

UNA ESCALA FENOLOGICA DECIMAL PARA LA CEBOLLA (*Allium cepa* L.) DE SIEMBRA DIRECTA DE PRIMAVERA

M.L. Suso¹
 A. Pardo¹
 S. Pérez²
 R. Calvo²
 C. Zaragoza³

1 Centro de Investigaciones Agrarias
 Apdo. 1056, 26080 Logroño (España)

2 Area de Informática Científica
 Apdo. 8111, 28080 Madrid (España)

3 Servicio de Investigación Agraria
 Apdo. 727, 50080 Zaragoza (España)

RESUMEN

Durante el período 1985-1989 se realizaron experiencias para describir el crecimiento de la cebolla y determinar una escala de estados fenológicos para este cultivo. Las experiencias se desarrollaron sobre un cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.) cv. Valenciana Grano en siembra directa de primavera y regadío, sobre unos suelos franco arenosos de Logroño y Zaragoza.

Se estudió la evolución del peso seco de las hojas y de las raíces más el bulbo mediante la aplicación de un modelo cuadrático y otro logístico respectivamente, para relacionar dicho peso seco, con una variable de tiempo o climática. De ellas, la integral térmica ($T \geq 6^\circ\text{C}$) presentó el mejor comportamiento global. De la correspondencia entre esta integral térmica y los estados fenológicos observados, se estableció un esquema general del crecimiento de la cebolla y se elaboró una escala fenológica codificada en notación decimal. Esta escala consta de diez estados principales de crecimiento codificados con los dígitos de 0 a 9, subdivididos cada uno en cuatro estados secundarios, que cubren el período de cultivo, desde la siembra hasta la maduración del bulbo. Los valores correspondientes a los estados fenológicos en la escala decimal mostraron una estrecha relación lineal con todas las variables climáticas utilizadas.

Palabras Clave: Cebolla, Escala fenológica, Modelos de crecimiento, Integral térmica

SUMMARY

A DECIMAL CODE FOR PHENOLOGICAL STAGES IN SPRING DRILLED ONION (*Allium cepa* L.)

Yield growth and phenology in irrigated onions (*Allium cepa* L.) cv. Valenciana Grano, drilled in spring on a sandy loam, were described at Logroño and Zaragoza (Spain) during 1985-1989.

A quadratic and a logistic growth curves were found to give suitable representations of the leaf and bulb plus sheath dry weight development from emergence to

maturity. These curves relate the leaf and bulb plus sheath dry weight to a meteorological or time variable. Accumulated temperature ($T \geq 6^\circ\text{C}$) most accurately fitted to these dry weight data.

A relationship between accumulated temperature ($T \geq 6^\circ\text{C}$) and phenological stages was established. As a consequence a decimal code for the growth stages of onion was proposed. The principal growth stages are coded with the digits 0 to 9, from the germination period to bulb maturity. Each main growth stage is divided into four secondary growth stages for more details. A close linear relationship was observed between developmental code and all the meteorological and time variables used.

Key words: *Allium cepa*, Onion, Phenological scale, Growth curves, Accumulated temperature

Abbreviations: IT6 = Day-degrees ($\geq 6^\circ\text{C}$), CEH = Start of herbaceous exponential growth phase, CEB = Start of bulb plus sheath exponential growth phase, MCH = Maximum herbaceous growth



Introducción

La producción de cebolla en España alcanzó 1.011.200 t en el año 1989, con una superficie de cultivo de 29.200 ha (MAPA 1989). El volumen de exportación, sitúa a España como segundo exportador mundial después de Holanda (MAPA 1991). La variedad más cultivada es la Grano o Valenciana que supone el 52% del total y cuyo cultivo está alcanzando un alto grado de mecanización, desde la siembra de primavera en terreno de asiento hasta la recolección. Para una mejor aplicación de las técnicas agrícolas, se hace necesario disponer de una adecuada descripción del cultivo.

La manera más simple y general para describir el crecimiento de una planta cultivada es mediante una escala de estados de referencia, preferentemente ilustrados. Su empleo permite la comunicación de información de una manera simple y precisa sobre el cultivo.

Podemos encontrar una descripción de las fases de crecimiento y desarrollo de la cebolla en las escalas descriptivas propuestas por REY et al. (1974) y AULOIS (1975). Estas dos escalas se realizaron con el objetivo de facilitar y racionalizar los tratamientos para la protección del cultivo.

Sin embargo, con el avance en los métodos de adquisición de datos y cálculo automático, escalas como las citadas, no son adecuadas para procesar, almacenar y recuperar datos; de aquí el interés de disponer de una escala que exprese el crecimiento de la cebolla en notación decimal, y cuya utilidad ya se ha mostrado en los cereales (ZADOCKS et al., 1974) y en el maíz (GROOT et al., 1986).

Se han realizado muchos estudios sobre el crecimiento de la cebolla, pero pocos de ellos contienen una descripción cuantitativa del crecimiento. Las primeras experiencias con resultados cuantitativos se refieren a

cortos períodos que no incluyen la fase de bulbificación (BREWSTER, 1979 y 1982; BREWSTER y BARNES, 1981). Más recientemente, MORRIS y TUCKER (1985) proporcionaron una detallada descripción del crecimiento de la cebolla en cultivo de primavera, distinguiendo entre el crecimiento de la parte aérea y del bulbo, y su relación con algunos parámetros climáticos

El objetivo de este trabajo ha sido la obtención de una escala decimal que cuantifique las observaciones fenológicas sobre el cultivo de cebolla en siembra de primavera, y que mantenga una relación lineal con variables morfogénicas de tiempo o climáticas.

Material y métodos

Las experiencias se han realizado en Valdegón, La Rioja (España) a 42°27' de latitud N y 2°17' de longitud O, durante el período 1985-1989, y en Aula Dei, Zaragoza (España) a 41°43' de latitud N y 2°52' longitud O en 1989.

Crecimiento del cultivo

Se evaluó mediante la determinación del peso seco de las hojas y de las raíces más el bulbo a lo largo de la estación de crecimiento. La siembra de cebolla cv. Valenciana Grano se realizó todos los años directamente en el terreno de asiento, en la segunda semana de marzo, a una densidad media de 56 plantas/m². El diseño experimental fue en bloques al azar con 4 ó 5 repeticiones. La parcela elemental tenía unas dimensiones de 1x1,5 m. A lo largo del cultivo se tomaron muestras periódicas de plantas sobre dos líneas de un metro, cada diez días aproximadamente, desde el

momento de la emergencia hasta la maduración del bulbo, para la determinación del peso seco.

Fenología del cultivo

Se realizaron observaciones periódicas, no destructivas, sobre parcelas de campo. El diseño experimental fue en bloques al azar con cuatro repeticiones. La parcela elemental tenía unas dimensiones de 1 x 1,5 m. a una densidad media de 56 plantas/m². Se determinó el estado fenológico (EF) de las plantas sobre dos líneas de 1 m. por parcela elemental. Las observaciones fenológicas se expresaron en notación alfabética según una escala de trabajo que se representa en el Cuadro 3.

