilimuqui de temperaturas del aire medias y, las máximas medias y mínimas medias, durante el año 2022, se corresponden con las medias normales (serie 1991-2020) de la estación Chilecito AERO del SMN (Fig. 1). En la figura 1, se observan temperaturas más cálidas y más frías durante el 2022 con respecto a los valores medios de la serie 1991-2020. Los registros obtenidos, en el sitio de ensayo, concuerdan con el reporte final de Skansi *et al.* (2022) del estado del clima de Argentina en el año 2022, donde el 2022 se situó entre los 20 años más cálidos desde 1961, pero entre los más fríos de la última década.

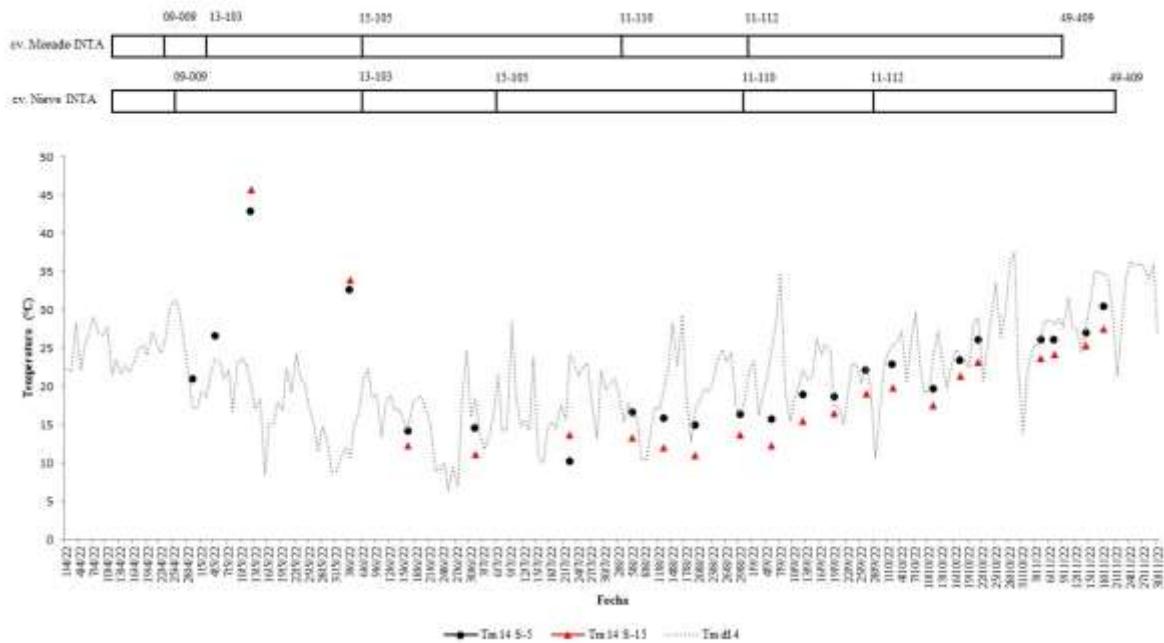


**Figure 1:** Author's elaboration. Serie 1991-2020: SMN Tmmax: mean maximum normal temperature. SMN Tmmin: mean minimum normal temperature. SMN Tmed: mean normal temperature. 2022: EMA Tmmax: mean maximum temperature. EMA Tmin: average minimum temperature. SMN Tmed: average temperature. Chilecito. La Rioja. Argentina. 2022.

**Figura 1:** Elaboración del autor. Serie 1991-2022: SMN Tmmax.: temperatura normal máxima media. SMN Tmmin.: temperatura normal mínima media. SMN Tmed.: temperatura normal media. Año 2022: EMA Tmmax.: temperatura máxima media. EMA Tmin.: temperatura mínima media. SMN Tmed.: temperatura media. Chilecito. La Rioja. Argentina. 2022.

