

**PMP**

**Manejo de cultivos**





## Coeficientes de cultivos para los principales cultivos extensivos de la Región Pampeana.

Andriani, José M.

Investigador de la EEA Oliveros. Dinámica del agua



Palabras clave: Kc, coeficiente de cultivos, evapotranspiración.

### Introducción

El consumo de agua de los cultivos, a lo largo de su ciclo de crecimiento y desarrollo, es la cantidad de agua que evapotranspira un cultivo y, generalmente, se la denomina con la sigla ETC. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la estimación de la ETC se refiere al agua evapotranspirada por un cultivo sin deficiencia de agua en el suelo. Es decir, cuando el suelo explorado por las raíces del cultivo tiene agua fácilmente extractable. Esta comprende el contenido de agua que se encuentra entre los valores de capacidad de campo y el umbral o límite de estrés (Ritchie, 1981). De esta manera, la ETC se calcula como el producto de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) y un coeficiente de cultivo único (K<sub>c</sub>) (Allen et al., 2006). Esta simple metodología permite calcular, para cualquier región, las necesidades de agua que tiene un cultivo, lo cual resulta útil en la planificación de siembras o para la programación de riegos (Andriani et al., 1997).

La ET<sub>o</sub> es una medida de la demanda evaporativa de la atmósfera y se calcula con diferentes fórmulas que incorporan diferentes datos de parámetros climáticos. Los valores de K<sub>c</sub> que se puedan obtener para cada cultivo en cada localidad, no sólo van a depender de la ubicación geoclimática sino, principalmente, de la fórmula de ET<sub>o</sub> utilizada. La fórmula

aceptada por FAO para la estimación de ET<sub>o</sub> es la de Penman-Monteith (Allen et al., 1998).

Si bien existen K<sub>c</sub> generales de distintos cultivos publicados por la FAO, son muy pocos los obtenidos regionalmente en el país. Por tal motivo, el objetivo de este trabajo fue determinar los coeficientes de cultivo de diferentes especies cultivadas extensivamente en la Región Pampeana.

### Materiales y métodos

En el área de influencia de EEA-INTA Oliveros (sur de Santa Fe), durante varios años se determinó el consumo de agua de cultivos extensivos sin deficiencias de agua en el suelo, con la metodología de la sonda de neutrones. Los cultivos evaluados de trigo (ciclo largo y corto), avena, arveja, colza invernal, maíz de 1°, girasol, soja (1° y 2° época) y sorgo granífero, estuvieron distribuidos por distintas localidades del sur de Santa Fe, este de Córdoba y noroeste de Buenos Aires. En su mayoría, pertenecían a ensayos de macroparcelas de la red de cultivares de la EEA-INTA Oliveros y el resto de lotes de productores regantes. En todos los casos, los registros de consumo de agua fueron de cultivos creciendo sin deficiencia de agua en el suelo. Las variedades e híbridos elegidos fueron los de ciclo medio para cada especie y época de siembra. Las fechas de siembra de los materiales evaluados se ubicaron dentro del rango de fechas recomendado para cada especie y sistema productivo en la Región.



El seguimiento de agua en el suelo se realizó con una sonda de neutrones marca Troxler (modelo 4302), en distintos períodos durante el ciclo de los cultivos. En cada período se calculó el consumo de agua del cultivo (CA). Los datos de lluvias se obtuvieron de pluviómetros locales y el aporte de agua al suelo en los períodos de ocurrencia se estimó por diferencia con el valor estimado con la curva de escurrimiento superficial de Andriani et al.. (2016). Se calculó la ETo diaria, a través de la fórmula de Penman –Monteith, con los datos meteorológicos obtenidos de la Estación Experimental Agropecuaria del INTA en Oliveros (32° 33' 49'' S – 60° 51' 40'' W) y una estación meteorológica automática e-Metos ubicada en Venado Tuerto (33° 45' 58'' S – 61° 58' 06'' W). Estos datos se consideraron válidos para los ensayos ubicados hasta una distancia de 120 Km de las estaciones meteorológicas. Los datos diarios de ETo se sumaron y promediaron en los períodos correspondientes entre determinaciones, con la sonda de neutrones.