Análisis estadístico

Los datos del peso seco de las hojas se ajustaron a una ecuación cuadrática (CHAPMAN, 1981; MORRIS y TUCKER, 1985), de la forma:

$$W = (BO * \tau^2) / (\tau^2 + B1 * \tau + B2) \quad (1)$$

donde W es el peso seco de la parte aérea expresado en porcentaje y transformado según su raíz cuadrada (ANDERSON y MCLEAN, 1974), y τ el tiempo cronológico o la integral de alguna variable climática desde el 50% de la emergencia de la cebolla.

Los datos del peso seco del bulbo se ajustaron al modelo logístico de MORRIS y TUCKER (1985), reparametrizado de la forma:

$$W = BO + B1 / (1 + \text{EXP}(-B2 * (\tau - B3))) \quad (2)$$

donde W es el peso seco de la raíz más el bulbo, expresado en porcentaje y ponderado según la inversa de su varianza (CARBONELLI et al., 1983), y τ , el tiempo cronológico o la integral de alguna variable

climática desde el 50% de la emergencia. Las ecuaciones cuadrática (1) y logística (2), fueron adecuadas para describir el crecimiento de hojas y bulbos respectivamente (Susó, 1990).

Variables climáticas

A lo largo del cultivo se recogieron datos climáticos de temperaturas diarias, precipitación y horas de sol, como una estimación de la radiación (TUMEH y SAMIE, 1973; SEGUIN, 1976). A partir de estos datos, se elaboraron las variables climáticas que aparecen en el Cuadro 4. En algunas de ellas se consideró un umbral inferior de crecimiento de 6°C y unos umbrales superiores de 20 y 25°C (GORINI, 1975; BREWSTER et

al., 1977; MORRIS y TUCKER, 1985). Los valores de estas variables fueron acumulados desde el 50% de la emergencia.

Las ecuaciones cuadrática y logística, fueron ajustadas para cada variable τ de tiempo o climática.

Momentos específicos de crecimiento

Una vez ajustados los datos a las ecuaciones mencionadas anteriormente se determinaron, sobre el modelo cuadrático el inicio de la fase exponencial del crecimiento herbáceo (CEH) y el máximo desarrollo vegetativo (MCH), y sobre el modelo logístico el inicio de la fase exponencial del engrosamiento del bulbo (CEB), (Figura 1)

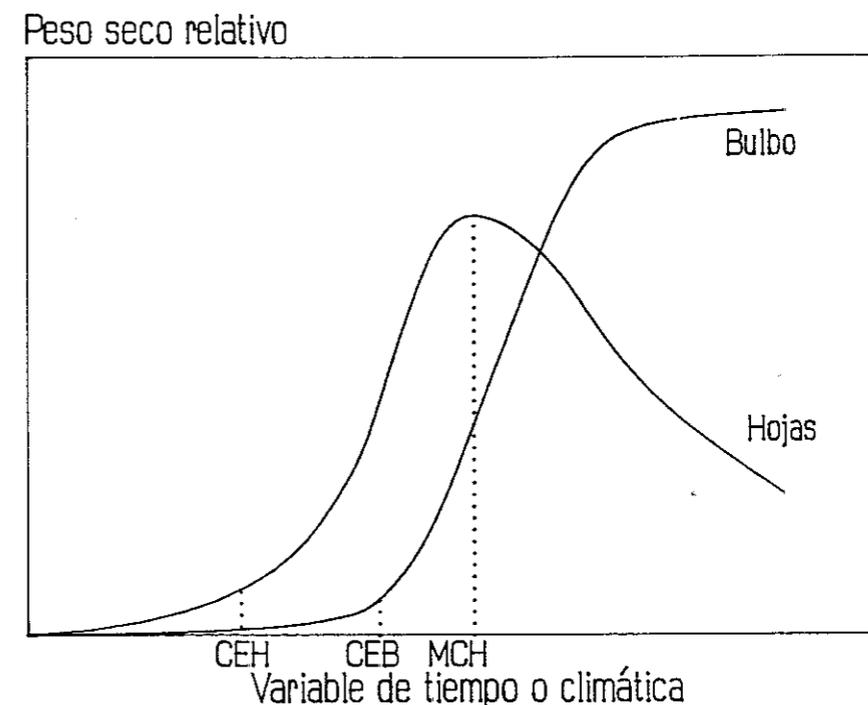


Figura 1 Evolución esquematizada del peso seco relativo del bulbo y de las hojas de la cebolla, en función de una variable de tiempo o climática, desde el 50% de la emergencia. Las abscisas CEH y CEB representan el inicio de la fase exponencial del crecimiento de las hojas y del bulbo respectivamente. MCH representa la abscisa del máximo crecimiento herbáceo.

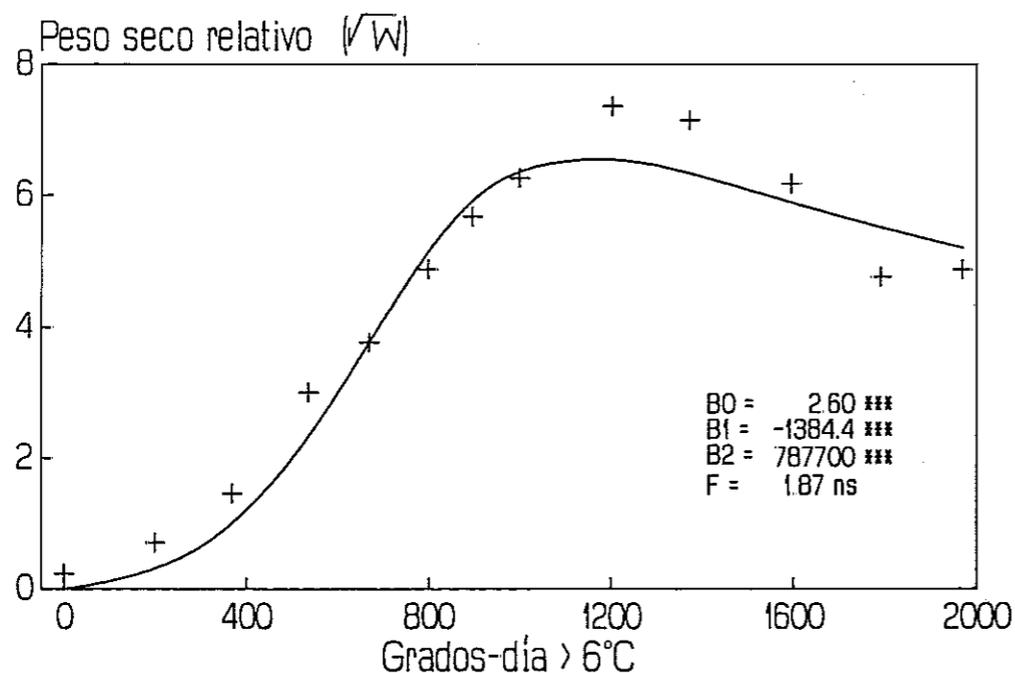


Figura 2 Peso seco relativo de las hojas de la cebolla en función de la integral térmica (grados.día $\geq 6^{\circ}\text{C}$) desde el 50% de la emergencia. B0, B1 y B2 son los parámetros de ajuste del modelo cuadrático (1) para los datos del año 1989 (Valdegón) y F la prueba de falta de ajuste. Cada punto representa la media de cinco observaciones. Los datos han sido transformados según su raíz cuadrada. (***) $P < 0,001$

Determinación de la escala decimal

A partir de las relaciones observadas entre la evolución del peso seco, las variables climáticas y los estados fenológicos, se elaboró una escala decimal, teniendo en cuenta los criterios de ZADOCKS et al. (1974), TOTTMAN (1979) y GROOI et al. (1986).