#### 3.2. Temperatura del suelo y fenología de las cultivares de ajo:

En la figura 2, se muestran las distribuciones de la temperatura promedio del aire de la hora 14 registrada por la EMA Tilimuqui, la temperatura media del suelo registrada, a 5 cm y 15 cm de profundidad por sensor y los estadios fenológicos de la cv. Morado INTA y cv. Nieve INTA. La variación diaria y estacional de la temperatura del suelo, incluido los puntos extremos del mes de mayo registrados en el ensayo, podría relacionarse con los cambios en la energía radiante y en la energía de la superficie del suelo, tal como mencionan Onkawua (2018) y Wang & Chen (2023).



**Figure 2:** Phenological stages of cv. Morado INTA and cv. Nieve INTA (BBCH scale extended). Air and soil temperature range: Tmd14: Mean daily air temperature at 14:00 h. Tm14 S-5: mean ground temperature at 5 cm. Tm14 S-15: mean soil temperature at 15 cm depth.

**Figura 2:** Fases fenológicas de la cv. Morado INTA y la cv. Nieve INTA (Escala BBCH ampliada). Marcha de la temperatura del aire y del suelo: Tmd14: Temperatura media diaria del aire a las 14:00 h. Tm14 S-5: temperatura media del suelo a 5 cm. Tm14 S-15: temperatura media del suelo a 15 cm de profundidad.

En la tabla 3, se muestran las diferencias significativas de la temperatura de suelo (a 5 cm y 15 cm de profundidad) en las distintas fechas del ciclo anual de la cv. Morado INTA y la cv. Nieve INTA.

Estas variaciones de la temperatura del suelo también podrían relacionarse con el color y la densidad aparente del suelo, con la forma y la altura de la cama, con el sombreado del cultivo y con los riegos durante el ciclo (Fig. 3). Estas consideraciones concuerdan con Fischer & Bazarro (1999), Song *et al.* (2013), Ni *et al.* (2019) y Zhang *et al.* (2020) quienes mencionan que las características del suelo, la cobertura vegetal, las labores culturales, la profundidad y la humedad de suelo son factores que afectan la temperatura de suelo.



**Figure 3:** Measurement of soil temperature in garlic cultivars.

**Figura 3:** Medición de temperatura de suelo en las cultivares de ajo.



**Table 3:** Variation of soil temperature of the experimental plot of the garlic cultivars Nieve INTA and Morado INTA in 2022. Tilimuqui Experimental Field of INTA EEA Chilecito, La Rioja. Argentina.

**Tabla 3:** Variación de la temperatura de suelo de la parcela experimental de las cultivares de ajo Nieve INTA y Morado INTA en 2022. Campo Experimental Tilimuqui de INTA EEA Chilecito, La Rioja. Argentina.

