

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Trabajo Final presentado para optar al
Grado de Ingeniero Agrónomo

Modalidad: Proyecto

**Caracterización del crecimiento y producción de biomasa de
Cebadilla criolla (*Bromus catharticus* (Vahl)) en la región
de Río Cuarto.**

Lucero Blangetti, Matías Francisco.

DNI: 34.699.466

Director: Plevich, J. Omar.

Co-Director: Morla, Federico D.

Río Cuarto – Córdoba

Diciembre 2012

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: Caracterización del crecimiento y producción de biomasa de Cebadilla criolla (*Bromus catharticus* (Vahl)) en la región de Río Cuarto.

Autor: Lucero Blangetti, Matías Francisco.

DNI: 34.699.466

Director: Plevich, J. Omar.

Co-Director: Morla, Federico D.

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la Comisión Evaluadora:

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Secretario Académico

DEDICATORIA

A mi familia y amigos por haber contribuido directa o indirectamente con la meta de obtener mi título profesional.

A la Universidad Nacional de Río Cuarto y principalmente a la Facultad de Agronomía y Veterinaria, que contribuyeron con mi formación profesional y humana

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis, Ing. Agr. Ms. Sc. José Omar Plevich, por la orientación, el seguimiento y la supervisión de la investigación.

Al codirector de este proyecto, Ing. Agr. Federico Morla, por el apoyo y correcciones brindadas.

A la Ing. Ms. Sc. Ana Rosa Rivetti, por su paciencia ante mis consultas.

A la cuerpo docente de de Forrajes y Manejo de Pasturas, por la prestación de su laboratorio para el procesamiento de las muestras durante el ensayo.

Al Ing. Agr. Dr. Alfredo E. Ohanian y a la Ing. Agr. Judith García, por la atenta lectura y corrección de este trabajo.

Al compañero Juan Ignacio Ledesma, por la colaboración en el ensayo a campo.

A todos ellos, muchas gracias.

INDICE

Índice	I
Índice de cuadros	III
Índice de figuras	IV
Resumen	V
Summary	VI
Introducción	1
Objetivo general	4
Objetivos específicos	4
Materiales y Métodos	5
Estados fenológicos	6
Crecimiento y producción de biomasa aérea total de cebadilla	6
Tiempo térmico (grados días)	7
Agua útil del suelo	7
Balance de agua en el suelo	8
Eficiencia en el uso del agua	9
Intercepción de la radiación a lo largo del ciclo del cultivo	10
Eficiencia en el uso de la radiación	10
Biomasa radicular y su relación con la biomasa aérea hacia el final del ciclo	11
Resultados y Discusión	12
Estadios Fenológicos	12
Determinación del tiempo térmico (°C día)	13

Crecimiento y producción de biomasa aérea total de cebadilla	14
Agua útil del suelo	17
Balance de agua en el suelo	19
Eficiencia en el uso del agua	22
Intercepción de la radiación a lo largo del ciclo del cultivo	22
Eficiencia en el uso de la radiación	24
Biomasa radicular y su relación con la biomasa aérea hacia el final del ciclo	24
Conclusiones	26
Bibliografía	28
Anexo 1: Información meteorológica	32
Precipitaciones medias para Río Cuarto. Período 1974-2002	32
Temperaturas medias, máximas y mínimas para Río Cuarto. Período 1974-2002	32
Condiciones meteorológicas del año que se realizó el ensayo (2011)	31
Precipitaciones y temperaturas, durante el año que se realizó el ensayo, 2011	34
Anexo 2: Requerimientos nutricionales de <i>Bromus catharticus</i> (Cebadilla criolla)	34
Anexo 3: Resultados del cálculo de escurrimiento para el balance de agua	35
Anexo 4: Agua útil para cada parcela durante el ciclo de cebadilla	35
Anexo 5: Balance de agua para cada fecha de medición durante el ciclo de cebadilla	36
Anexo 6: Resultados obtenidos del balance de agua realizado con CropWat	38
Anexo 7: Valores de materia seca (MS) para cada parcela, durante el ensayo	39
Anexo 8: Resultados Estadísticos	40

INDICE DE CUADROS

1. Características del perfil de suelo utilizado	5
2. Valores de los principales macronutrientes presentes en el suelo	5
3. Capacidad de almacenaje (mm) de cada horizonte	9
4. Fases de desarrollo según la escala decimal de Zadoks <i>et al.</i> (1974).....	12
5. Fases de desarrollo y tiempo térmico acumulado expresado en °C día	14
6. Producción total de materia seca y sus componentes	15
7. Balance de agua calculado y obtenido con el software CropWat	20
8. Transpiración del cultivo y evaporación del suelo	21
9. Eficiencia en el uso del agua	22
10. Fracción incidente que es interceptada y radiación interceptada	23
11. Eficiencia de uso de la radiación	24
12. Relación entre materia seca aérea y radicular.....	25

INDICE DE FIGURAS

1. Etapas fenológicas durante el ciclo de crecimiento.....	13
2. Función de producción durante el ciclo de cebadilla	16
3. Materia seca acumulada (MS) y tasa de crecimiento del cultivo (TCC)	17
4. Evolución del agua útil durante el ciclo de cebadilla	17
5. Evolución del agua útil para cada horizonte durante el ciclo de cebadilla	19
6. Función de la fracción de la radiación interceptada durante el ciclo	22

RESUMEN

Para la elección de una especie forrajera es importante el conocimiento sobre su dinámica de crecimiento y producción, lo que permite planificar su utilización. Sin embargo, debido a la complejidad de las interacciones entre los cultivos y los componentes ambientales, no siempre se dispone de información documentada sobre el comportamiento de ciertas especies, como tampoco su relación con los factores de crecimiento. Con esta experiencia se trata de caracterizar el crecimiento invierno-primaveral, y la producción de biomasa de *Bromus catharticus* en la región de Río Cuarto, bajo condiciones potenciales de crecimiento. El ensayo se llevó a cabo durante el año 2011, en el campo experimental de la Universidad Nacional de Río Cuarto. Para ello, se dotó al ensayo de un sistema de riego por goteo, a través del cual también se suministró el fertilizante. Durante las diferentes etapas fenológicas se registraron los requerimientos térmicos, hídricos y de radiación. Se necesitaron 2358 °C día para alcanzar la madurez fisiológica. La producción alcanzó 10121 kg MS ha⁻¹ total durante el estado de llenado de grano y 9573 kg ha⁻¹ en madurez fisiológica. Para lograr esto se evapotranspiraron 375,9 mm de agua y se interceptaron 647,6 MJ m⁻². Del total evapotranspirado, 215,3 mm (57,3 %) correspondieron a transpiración, mientras que los 160,6 mm restantes (42,7 %) a evaporación desde el suelo. Las eficiencias en el uso de agua y radiación hacia el final del ciclo fueron de 44,7 kg ha⁻¹ mm⁻¹ transpirado y 1,47 g m⁻² MJ⁻¹ interceptado. Por otro lado se constató un gran aporte de residuo orgánico al sistema al obtener una relación biomasa aérea/radical de 0,27. Los resultados obtenidos amplían los conocimientos sobre la especie *Bromus catharticus*, y permiten evaluar con mayor certeza su inclusión y utilización en sistemas productivos.

Palabras Claves: *Bromus catharticus*, eficiencia en el uso de agua, eficiencia en el uso de radiación.

SUMMARY

For the election of forage species, it is important to know about the dynamics of growth and production; thus, allowing us the planning of its use. However, due to the complexity of the interaction between crops and environmental components, documented information about the behavior of certain species is not always available, nor its relationship with growth factors. Through this experience, we try to characterize winter-spring growth and biomass production of *Bromus catharticus* in Rio Cuarto region under conditions of potential growth. The experiment was conducted in 2011, in the experimental field of the National University of Rio Cuarto. To carry out this investigation, a drip irrigation system was applied through which the fertilizer was also provided. During the different phenological stages, thermal, water and radiation requirements were recorded. It took 2358 °C days to reach physiological maturity. The production reached a total of 10121 kg DM ha⁻¹ during the state of grain filling and 9573 kg ha⁻¹ at physiological maturity. To achieve this 375,9 mm of water were evapotranspired and 647,6 MJ m⁻² were intercepted. Of the total, 215,3 mm (57,3%) corresponded to transpiration, while the remaining 160,6 mm (42,7%) to soil evaporation. The efficiencies in the use of radiation and water towards the end of the cycle were 44,7 kg ha⁻¹ mm⁻¹ transpired and 1,47 g m⁻² MJ⁻¹ intercepted. In addition, it was found a large supply of organic waste to the system due to the obtaining of a ratio biomass /radical relationship of 0,27. The results extend the knowledge about the species *Bromus catharticus*, and they allow us to assess its inclusion and use in production systems with greater certainty.

Keywords: *Bromus catharticus*, water use efficiency, radiation use efficiency.

INTRODUCCIÓN

Las pasturas, además del rol específico de producir alimento para el ganado, cumplen funciones como la protección del suelo y conservación o regeneración de cualidades del mismo que permiten mantener los rendimientos de los cultivos agrícolas y de los campos de pastoreo (Carrillo, 2003).

Las gramíneas constituyen una fuente de alimentación muy importante al aportar la mayor parte de materia seca y carbohidratos consumidos por el animal (Cervini y Demarco, 2007).

Un aspecto importante en la elección de la o las especies forrajeras, es el conocimiento sobre la dinámica y producción de materia seca (MS) que puede lograr, lo que permite planificar pastoreos y calcular de antemano el tiempo de permanencia de animales en cada parcela (Carrillo, 2003).

En la región de estudio, departamento de Río Cuarto, los sistemas de producción bovina de carne y leche utilizan cultivos perennes como alfalfa y gramíneas de ciclo otoño-invierno-primaveral (festuca, agropiro, cebadillas, pasto oville, falaris), las que pueden sembrarse como cultivos puros o constituyendo praderas perennes (Pagliaricci *et al.*, 2002).

Los mismos autores señalan que entre las especies forrajeras utilizadas en la región también se encuentran gramíneas anuales de invierno (avena, centeno, trigo, cebada, triticale, cebadilla) y de verano (sorgo, maíz, moha, mijo común, mijo perla), y dentro de las anuales es también frecuente el uso de *Melilotus spp.* como integrante de mezclas, principalmente con anuales de invierno.

Si bien las praderas perennes deben ser los principales pilares, las praderas temporarias cumplen exitosamente la misión de reforzar las necesidades forrajeras sobre todo en el período invernal el cual es una etapa crítica en la provisión de forraje, debido a la falta de lluvias y bajas temperaturas (Pagliaricci *et al.*, 2002).

Es por esto que la Cebadilla criolla (*Bromus catharticus* (Vahl.) sinónimo de *Bromus unioloides* (Kunth.)), es considerada un recurso forrajero importante, ya que posee crecimiento otoñal que se alarga hasta entrado el invierno, y su entrada en producción en primavera es muy precoz. Sin embargo existe bajo nivel de conocimiento sobre esta especie (Carámbula, 2007; Jatimlansky *et al.*, 1997).

La cebadilla es originaria de Sur América, donde está ampliamente diseminada en regiones subhúmedas y semiáridas (Langer, 1972). Es una especie gramínea anual o bianual cespitosa, apta para pastoreo, heno y silaje; siendo relativamente exigente en la calidad del sitio, necesitando buenos niveles de fertilidad y en menor medida humedad. Es un cultivo que prefiere suelos arenosos y ligeros, puede tolerar sequías temporales, siendo intolerante a excesos hídricos (Carámbula, 2007).

Morfológicamente posee hojas largas, anchas y sin aurículas. Los macollos son achatados y la inflorescencia es una panoja laxa con espiguillas relativamente chatas. Presenta tallos comprimidos lateralmente cuando desarrolla, lo que se produce por la elongación de entrenudos antes de pasar de estado vegetativo a reproductivo. La floración ocurre durante un período prolongado de la estación de crecimiento, y la producción de semilla copiosa la ayuda a persistir a través de auto resiembra. Sin embargo, su persistencia depende en gran medida del manejo del pastoreo, pues no tolera defoliación intensa y continua debido a la elevación de los puntos de crecimiento durante la fase vegetativa (Langer, 1972).