Posteriormente se analizó el grado de correlación y de linealidad entre los valores decimales de las observaciones fenológicas (EFD) y las variables climáticas, en todas las experiencias.

Resultados

Los mejores ajustes y la menor variabilidad estacional y geográfica se obtuvieron utilizando la integral térmica IT_6 ($T \geq 6^{\circ}\text{C}$). En las Figuras 2 y 3 se presenta la relación entre los datos del peso seco de hojas y bulbo, y la variable IT_6 en la experiencia del año 1989 en Valdegón, como un ejemplo del ajuste de los datos a las ecuaciones 1 y 2 respectivamente.

La integral térmica IT_6 proporcionó asimismo la menor variabilidad cuando se compararon los valores del CEH, MCH y CEB entre años y lugares (Cuadro 1).

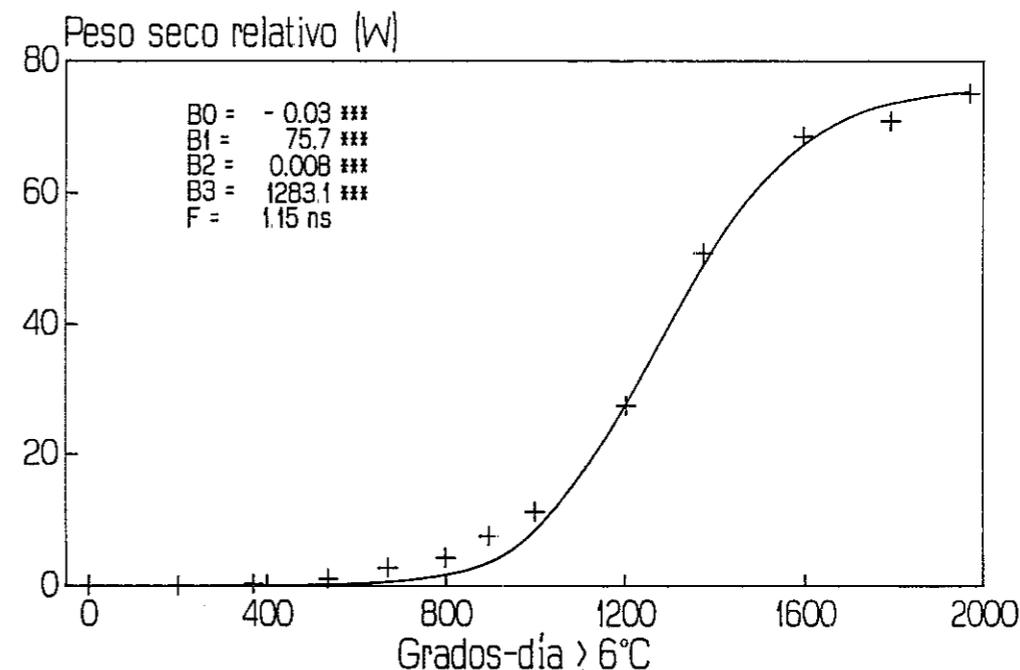


Figura 3. Peso seco relativo del bulbo de la cebolla en función de la integral térmica (grados día $\geq 6^{\circ}\text{C}$) desde el 50% de la emergencia. B0, B1, B2 y B3 son los parámetros de ajuste del modelo logístico (2) para los datos del año 1989 (Valdegón) y F la prueba de falta de ajuste. Cada punto representa la media de cinco observaciones. (***) $P < 0,001$.

CUADRO 1
COMPARACIONES DOS A DOS DE LOS PARAMETROS CEH, CEB Y MCH CALCULADOS CON LOS MODELOS CUADRATICO Y LOGISTICO, UTILIZANDO LA VARIABLE GRADOS ($T \geq 6^{\circ}\text{C}$). DIA EN LAS EXPERIENCIAS DE VALDEGON Y AULA DEI (A.D.) EN EL PERIODO DE 1985-1989

Año	CEH					CEB					MCH				
	1985	1986	1987	1988	1989	1985	1986	1987	1988	1989	1985	1986	1987	1988	1989
1986	ns					ns					*				
1987	ns	ns				ns	ns				ns	*			
1988	ns	ns	ns			ns	ns	**			*	ns	*		
1989	ns	ns	ns	ns		ns	ns	ns	ns		ns	*	ns	*	
1989 A.D.	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	ns							

Significación por medio de una prueba de Student: ** $P \leq 0,01$; * $P \leq 0,05$; ns = no significativo

CUADRO 2
VALORES DE LA INTEGRAL TÉRMICA IT6 (GRADOS. DÍA ≥ 6°C), EN ALGUNOS ESTADOS FENOLÓGICOS EF, DEL CULTIVO DE CEBOLLA, EN LAS EXPERIENCIAS DE VALDEGON Y AULA DEI DURANTE EL PERIODO 1985-1989

	Valdegón										Aula Dei	
	1985		1986		1987		1988		1989		1989	
	IT6	EF	IT6	EF	IT6	EF	IT6	EF	IT6	EF	IT6	EF
Emergencia	0	B2	0	B2	0	B2	0	B2	0	B2	0	B2
Crecimiento herbáceo	401	F1	387	E-F1	522	F2-F3	505	F1	473	F1	607	F1
Engrosamiento del bulbo	871	G1-G2	999	G2	930	G5	1047	G5	952	G2-G3	830	F3
Max desarrollo herbáceo	1224	G4-G5	1410	G5-G6	1227	G6-H1	1359	H3	1187	G3	1287	G4
Planta acostada	1521	I(25%)	1721	I(40%)	1554	I(51%)	1970	I(55%)	1515	I(57%)	1785	I(50%)
Maduración	2159	J	2111	J	2013	J	2155	J	1975	J	2292	J

Entre paréntesis aparece el porcentaje de plantas en el estado I

Se consideraron seis estados característicos del cultivo vgr. emergencia, CEH, CEB, MCH, planta acostada y maduración, a los cuales se asociaron los valores correspondientes de la integral térmica IT6 y del estado fenológico EF observado (Cuadro 2).