Temperatura de suelo (°C) a 5 cm de profundidad				Temperatura de suelo (°C) a 15 cm de profundidad			
Fecha	cv. Nieve INTA	Fecha	cv. Morado INTA	Fecha	cv. Nieve INTA	Fecha	cv. Morado INTA
12/05/2022	43,2 a	12/05/2022	42,6 a	12/05/2022	46,0 a	12/05/2022	45,3 a
03/06/2022	32,9 b	03/06/2022	32,3 b	03/06/2022	34,3 b	03/06/2022	33,6 b
28/10/2022	30,1 c	28/10/2022	29,3 bc	28/10/2022	26,9 c	28/10/2022	27,3 c
07/11/2022	26,2 d	04/11/2022	26,1 dd	07/11/2022	24,0 d	07/11/2022	24,3 d
21/10/2022	26,1 de	21/10/2022	26,0 d	04/11/2022	23,7 de	04/11/2022	23,6 de
04/11/2022	26,0 de	07/11/2022	25,8 d	21/10/2022	23,4 de	21/10/2022	23,0 de
17/10/2022	23,4 ef	17/10/2022	23,3 de	17/10/2022	21,4 ef	17/10/2022	21,4 ef
02/10/2022	22,6 f	02/10/2022	23,1 def	02/10/2022	19,9 fg	02/10/2022	19,9 fg
26/09/2022	21,6 fg	26/09/2022	21,0 efg	26/09/2022	18,8 gh	26/09/2022	18,2 gh
11/10/2022	19,4 gh	11/10/2022	19,8 fgh	11/10/2022	17,6 gh	11/10/2022	17,5 gh
19/09/2022	18,8 hi	19/09/2022	18,0 ghi	19/09/2022	16,6 h	19/09/2022	15,3 hi
29/08/2022	16,9 hij	05/08/2022	16,7 hij	29/08/2022	13,9 i	22/07/2022	14,0 ij
05/08/2022	16,6 ijk	12/08/2022	15,9 ij	22/07/2022	13,3 ij	29/08/2022	13,3 ijk
05/09/2022	15,7 jk	05/09/2022	15,7 ij	05/08/2022	13,3 ij	05/08/2022	13,3 ijk
12/09/2022	15,7 jk	12/09/2022	15,7 ij	16/06/2022	12,3 ijk	12/09/2022	12,5 ijk
12/08/2022	15,7 jk	29/08/2022	15,7 ij	12/09/2022	12,1 ijk	05/09/2022	12,5 ijk
19/08/2022	15,2 jk	01/07/2022	14,9 ij	05/09/2022	12,1 ijk	16/06/2022	12,2 jk
16/06/2022	14,3 jk	19/08/2022	14,7 j	12/08/2022	11,9 ijk	12/08/2022	12,1 jk
01/07/2022	14,2 k	16/06/2022	14,0 j	01/07/2022	11,1 jk	01/07/2022	11,2 jk
22/07/2022	10,0 l	22/07/2022	10,4 k	19/08/2022	11,0 k	19/08/2022	10,9 k
<b>N</b>	<b>180</b>	<b>N</b>	<b>156</b>	<b>N</b>	<b>180</b>	<b>N</b>	<b>156</b>
<b>CV</b>	<b>7,6</b>	<b>CV</b>	<b>7,6</b>	<b>CV</b>	<b>7,2</b>	<b>CV</b>	<b>7,3</b>
<b>p-valor</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>p-valor</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>p-valor</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>p-valor</b>	<b>&lt;0,0001</b>
<b>DMS</b>	<b>2,71</b>	<b>DMS</b>	<b>3,25</b>	<b>DMS</b>	<b>2,30</b>	<b>DMS</b>	<b>2,85</b>

N: número de muestras. CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa. Letras distintas, entre valores medios de temperatura de suelo, indican diferencias significativas según prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

La etapa de brotación (09-009) se diferenció significativamente durante el mes de abril en las cultivares de ajo Morado INTA y Nieve INTA (Tabla 4), con una temperatura media a 5 cm de profundidad de suelo de 21,6 °C. La temperatura media del aire del mes de abril fue de 18,9 °C.



**Table 4:** Variation of sprouting percentage of two garlic cultivars in the Experimental Field of INTA EEA Chilecito (Tilimuqui) in the year 2022. La Rioja. Argentina.**Tabla 4:** Variación del porcentaje de brotación de dos cultivares de ajo en el campo experimental de INTA EEA Chilecito (Tilimuqui) en el año 2022. La Rioja, Argentina.

Cultivar	Fecha	Porcentaje de brotación.cama <sup>-1</sup>	N	CV	p-valor	DMS
<b>Morado INTA</b>	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				
<b>Nieve INTA</b>	30/04/2022	77,8 a	45	29,7	<0,0001	15,9
	26/04/2022	48,9 b				
	25/04/2022	42,8 bc				
	22/04/2022	28,9 c				
	19/04/2022	1,1 d				

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.

En referencia al crecimiento de brote principal, el desarrollo de hojas (13-103 al 11-112) se produjo entre los meses de mayo, junio, julio y agosto, con temperaturas medias del aire de 13,4 °C, 9,6 °C, 11,9 °C y 12,9 °C, respectivamente.

En mayo, se registraron temperaturas de suelo a 5 cm de profundidad de 42,6 °C (parcelas con cv. Morado INTA) y 43,2 °C (parcelas con cv. Nieve INTA); y a 15 cm de profundidad de 45,3 °C (parcelas con cv. Morado INTA) y 46,0 °C (parcelas con cv. Nieve INTA). En julio y agosto, se produjeron las temperaturas más bajas a 5 cm de profundidad, alcanzando valores de 10,4 °C (cv. Morado INTA) y 10,0 °C (cv. Nieve INTA); y a 15 cm de profundidad, de 10,9 °C (en cv. Morado INTA) y 11,0 °C (cv. Nieve INTA).