Belesky *et al.* (2006) estudiando la dinámica de producción de *Bromus catharticus*, registraron valores productivos comprendidos entre 5229 y 6061 kg MS ha⁻¹. Longueval (1988), trabajando sobre la potencialidad productiva de la Cebadilla criolla encontró resultados de producción entre 7560 y 12600 kg MS ha⁻¹.

Por otro lado y a nivel nacional, en un ensayo llevado a cabo por la Universidad Nacional de La Plata, Jatimliansky *et al.* (1997) encontraron rendimientos de 7160 kg MS ha⁻¹, mientras que diez años más tarde en la Facultad de Ciencias Veterinarias de la UBA, se registraron valores productivos de hasta 8700 kg MS ha⁻¹ (Cervini y Demarco, 2007).

Recientemente en la estación experimental del INTA Pergamino se ha desarrollado una nueva variedad “INTA Calvú”, la cual arrojó bajo condiciones potenciales de crecimiento una producción de 9750 kg MS ha⁻¹, 600 kilogramos más que las cebadillas promedio evaluadas en un período caracterizado por la escasez de pasto, comprendido entre fines de invierno y principios de primavera (INTA, 2011).

Los rendimientos en los sistemas de producción vegetal están asociados con temas ambientales como el clima y el suelo de cada ecosistema, los que establecen límites de adaptación de las plantas, y por consiguiente fijan los límites de producción de ellas. Los elementos meteorológicos básicos que forman el clima incluyen la temperatura, radiación solar, precipitaciones, viento y la humedad. Estos factores a su vez están influenciados por la latitud, altitud y la proximidad de grandes masas de agua. Desde el punto de vista edáfico es importante conocer textura, estructura, profundidad, pH y fertilidad (Sinclair y Gardner, 1998).

Los factores que determinan la producción potencial de un cultivo son la radiación y la temperatura, esta última tiene una fuerte influencia en el crecimiento (Sinclair y Gardner, 1998) y desarrollo de los cultivos (Boote y Gardner, 1998; Miralles *et al.*, 2003). La radiación solar está estrechamente relacionada con la producción de materia seca (Allen y Gardner, 1998), esta producción va a depender de la radiación incidente que es interceptada por el canopeo y de la eficiencia en el uso de esa radiación (EUR) (Cárcova *et al.*, 2003).

En cuanto al balance de agua de un suelo en donde está creciendo un cultivo, Dardanelli *et al.* (2003) proponen que éste resulta de la diferencia entre los ingresos y egresos de agua del sistema. Por consiguiente, bajo condiciones favorables para la absorción de agua, cuanta más

energía absorbe un canopeo, más agua puede transpirar y más dióxido de carbono puede fijar.

Así este proceso es cuantificado por la eficiencia en el uso del agua (EUA) definida por los mismos autores como la eficiencia con que un cultivo fija carbono en relación con el agua que pierde. Este proceso se modifica con la naturaleza de la interacción entre el suelo y el cultivo, definiendo así la velocidad de profundización de raíces y la profundidad alcanzada.

Las raíces son el órgano principal utilizado por las plantas para su nutrición hídrica y mineral. Sin embargo, y en comparación con la información disponible acerca de las estructuras aéreas, existen relativamente pocos estudios acerca de la biomasa radical, relación biomasa aérea-biomasa radical, distribución de raíces y profundidad de enraizamiento. Esto se debe a las dificultades metodológicas para estudiar los procesos que ocurren debajo de la superficie del suelo (Miranda, 2004; Wilson y Valenzuela, 1998).

Troiani *et al.*, 2008, mencionan que aunque existen grandes fluctuaciones, la raíz generalmente representa alrededor del 50% del peso total de la planta, sin embargo otros autores mencionan que las raíces producen hasta cuatro veces más biomasa que la parte aérea (Gross, 1993; Pagliaricci *et al.*, 2011). En este sentido, similares resultados fueron hallados por Jatimlansky *et al.*, (1997) trabajando con raíces de *Bromus catharticus* hasta los 120 cm de profundidad, encontrado relaciones de biomasa aérea/radical desde 0,28 a 0,4 para el tratamiento control y de 0,19 a 0,29 para el tratamiento desfoliado.

Debido a la complejidad de las interacciones existentes entre los cultivos y los componentes ambientales, muchas regiones no disponen de ensayos sobre el comportamiento productivo de ciertas especies, como tampoco de su relación con factores ambientales que contribuyen al crecimiento (temperatura, radiación solar y agua), tal es el caso de *Bromus catharticus* en la región de Río Cuarto.

El presente trabajo final de grado tiene como propósito caracterizar la dinámica de crecimiento y producción de biomasa de *Bromus catharticus* (Cebadilla criolla) y asociarla a factores ambientales (temperatura, agua y radiación) característicos de la región de Río Cuarto como base para incrementar el conocimiento sobre la especie para el desarrollo de pasturas puras o consociadas y la posibilidad de integrarlas a sistemas de uso múltiple como son los sistemas agroforestales.

OBJETIVO GENERAL

Caracterizar el crecimiento y la producción de biomasa de *Bromus catharticus* y su relación con los factores ambientales que los determinan (temperatura, agua y radiación) en la región de Río Cuarto.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar estados fenológicos.
- Determinar el crecimiento y producción de biomasa aérea total de cebadilla.
- Determinar el tiempo térmico (grados días).
- Determinar el agua útil del suelo.
- Efectuar un balance de agua en el suelo.
- Determinar la eficiencia en el uso del agua.
- Determinar la intercepción de la radiación a lo largo del ciclo.
- Determinar la eficiencia en el uso de la radiación.
- Determinar la biomasa radicular y su relación con la biomasa aérea hacia el final del ciclo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en el campo experimental de la U.N.R.C. sobre un suelo clasificado como Hapludol típico, franco arenoso (Cantero *et al.*, 1986) con las características edáficas que se muestran en el Cuadro 1 y 2.

Cuadro 1. Características del perfil de suelo del ensayo..

Horizonte	Prof. (cm)	Dap (g cm ⁻³)	Límite	Estructura
Ap	0 - 7	1,1	Abrupto, suave	Bloques sub angular, medio, moderado
Ad	7 - 19	1,4	Abrupto, suave	Bloques sub angular, medio, moderado
A3	19 - 29	1,2	Abrupto, suave	Bloques sub angular, medio, moderado
Bw	29 - 44	1,2	Claro, suave	Bloques sub angular, medio, moderado
Bc	44 - 74	1,3	Abrupto, ondulado	Bloques sub angular, medios, débiles
C	+ 74	1,3		Bloques sub angulares, finos, débiles

Respecto al historial del lote, el antecesor fue un cultivo de soja. Luego de su cosecha se realizó una labor de reja seguida por una de doble acción y por último una pasada con rolo.

La cebadilla criolla necesita altos niveles de fertilidad (Carámbula, 2007), es por ello que al momento de la siembra se realizó un análisis químico del suelo para poder realizar un balance de los principales nutrientes (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores de los principales macronutrientes presentes en el suelo del ensayo.

Prof. (cm)	MO (%)	N-NO ₃ (ppm)	NO ₃ ⁻ (ppm)	P (ppm)	SO ₄ ⁼ (ppm)
0-20	2,5	9,4	41,6	7	5,5
20-40	1,3	7,5	33,2		
40-60	0,5	3,9	17,3		

Los cálculos de fertilización se realizaron con el objetivo de alcanzar un rendimiento potencial de 9750 kg MS ha⁻¹, valor encontrado en la EEA INTA Pergamino (INTA, 2011). Para ello se utilizó la información del análisis de suelo y los requerimientos de cebadilla definidos por Ciampitti y García (2007), los cuales se encuentran presentes en la sección Anexo 2.

El ensayo se dispuso en parcelas completamente aleatorizadas con tres repeticiones. Las unidades experimentales (parcelas) median 5 m de largo por 5 m de ancho.

Las parcelas fueron sembradas con *Bromus catharticus* (Vahl.) el día 21 de Mayo de 2011. Esta fecha de siembra tardía fue escogida dado que se quiso conocer la producción a la salida del período definido como crítico para la región (invierno) y no estuvo dentro de los objetivos la evaluación de la producción durante los estadios vegetativos iniciales.

La operación de siembra se efectuó manualmente, en líneas, distanciadas a 10 cm; teniendo como objetivo lograr un stand de 300 pl m⁻².

Posterior a ello se colocó un sistema de riego por goteo para obtener un cultivo sin restricciones hídricas.

Luego de realizada la siembra y en función del análisis de fertilidad (Cuadro 2), se fertilizó el cultivo con 221 kg ha⁻¹ de Fosfatosulfonitrogenado (4,5-22-0-3,4) y 228 kg ha⁻¹ de Fertilizante Mezcla Líquida (28-0-0-5,2). Esto se llevó a cabo a través del sistema de riego (fertirrigación).

Durante el ciclo de crecimiento invierno-primaveral de la cebadilla se realizaron las siguientes mediciones:

Estados fenológicos

Para describir los estadios fenológicos del cultivo de Cebadilla criolla se adoptó la escala desarrollada por Zadoks *et al.* (1974) para trigo, la cual considera eventos externos apreciables a simple vista.

La fenología se evaluó semanalmente a través de muestreos realizados al azar durante todo el ciclo de cebadilla. Se consideró que la pastura estaba dentro de una de las fases descritas por Zadoks *et al.* (1974), cuando al menos el 50% de las plantas evaluadas coincidían con lo descrito por esta escala para una etapa en particular.

Crecimiento y producción de biomasa aérea total de cebadilla

Cárcova *et al.* (2003) mencionan que la máxima producción de biomasa se alcanza alrededor de la floración, luego de la cual la misma decae debido a la removilización de nutrientes hacia los órganos reproductivos (granos). Es por ello que a partir de etapas fenológicas anteriores a la floración, más precisamente a partir de macollaje, se comenzó a medir

la biomasa de cebadilla (kg MS ha⁻¹) con el propósito de conocer la dinámica de crecimiento primaveral y producción total posible de alcanzar por *Bromus catharticus*.

Durante el panojado, etapa fenológica previa a la floración se comenzó a separar los componentes del rendimiento para conocer como estaba constituido éste al alcanzar la máxima producción.

Los resultados se obtuvieron a partir de datos de muestras tomadas cada 7-10 días desde la etapa mencionada. Para ello se utilizó una unidad de muestreo, constituida por un marco rectangular de 0,25 m² (1 m de largo x 0,25 m ancho), adecuado al largo del ceptómetro con el cual se midió la radiación solar que recibió el cultivo.

Las muestras fueron procesadas en el laboratorio de forrajes de la FAV-UNRC, separando el material vivo del senescente, y luego fueron secadas hasta peso constante en una estufa de aire forzado con temperatura de 80 °C.

A partir de estos datos se obtuvo una curva acumulada de biomasa y se derivó de esta función una curva de tasa de crecimiento.

Tiempo térmico (grados días)

Para su determinación se utilizó la fórmula propuesta por Miralles *et al.* (2003):

$$TT (\text{°C d}) = \sum (T_m - T_b)$$

T_m: temperatura media diaria (máxima + mínima)/2 (°C).

T_b: temperatura base debajo de la cual el desarrollo se detiene (°C).

Si bien la temperatura base podría asumir diferentes valores durante las etapas ontogénicas de un cultivo, a los fines prácticos se consideró un único valor. Para este ensayo se asumió la T_b de 0 °C correspondiente al trigo debido a la ausencia de valores propios para cebadilla.

Agua útil del suelo

A partir de la humedad gravimétrica obtenida durante el ciclo de cebadilla y siguiendo los lineamientos propuestos por Gil y Martelotto (1993), se obtuvo el agua útil del suelo para luego ser utilizada en el balance hídrico.

Balance de agua en el suelo

Por medio de los datos de precipitaciones, escorrentías, riegos, drenaje y agua útil almacenada en el suelo, durante el ciclo del cultivo, se realizó el balance hídrico a través de la siguiente expresión numérica propuesta por Martelotto *et al.* (2004).

$$ET_c \text{ (mm)} = Pp + R \pm Esc - D \pm DH$$

ET_c: Evapotranspiración del cultivo (mm).

Pp: Precipitaciones (mm).

R: Riego (mm).

Esc: Escurrimiento superficial (mm).

D: Drenaje en profundidad (mm).

DH: Agua útil almacenada (mm).

Para resolver numéricamente este balance con un intervalo de integración de un día (t=1) se utilizó el software CropWat 8.0 desarrollado por FAO. Posteriormente se verificó el ajuste del software a través de una correlación con el balance obtenido de las mediciones durante el ciclo de cebadilla.