La representación gráfica de los valores expresados en el Cuadro 2, de modo que las abscisas correspondan a la integral térmica IT6 y las ordenadas a los estados fenológicos EF, permite delimitar unas áreas que corresponden a los intervalos en que ocurren algunos estados significativos del cultivo (Figura 4). Si a la emergencia del cultivo (EF= B2) le asignamos el valor EFD = 1, y al estado de madurez (EF = J) el valor EFD = 9, existe la posibilidad de relacionar linealmente los estados fenológicos expresados en notación decimal y la integral térmica IT6).

El resultado de realizar esta correspondencia es la escala decimal que se propone en el Cuadro 3. Para su definición se ha

tomado como base la escala descriptiva de REY et al. (1974), que contiene diez estados etapas de crecimiento se ha considerado además, la descripción de AULOIS (1985) puesto que las define exhaustivamente. Finalmente, se han tenido en cuenta los criterios relativos a la subdivisión de los estados principales y a la equidistancia de estos en una escala ontogénica (ZADOCKS et al., 1974; GROOT et al., 1986)

Los estados de crecimiento de la cebolla, se presentan ilustrados en las Figuras 5-14.

Se comprobó la existencia de una elevada correlación entre los estados fenológicos observados y expresados en notación decimal y las variables climáticas descritas (Cuadro 4).

En todas las experiencias, los valores codificados de los estados de desarrollo EFD, guardan una estrecha relación lineal con la integral térmica IT6. En la Figura 15 se muestra como ejemplo, el ajuste de los da-

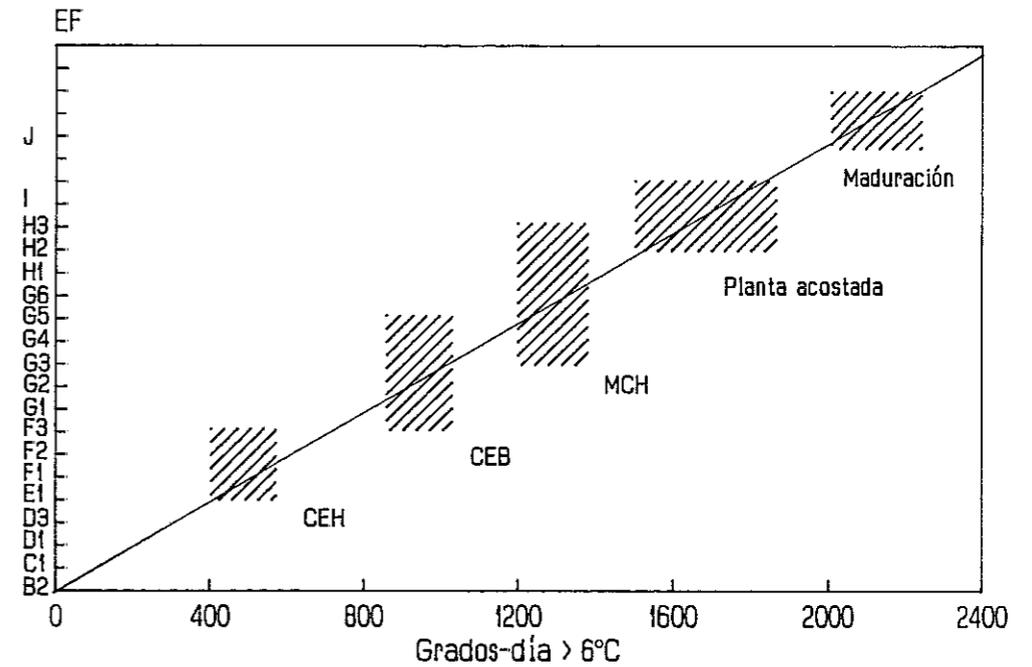


Figura 4 Relación entre estados fenológicos (EF), según la escala alfabética de trabajo, y la integral térmica (grados día ≥ 6°C). Las áreas sombreadas indican los intervalos de variación de ambos en diferentes momentos del cultivo, obtenidos en las experiencias de Valdegón y Aula Dei, en el periodo 1985-1989

CUADRO 3
ESCALA DECIMAL PROPUESTA, ESCALA DE TRABAJO Y SU CORRESPONDENCIA CON LAS ESCALAS DE REY et al (1974) Y AULOIS (1975)

Escala decimal propuesta	Estado de semilla y germinación	Escala de trabajo	Rey	Aulois
0	Estado de semilla y germinación	A	A	
0,00	Semilla seca	A1		
0,25	Imbibición	A2		
0,50	Aparición de la radícula	A3		
0,75	Aparición del coleoptilo	A4		
1	Emergencia del cultivo	B	B	A1
1,00	Estado de "cayado" o "gancho"	B1		A2
1,25	Estado de "látigo"	B2		
1,50	Aparición de la 1ª hoja	C1	C	B1
1,75	La primera hoja iguala al cotiledón	C2		B2

Escala decimal propuesta		Escala de trabajo	Rey	Aulois
2	Estado de caída del cotiledón			
2,00	Desecación del cotiledón, 1ª hoja plenamente desarrollada	C3		B3
2,25	Caída del cotiledón Aparición de la 2ª hoja	D1		C1
2,50	Crecimiento de la 2ª hoja que iguala a la primera	D2		C2
2,75	Aparición de la 3ª hoja	D3	D	D
3	Engrosamiento del cuello de la planta			
3,00	Aparición de la 4ª hoja Engrosamiento del cuello	E	E	
3,25	Aparición de la 5ª hoja	F1	F	
3,50				
3,75	Aparición de la 6ª hoja	F2	F	
4	Inicio del crecimiento herbáceo exponencial (CEH)			
4,00	Aparición de la 7ª hoja	F3	F	
4,25				
4,50	Aparición de la 8ª hoja	G1	G	
4,75				
5	Inicio del crecimiento exponencial del bulbo (CEB)			
5,00	Aparición de la 9ª hoja	G2	G	
5,25				
5,50	Aparición de la 10ª hoja	G3	G	
5,75	Aparición de la 11ª hoja	G4	G	
6	Máximo crecimiento herbáceo (MCH)			
6,00	Aparición de la 12ª hoja	G5	G	
6,25				
6,50	Aparición de la decimotercera hoja	G6	G	
6,75	Aparición de la decimocuarta hoja	H1	H	
7	Engrosamiento del bulbo			
7,00	Aparición de la decimoquinta hoja	H2	H	
7,25	Aparición de la decimosexta hoja	H3	H	
7,50	Aparición de la decimoséptima o más hojas	H3	H	
7,75				
8	Colapso del cuello. Planta acostada			
8,00	50% de plantas acostadas	I	I	
8,25				
8,50	75% de plantas acostadas			
8,75				
9	Maduración del bulbo. Desecación de la parte aérea			
9,00	50% de plantas con la parte aérea seca	J	J	
9,25				
9,50				
9,75	80% o más plantas con la parte aérea seca			

tos correspondientes a la experiencia del año 1989 en Valdegón.

