



RIEGO POR GOTEO

CONCEPTOS BASICOS PARA LA PROGRAMACION

Ing. Agr. Armando N. Sosa- EEA Rama Caída
sosa.armando@inta.gov.ar

En la provincia de Mendoza, casi el 90% del agua es destinada al riego agrícola. Bajo un contexto de cambio climático, los escenarios de escasez hídrica nos obligan a ser sumamente eficientes en el uso del recurso agua. El desafío a futuro es lograr un desarrollo agrícola sustentable que permita la estabilidad productiva de los oasis.

Una de las herramientas para mejorar el manejo del riego dentro de las fincas es la tecnificación. La conversión del riego gravitacional tradicional al riego localizado de alta frecuencia (goteo, micro aspersión) ha demostrado generar grandes beneficios en el cuidado del agua.



Figura 1: gotero en funcionamiento



Figura 2: riego gravitacional o por superficie

Dentro de los riegos localizados de alta frecuencia, el riego por goteo es el más común y utilizado por los productores. Este consta de un conjunto de tuberías de diversos diámetros que conducen el agua a presión hacia el cultivo y finalmente los goteros son los encargados de humedecer el suelo cercano a las plantas.

Este sistema tiene como principal ventaja el poder aplicar pequeñas láminas de agua con alta frecuencia y así mantener elevados niveles de humedad en el suelo provocando un menor estrés en el cultivo.



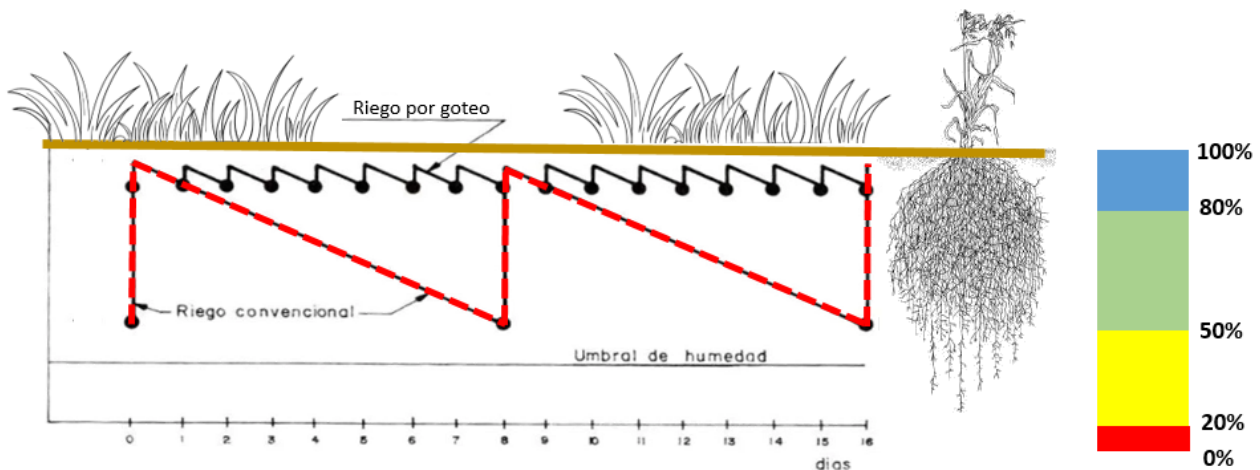


Figura 3: frecuencia (días) y contenido de humedad del suelo (%) en función del sistema de riego

A lo anterior se suman otras ventajas: ahorro de agua (sólo moja una parte del suelo por ende tenemos menos pérdidas por evaporación), ausencia de escorrentía y erosión, disminución de la percolación, ahorro de labores por menor infestación de malezas, se pueden aplicar fertilizantes y se reduce la mano de obra para realizar la actividad.

A la hora de adquirir y operar un equipo de riego por goteo se deben considerar cuatro principios fundamentales:

- Un buen diseño agronómico**

 - Que se adecue a la máxima demanda del cultivo
- Un buen diseño hidráulico**

 - De dimensiones adecuadas y de menor costo
- Buen mantenimiento y limpieza**

 - Que permita el óptimo funcionamiento
- Una buena PROGRAMACION**

 - Láminas y frecuencias apropiadas

Figura 4: principios fundamentales del riego por goteo

PROGRAMACION

Para generar un calendario de riego se debe tener en claro **“cuánto”** y **“cuando”** regar. Pero para eso previamente es necesario comprender o tener noción de algunos conceptos básicos.