Los valores de precipitaciones ocurridas durante el ciclo de cebadilla fueron proporcionados por la estación meteorológica de la UNRC.

Los volúmenes de agua proporcionados en los riegos fueron determinados midiendo el caudal erogado y el tiempo en cada uno de ellos durante el ciclo del cultivo.

La evaluación de la lámina de agua escurrida producto de precipitaciones y riegos fue calculada por el método propuesto por el servicio de conservación de suelos de los Estados Unidos denominado “Método de la Curva Número o CN” (Cantero *et al.*, 2009).

La fracción correspondiente al drenaje se calculó de manera individual para cada horizonte del suelo. Esto se realizó considerando que el volumen de agua medido que excedía la máxima capacidad de almacenaje de cada horizonte (Cuadro 3), drenaba hacia el horizonte inmediatamente inferior. Finalmente el agua que drenaba del horizonte inferior era considerada como drenaje por fuera del perfil de suelo involucrado en el estudio (100 cm de profundidad).

El valor de agua útil (mm) en un momento dado se determinó mediante el método propuesto por Gil y Martelotto (1993).

Cuadro 3. Capacidad de almacenaje (mm) de cada horizonte.

Horizonte	Profundidad (cm)	CC (mm)	PMP (mm)	AU (mm)
Ap	0	22,8	9,7	13,1
Ad	7	31,7	13,7	18
A3	19	23,2	9,8	13,4
Bw	29	23,4	8,6	14,8
Bc	44	54	26,3	27,7
C	74	50,4	26,1	24,3

Si bien el balance de agua permite conocer la cantidad de agua que fue utilizada durante el ciclo de crecimiento, para conocer la fracción que realmente fue usada por el cultivo se necesita desagregar la ET_c en sus dos componentes, transpiración desde el vegetal (T) y evaporación desde el suelo (E_s). Para lograr esto se utilizaron los lineamientos planteados por Bernardo *et al.* (2008), a través de las siguientes funciones:

$$E_s \text{ (mm)} = ET_c \times (1 - FI)$$

$$T \text{ (mm)} = ET_c \times FI$$

FI: Fracción de la radiación incidente que es interceptada por la canopia, también conocida como eficiencia de intercepción (Cárcova *et al.*, 2003).

La FI fue obtenida a partir de los datos recolectados con un ceptómetro para el cálculo de intercepción de la radiación a lo largo del ciclo del cultivo.

Eficiencia en el uso del agua

La eficiencia en el uso del agua se obtuvo por medio de la ecuación descripta por Dardanelli *et al.* (2003), que relaciona la biomasa seca producida con la transpiración del cultivo.

$$EUA \text{ (kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}\text{)} = B/T$$

EUA: Eficiencia en el uso del agua.

B: Biomasa aérea total (kg ha⁻¹).

T: Transpiración del cultivo a lo largo de todo su ciclo (mm).

Intercepción de la radiación a lo largo del ciclo del cultivo

Como primer paso se obtuvo la fracción de la radiación incidente que es interceptada (FI). Para ello se utilizaron los datos de radiación medidos con un ceptómetro, por debajo y por encima de la canopia a lo largo del ciclo del cultivo, aplicando la siguiente ecuación:

$$FI = (1 - I_0/I_1)$$

FI: Fracción de la radiación incidente que es interceptada.

I_0 : Radiación debajo de la canopia.

I_1 : Radiación arriba de la canopia.

Luego con la ecuación propuesta por Cárcova *et al.* (2003) se calculó el producto entre la radiación incidente diaria (R_{inc}) y la fracción de la radiación incidente que fue interceptada (FI), obteniendo así la radiación fotosintéticamente activa interceptada diariamente por la cebadilla.

$$RFA_i \text{ (MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}) = R_{inc} \times FI$$

RFA_i : Radiación fotosintéticamente activa interceptada por el cultivo.

R_{inc} : Radiación incidente diaria ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).

FI: Fracción de la radiación incidente que es interceptada.

Los datos de radiación incidente diaria fueron proporcionados por la estación meteorológica de la UNRC.

Eficiencia en el uso de la radiación

La eficiencia en el uso de radiación se obtuvo relacionando la biomasa seca producida con la radiación fotosintéticamente activa interceptada (Cárcova *et al.*, 2003).

$$EUR \text{ (g m}^{-2} \text{ MJ}^{-1}) = B/RFA_i$$

EUR: Eficiencia en el uso de radiación.

B: Biomasa aérea total (kg ha^{-1}).

RFA_i : Radiación fotosintéticamente activa interceptada (MJ m^{-2}).

Biomasa radicular y su relación con la biomasa aérea hacia el final del ciclo

Para obtener la biomasa radicular sin limitaciones hídricas se montó un ensayo con macetas en un sector aledaño a las parcelas de muestreo de biomasa aérea. Las macetas que se utilizaron tenían un diámetro de 100 mm y longitud de 2 m. El sustrato utilizado fue tierra del lugar del ensayo, y el riego se realizaba de forma manual, proporcionando los mismos volúmenes que para la parcela.

Al final del ciclo de crecimiento de la cebadilla, en forma muy cuidadosa las macetas fueron cortadas y el sustrato con las raíces de las plantas fueron lavados sobre un tamiz N° 18 con luz de 1 mm, recolectándose las raíces que fueron llevadas a estufa de aire forzado con temperatura de 80 °C hasta peso constante.

Los valores de biomasa radicular fueron utilizados para caracterizar la producción de biomasa total y la partición entre biomasa aérea y subterránea en la región de Río Cuarto.

RESULTADOS Y DISCUSION

A partir de los procedimientos detallados en materiales y métodos, y el análisis de datos, los resultados encontrados fueron los siguientes:

Estadios Fenológicos

El siguiente cuadro muestra los estadios fenológicos y su momento de ocurrencia en días después de la siembra, identificados mediante observación de la morfología externa de la planta y siguiendo la escala decimal de Zadoks *et al.* (1974).

Cuadro 4. Fases de desarrollo según la escala decimal de Zadoks *et al.* (1974).

Días desde la siembra	Etapas de desarrollo	Descripción
0		Siembra
18	Z 0	Emergencia
50	Z 1	Producción de hojas en tallo principal (TP)
112	Z 2	Producción de macollos
123	Z 3	Producción de nudos en TP (Encañado)
132	Z 4	Vaina engrosada (Estado de bota)
142	Z 5	Panojado
149	Z 6	Antesis
160	Z 7	Estado lechoso del grano
170	Z 8	Estado pastoso del grano
182	Z 9	Madurez

Como se puede apreciar en el cuadro anterior la ventana de desarrollo del cultivo se extendió durante 182 días.

La etapa de emergencia se alcanzó a los 18 días. Posterior a ello comenzaron a producirse hojas sobre el tallo principal, el cual en esos momentos estaba constituido por las vainas de las hojas, formando un pseudotallo.

Si bien la producción de hojas se extendió hasta los 112 días, a partir del día 51 comenzaron a producirse los macollos en las yemas axilares de las hojas basales. Esto comenzó a manifestarse cuando la planta tenía entre tres y cuatro hojas sobre el tallo principal o pseudotallo.

Al finalizar la etapa de macollaje, finaliza también la etapa vegetativa, siendo la aparición de la doble arruga el primer signo morfológico que determina el cambio de estado vegetativo a reproductivo (diferenciación del ápice de crecimiento). Sin embargo este cambio es imperceptible a simple vista (Pagliaricci *et al.*, 2011), por ello se define el final de la etapa vegetativa cuando se logra identificar el primer nudo en la base del tallo. Esto sucedió tras ocurridos 112 días desde la siembra.

Por su parte, la etapa reproductiva tuvo una duración de 70 días hasta alcanzar finalmente la madurez fisiológica.

La Figura 1 se representa gráficamente la ontogenia de Cebadilla criolla desde la siembra hasta la madurez fisiológica, esquematizada en períodos de diez días.

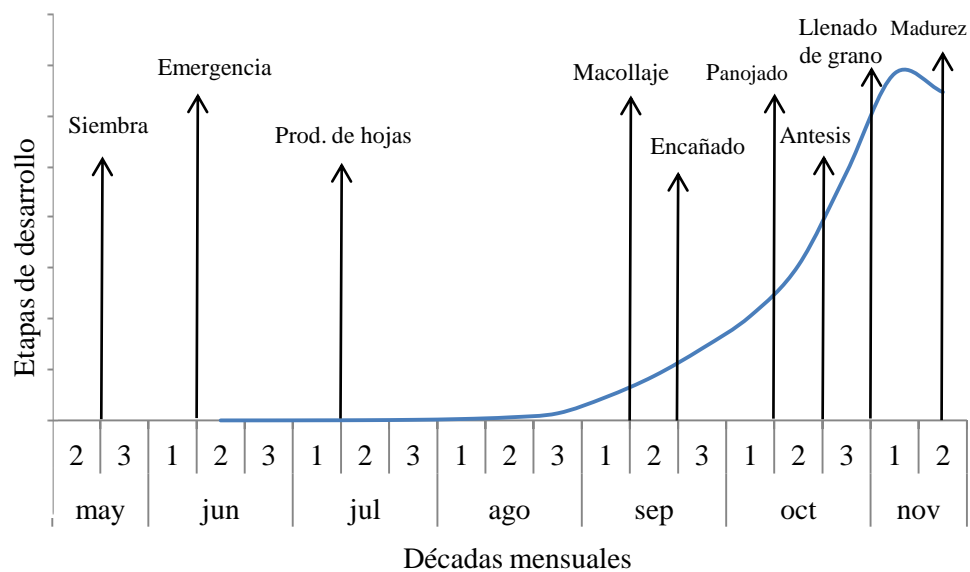


Figura 1. Etapas fenológicas durante el ciclo de crecimiento.

Determinación del tiempo térmico (°C día)

En el Cuadro 5 se presenta el tiempo térmico (TT) que necesitó la Cebadilla criolla, para alcanzar el desarrollo de sus diferentes etapas.

Cuadro 5. Fases de desarrollo y TT acumulado expresado en °C día.

Etapa de Desarrollo	TT acumulado (°C d)
Siembra	0
Emergencia	186
Producción de hojas TP	436
Producción de macollos	1090
Producción de nudos TP (encañado)	1269
Vaina engrosada (estado de bota)	1429
Panojado	1587
Antesis	1703
Estado lechoso del grano	1895
Estado pastoso del grano	2107
Madurez	2358

Como se puede apreciar en el cuadro anterior, la etapa vegetativa requirió 1090 °C d para completarse, mientras que la reproductiva lo hizo con la suma de 1268 °C d.

La floración comenzó tras la acumulación de 1587 °C d y requirió de 116 °C d más para completarse.

Finalmente, y con las condiciones medioambientales de la estación de crecimiento de este año en particular (Anexo 1), se necesitaron 182 días, desde el momento de la siembra, para acumular los 2358 °C d que requirió la cebadilla para completar su ciclo productivo.

Estos valores resultan interesantes para poder estimar la ocurrencia de las diferentes etapas de crecimiento si se cuenta con datos de temperaturas diarias.

En este sentido, los resultados obtenidos junto con futuras investigaciones podrían ser utilizados como base para la programación de cadenas forrajeras con mayor precisión, y al mismo tiempo, poder predecir con mayor exactitud los momentos de utilización de la cebadilla.

Crecimiento y producción de biomasa aérea total de cebadilla

La producción de *Bromus catharticus*, creciendo sin limitación hídrica y nutricional, alcanzó su pico productivo al comienzo de la madurez (Cuadro 6), logrando un valor de 10121 kg MS ha⁻¹ Total, correspondiendo 9297 kg a material vivo y 824 kg a material senescente. Finalmente una vez completada la madurez fisiológica presentó un valor de 9573 kg MS ha⁻¹.

Cuadro 6. Producción total de MS y sus componentes.