El valor medio de los valores del coeficiente de regresión obtenidos en todas las experiencias, indica que para pasar de un estado fenológico al siguiente es necesario acumular aproximadamente 266 grados ($\geq 6^\circ\text{C}$), día.

Discusión

Los análisis del crecimiento de la cebolla cv. Valenciana Grano en siembra directa de primavera, en general de acuerdo con los presentados por MORRIS y TUCKER (1985), han permitido realizar la representación matemática del desarrollo, en sus componentes de hojas y bulbo. De las variables utilizadas, los resultados indican que la integral térmica IT6 fue la mejor para describir el efecto del medio ambiente sobre el crecimiento (Susó, 1990).

La aplicación de los modelos de crecimiento ha permitido establecer una relación entre las variables climáticas y el estado de crecimiento del cultivo, en tres momentos específicos. Estos incluyen los períodos en que se inician las fases exponenciales de crecimiento de las hojas y del bulbo, así como en el que se alcanza el máximo desarrollo herbáceo.

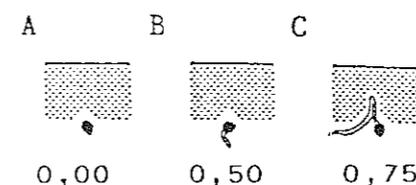


Figura 5 Estado 0: Estado de semilla y germinación A) 0,00 semilla seca B) 0,50, aparición de la radícula C) 0,75 aparición del coleóptilo

La aplicación de la suma de temperaturas ($T \geq 6^\circ\text{C}$), acumuladas desde la emergencia, sobre las observaciones fenológicas realizadas, ha permitido establecer una correspondencia entre aquella y los estados de desarrollo (Cuadro 2 y Figura 4).

Del análisis de esta correspondencia y de los valores del crecimiento predichos por los modelos logístico y cuadrático, pudo establecerse un esquema general del crecimiento de la cebolla que fue la base para la elaboración de la escala decimal.

Esta escala decimal de estados fenológicos se compone de estados principales de crecimiento codificados de 0 a 9, que son por sí mismos explicativos, y estados secundarios, que separan los principales y proporcionan una descripción más detallada del crecimiento (Cuadro 3).

Estados principales

El estado de desarrollo 0 (Figura 5), representa el período de germinación de la semilla en el suelo. El estado 1, corres-

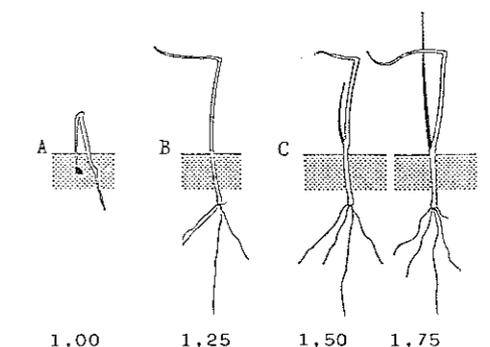


Figura 6 Estado 1: Emergencia del cultivo A) 1,00, estado de cayado B) 1,25, estado de látigo C) 1,50, aparición de la primera hoja D) 1,75, la primera hoja iguala al cotiledón

ponde a la *emergencia del cultivo* con la aparición del cotiledón y al crecimiento de la plántula con la aparición de la primera hoja (Figura 6). El período de crecimiento herbáceo y de engrosamiento del bulbo está representado por seis estados principales:

Estado 2 Caída del cotiledón (Figura 7). Durante este estado aparecen las tres primeras hojas, llegando al final del mismo con las dos primeras hojas bien desarrolladas

Estado 3 Engrosamiento del cuello de la planta (Figura 8). Durante este período aparecen la cuarta, quinta y sexta hoja. Al ir aumentando el número de hojas, el cuello de la planta va engrosando y se ha observado, como ya lo había señalado REY et al. (1974), que entre la aparición de la

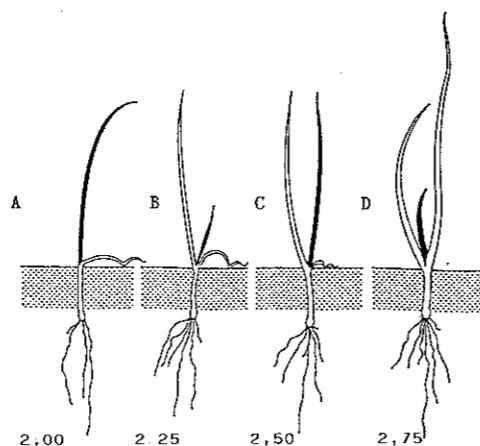


Figura 7 Estado 2: Estado de caída del cotiledón A) 2,00, desecación del cotiledón, la primera hoja está plenamente desarrollada. B) 2,25, aparición de la segunda hoja C) 2,50, la segunda hoja iguala a la primera. D) 2,75, aparición de la tercera hoja

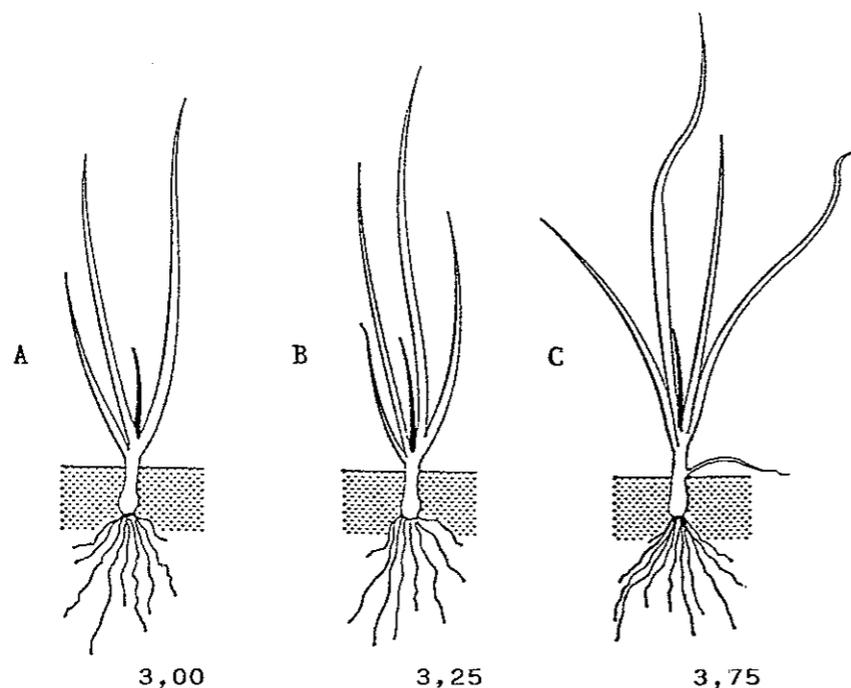


Figura 8 Estado 3: Engrosamiento del cuello de la planta A) 3,00, aparición de la cuarta hoja B) 3,25, aparición de la quinta hoja C) 3,75, aparición de la sexta hoja

quinta y sexta hoja, la primera comienza a desecarse progresivamente hasta que se cae.