En la primera semana del mes de noviembre las temperaturas de suelo a 5 cm de profundidad fueron de 26,1 °C (cv. Morado INTA) y 26,0 °C (cv. Nieve INTA); y a 15 cm fueron de 23,6 °C (cv. Morado INTA) y 23,7 °C (cv. Nieve INTA).

El 100 % del diámetro de bulbo se obtuvo el 9 de noviembre en la cv. Morado INTA y el 21 de noviembre en la cv. Nieve INTA; fechas en las que se realizaron las cosechas de los ajos. En noviembre, la temperatura media del aire fue de 24,6 °C.

Durante el ciclo de cultivo, las horas de luz promedio más bajas fueron en el mes de junio (12,2 h) y las más altas en el mes de noviembre (14,5 h); además, los grados días acumulados desde la plantación (11/04/2022) fueron de 3095 GD en la cv. Morado INTA (cosecha el 09/11/2022) y de 3397 GD en la cv. Nieve (cosecha el 21/11/2022). En este sentido, la duración de los ciclos de cultivo, desde plantación hasta cosecha, fueron de 213 días en la cv. Morado INTA y de 225 días en la cv. Nieve INTA. Estos registros concuerdan parcialmente con los datos obtenidos por Saluzzo *et al.* (2010) de 204 a 211 días (en ajos tipo morado) y de 232 días (en ajos tipo blanco). Asimismo, se diferencian del estudio de Lipinsky & Gaviola (2008) sobre cultivares de ajos tipo blanco (cv. Lican, cv. Nieve y cv. Unión) con una duración promedio del ciclo de 230 días (ciclos 2006 y 2007) y sumas térmicas entre 2802 GD y 2160 GD.

La fenología, la temperatura del aire y la temperatura de suelo nos provee información relevante en el cultivo del ajo, especialmente, frente al escenario del cambio climático. La producción agrícola está amenazada por los eventos extremos impulsados por el clima; es decir sequías, olas de calor, patrones de lluvia erráticos e intensos, inundaciones y plagas de insectos (Habibur-Rahman *et al.*, 2022). Entre los impactos del cambio climático en el cultivo del ajo,

Mahmudah *et al.* (2021) reportan la correlación negativa de las variables climáticas (lluvia y temperatura del aire) con la producción de ajo. Tchórzewska *et al.* (2017) reporta el gran impacto de las fluctuaciones ambientales sobre la biomasa y el nivel de alicina en cultivares de ajo. Ambos estudios sugieren como medidas de adaptación al cambio climático a la capacitación agrícola, la predicción climática y el uso de tecnologías (i.e. nuevos cultivares).

### 3.3. Características vegetativas de plantas y bulbos:

En las tablas 5 y 6 se muestra la altura, número de hojas, longitud de hoja basal, peso de bulbo e índice de bulbificación de las cultivares Morado INTA y Nieve INTA al momento de cosecha.

**Table 5:** Plant and bulb parameters in cv. Morado INTA grown in the experimental field of INTA EEA Chilecito (Tilimuqui) in the year 2022. La Rioja, Argentina.

**Tabla 5:** Parámetros de planta y de bulbo en la cv. Morado INTA cultivado en el campo experimental de INTA EEA Chilecito (Tilimuqui) en el año 2022. La Rioja, Argentina.

Medidas de resumen	Parámetros de planta y de bulbo cv. Morado INTA				
	Altura (cm)	Número de hojas	Longitud de hoja basal (cm)	Peso de bulbo (g)	Índice de bulbificación
Media	65,73	10,37	41,23	95,07	3,56
Desviación Estándar	5,33	1,63	3,56	14,35	0,50
Mínimo	57,00	8,00	33,00	65,00	2,57
Máximo	77,00	14,00	51,00	116,00	4,43
N	30	30	30	30	30

N: número de muestras.