Días desde la siembra	MS Total	Componentes													
		Material Vivo		Material Senescente		Hojas		Tallos		Panojas		Granos		Resto de panojas	
		kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%
110	878	832	95	46	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
119	1295	1228	95	67	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
129	2300	2249	98	51	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
137	3244	3126	96	118	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
145	4424	4267	96	157	4	1578	36	1938	44	752	17	-	-	-	-
154	7235	6721	93	513	7	1783	25	2841	39	2098	29	-	-	-	-
164	7633	7128	93	505	7	1735	23	2983	39	2410	32	-	-	-	-
174	10121	9297	92	824	8	1908	19	3175	31	2107	21	1792	18	315	3
182	9573	8463	88	1111	1 2	1650	17	2876	30	1968	21	1613	17	356	4

La potencialidad encontrada para la región es de suma importancia como parámetro comparativo a la hora de elegir entre especies invernales.

Este aspecto productivo junto a otros ya conocidos como la resistencia al frío en invierno, la rápida entrada en producción al inicio de primavera, su alto valor forrajero y la capacidad de resiembra natural, le dan una gran importancia a la cebadilla como especie integrante en sistemas productivos (Carámbula, 2007; Jatimliansky *et al.*, 1997). En ese sentido, los valores encontrados permitirán a los productores y técnicos tener una herramienta más de conocimiento y un parámetro para estimar la producción de forraje a la que se puede apuntar.

Los valores obtenidos sirven para reafirmar el potencial productivo de la especie en estudio al ser comparables con los resultados obtenidos por la estación experimental del INTA en Pergamino (INTA, 2011).

En cuanto a los componentes del rendimiento al alcanzarse la máxima producción, se puede apreciar que el mismo está constituido en mayor proporción por tallos y en similares proporciones por de hojas y granos.

Si se observa las etapas anteriores al máximo rendimiento se puede apreciar como los componentes hoja y tallo disminuyen mientras que el componente reproductivo constituido por

la panoja y sus granos aumentan hasta alcanzarse el pico productivo, lo que evidencia la removilización de nutrientes mencionada por Cárcova *et al.* (2003).

Finalmente se puede apreciar que hacia el final de la madurez los granos disminuyen levemente su aporte al rendimiento debido a que comienzan a perder humedad y con ello peso. Esto al mismo tiempo que el material senescente sigue aumentando respecto al material vivo total.

A partir de los datos de biomasa recolectados durante el ensayo se obtuvo la siguiente función de producción para la cebadilla ($p = 0,016$):

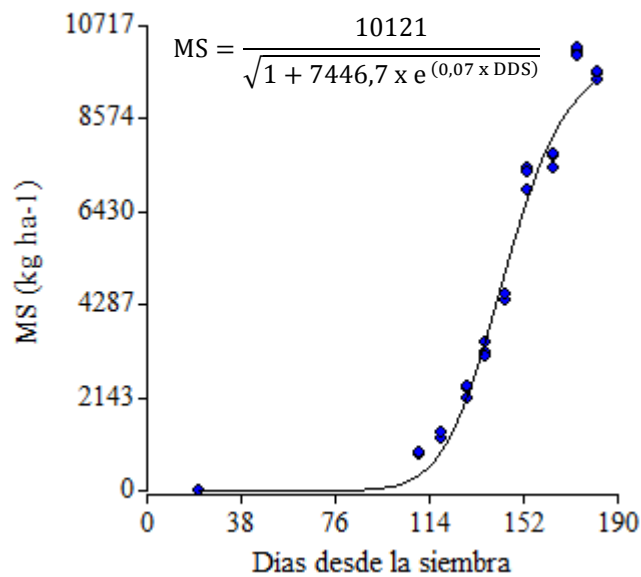


Figura 2. Función de producción durante el ciclo de cebadilla.

Como se puede apreciar, la tasa de crecimiento va en aumento hasta la segunda década de octubre, coincidiendo con la etapa de floración, luego de la cual dicha tasa de crecimiento comienza a decaer (Figura 3).

Respecto a los valores obtenidos, se hallaron resultados de hasta $19,9 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, valor que se asemeja al rango de valores encontrados para trigo, de $13 \text{ a } 24 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Castillo *et al.*, 2011; Pergolini, 2005).

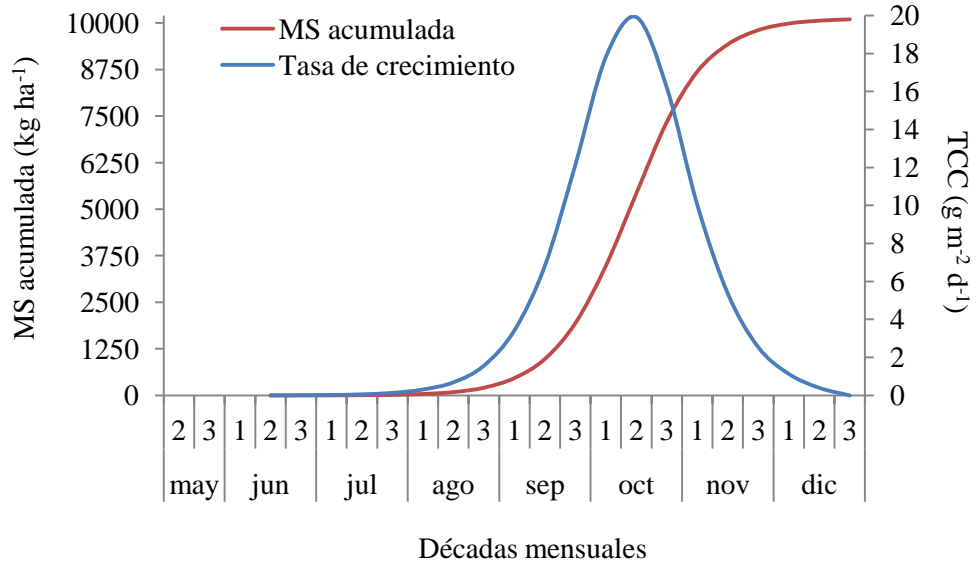


Figura 3. Materia seca acumulada (MS) y tasa de crecimiento del cultivo (TCC) de *Bromus catharticus* en el año 2011.

Agua útil del suelo

En función de las mediciones de humedad realizadas durante el periodo de crecimiento de la cebadilla, se obtuvo la dinámica del agua hasta los 100 cm de profundidad (Figura 4), encontrando que tal como se había planificado en ningún momento el agua fue limitante para el crecimiento del cultivo.

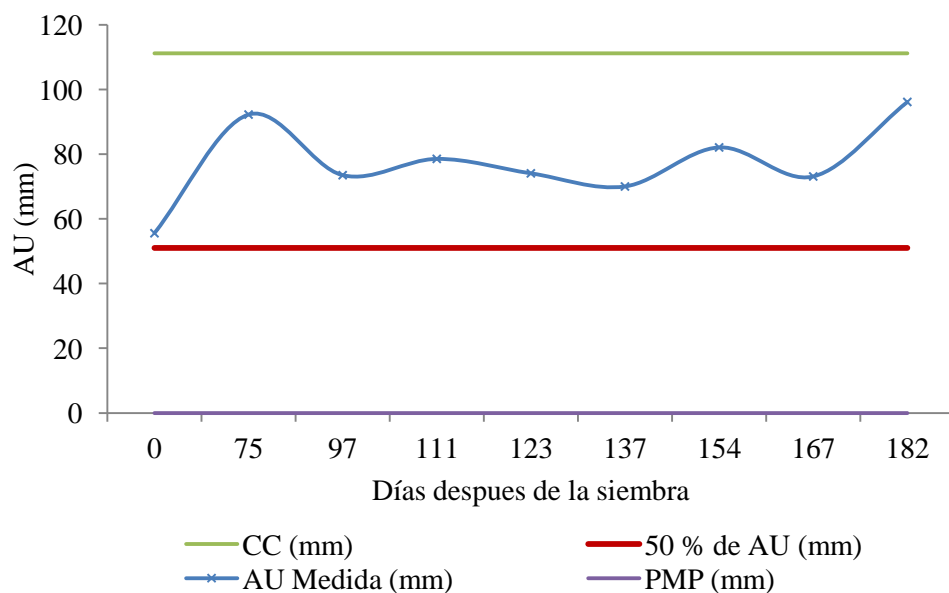


Figura 4. Evolución del agua útil (AU) durante el ciclo de crecimiento de Cebadilla criolla.

Sinclair y Bennett (1998) y Villar (2000) consideran valores de $1/3$ y $1/2$ respectivamente, como umbrales de agua útil por debajo de los cuales se ve limitada la tasa de consumo y por lo tanto la transpiración del cultivo.

El suelo en que se realizó el ensayo posee una capacidad de agua útil de 111,2 mm, y los valores registrados durante la experiencia nunca fueron inferiores a 70 mm (Figura 4), con excepción de la siembra, en donde el perfil se recargó sólo al 50 % (55,6 mm) dado la ausencia de demanda que justificara un mayor contenido hídrico.

Es decir que, aún considerando el umbral más bajo de los citados anteriormente, el cultivo no estuvo sometido a limitantes hídrica durante su desarrollo, ya que el suelo presentó durante todo el ciclo de crecimiento un contenido hídrico superior al 50 % de su capacidad máxima.

Dardanelli *et al.* (2003) afirman que la pérdida de agua desde el suelo depende de la energía disponible para evaporación y de las propiedades hidráulicas del suelo. Por lo tanto, el grado de cobertura que proporcione el cultivo modificará la extracción de agua al alterar la energía radiante que impacta sobre él, influyendo así en el contenido hídrico de los primeros centímetros de suelo.

En la Figura 5 se muestra la evolución en el tiempo del contenido hídrico en cada horizonte, evidenciándose que bajo condiciones de riego, la mayor proporción de agua es siempre extraída de los estratos superiores, lo que significaría que la mayor concentración de raíces de cebadilla creciendo sin limitantes hídricas, se ubica en los primeros 30 cm del perfil de suelo.

Por otro lado, Dardanelli *et al.* (2003) mencionan que bajo la condición de aporte continuo de agua, la mayor variación hídrica observada en los primeros cm del perfil es debida al continuo aporte de agua, el cual genera una pérdida por evaporación proporcional a la evapotranspiración potencial durante los periodos posteriores a los riegos, y hasta que se alcanza el valor umbral de agua por debajo del cual el flujo dependerá de las propiedades hidráulicas del suelo.

Ambas causas (extracción radical del horizonte superficial y pérdidas por demanda evaporativas), producto del aporte de agua por riego, son las razones que explican las mayores variaciones de agua útil en los primeros 30 cm entre cada medición, respecto a lo que sucede por debajo de esa profundidad.

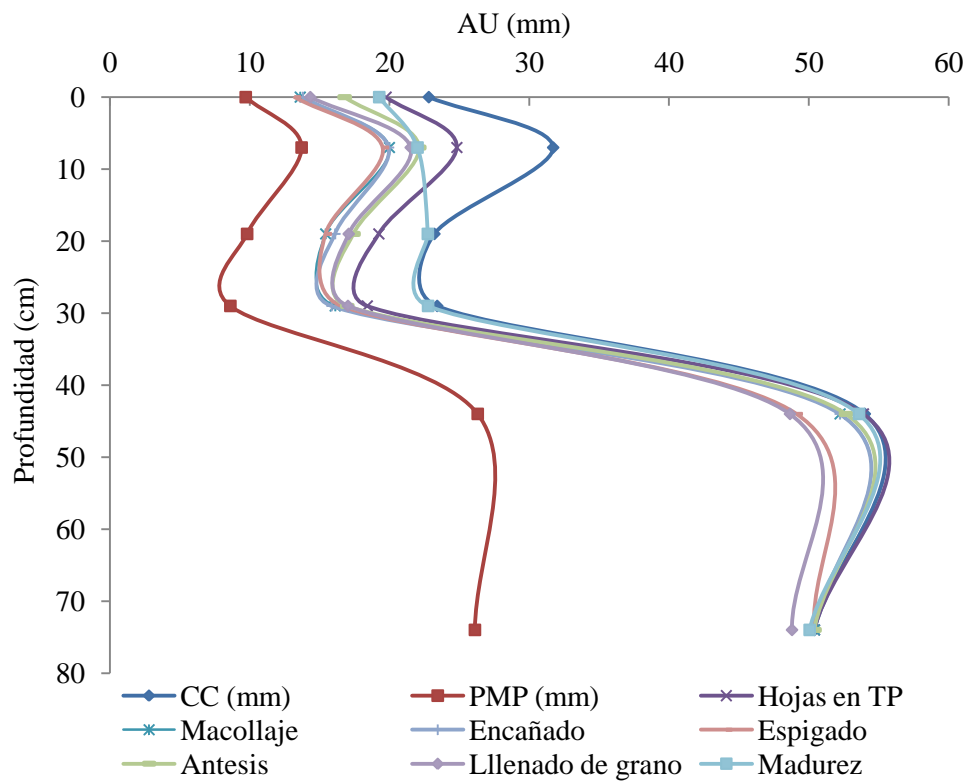


Figura 5. Evolución del agua útil para cada horizonte durante el ciclo de crecimiento de cebadilla.