Estado 4. Inicio del crecimiento exponencial herbáceo (Figura 9). En este período, aparecen la séptima y octava hoja, pero sobre todo, este estado se caracteriza por el rápido aumento del peso seco de las hojas debido a la elongación de las mismas.

Estado 5 Inicio del crecimiento exponencial del bulbo (Figura 10). Durante este estado aparecen la novena, décima y undécima hoja comenzando el engrosamiento del bulbo, que se caracteriza por un rápido aumento del peso seco del mismo

Estado 6. Máximo crecimiento herbáceo (Figura 11) Durante este estado aparecen la duodécima, decimotercera y decimocuarta hoja, alcanzando la planta su altura máxima con el alargamiento de la séptima, octava y novena hoja, como ya lo había señalado REY et al. (1974)

Estado 7. Engrosamiento del bulbo (Figura 12). Durante este período de plena vegetación, se opera intensamente la formación del bulbo. Puede seguir apareciendo hojas, pero el ritmo de emisión de las mismas y su crecimiento disminuye rápidamente, como había sido descrito por BREWSTER (1977 a,b), KATO (1963,1964). También comienza la formación de las tunicas protectoras del bulbo.

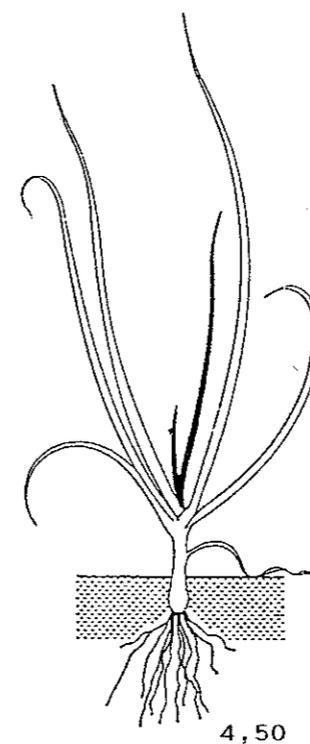


Figura 9. Estado 4: Inicio del crecimiento herbáceo exponencial. Aparición de la 7ª y 8ª hojas 4,50, aparición de la 8ª hoja

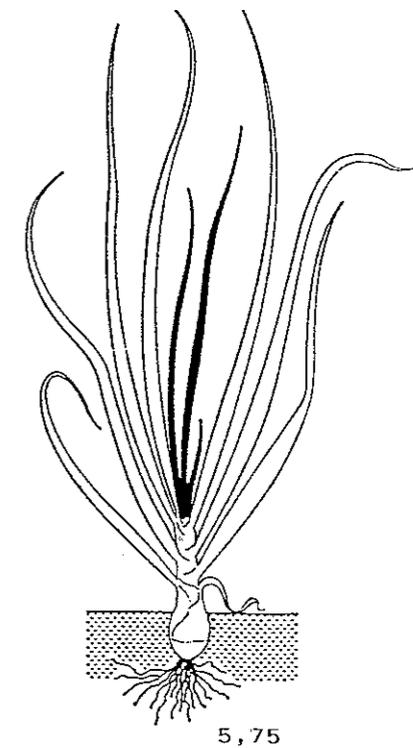


Figura 10 Estado 5: Inicio del crecimiento exponencial del bulbo. Aparición de la 9ª, 10ª y 11ª hojas 5,75, aparición de la 11ª hoja

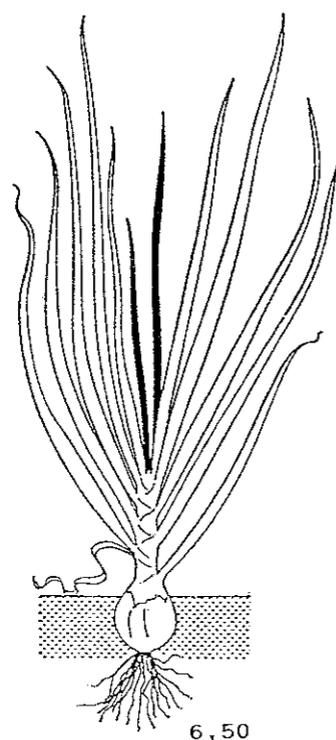


Figura 11. Estado 6: Máximo crecimiento herbáceo. Aparición de la 12ª hoja y siguientes. 6,50, aparición de la 13ª hoja

En el estado 8 de planta acostada (Figura 13), las células del cuello de la planta pierden turgencia, doblándose la parte aérea. Las hojas comienzan a desecarse y termina la fase de crecimiento herbáceo.

El estado 9 corresponde a la maduración del bulbo (Figura 14). Las tunicas se consolidan, el follaje se seca y el cuello de la planta se cierra, desprendiéndose las hojas.

Estados Secundarios

Cada estado de crecimiento primario se subdivide en cuatro estados secundarios

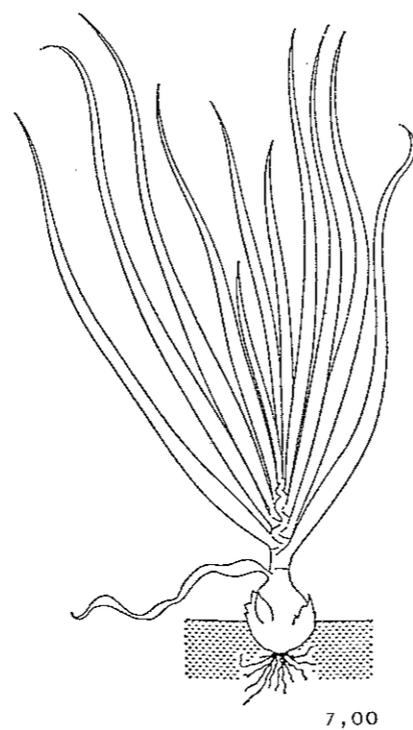


Figura 12 Estado 7: Engrosamiento del bulbo. 7,00, el bulbo se hace visible sobre el suelo.

que permiten una descripción más detallada del crecimiento (Cuadro 3)

Todos los estados secundarios correspondientes al crecimiento herbáceo y al engrosamiento del bulbo, están determinados por el ritmo de aparición de hojas. Los estados correspondientes a los códigos 8,00 y 8,50, corresponden al 50% y 75% de plantas con el cuello colapsado respectivamente. Los estados secundarios codificados como 9,00 y 9,75, corresponden a la maduración, con un 50% y con más del 80% de plantas con la parte aérea seca respectivamente.