¿Cuánto se debe regar?

Para ello, es fundamental dimensionar la **lámina de riego**.

Se puede expresar un volumen de agua en metros cúbicos, litros o mm. En este caso, se hará referencia al volumen como lámina (mm). Por ejemplo, si se incorpora un litro de agua en un metro cuadrado se obtiene una lámina con una altura de un milímetro. Siguiendo el razonamiento, en una hectárea (10.000 m²) esto equivaldría a 10.000 litros (10 m³).

$$1 \text{ mm} = 1 \frac{\text{l}}{\text{m}^2}$$

$$1 \text{ mm} = 10 \frac{\text{m}^3}{\text{ha}}$$

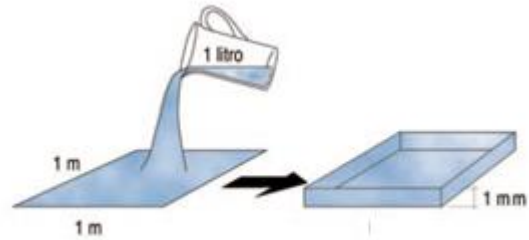


Figura 5: lámina de agua

La lámina de riego que se debe aplicar no es un valor constante, esta varía en función de varios factores dependientes del suelo y el cultivo, propios de cada parcela. Para calcularla se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Lámina (Ln)} = \frac{(CC - PMP)}{100} \times PEA \times PROF \times NAP \times PSH \times (1 - \%P)$$

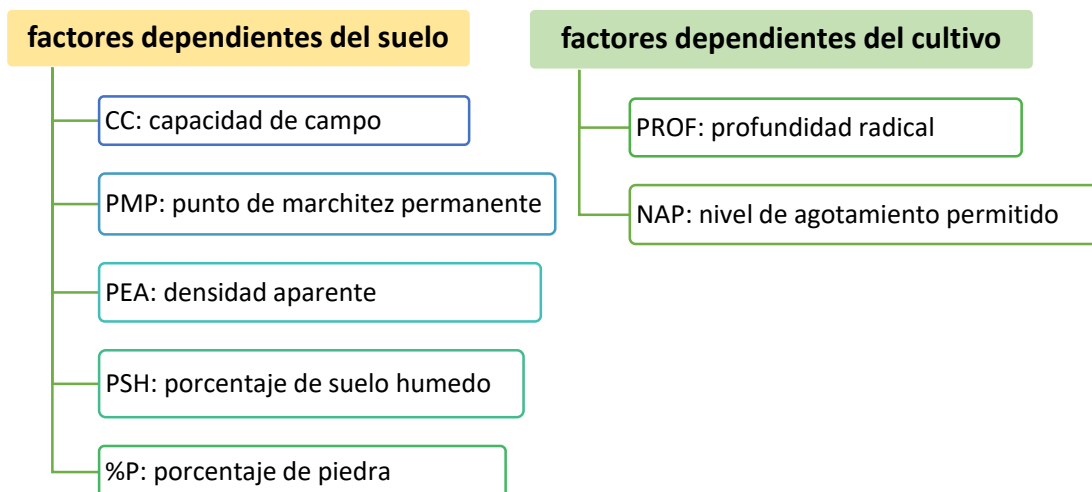


Figura 6: factores necesarios para calcular la lámina de riego

1. Capacidad de campo y punto de marchitez permanente

El suelo está conformado por una fase sólida (materia orgánica, partículas minerales), fase gaseosa (aire) y una fase líquida (agua). El aire y el agua ocupan los macro poros, meso poros y micro poros que existen entre las partículas. Cuando se riega en exceso el agua desplaza al aire y ocupa todos los espacios, lo que se denomina suelo **saturado**.

El agua que se encuentra en los macro poros comienza a drenar por influencia de la gravedad, hasta llegar a un valor de humedad denominado **capacidad de campo (CC)** este se define como la máxima cantidad de agua que puede retener un suelo determinado.