Balance de agua en el suelo

A continuación se puede apreciar que el balance hídrico obtenido según lo propuesto por Martelotto *et al.* (2004) se asemeja al simulado por el software CropWat 8.0, tanto en su tendencia como en sus valores (Cuadro 7).

Los resultados de ambos métodos fueron cotejados estadísticamente ($y = 0,98x$), no encontrando diferencias entre ellos.

Cuadro 7. Balance de agua calculado y obtenido con el software CropWat.

Días desde la siembra	ET _c (calculada)	ET _c (CropWat)	PP (mm)	Riego (mm)
0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	7,8	6,1	0,0	0,0
75	19,2	14,4	8,0	55,6
97	30,7	20,0	3,0	18,9
111	32,6	25,0	0,0	37,7
123	40,1	29,9	3,0	32,6
137	58,2	44,4	17,0	37,1
154	67,1	57,0	38,0	41,2
167	58,2	53,7	49,2	0,0
182	62,2	56,4	47,2	38,1
Total	375,9	306,9	165,4	261,1

El agua recibida en el periodo de crecimiento del cultivo, desde la siembra hasta la madurez fisiológica fue de 426,5 mm, correspondiendo 165,4 mm a las precipitaciones y los 261,1 mm restantes a los riegos, sin embargo lo que realmente pudo evapotranspirar el cultivo fue 375,9 mm (Cuadro 7).

Durante el período de crecimiento, más específicamente desde la siembra a fin de macollaje la cantidad de agua recibida fue de 123,2 mm.

Por otro lado, el período comprendido desde fin de macollaje a fin de encañazón recibió 35,6 mm, lo que sumado al aporte durante encañado y estado de bota, suma un total de 168,8 mm.

Finalmente en la etapa de desarrollo de grano y hasta la madurez fisiológica el aporte fue de 134,4 mm.

Determinada la evapotranspiración del cultivo, se obtuvieron las proporciones correspondientes a transpiración y evaporación (Cuadro 8), ya que esta última no tiene importancia productiva debido a que no contribuye al crecimiento del cultivo, y disminuye el agua disponible del suelo (Dardanelli *et al.*, 2003).

Cuadro 8. Transpiración del cultivo y evaporación del suelo.

Días desde la siembra	ET _c (mm)	FI	T (mm)	E _s (mm)
0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	7,8	0,0	0,0	7,8
75	19,2	0,1	1,7	17,5
97	30,7	0,2	5,2	25,4
111	32,6	0,2	7,6	25,0
123	40,1	0,4	14,4	25,7
137	58,2	0,6	32,6	25,6
154	67,1	0,8	51,6	15,4
167	58,2	0,9	51,2	7,0
182	62,2	0,8	51,0	11,2
Total	375,9		215,3	160,6

Por medio de estos resultados, y tal como mencionara Dardanelli *et al.* (2003), se puede apreciar como del total de agua utilizada (375,9 mm) se pierde el 42,7 % a través de la evaporación desde el suelo (160,6 mm), y solo el 58,3 % (215,3 mm) es realmente utilizado para la transpiración y crecimiento del cultivo.

Durante el comienzo del ciclo de crecimiento de la cebadilla, la evaporación desde el suelo representó el total de la ET_c. Esto fue así hasta que se produjo la emergencia del cultivo y con ello el comienzo de la transpiración desde la planta, que fue en aumento durante los primeros estadios fenológicos y hasta alcanzar la etapa de macollaje, en donde tuvo tendencia a mantenerse constante hasta llegar a antesis floral. Dardanelli *et al.* (2003) plantean que la fracción correspondiente a la evaporación, tiene los mayores valores de pérdida de agua en los primeros estadios de crecimiento del cultivo, cuando las plantas son pequeñas y gran parte de la superficie del suelo está expuesta a la radiación solar.

En este sentido se puede visualizar como aumentó la tasa de transpiración a medida que la planta fue creciendo hasta alrededor de la floración. Este aumento transpiratorio finaliza luego de ocurrida la antesis, observándose que muy lentamente la transpiración comienza a disminuir al mismo tiempo que la planta comienza a removilizar compuestos y a senescer.

Ante esta senescencia, inicialmente foliar, se pierde superficie transpiratoria y aumenta la superficie evaporativa lo cual se ve reflejado en el aumento de la evaporación hacia el final del ciclo.

Eficiencia en el uso del agua

Si bien no se cuenta con un parámetro comparativo de EUA en condiciones de riego, el valor obtenido es aceptable y comparable con resultados obtenidos en ensayos de trigo bajo fertilización en Rio Cuarto (Pergolini *et al.*, 2001) y en Rafaela (Villar, 2001).

Cuadro 9. Eficiencia en el uso del agua.

MS acumulada Final (kg ha ⁻¹)	Transpiración acumulada (mm)	EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)
9573,5	215,3	44,7

El grado de ajuste entre la transpiración y MS producida fue de 0,96. Esto se debe a que el flujo transpiratorio está directamente relacionado con la fijación de CO₂. De esta manera, al no existir estrés hídrico, más agua se puede transpirar y por consiguiente más CO₂ puede ser fijado (Dardanelli *et al.*, 2003)

Intercepción de la radiación a lo largo del ciclo del cultivo

La siguiente función, con un p = 0,013, explicó la evolución de la fracción de la radiación incidente que es interceptada (FI), durante el ciclo de crecimiento de cebadilla.

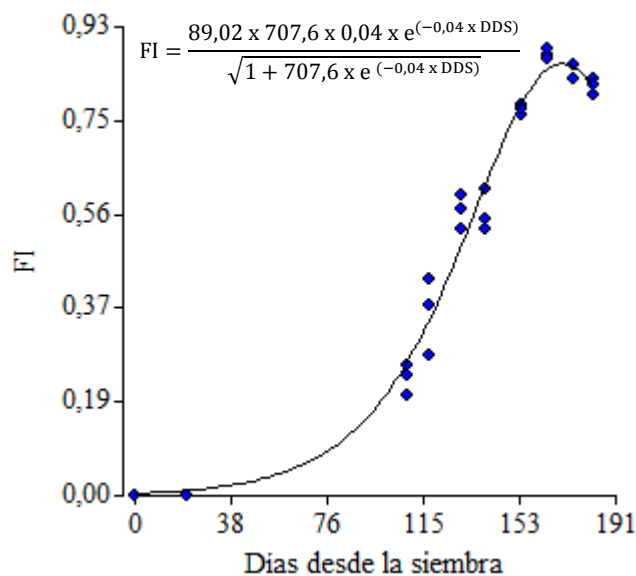


Figura 6. Función de FI durante el ciclo de cebadilla.

Luego de hallar esta función y calcular la radiación fotosintéticamente activa diaria (RFA_i), se agruparon decádicamente los resultados obtenidos, para su análisis e interpretación.

Cuadro 10. Fracción incidente que es interceptada (FI) y radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFA_i)

Mes	Década	FI	RFA _i (MJ m ⁻²)
may	3	0,00	0,0
	1	0,00	0,0
jun	2	0,01	0,5
	3	0,02	0,9
	1	0,03	1,5
jul	2	0,04	1,6
	3	0,05	3,0
	1	0,09	5,4
ago	2	0,14	8,5
	3	0,20	18,3
	1	0,23	41,4
sep	2	0,36	35,4
	3	0,57	61,9
	1	0,62	63,8
oct	2	0,77	90,0
	3	0,88	117,5
	1	0,84	114,0
nov	2	0,82	83,7
	Total		647,6

Se puede apreciar que a medida que la cebadilla avanzó en sus etapas de desarrollo aumentó su FI por lo que también lo hizo la radiación fotosintéticamente activa interceptada por la canopia (RFA_i). En este sentido Cárcova *et al.* (2003), afirman que la mayor superficie foliar disminuye la llegada de radiación al suelo y aumenta la porción de la misma que es interceptada para el proceso de fotosíntesis.

También se visualiza que posterior a la tercera década del mes de octubre (etapa post antesis-estado lechoso del grano), la FI se estabilizó y comenzó levemente a disminuir. Esto es explicado como resultado de la removilización de fotoasimilados, existiendo un cambio en la

relación fuente-destino y siendo a partir de entonces los órganos vegetativos fuente para los órganos reproductivos (Cárcova *et al.*, 2003).

Finalmente, se obtuvo que la cebadilla utilizó 647,6 MJ m⁻² hasta alcanzar la madurez fisiológica.

Eficiencia en el uso de la radiación

A partir de los resultados obtenidos en el apartado anterior se obtuvo la eficiencia en el uso de la radiación.

Cuadro 11. Eficiencia en el uso de radiación.

MS acumulada final (kg ha ⁻¹)	Rad. Acumulada (MJ m ⁻²)	EUR (g m ⁻² MJ ⁻¹)
9573,5	647,6	1,47

Por medio de estos resultados podemos apreciar la capacidad de *Bromus catharticus* para producir 1,47 g m⁻² MJ⁻¹.

Si bien no se ha encontrado referencia bibliográfica sobre cebadilla que permita comparar la eficiencia obtenida, este resultado se encuentra dentro del rango de valores hallados para trigo por Beheshtian *et al.* (2006), Cárcova *et al.* (2003), Dardanelli *et al.* (2003) y Miranzadeh *et al.*, (2011), quienes postulan EUR comprendidas entre 0,7 – 1,5 g m⁻² MJ⁻¹.

Se encontró además que la radiación explicó la producción lograda con un R² = 0,98. En este sentido Allen y Gardner (1998), plantean que la radiación en un ecosistema particular fija los límites de producción. Es decir que la producción va a depender de la radiación incidente que es interceptada por el canopeo y de la eficiencia con que ella es utilizada (EUR) (Cárcova *et al.*, 2003).

Biomasa radicular y su relación con la biomasa aérea hacia el final del ciclo

En el ensayo realizado la relación biomasa aérea/radical se aproxima más a lo sugerido por Gross (1993); Jatimiansky *et al.* (1997) y Pagliaricci *et al.* (2011), ya que como muestra el Cuadro 12, el resultado obtenido del cociente entre la biomasa aérea y radical fue de 0,27.

Cuadro 12. Relación entre materia seca aérea y radicular.

Relación MS aérea/radical	Desvío Estándar	Coefficiente de Variación (%)
0,27	0,08	29

La importancia del valor obtenido se centra en el gran aporte de residuo orgánico (raíces) que puede realizar la cebadilla, ya que por cada kg de MS aérea producida se generan 3,75 kg de MS radicular.

Esto significa que, con el rendimiento de 9573 kg ha⁻¹, obtenido hacia madurez fisiológica, la producción de raíces habría sido de 35898 kg ha⁻¹, las que se reincorporaron al sistema en forma de residuo orgánico.

En este estudio, también se encontró que las raíces de cebadilla habían alcanzado el límite inferior de las macetas (200 cm). No obstante, las raíces se encontraban concentradas en los primeros 30 cm de las macetas, valores semejantes a los hallados por Crush *et al.* (2005) y Gross (1993).

Para verificar la distribución de las raíces en el perfil del suelo se realizó una inspección visual a través de una calicata, observando que la mayor concentración de raíces se ubicaba en los primeros 30 cm de suelo. Esto verifica lo planteado por Dardanelli *et al.* (2003), discutido anteriormente al analizar la evolución del agua útil del suelo.

CONCLUSIONES

Del análisis del crecimiento, la producción y las relaciones con las diferentes variables medioambientales evaluadas y los resultados obtenidos se reafirma que la Cebadilla criolla puede ser utilizada como un importante recurso para cubrir el bache forrajero que normalmente se presenta a la salida del invierno y principio de la primavera en la región de estudio.

Si se tuviese que hacer una recomendación de utilización, esta se limitaría a un solo uso, dada la característica que posee esta especie de elevar sus puntos de crecimiento durante la fase vegetativa.