**Table 6:** Plant and bulb parameters in cv. Nieve INTA grown in the experimental field of INTA EEA Chilecito (Tilimuqui) in the year 2022. La Rioja, Argentina.

**Tabla 6:** Parámetros de planta y de bulbo en la cv. Nieve INTA cultivado en el campo experimental de INTA EEA Chilecito (Tilimuqui) en el año 2022. La Rioja, Argentina.

Medidas de resumen	Parámetros de planta y de bulbo cv. Nieve INTA				
	Altura (cm)	Número de hojas	Longitud de hoja basal (cm)	Peso de bulbo (g)	Índice de bulbificación
Media	92,44	7,69	41,76	80,18	3,60
Desviación Estándar	4,75	0,89	0,89	11,81	0,49
Mínimo	52,00	6,00	6,00	58,00	2,14
Máximo	75,00	10,00	63,00	117,00	4,76
N	90	90	90	90	90

N: número de muestras.

Los pesos promedio de bulbo de las cultivares de ajo Morado INTA y Nieve INTA podrían estar relacionados con el tamaño de planta obtenido en condiciones ambientales áridas del oeste de La Rioja (Argentina). Estas observaciones generales coinciden con las correlaciones significativas y positivas obtenida por Zakari *et al.* (2017) y Mahala *et al.* (2022) entre el rendimiento de bulbos y los parámetros de crecimiento (tal como la altura de planta, el número de hojas y peso de bulbo).

Las respuestas fenológicas y las características morfológicas de las cultivares concuerdan con las descripciones de los grupos ecofisiológicos IIIa y IIIb mencionados en Burba (2008) y Burba (2022).

Se continuarán evaluando los efectos de las temperaturas del aire y del suelo durante el ciclo 2023, considerando los reportes de la Organización Meteorológica Mundial sobre “Julio de 2023 será el mes más cálido registrado” <https://public.wmo.int/en/media/press-release/july-2023-set-be-hottest-month-record>.

#### 4. Conclusiones

La cv. Morado INTA y la cv. Nieve INTA presentaron distintos porcentajes de brotación, números de hojas y pesos de bulbos bajo similares condiciones de clima y de suelo en Chilecito (La Rioja).

La cv. Nieve INTA exhibió una cosecha tardía.

#### 5. Agradecimientos

Al personal de ayudantes de campo de la EEA Chilecito (Sr. Carlos Brizuela). 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.

#### 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.
- Atif, M.; Amin, B.; Ghani, M.; Ali, M.; Zhang, S. & Cheng, Z. (2020). Effect of photoperiod and temperature on garlic (*Allium sativum* L.) bulbing and selected endogenous chemical factors. *Environmental and Experimental Botany* 180, 104250, 1-9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104250>
- Atashi, S.; Akbarpour, V.; Mashayekhi, K. & Mousavizadeh, S. (2011). Garlic physiological characteristics from harvest to sprouting in response to low temperatura. *Journal of Stored Products and Postharvest Research* Vol. 2(15), pp. 285-291.
- 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. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
- 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.
- Brewster, J. L. (2008). Onions and other vegetable alliums. *Crop Production*