Una vez obtenidos los valores de CA y ETo para cada período, se calcularon los respectivos Kc según la siguiente ecuación:  $Kc = CA/ETo$  y se relacionaron al tiempo desde la siembra a lo largo del ciclo del cultivo. Todos los registros de sonda de neutrones se

correlacionaron con la fecha desde siembra de los distintos cultivos y se obtuvo el punto medio de cada período entre determinaciones. Se graficaron los Kc en función de los días desde siembra (punto medio), para cada uno de los cultivos evaluados. Se determinaron los Kc máximos (Kc máx.) para cada cultivo, promediando los valores de Kc más elevados y de mínima variación. Se realizó un análisis de regresión con los puntos ubicados entre siembra y el comienzo de Kc máximo (Kc inicial), y entre final de este y Madurez Fisiológica (Kc final). Los datos de Kc inicial se representaron con una ecuación exponencial de 2° grado, debido a que esta explicó más la variabilidad de la variable respuesta que el modelo lineal, en un período importante del crecimiento del cultivo. En cambio, para los datos de Kc final se utilizó una ecuación lineal, ya que involucra un corto período del ciclo del cultivo y es muy buena la explicación de la variabilidad (R2).

### Resultados y Discusión

Los valores promedios de Kc, obtenidos en cada período de evaluación fueron graficados versus los días desde siembra para cada uno de los diferentes cultivos (Figura 1). Como se puede apreciar para to-



Tabla 1. Ecuaciones de coeficiente de cultivo para Kc inicial y final, y coeficiente de determinación (R2) para ambas ecuaciones (R2i, R2 f). Kc máximo y su duración, expresada en días.