Por otro lado, considerando las condiciones potenciales en las que se realizó el ensayo y la fecha de siembra realizada, la recomendación de utilización sería entre los estados fenológicos de panojado y anthesis, etapas que se alcanzaron con una suma térmica de 1587 a 1703 °C día, lo que significó entre 142 y 149 días desde la fecha de siembra utilizada.

El motivo que justifica esta recomendación está dado por el valore de producción de MS total más que aceptable, 4424 kg ha⁻¹, y la composición de este rendimiento, el cual está representado por proporciones similares de hojas y panojas y una proporción levemente superior de tallos, lo que significa una buena calidad forrajera.

Por otro lado, se estaría utilizando la pastura en un momento en el cual la plante tiene altas eficiencias en el uso de agua y radiación, valores que luego decaen producto de la removilización hacia los granos y comienzo de la senescencia.

Sin embargo, y dependiendo de la disponibilidad de forraje con la que se cuente en un año en particular, se podrá hacer un mayor o menor aprovechamiento de la capacidad productiva de la cebadilla.

Por ejemplo, en presencia de un año con pocas reservas o disponibilidad forrajera baja, sin duda abría que anticipar el uso de la pastura, aunque esto signifique rescindir producción.

En contraposición a esto, en un año con disponibilidad forrajera adecuada, se podría pensar en la producción de semillas, postergando el uso de la pastura y logrando altos rendimientos. Esto a cambio de una utilización más tardía la que se alcanzará aproximadamente a los 182 días y con una suma térmica de 2358 °C día. En este caso y bajo las condiciones potenciales de crecimiento proporcionadas en este ensayo, se alcanzaron los 9573 kg ha⁻¹, con 1613 kg ha⁻¹ correspondiente a granos, lo cual representa un índice de cosecha de 0,17, lo que significa una importante fuente proteica.

Si la situación fuese la mencionada anteriormente, se tendría una eficiencia en el uso del agua de 44,7 kg ha⁻¹ mm⁻¹ transpirado, y una eficiencia en el uso de la radiación de 1,47 g m⁻² MJ⁻¹ absorbido. Además, esta situación demostró lograr producciones de raíces que pueden representar una muy importante fuente de residuos al sistema, ya que se obtuvo una relación biomasa aérea/radical de 0,27.

Si bien quedará para una futura investigación la comparación de resultados bajo condiciones de secano y sin fertilización, se afirma que tanto el consumo de agua por el cultivo como también la EUA y EUR fueron modificadas por los efectos de la fertilización y del riego, siendo esto lo que explica los altos rendimientos de MS obtenidos.

Sin embargo esto no significa que los niveles nutricionales e hídricos proporcionados sean los más aconsejables desde el punto de vista económico y de la sustentabilidad ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

- ALLEN, L. H. y F. P. GARDNER. 1998. Tiempo y Clima. En: **Principios de la Ecología en la Producción Vegetal**. Sinclair, T. R. y F. P. Gardner. CAB International. Cap. 10. 14 p.
- BEHESHTIAN, M. M., E. ZAND, M. NASSIRI, y H. RAHIMIAN M. 2006. Improvement of Iranian Wheat Cultivars Bred During 1956-1995 in Relation to Wild Oat Competition. **Iranian Journal of Weed Science**. 2(1): 32-52.
- BELESKY, D. P., J. M. RUCKLE y A. O. ABAYE. 2006. Seasonal distribution of herbage mass and nutritive value of pairiegrass (*Bromus catharticus* Valh.). **Grass and forage Science**. 62: 301-311.
- BERNARDO, I., E. BONADEO, I. MORENO, M. BONGIOVANNI y R. MARZARI. 2008. **Manual de Sistema Suelo Planta**. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba. 197 p.
- BOOTE, K. J. y F. P. GARDNER. 1998. Temperatura. En: **Principios de la Ecología en la Producción Vegetal**. Sinclair, T. R. y F. P. Gardner. CAB International. Cap. 9. 20 p.
- CANTERO, A., E. M. BRICCHI, V. H. BECERRA, J. M. CISNEROS y H. A. GIL. 1986. **Zonificación y descripción de las tierras del Departamento Río Cuarto (Córdoba)**. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto.
- CANTERO, A., J. M. CISNERO, M. REYNERO, C. CHOLAKY y J. GONZALEZ. 2009. Manejo del agua. En: **Manual de Uso y Manejo de Suelo**. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba. Cap. 3. 38 p.
- CARÁMBULA, M. 2007. **Pasturas y Forrajes: Potenciales y Alternativos**. Tomo 1. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 357 p.

- CÁRCOVA, J., L. ABELEDO y M. LOPEZ P. 2003. Análisis de la generación del Rendimiento: Crecimiento, Partición y componentes. En: **Producción de Granos**. Ed. Facultad Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. SATORRE, E. H., R. L. BENECH A., G. A. SLAFER, E. B. DE LA FUENTE, D. J. MIRALLES, M. E. OTEGUI y R. SAVIN. Cap. 6. p: 75-98.
- CARRILLO, J. 2003. **Manejo de Pasturas**. Ed. INTA EEA. Balcarce, Argentina. 457 p.
- CASTILLO, C. A., G. BALBOA, G. ESPÓSITO y G. PEIRETTI. 2011. **Material de clase: Producción de Cereales**. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.
- CERVINI, M. L. y D. G. DEMARCO. 2007. Fertilización y disponibilidad forrajera en Cebadilla criolla (*Bromus catharticus*). En: <http://goo.gl/vQeNv>. Consultado: 17-03-2011.
- CIAMPITTI, I. A. y F. O. GARCÍA. 2007. Requerimientos Nutricionales. Absorción y Extracción de Macronutrientes y nutrientes secundarios. En: <http://goo.gl/UuxsC>. Consultado: 30-08-2012.
- CRUSH, J. R., J. E. WALLER y D. A. CARE. 2005. Root distribution and nitrate interception in eleven temperate forage grasses. **Journal Compilation**. 60(4): 385–392.
- DARDANELLI, J., D. COLLINO, M. E. OTEGUI y V. O. SADRAS. 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. En: **Producción de Granos**. Ed. Facultad Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. SATORRE, E. H., R. L. BENECH A., G. A. SLAFER, E. B. DE LA FUENTE, D. J. MIRALLES, M. E. OTEGUI y R. SAVIN. Cap. 16. p: 377-440.
- GIL, R. C. y F. E. MARTELOTTO. 1993. **El agua edáfica. Guía práctica para su determinación**. Área de Desarrollo Rural, INTA, E.E.A. Manfredi, Argentina. 9 p.
- INTA. 2011. La Cebadilla que produce más y sin estrés. En: <http://goo.gl/jU2nH>. Consultado: 20-09-2011.

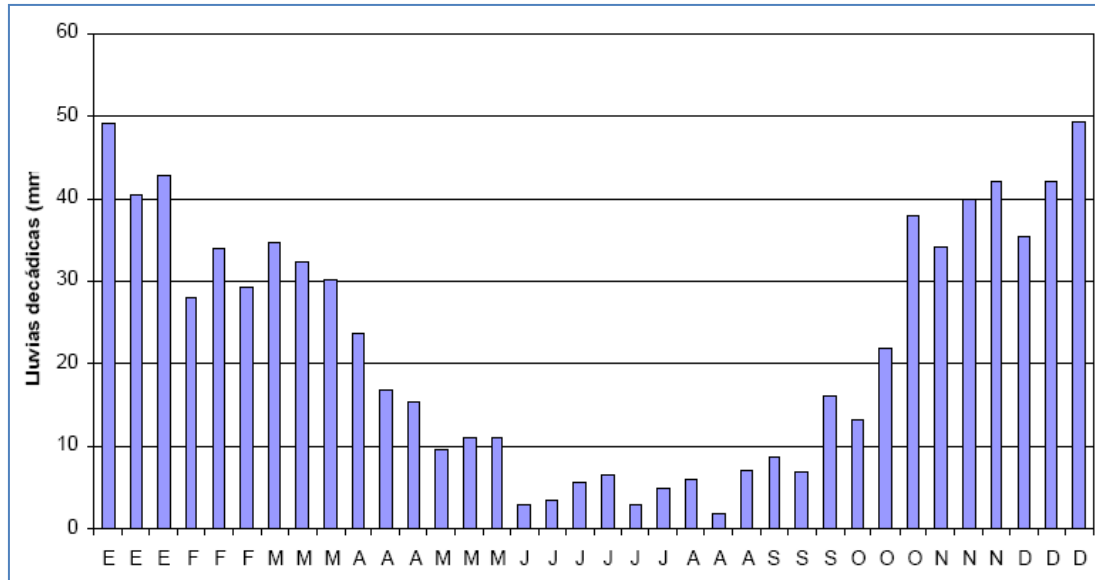
- GROSS, M. 1993. Root distribution, Growth and Turnover. En: **Sward measurement Handbook**. ALISON, D., R. D. BAKER, S. A. GRANT, A. S. LADLAW. Ed. The British Grassland Society Cap. 8. 63 p.
- JATIMLIANSKY, J. R., D. O. GIMENEZ y A. BUJAN. 1997. Herbage yield, tiller number and root system activity after defoliation of prairie grass (*Bromus catharticus* Vahl.). **Grass and Forage Science**. 52: 52–62.
- LANGER, R. H. M. 1972. **Las Pasturas y sus plantas**. Ed. Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 316 p.
- LONGUEVAL, B. 1988. Potencialidades de *Bromus catharticus* en la zona regada del sudoeste de Francia. En: <http://goo.gl/EXb7r>. Consultado: 20-2-2012.
- MARTELOTTO, E., P. SALAS, E. LOVERA, A. SALINAS, J. P. GIUBERGIA y S. LINGUA. 2004. Balance Hídrico para Riego. En: **Proyecto Regional: Agricultura sustentable y Gestión Agroambiental**. INTA, EEA Manfredi, Córdoba. 9 p.
- MIRALLES, D. J., L. B. WINDAUER y N. GOMEZ. 2003. Temperatura. En: **Producción de Granos**. Ed. Facultad Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. SATORRE, E. H., R. L. BENECH A., G. A. SLAFER, E. B. DE LA FUENTE, D. J. MIRALLES, M. E. OTEGUI y R. SAVIN. Cap. 5. p: 61-70.
- MIRANZADEH, H., Y. EMAM, H. SEYYED y S. ZARE. 2011. Productivity and Radiation Use Efficiency of Four Dryland Wheat Cultivars under Different Levels of Nitrogen and Chlormequat Chloride. **Journal of. Agr. Sci. Tech**. 13: 339-351.
- MIRANDA C., G. O. 2004. Producción de raíces de trigo, papas y arvejas creciendo bajo distintos niveles de fósforo. En: <http://goo.gl/H3q59>. Consultado: 08-09-2012.
- PAGLIARICCI, H., A. OHANIAN, T. PEREYRA y S. GONZÁLEZ. 2002. Utilización de pasturas. En: <http://goo.gl/o14mw>. Consultado: 10-12-2011.
- PAGLIARICCI, H., A. OHANIAN , C. SAROFF, J. GARCÍA y J.BONVILLANI. 2011. **Material de clase: Forrajes**. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.

- PERGOLINI, S. 2005. Efecto de la Fertilización con N y S sobre el Crecimiento y Rendimiento del Doble Cultivo Trigo/Soja. En: <http://goo.gl/BzOiV>. Consultado: 26-09-2012
- PERGOLINI, S., C. CASTILLO y G. ESPÓSITO. 2001. Efecto de la Fertilización sobre el Consumo y la Eficiencia de Uso del Agua del Cultivo de Trigo. En: <http://goo.gl/HxcJh>. Consultado: 11-6-2012.
- SINCLAIR, T. R. y F. P. GARDNER. 1998. Límites Ambientales para la Producción de las plantas. En: **Principios de la Ecología en la Producción Vegetal**. Sinclair, T. R. y F. P. Gardner. CAB International. Cap. 5. 19 p.
- SINCLAIR, T. R. y J. M. BENNETT. 1998. Agua. En: **Principios de la Ecología en la Producción Vegetal**. Sinclair, T. R. y F. P. Gardner. CAB International. Cap. 7. 23 p.
- TROIANI, H., P. SEIBEL, O. MARTINEZ y A. PRINA. 2008. Guía de Estudio N° 2: Raíz. En: <http://goo.gl/IQDCr>. Consultado: 08-09-2012.
- VILLAR, J. 2000. Dinámica del consumo de agua por el trigo según el sistema de labranza. En: <http://goo.gl/9GLpW>. Consultado: 30-8-2012.
- VILLAR, J. 2001. Dinámica del consumo de agua de trigo en siembra directa. En: <http://goo.gl/mpovU>. Consultado: 30-08-2012.
- WILSON, M. G. y O. R. VALENZUELA. 1998. Evaluación del sistema radical del cultivo de trigo mediante dos métodos de medición. En: <http://goo.gl/NYGwt>. Consultado: 08-09-2012.
- ZADOKS, J. C., T. T. GHANG and C. F. KONZAK. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Res.** 14: 415–421.