Como el crecimiento de la planta es continuo muchas veces no es posible definir estados sucesivos tan estrechamente, por lo

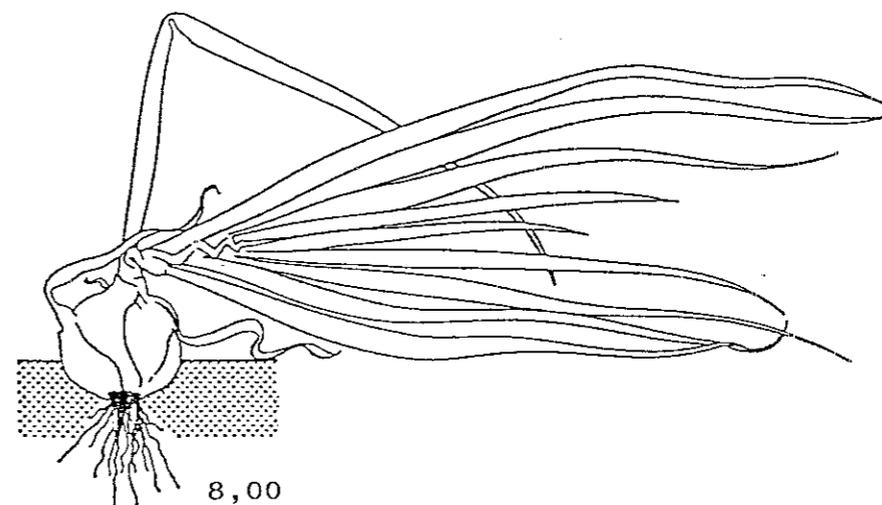


Figura 13 Estado 8: Colapso del cuello. 8,00. planta acostada. El bulbo alcanza su tamaño definitivo. Las tunicas comienzan a consolidarse.

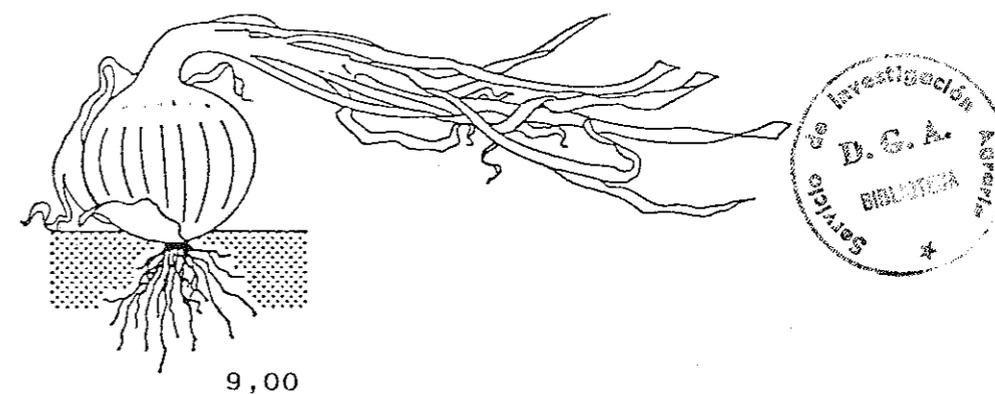


Figura 14. Estado 9: Maduración del bulbo, 9,00, desecación de la parte aérea. Tunicas consolidadas. El cuello de la planta se cierra y la parte aérea se seca desprendiéndose.

que no se usan todas las posiciones de la escala. Esta observación ya fue señalada por ZADOCKS et al. (1974), TOTTMAN et al. (1979) y GROOT et al. (1986) asumiendo, como señala KILPATRICK (1970), que es aceptable el riesgo de algunas arbitrariedades en el entendido de que existen muchas formas para asignar las diez posiciones principales

a más de diez estados de crecimiento definibles.

La escala presentada retiene una parte de la escala de REY et al. (1974) y de la de AULOIS (1975), como se muestra en el Cuadro 3. Esta última, debido sobre todo, a su descripción de los estados juveniles del crecimiento, ya que no se desarrolló para esta-



CUADRO 4
COEFICIENTE DE CORRELACION (R) ENTRE LOS VALORES NUMERICOS ASIGNADOS A LOS ESTADOS FENOLOGICOS EN LA ESCALA DECIMAL Y LAS DIFERENTES VARIABLES CLIMATICAS, EN LAS EXPERIENCIAS DE VALDEGON Y AULA DEI DURANTE EL PERIODO 1985-1989

Variables climáticas	Valdegón					Aula Dei
	1985	1986	1987	1988	1989	1989
Grados día	0,997	0,990	0,993	0,945	0,990	0,989
Grados (I≥6°C) día	0,996	0,989	0,990	0,930	0,990	0,990
Grados (6°C≤I≤20°C) día	0,997	0,990	0,994	0,947	0,990	0,986
Grados (6°C≤I≤25°C) día	0,996	0,989	0,991	0,931	0,990	0,990
Horas de sol	0,997	0,981	0,996	0,925	0,987	0,983
Horas de sol * Grados día	0,994	0,979	0,995	0,890	0,987	0,989
Horas de sol * Grados (I≥6°C) día	0,992	0,978	0,993	0,871	0,986	0,989

dos de crecimiento posteriores a las tres hojas verdaderas.

Desde la aparición del cotiledón hasta el estado de tres hojas, Aulois define cuatro estados y ocho subestados, mientras que REY et al (1974) consideran tres estados. En la escala decimal presentada, dicho período comprende dos estados principales y ocho secundarios, en concordancia con la descripción de AULOIS (1975)

Este autor no incluye el estado de semilla y germinación, que REY et al (1974) representan como estado A de semilla seca, y que en la escala decimal se desarrolla en un estado principal y cuatro estados secundarios.

A partir de la emisión de la tercera hoja, REY et al. (1974) distinguen seis estados fenológicos, que han sido recogidos en la escala decimal como estados principales o secundarios.

Así como BREWSTER (1982) y MONDAL et al (1986) señalan como inicio de madurez el 95% y 80% de plantas acostadas respectivamente, en la escala decimal, consideramos la maduración en un momento más avanzado, cuando las tunicas del bulbo se consolidan y se cierra el cuello completamente, de acuerdo con el criterio de REY et al. (1974), y reservando un estado principal para la planta acostada