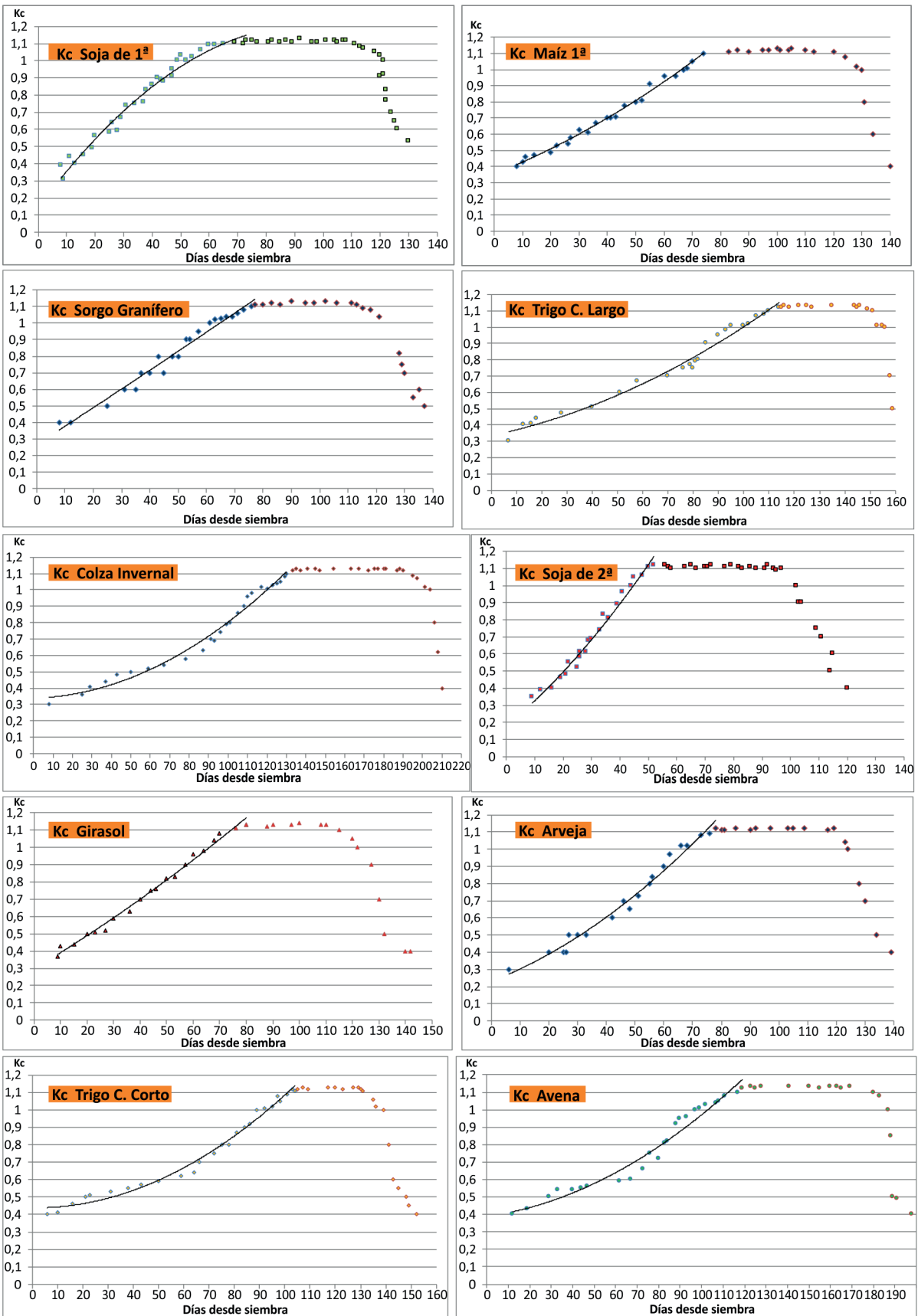
| Cultivos        | Kc inicial                            | R <sup>2</sup> i | Kc máximo | Duración Kc máx (días) | Kc final                | R <sup>2</sup> f |
|-----------------|---------------------------------------|------------------|-----------|------------------------|-------------------------|------------------|
| Soja 1°         | $y = -0.0001x^2 + 0.0217x + 0.1516$   | 0.98             | 1.12      | 50                     | $y = -0.0333x + 4.8911$ | 0.91             |
| Soja 2°         | $y = 0.0001x^2 + 0.0137x + 0.1809$    | 0.98             | 1.12      | 44                     | $y = -0.0295x + 3.9501$ | 0.97             |
| Maíz 1°         | $y = 0.0005x^2 + 0.0068x + 0.3556$    | 0.99             | 1.13      | 46                     | $y = -0.0473x + 7.0181$ | 0.90             |
| Girasol         | $y = 0.00002x^2 + 0.0097x + 0.2943$   | 0.99             | 1.13      | 35                     | $y = -0.03x + 4.6082$   | 0.93             |
| Sorgo Granífero | $y = -0.000006x^2 + 0.0111x + 0.2662$ | 0.98             | 1.12      | 41                     | $y = -0.0293x + 4.5254$ | 0.96             |
| Trigo CL        | $y = 0.00003x^2 + 0.0032x + 0.335$    | 0.98             | 1.13      | 39                     | $y = -0.0682x + 11.486$ | 0.77             |
| Trigo CC        | $y = 0.00007x^2 - 0.0005x + 0.4427$   | 0.98             | 1.13      | 29                     | $y = -0.0431x + 6.8815$ | 0.93             |
| Arveja          | $y = 0.00007x^2 + 0.0066x + 0.2296$   | 0.98             | 1.12      | 42                     | $y = -0.0421x + 6.1972$ | 0.98             |
| Colza Inv.      | $y = 0.00004x^2 + 0.0003x + 0.3383$   | 0.98             | 1.13      | 54                     | $y = -0.0419x + 9.3659$ | 0.80             |
| Avena           | $y = 0.00005x^2 + 0.0017x + 0.3884$   | 0.96             | 1.13      | 55                     | $y = -0.0462x + 9.4505$ | 0.77             |





F1

Figura 1: Gráficos de evolución de los coeficientes de cultivo durante el ciclo de crecimiento y desarrollo de los cultivos de Soja, Maíz, Girasol, Arveja, Avena, Trigo y Colza invernal.





dos los casos en la etapa de crecimiento del cultivo, el Kc tiene una tendencia ascendente, llegando a un máximo que se mantiene casi constante hasta que llega a la etapa de madurez del cultivo donde cae bruscamente. La FAO en su Boletín N° 56 (Allen et al. 2006), muestra una distribución lineal en tres etapas parecida a las graficadas en la Figura 1. A su vez, esta distribución es muy similar a la relación del índice de área foliar (IAF) de cultivos determinados con los días desde emergencia (Andriani, 2016). Esto está muy relacionado, ya que casi toda la transpiración de las plantas de cultivos herbáceos se realiza a través de sus hojas (Kramer, 1983). Si bien la distribución general del Kc a través del tiempo es similar para todos los cultivos, existen diferencias entre ellos en el valor de Kc máximo y en las tasas de las ecuaciones de regresión para los Kc inicial y final.