- Science in Horticulture, 2nd ed. 15, 1-432.
- 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. (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>
- Dorau, K.; Bamminger, C.; Koch, D. & Mansfeldt, T. (2022). Evidences of soil warming from long-term trends 1951–2018 in North Rhine-Westphalia, Germany. Climatic Change 170: 9, 1-13.
- 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. Volume 59, Issue 2. 2003. Pages 155-167. ISSN 0378-3774. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(02\)00125-7](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00125-7).
- Fernández-Long M.E., Hurtado R.H. & Spescha L. (2015). Planilla de cálculo de variables astronómicas (VARAST 1.0). Revista Agronomía & Ambiente 35 (2): 171-177.
- Fischer, G. & Bazurto, J.T. (1999). Efecto de la temperatura del suelo sobre la planta. 3. Modificaciones de las propiedades térmicas del suelo. Revista Comalfi, Vol. XXVI, Números 1-3, 95-105.
- 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>
- González-García, M.P., Conesa, C.M., Lozano-Enguita, A., Baca-González, V., Simancas, B., Navarro-Neila, S., Sánchez-Bermúdez, M., Salas-González, I., Caro, E., Castrillo, G. & del Pozo, J.C. (2023). Temperature changes in the root ecosystem affect plant functionality. Plant Communications, Vol. 4, 3, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2022.100514>
- Habib-ur-Rahman, M., Ahmad, A., Raza, A., Hasnain, M.U., Alharby, H.F., Alzahrani, Y.M., Bamagoos, A.A., Hakeem, K.R., Ahmad, S., Nasim, W., Ali, S., Mansour, F. & EL Sabagh, A. (2022). Impact of climate change on agricultural production; Issues, challenges, and opportunities in Asia. Frontiers in Plant Science 13:925548, 1-22. doi: 10.3389/fpls.2022.925548
- Heinze, J., Gensch, S., Weber, E. & Joshi, J. (2017). Soil temperature modifies effects of soil biota on plant growth. Journal of Plant Ecology Vol. 10, 5, 808-821.
- 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.
- Lipinski, V.M. & Gaviola, S. (2008). Evaluación de cultivares de ajo (*Allium sativum* L.) blanco bajo déficit

- controlado de riego. IV Jornadas de Actualización en riego y fertirriego. INA (Instituto Nacional de Agua). FCA UNCuyo. Mendoza.
- 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).
- Mahmudah, N., June, T. & Impron. (2021). Adaptive garlic farming to climate change and variability in Lombok. *Agromet*, 35,2,116-124. [doi.org/10.29244/j.agromet.35.2.116-124](https://doi.org/10.29244/j.agromet.35.2.116-124)
- Mahala, K., Garhwal, O. P., Choyal, P., Choudhary, R., Bhatishwar, M. C. & Chahar, S. (2022). Correlation Assessment for Bulb Yield and its components in Garlic (*Allium sativum* L.) Genotypes. *Biological Forum - An International Journal* 14, 1, 671-674.
- Mardones, A. C. (1997). Normas técnicas para el cultivo del ajo en la zona sur. INIA Remahue. Boletín técnico N 240.
- Mathew, D. (2007). A note on frost induced garlic (*Allium sativum* L. var. *sagittatum* Kuz.) mutant with larger aerial bulbs. *Journal of Spices and Aromatic Crops* Vol. 16 (2): 122-124.
- 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.
- Mondal, S., Ghosal, S. & Barua, R. (2016). Impact of elevated soil and air temperature on plants growth, yield and physiological interaction: a critical review. *Scientia Agriculturae* 14 (3), 293-305. [10.15192/PSCP.SA.2016.14.3.293305](https://doi.org/10.15192/PSCP.SA.2016.14.3.293305)
- 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. <https://doi.org/10.3390/agronomy13010220>
- Ni, J., Cheng, Y., Wang, Q., Ng, C.W.W. & Garg, A. (2019). Effects of vegetation on soil temperature and water content: field monitoring and numerical modeling. *Journal of Hydrology* 571, 494-502. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.02.009>
- Oh, S., Moon, K. H. & Koh, S. C. (2015). Assessment of high temperature impacts on early growth of garlic plant (*Allium sativum* L.) through monitoring of photosystem II activities. *Korean Journal Horticultural Science Technology* 33(6), 829-838. <http://dx.doi.org/10.7235/hort.2015.15078>
- Onwuka, B.M (2018). Effects of soil temperature on some soil properties and plant growth. *Advances in Plants & Agriculture Research* 8 (1), 34-37. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:133667230>
- Regairaz, C. (2000). Suelos de Mendoza. En Abraham, E. y Rodríguez Martínez (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>
- Sabri, N. S. A., Zakaria, Z., Mohamad, S. E., Jaafar, A. B. & Hara, H. (2018). Importance of Soil Temperature for the Growth of Temperate Crops under a Tropical Climate and Functional Role of Soil Microbial Diversity. *Microbes Environ.* Vol. 33, 2, 144-150. <https://doi.org/10.1264/jsme2.ME17181>
- 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. <https://doi.org/10.2478/mjhr-2019-0014>
- 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): Enero-Abril 2010.
- Singh, S. (2013). Agrometeorological requirements for sustainable vegetable crops production. 1-22.
- Skansi, M. M.; Poggi, M. M.; Stella, J. L.; Flores, K.; Garay, N.; Córdoba Fradinger, C.; Bolzi, S. C.; D'Amen, D.; Menalled, M.; Goñi, J.; Aldeco, L. S.; Domínguez, D. A.; Godoy, A. A.; Barlasina, M. E.; Ruiz, M. E.; Condori, L. F.; Carbajal, G.; Nollas, F. & Lell, J. (2022). Estado del clima en Argentina 2022: reporte final. Servicio Meteorológico Nacional. 1-43. <http://hdl.handle.net/20.500.12160/2378>
- Snowdon, R.J., Wittkop, B., Chen, T.W. & Sthali, A. (2021). Crop adaptation to climate change as a consequence of long-term breeding. *Theoretical and Applied Genetics* 134,1613-1623.
- 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)
- Song, Y.T., Zhou, D.W., Zhang, H.X., Li, G.D., Jin, Y.H. & Lin, Q. (2013). Effects of vegetation height and density on soil temperature variations. *Chinese Science Bulletin* 58, 907-912. <https://doi.org/10.1007/s11434-012-5596-y>
- Stahlschmidt, O. M. & Cavagnaro, J. B. (1997). Aspectos ecofisiológicos del cultivo de ajo. In: Burba JL (Ed.) 50 Temas sobre producción de ajo. Vol. 3, 20-38.
- Tchórzewska, D., Bocianowski, J., Najda, A., Dąbrowska, A. & Winiarczyk, K. (2017). Effect of environment fluctuations on biomass and allicin level in *Allium sativum* (cv. Harnas, Arkus) and *Allium ampeloprasum* var. *ampeloprasum* (GHG-L). *Journal of Applied Botany and Food Quality* 90, 106-114. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2017.090.013>
- Wang, X. & Chen, R. (2023). Evaluation of spatial and temporal variations in the difference between soil and air temperatures on the qinghai-tibetan plateau using reanalysis data products. *Remote Sens.* 15, 1894, 1-13. <https://doi.org/10.3390/rs15071894>
- 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, 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.