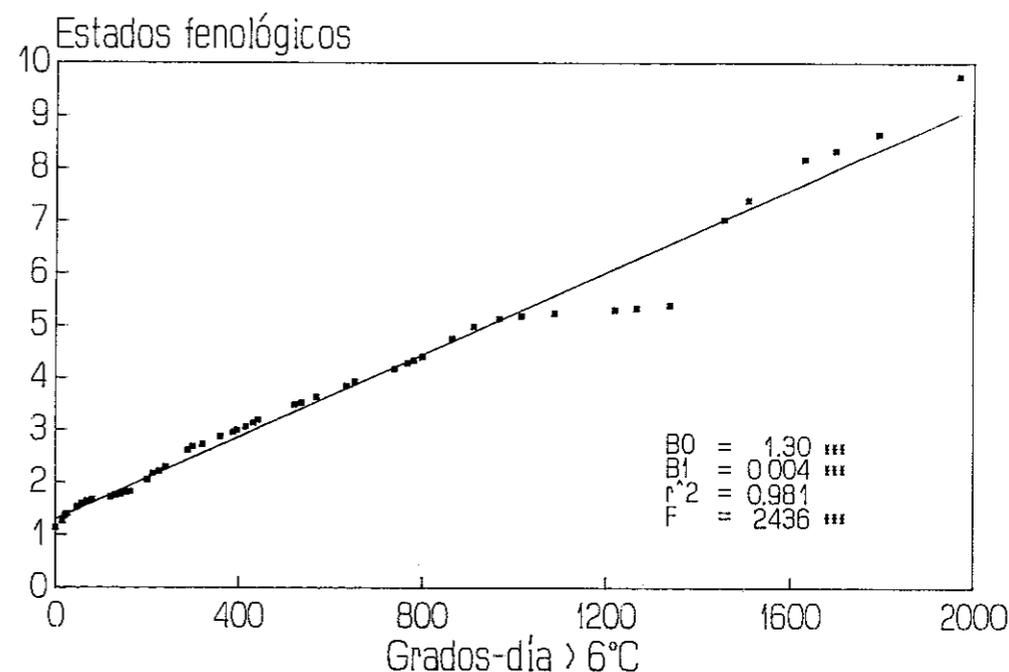


Figura 15 Relación entre los estados fenológicos de la cebolla expresados en notación decimal y la integral térmica (grados día $\geq 6^{\circ}\text{C}$) desde el 50% de la emergencia. Ajuste lineal correspondiente a los resultados del año 1989. Cada punto representa la media de cinco observaciones

Conclusiones

La aplicación de esta escala a los resultados de las observaciones fenológicas efectuadas, ha mostrado una elevada correlación y una estrecha relación lineal entre los valores numéricos asignados a los estados fenológicos y los valores que toman las variables climáticas. Ello supone la posibilidad de sustituir estas variables por el estado fenológico codificado

Para aplicar la escala, será necesario describir primero cada planta o una muestra aleatoria de plantas de acuerdo con la misma, que proporcionará la información necesaria según el modo y rango de estas observaciones. En la cebolla el proceso de bulbificación se solapa con el último período de crecimiento herbáceo y puede ocu-

rrir que el colapso del cuello llegue en cualquier momento, a partir del punto en el que la planta haya alcanzado su máximo crecimiento herbáceo. En este caso se recomienda utilizar el valor más alto de la escala para la descripción del estado de crecimiento. Para mayor precisión en la descripción también pueden utilizarse los códigos según el rango de estados de crecimiento concurrentemente

Referencias

- ANDERSON V I and McLEAN R A 1974. Design of experiments: a realistic approach. Marcel Dekker Inc., New York 418 pp
- AULOIS M., 1975. Desherbage chimique des oignons. Fiches de desherbage des cultures légumières, n.º 3 INVUFLEC Paris

- BREWSTER J.L., 1977 a The physiology of the onion (Part 1) *Hortic. Abstr.*, 47: 17-23
- BREWSTER J.L., 1977 b The physiology of the onion (Part 2) *Hortic. Abstr.*, 47: 103-112
- BREWSTER J.L. 1979. The response of growth rate to temperature in seedlings of several *Allium* crop species *Ann. Appl. Biol.*, 93: 351-357
- BREWSTER J.L., 1982 Growth, dry matter partition and radiation interception in an overwintered bulb onion (*Allium cepa* L.) crop *Ann. Bot.*, 49: 609-617
- BREWSTER J.L., SALTER P.J., DARBY R.J., 1977. Analysis of the growth and yield of overwintered onions *J. Hortic. Sci.* 52: 335-346
- BREWSTER J.L. and BARNES A., 1981 A comparison of relative growth rates of different individual plants and different cultivars of onion of diverse geographic origin at two temperatures and two light intensities. *J. Appl. Ecol.* 18: 589-604
- CARBONELL E., DENIS J.B., CALVO R., GONZÁLEZ F., PRUÑONOSA V., 1983 Regresión lineal, un enfoque conceptual y práctico *Monografías INIA Madrid* n° 43. 188 pp
- CHAPMAN E.A. 1981 Methods of analysing yield from trials in which produce is graded according to diameter *J. Agric. Sci.*, 97: 55-68
- GORINI F., 1975. La coltivazione della cipolla. *Universalle Edagricole*. (2ª ed), Bologna 55 pp
- GROOT J.J.R., KROPFF M.J., VOSSEN F.J.H., SPITTERS C.J.T., RABBINGE R., 1986. A decimal code for the developmental stages of maize and its relation to accumulated heat units *Netherlands J. Agric. Sci.* 34: 67-73
- KATO I., 1963 Physiological studies on bulb formation and dormancy in the onion plant I. The process of bulb formation and development *J. Jap. Soc. Hortic. Sci.*, 32: 229-237.
- KATO I., 1964 Physiological studies on the bulbing and dormancy of onion plant III Effects of external factors on the bulb formation and development *J. Jap. Soc. Hortic. Sci.*, 33: 53-61
- KILPATRICK R.A., 1970 Examples and explanation of coding for international rust nurseries. *Publ. U.S. Dep. Agric.*, Beltsville. Maryland. 1 pp
- MAPA 1989. Boletín mensual de estadística n° 12 Madrid. 84 pp.
- MAPA 1991. Anuario de Estadística Agraria 1988 Madrid: 246-250.
- MONDAL M.F., BREWSTER J.L., MORRIS G.E.L., BUTLER H.A., 1986. Bulb development in onions I Effects of plant density and sowing date in field conditions *Ann. Bot.*, 58: 187-195.
- MORRIS G.E.L., TUCKER W.G., 1985 A study of the components of growth of the spring-sown onion and their relationships with meteorological data *J. Hortic. Sci.* 60: 341-351
- REY CH., STAHL J., ANTONIN, Ph., NEURY G., 1974. Stades repères de l'oignon de semis. *Rev. Suisse Vit. Arb. Hortic.* 6: 101-104.
- SEGUIN B., 1976 Estimation de l'évapotranspiration potential dans les régions méditerranéennes: problèmes posés par l'adaptation de la formule de Penman aux conditions climatiques locales. *INRA-CRA Avignon-Montfavet Note Interne M/76/1*, 14pp
- SUSO M.L., 1990 Descripción del crecimiento y establecimiento de una escala decimal de estados fenológicos de la cebolla (*Allium cepa* L.) de siembra de primavera. Tesis Doctoral. E.T.S.I. Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, 214 pp
- TOTTMAN D.E., MAKEPEACE R.J., BROAD H., 1979 An explanation of the decimal code for the growth stages of cereals, with illustrations *Ann. Appl. Biol.* 93 221-234
- TUMEH M., SAMIE C., 1973 Mesure et évaluation du rayonnement global à Avignon Montfavet. Note interne 73/4. STEFCE-INRA, Avignon-Montfavet 13 pp
- ZADOCKS J.C., CHANG I.T., KONZAK C.F., 1974. A decimal code for the growth stages of cereals *Weed Research* 14, 415-421

(Aceptado para publicación el 15 de enero de 1992)