En la Tabla 1 se muestran las ecuaciones correspondientes a los Kc inicial y final, con sus respectivos coeficientes de determinación (R<sup>2</sup>) y el valor de Kc máximo estimado, para cada uno de los cultivos evaluados. Los R<sup>2</sup> de las dos ecuaciones resultaron ser bastantes altos, principalmente en la ecuación de Kc inicial, lo que da sustento a las ecuaciones.

Al utilizar las ecuaciones de Kc inicial, debido a la forma de obtención de las mismas en determinado período, hay que tener en cuenta que cuando su resultado sea mayor al Kc máximo, se deberá usar este y en los primeros días después de la emergencia, cuando el valor supere al Kc del barbecho. Con la ecuación del Kc final, sucede algo similar. Cuando la ecuación comience a dar resultados apenas inferiores al Kc máximo, se suspende este y se comienza a usar la ecuación de Kc final, hasta un valor entre 0.5 y 0.3. Este último rango se utiliza después que la planta haya superado el estadio de Madurez Fisiológica. Estos son los valores de Kc del barbecho que van a depender del grado de cobertura del rastrojo, ya que solo hay evaporación desde el suelo. De tal manera, se utilizará un Kc de 0.3 para una alta cobertura, un valor de 0.5 para una baja cobertura y valores intermedios para coberturas intermedias.

Un ejemplo para un ciclo completo de cultivo sería: los primeros días hasta que la ecuación de Kc inicial da como resultado valores superiores a Kc de barbecho, el Kc a considerar es el Kc de barbecho; luego, se utiliza el resultado de la ecuación de Kc inicial hasta que estos alcancen el Kc máximo, posteriormente se utiliza como valor de Kc el Kc máx., hasta que el resultado de la ecuación de Kc final dé

un valor inferior a este; finalmente, cuando los valores de la ecuación de Kc final comienzan a ser inferiores al Kc de barbecho, se utiliza este como punto final. Una forma más sencilla es utilizar las gráficas como referencia de Kc para los días después de siembra.

## Conclusiones

Para el ciclo de crecimiento de todos los cultivos extensivos de la región pampeana norte evaluados en este trabajo, el Kc tiene una tendencia ascendente, llegando a un máximo que se mantiene prácticamente constante hasta llegar a la etapa de madurez del cultivo donde cae bruscamente, finalizando en el Kc de barbecho.

Tanto las ecuaciones obtenidas, que representan el ascenso y descenso del coeficiente de cultivo, como su valor máximo poseen poca variabilidad y un alto coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>). Esto permite tener un alto grado de confianza en su aplicación, así como en la utilización de los gráficos respectivos.

## Citas:

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M.; 1998. Crop Evapotranspiration. FAO 56, Roma, Italia.
- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M.; 2006. Evapotranspiración del cultivo - Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Cuaderno de riego y drenaje, n° 56. FAO. Roma.
- Andriani, J.M., 1997. Uso del agua y Riego. Capítulo del libro "El cultivo de soja en la Argentina", editado por Laura Giorda y Hector Baigorri, E.E.A. Marcos Juárez-INTA. Editorial Editar, San Juan, Argentina, p. 141-150. 176.
- Andriani J.M., 2016. Lo que hay que saber del "Consumo de agua de los cultivos". Para mejorar la producción 55", INTA EEA Oliveros, Santa Fe, Argentina, pag. 99-107.
- Andriani J.M., Magnano L., y Sanmartí N., 2016. Modelo "cuanti-cualitativo" de escurrimiento superficial del agua en suelos agrícolas de la Región Pampeana Argentina. Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del suelo, Vol. 34, Num. 2, Argentina, pag. 293-301. 15.
- Kramer, P. J.; 1983. Water relations of plants. Academic Press, Inc., London. Chapter 11: pag. 291-341.
- Ritchie J.T. 1981. Soil water availability. Plant Soil 58:327-338.