- 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. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.811621>
- Xu, Y. & Zhuang, Q. (2023). The importance of interactions between snow, permafrost and vegetation dynamics in affecting terrestrial carbon balance in circumpolar regions. *Environmental Research Letters* 18, 044007, 1-10. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acc1f7>
- Yamori, N., Levine, C. P., Mattson, N. S. & Yamori, W. (2022). Optimum root zone temperature of photosynthesis and plant growth depends on air temperature in lettuce plants. *Plant Molecular Biology*, 110(4-5), 385-395. <https://doi.org/10.1007/s11103-022-01249-w>
- Zakari, S. M., Haruna, H. & Aliko, A.A. (2017). Correlation analysis of bulb yield with growth and yield components of garlic (*Allium sativum* L.). *Nigerian Journal of Basic and Applied Sciences*. 25, 1, 58-62. <http://dx.doi.org/10.4314/njbas.v25i1.8>
- Zhang, Z., Pan, Z., Pan, F., Zhang, J., Han, G., Huang, N., Wang, J., Pan, Y., Wang, Z. & Peng, R. (2020). The change characteristics and interactions of soil moisture and temperature in the farmland in Wuchuan County, Inner Mongolia, China. *Atmosphere* 11, 503, 1-14; <https://doi.org/10.3390/atmos11050503>
- Zhang, Y., Niu, H. & Yu, Q. (2021). Impacts of climate change and increasing carbon dioxide levels on yield changes of major crops in suitable planting areas in China by the 2050s. *Ecological Indicators* 125 107588, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.ecoind.2021.107588>
- Horticultura Argentina es licenciado bajo Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial 2.5 Argentina.