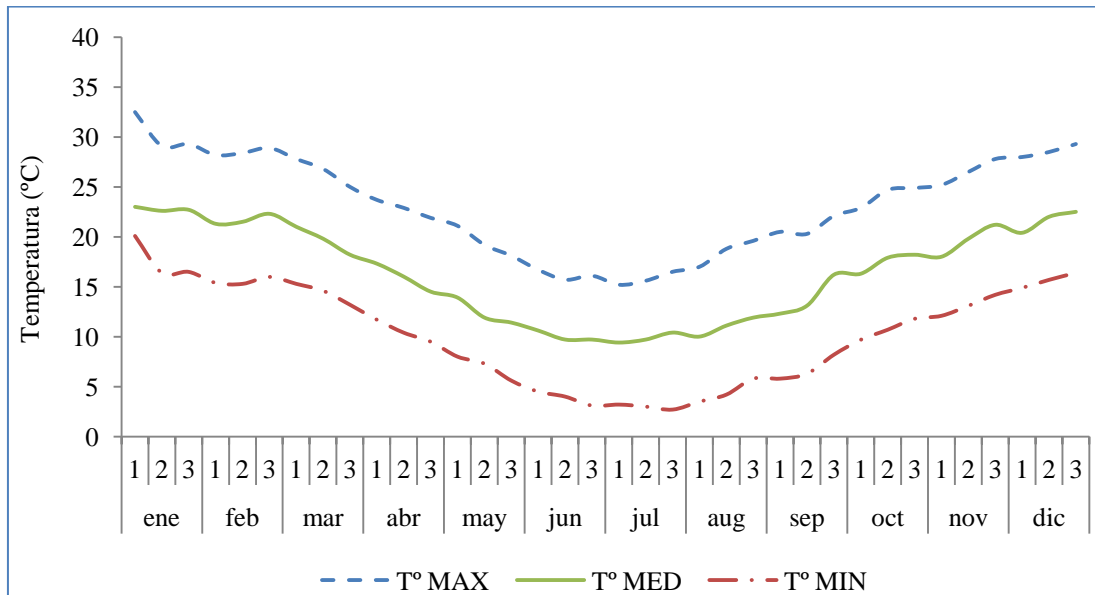
ANEXO 1

Información meteorológica

- Precipitaciones medias decádicas para la localidad de Río Cuarto. Período 1974-2002.



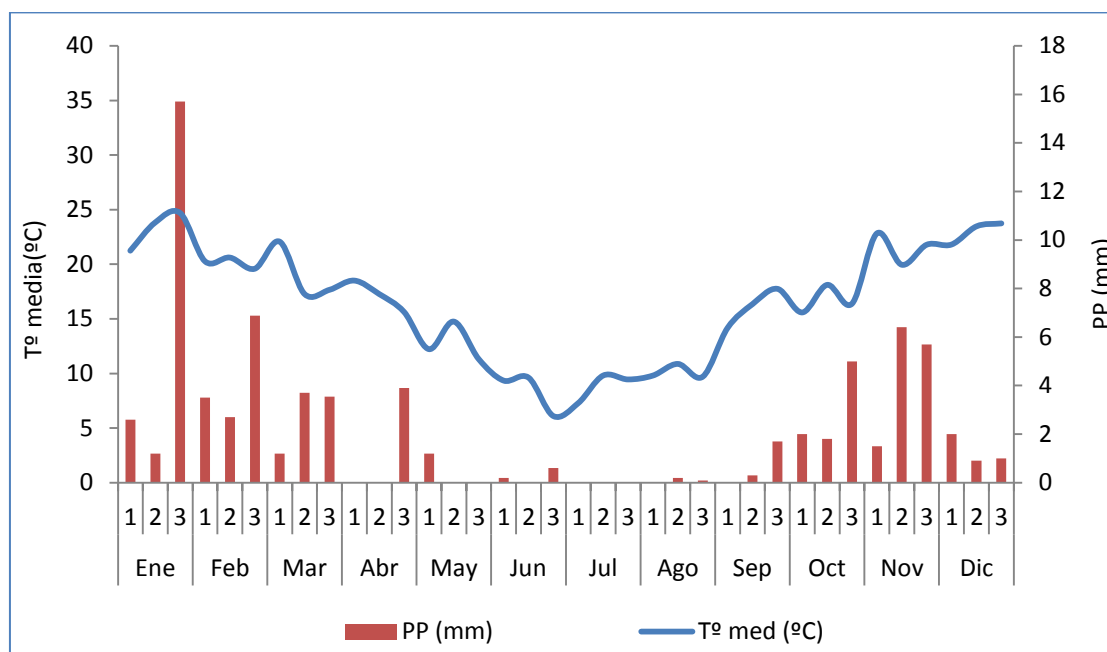
- Temperaturas medias, máximas y mínimas decádicas para la localidad de Río Cuarto. Período 1974-2002.



- Condiciones meteorológicas del año que se realizó el ensayo (2011), agrupadas decádicamente.

Décadas Mensuales	T° min (°C)	T° max (°C)	T° med (°C)	HR med (°C)	Viento (km hs ⁻¹)	Rad (Mj m ⁻²)	PP (mm)
Ene	15,7	27,9	21,2	71,5	7,3	-	2,6
Ene	15,2	31,3	23,8	57,3	9,6	-	1,2
Ene	17,2	32,0	24,7	65,0	9,4	-	15,7
Feb	14,8	25,6	20,3	76,6	8,1	-	3,5
Feb	15,2	26,6	20,6	80,3	6,8	-	2,7
Feb	14,3	25,4	19,6	86,3	5,2	-	6,9
Mar	16,7	28,9	22,1	76,3	6,0	-	1,2
Mar	10,4	24,8	17,3	70,2	6,0	-	3,7
Mar	10,1	24,7	17,7	74,1	4,3	-	3,5
Abr	10,0	28,3	18,5	70,2	4,1	-	0,0
Abr	9,5	27,0	17,3	58,6	5,9	17,3	0,0
Abr	8,0	25,3	15,6	61,5	9,6	14,5	3,9
May	4,2	21,7	12,2	66,7	5,9	15,1	1,2
May	9,9	21,4	14,8	81,5	7,5	10,3	0,0
May	5,0	18,7	11,3	73,7	8,7	9,7	0,0
Jun	2,6	17,8	9,4	80,1	6,8	9,2	0,2
Jun	3,4	16,0	9,6	80,0	6,4	7,8	0,0
Jun	-0,6	14,9	6,1	67,0	5,7	10,6	0,6
Jul	-0,9	17,8	7,3	50,4	6,2	11,7	0,0
Jul	4,1	16,5	9,8	75,5	9,7	8,5	0,0
Jul	2,6	17,6	9,5	62,2	9,9	11,4	0,0
Ago	3,0	18,0	9,8	67,8	9,3	12,5	0,0
Ago	5,1	17,9	10,9	60,3	10,7	13,1	0,2
Ago	1,3	19,7	9,7	51,4	11,2	17,3	0,1
Sep	5,1	24,0	14,2	33,6	11,7	19,8	0,0
Sep	8,0	25,8	16,3	38,8	12,3	20,6	0,3
Sep	10,1	27,1	17,7	58,1	12,4	22,7	1,7
Oct	8,7	24,0	15,6	68,3	12,4	21,6	2,0
Oct	11,2	27,2	18,1	65,1	9,9	24,3	1,8
Oct	10,1	24,1	16,4	72,3	7,7	21,8	5,0
Nov	15,2	31,5	22,8	57,3	14,9	28,2	1,5
Nov	13,1	27,2	19,9	59,8	10,0	23,9	6,4
Nov	14,9	30,2	21,8	66,0	8,7	27,1	5,7
Dic	14,3	30,2	21,8	60,7	8,0	28,1	2,0
Dic	14,5	33,1	23,5	49,7	5,9	32,7	0,9
Dic	15,9	33,2	23,7	51,3	9,4	29,8	1,0

- Precipitaciones y temperaturas decádicas, durante el año que se realizó el ensayo, 2011.



ANEXO 2

Requerimientos nutricionales de *Bromus catharticus* (Cebadilla criolla)

Tabla 3. Cultivos Forrajeros: cantidad de nutriente total extraído expresado en kg de nutriente por tonelada de órgano cosechable.

Cultivos	Nombre Científico	Órgano cosechable	Absorción Total (kg/ton)							Extracción (kg/ton)					Fuente
			N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S	
Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>	forraje	-	-	-	-	-	-	27.0	2.8	21.0	12.0	2.8	3.8	4, 5 y 9
Trébol Rojo	<i>Trifolium pratense</i>	forraje	-	-	-	-	-	-	21.0	3.0	23.6	-	3.2	4.5	4, 5 y 9
Trébol Blanco	<i>Trifolium repens</i>	forraje	-	-	-	-	-	-	30.0	3.3	20.0	-	-	3.0	5 y 6
Trébol de cuernos	<i>Lotus corniculatus</i>	forraje	-	-	-	-	-	-	20.5	2.2	15.8	-	-	-	9
Vicia	<i>Vicia sativa</i>	forraje	-	-	-	-	-	-	25.9	3.0	18.5	-	-	-	9
Pasto Ovillo	<i>Dactylis glomerata</i>	forraje	-	-	-	-	-	-	26.0	2.7	21.5	-	2.3	2.3	4, 5 y 11
Raigrás	<i>Lolium sp.</i>	forraje	-	-	-	-	-	-	25.0	2.7	18.5	4.9	3.6	2.5	4, 5 y 9
Cebadilla	<i>Bromus unioloides</i>	forraje	-	-	-	-	-	-	14.6	2.0	17.3	-	-	2.3	5 y 9
Poa	<i>Poa annua</i>	forraje	-	-	-	-	-	-	13.6	2.4	17.3	-	1.6	2.3	9
Alpiste	<i>Phalaris arundinacea</i>	forraje	-	-	-	-	-	-	12.7	1.9	16.6	-	-	-	9
Sorgo Forrajero	<i>Sorghum bicolor</i>	forraje	-	-	-	-	-	-	10.6	2.8	12.7	-	2.1	2.6	4, 5 y 9
Gramilla	-	forraje	-	-	-	-	-	-	8.6	2.0	9.6	-	1.0	1.5	4 y 9
Festuca	<i>Festuca pratensis</i>	forraje	-	-	-	-	-	-	16.8	2.4	20.3	-	1.7	2.6	5 y 9
Festuca Alta	<i>Festuca arundinacea</i>	forraje	-	-	-	-	-	-	25.0	3.0	26.0	5.6	2.5	2.5	4 y 9

ANEXO 3

Resultados del cálculo de escurrimiento para el balance de agua

Precipitación (mm)	Lámina Escurrida (mm)	Lámina Infiltrada (mm)
6	0	6
2	0	2
2	0	2
1	0	1
3	0	3
17	0	17
3	0	3
1	0	1
16	0	16
18	0	18
10	0	10
1	0	1
33	0,8	32,2
2	0	2
4	0	4
15	0	15
33	0,8	32,2

ANEXO 4

Agua útil para cada parcela durante ciclo de crecimiento de cebadilla

PARCELA N° 1		AU medida (mm)							
HORIZONTE	Siembra	03-ago	25-ago	08-sep	20-sep	04-oct	21-oct	03-nov	18-nov
Ap	13,1	10,1	4,7	4,5	4,0	4,0	7,0	4,8	9,5
Ad	14,4	10,9	6,6	7,1	6,3	5,7	8,4	7,5	8,3
A3	8,0	9,5	5,3	7,5	6,3	5,4	7,4	7,3	13,4
Bw	5,9	10,2	7,5	7,5	7,3	8,6	9,1	7,9	14,8
Bc	8,3	27,6	26,1	27,6	26,8	22,4	25,7	22,4	27,6
C	5,9	24,3	24,3	24,3	24,3	24,3	24,3	22,0	24,3

PARCELA N° 2		AU medida (mm)							
HORIZONTE	Siembra	03-ago	25-ago	08-sep	20-sep	04-oct	21-oct	03-nov	18-nov
Ap	13,1	10,3	4,5	4,6	4,3	3,9	7,0	4,4	9,4
Ad	14,4	11,9	6,6	7,1	6,3	5,8	8,2	8,0	8,5
A3	8,0	8,9	5,4	6,8	6,7	5,5	7,3	7,2	13,1
Bw	5,9	9,8	7,3	7,49	7,4	7,7	8,5	7,9	13,7
Bc	8,3	27,6	27,6	27,6	26,4	24,1	27,6	22,7	27,6
C	5,9	24,3	24,3	24,3	24,3	24,3	24,3	24,3	24,3

PARCELA N° 3		AU medida (mm)							
HORIZONTE	Siembra	03-ago	25-ago	08-sep	20-sep	04-oct	21-oct	03-nov	18-nov
Ap	13,1	9,7	2,6	4,2	4,0	2,6	7,2	4,6	9,8
Ad	14,4	10,5	5,6	8,0	6,2	6,0	8,7	7,9	8,0
A3	8,0	9,9	6,1	8,0	6,0	5,9	8,1	7,4	12,3
Bw	5,9	9,4	7,74	8,9	7,1	7,7	7,6	9,5	13,9
Bc	8,3	27,6	24,0	26,0	24,5	22,0	25,8	22,0	26,7
C	5,9	24,3	24,3	24,3	24,3	24,3	24,3	21,8	23,3

ANEXO 5

Balance de agua para cada fecha de medición durante el ciclo de crecimiento de cebadilla

Período: 20/5 - 3/8. Día 0							
Parcela	AU (mm)	AU inicial (mm)	AU final (mm)	Lluvia (mm)	Riego (mm)	Drenaje (mm)	ET _c (mm)
1	111,2	55,6	92,6	8	458,8	403,2	26,6
2		55,6	92,8			403,2	26,4
3		55,6	91,4			403,2	27,8
Promedio		55,6	92,3			403,2	26,9

Período: 3/8 - 25/8. Día 75							
Parcela	AU (mm)	AU inicial (mm)	AU final (mm)	Lluvia (mm)	Riego (mm)	Drenaje (mm)	ET _c (mm)
1	111,2	92,6	74,6	3	52,8	34,2	39,6
2		92,8	75,6			34,4	38,6
3		91,4	82,4			33,0	31,8
Promedio		92,3	77,5			33,9	36,7

Período: 25/8 - 8/9. Día 97							
Parcela	AU (mm)	AU inicial (mm)	AU final (mm)	Lluvia (mm)	Riego (mm)	Drenaje (mm)	ET _c (mm)
1	111,2	74,6	78,5	0	93,6	57,0	32,7
2		75,6	77,9			58,0	33,3
3		70,4	79,4			52,8	31,8
Promedio		73,5	78,6			55,9	32,6

Período: 25/8 - 20/9. Día 111							
Parcela	AU (mm)	AU inicial (mm)	AU final (mm)	Lluvia (mm)	Riego (mm)	Drenaje (mm)	ET _c (mm)
1	111,2	78,5	75,0	3	158,4	125,7	39,2
2		77,9	75,4			125,1	38,8
3		79,4	72,0			126,6	42,2
Promedio		78,6	74,1			125,8	40,1

Período: 25/8 - 4/10. Día 123							
Parcela	AU (mm)	AU inicial (mm)	AU final (mm)	Lluvia (mm)	Riego (mm)	Drenaje (mm)	ET _c (mm)
1	111,2	75,0	70,4	17	172,8	136,6	57,8
2		75,4	71,3			137,0	56,9
3		72,0	68,4			133,6	59,8
Promedio		74,1	70,1			135,7	58,2

Período: 4/10 - 21/10. Día 137							
Parcela	AU (mm)	AU inicial (mm)	AU final (mm)	Lluvia (mm)	Riego (mm)	Drenaje (mm)	ET _c (mm)
1	111,2	70,4	81,8	38	50,4	9,6	67,4
2		71,3	83,0			10,5	66,2
3		68,4	81,6			7,6	67,6
Promedio		70,1	82,1			9,3	67,1

Período: 21/10 - 3/11. Día 154							
Parcela	AU (mm)	AU inicial (mm)	AU final (mm)	Lluvia (mm)	Riego (mm)	Drenaje (mm)	ET _c (mm)
1	111,2	81,8	71,	49,2	0	0	59,1
2		83,0	74,5			0	57,7
3		81,6	73,2			0	57,6
Promedio		82,1	73,2			0	58,2

Período: 3/11 - 18/11. Día 167							
Parcela	AU (mm)	AU inicial (mm)	AU final (mm)	Lluvia (mm)	Riego (mm)	Drenaje (mm)	ET _c (mm)
1		71,8	97,9			133,4	60,5
2	111,2	74,5	96,6	47,2	172,8	136,1	61,7
3		73,2	94,0			134,8	64,4
Promedio		73,2	96,2			134,8	62,2

ANEXO 6

Resultados obtenidos del balance de agua realizado con el software Cropwat 8.0

ETo estación	FAV-UNR	Cultivo	Cebadilla 1	Siembra	20/05	Red. Rend.	
Est. de lluvia	FAV-UNR	Suelo	Hapludol típico	Cosecha	17/11		0.0 %
Formato de Tabla		Momento: Regar a intervalos definidos por usuario (ajustado por usuario) Aplicación: Lámina de aplicación definida por usuario (ajustado por usuario) Ef. campo 70 %					
<input checked="" type="radio"/> Program. de riego <input type="radio"/> Bal. diario de agua de suelo							
Totales							
	Lámina bruta total	1660.0 mm		Precipitación total	167.0 mm		
	Lámina neta total	1162.0 mm		Precipitación Efectiva	125.8 mm		
	Pérdida total de riego	939.5 mm		Pérdida tot.prec.	41.2 mm		
	Uso real de agua del cultivo	307.3 mm		Def. de hum. en cosecha	14.5 mm		
	Uso pot. de agua del cultivo	307.4 mm		Requer. reales de riego	181.6 mm		
	Efic. de programación de riego	19.1 %		Efic. de precipitación	75.3 %		
	Deficiencia de programación de riego	0.0 %					
Reducción de rendimiento							
	Stagelabel	A	B	C	D	Estación	
	Reducciones en ET _c	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	%
	Factor de respuesta del rend.	0.05	0.40	0.35	0.15	0.05	
	Red. del rend.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%
	Reducc. acum. del rendimiento	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%

ANEXO 7

Valores de materia seca (MS) para cada parcela, durante el ensayo de cebadilla.

Parcela 1									
Fecha	Días desde siembra	MS Total (kg/ha)	Material Vivo (kg/ha)	Material Muerto (kg/ha)	Hojas (kg/ha)	Tallo (kg/ha)	Panoja (kg/ha)	Grano (kg/ha)	Resto de Panoja (kg/ha)
07-sep	110	838	804	34					
16-sep	119	1220	1164	56					
26-sep	129	2367	2307	60					
04-oct	137	3197	3078	119					
12-oct	145	4366	4258	107	1556	1869	834		
21-oct	154	6947	6529	418	1848	2816	1866		
31-oct	164	7420	7035	386	1780	2950	2305		
10-nov	174	10134	9199	936	1948	3115	2068	1762	306
25-nov	182	9588	8428	1160	1780	2790	1929	1586	343
Parcela 2									
Fecha	Días desde siembra	MS Total (kg/ha)	Material Vivo (kg/ha)	Material Muerto (kg/ha)	Hojas (kg/ha)	Tallo (kg/ha)	Panoja (kg/ha)	Grano (kg/ha)	Resto de Panoja (kg/ha)
07-sep	110	900	855	45					
16-sep	119	1323	1240	83					
26-sep	129	2410	2355	55					
04-oct	137	3116	3001	114					
12-oct	145	4378	4257	121	1604	1913	740		
21-oct	154	7430	6898	531	1765	2924	2209		
31-oct	164	7698	7210	488	1740	3044	2426		
10-nov	174	10207	9354	852	1840	3224	2146	1806	339
25-nov	182	9478	8439	1039	1534	2915	1995	1626	370
Parcela 3									
Fecha	Días desde siembra	MS Total (kg/ha)	Material Vivo (kg/ha)	Material Muerto (kg/ha)	Hojas (kg/ha)	Tallo (kg/ha)	Panoja (kg/ha)	Grano (kg/ha)	Resto de Panoja (kg/ha)
07-sep	110	898	838	60					
16-sep	119	1343	1280	63					
26-sep	129	2123	2084	39					
04-oct	137	3420	3298	122					
12-oct	145	4530	4286	243	1573	2032	682		
21-oct	154	7328	6737	591	1735	2783	2219		
31-oct	164	7781	7139	642	1684	2955	2499		
10-nov	174	10022	9339	684	1936	3186	2109	1807	302
25-nov	182	9654	8520	1134	1635	2924	1981	1626	354

ANEXO 8

Resultados estadísticos

- Función de producción de materia seca (MS).

Análisis de regresión no lineal								
Modelo Columna2 10121/sqr(1+a*exp(-b*Columna1))								
Variable	N	CMError	AIC	BIC	Iteración			
Columna2	60	288048,13	682,86	687,05	2			
Parámetros	Cota inf.	Cota sup.	Val.Ini.	Estimación	E.E.	T	p-valor	
A	-1E30	1E30	1,0E-03	7446,74	3023,82	2,46	0,0168	
B	-1E30	1E30	1,0E-03	0,07	2,8E-03	24,01	<0,0001	

- Correlación entre MS obtenida de la función de producción y MS medida.

Coeficientes de correlación		
Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades		
	MS (calculada)	MS (simulada)
MS (calculada)	1,00	0,00
MS (simulada)	0,99	1,00

- Correlación entre evapotranspiración del cultivo (ET_c) obtenida con el software CropWat y la ET_c calculada a partir de datos del ensayo.

Coeficientes de correlación		
Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades		
	ET_c (calculada)	ET_c (CropWat)
ET_c (calculada)	1,00	0,00
ET_c (CropWat)	0,98	1,00

- Eficiencia en el uso del agua.

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
MS (kg ha ⁻¹)	21	0,96	0,96	474661,48	335,06	338,19

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows
const	662,56	223,55	194,67	1130,45	2,96	0,0080	
T (mm)	40,77	1,80	36,99	44,55	22,59	<0,0001	485,73

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	210804811,32	1	210804811,32	510,19	<0,0001
T (mm)	210804811,32	1	210804811,32	510,19	<0,0001
Error	7850608,35	19	413189,91		
Total	218655419,67	20			

- Función que explica la fracción de la radiación que es interceptada (FI) durante el ciclo de cebadilla.

Análisis de regresión no lineal

Modelo FI $\alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \exp(-\gamma \cdot \text{DDS}) / \sqrt{1 + \beta \cdot \exp(-\gamma \cdot \text{DDS})}$

Variable	N	CMError	AIC	BIC	Iteración
FI	30	1,9E-03	-199,60	-195,39	2

Parámetros	Cota inf.	Cota sup.	Val.Ini.	Estimación	E.E.	T	p-valor
ALFA	-1E30	1E30	1,0E-03	89,02	4,29	20,75	<0,0001
BETA	-1E30	1E30	1,0E-03	707,63	197,72	3,58	0,0013
GAMMA	-1E30	1E30	1,0E-03	0,04	2,0E-03	19,52	<0,0001

Matriz de correlación de las estimaciones

	ALFA	BETA	GAMMA
ALFA	1,00	-0,92	-0,95
BETA	-0,92	1,00	0,99
GAMMA	-0,95	0,99	1,00

- Correlación entre la FI obtenida por función y FI calculada a partir de datos del ensayo.

Coeficientes de correlación

Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades

	FI (calculada)	FI (simulada)
FI (calculada)	1,00	0,00
FI (simulada)	0,99	1,00

- Eficiencia en el uso de radiación.

Coeficientes de correlación

Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades

	RI acumulada (MJ m ⁻²)	MS (kg ha ⁻¹)
RI acumulada (MJ m ⁻²)	1,00	0,00
MS (kg ha ⁻¹)	0,98	1,00