El cultivo comienza a evapotranspirar extrayendo agua del suelo el cual va perdiendo humedad en forma paulatina hasta un determinado límite en el cual ya no puede extraer más agua, este se denomina **punto de marchitez permanente (PMP)**.

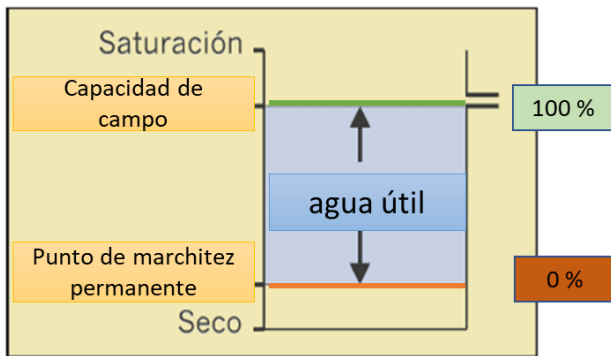


Figura 7: capacidad de almacenamiento de un suelo

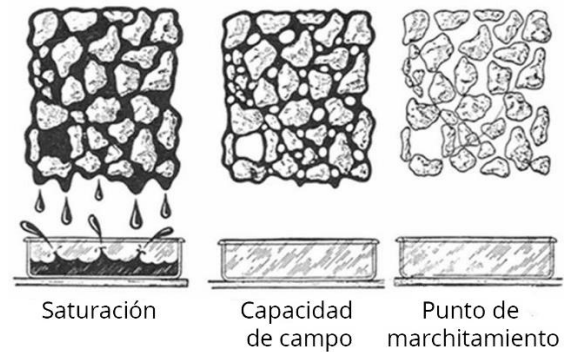


Figura 8: estados del suelo según su contenido de humedad

Estas constantes varían principalmente por: textura del suelo, densidad aparente, contenido de materia orgánica y estructura porosa del suelo. La diferencia entre CC y PMP determina el **agua útil** para el cultivo.

Textura	Agua útil (mm de agua por m de profundidad del suelo)
Arenoso	70–100
Franco–arenoso	90–150
Franco	140–190
Franco–arcilloso	170–220
Arcilloso	200–250

Figura 9: capacidad de almacenamiento según textura

2. Densidad aparente

La masa de suelo seco por unidad de volumen (g/cm^3). Indica el grado de compactación del suelo y depende principalmente de la textura del suelo y de la cantidad de materia orgánica presente en él. Para ello, el método más utilizado para determinarla es el del “cilindro de volumen conocido”, consta en extraer una muestra de suelo inalterado que luego se seca en estufa a 105°C y se pesa. La relación entre peso seco/volumen es la densidad aparente. Existen valores de tablas que ayudan a tener una referencia.



Figura 10: cilindro de volumen conocido

Textura del suelo	Densidad aparente g/cm ³
Arenoso	1.65
Franco-arenoso	1.50
Franco	1.40
Franco-limoso	1.35
Franco-arcilloso	1.30
Arcilloso	1.25

Figura 11: densidad según textura de suelo

3. Profundidad Radicular

La exploración radicular no es igual en todos los cultivos, se debe tener presente hasta que profundidad llegan las raíces. Este dato puede obtenerse por observación directa a campo a través de una calicata o se consigue de tablas que se encuentran disponibles en bibliografía, como en el Manual FAO 56 (Pág. 163-165) – <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>

4. Nivel de agotamiento permitido

Cuando el suelo se encuentra en CC el cultivo puede extraer fácilmente agua del suelo, pero a medida que se va agotando cada vez le cuesta más, hasta que se sobrepasa un límite donde comienza a sufrir estrés lo que se traduce en mermas de rendimiento. Este límite es variable durante el ciclo del cultivo, en algunas etapas se pueden tolerar mayores déficits que en otras. Es importante conocer muy bien los periodos críticos del cultivo, que son básicamente lapsos de tiempo en donde se definen rendimientos y que suelen ser más sensibles a la escasez hídrica. Generalmente estos se presentan en las etapas de floración, cuaje y llenado según el cultivo.

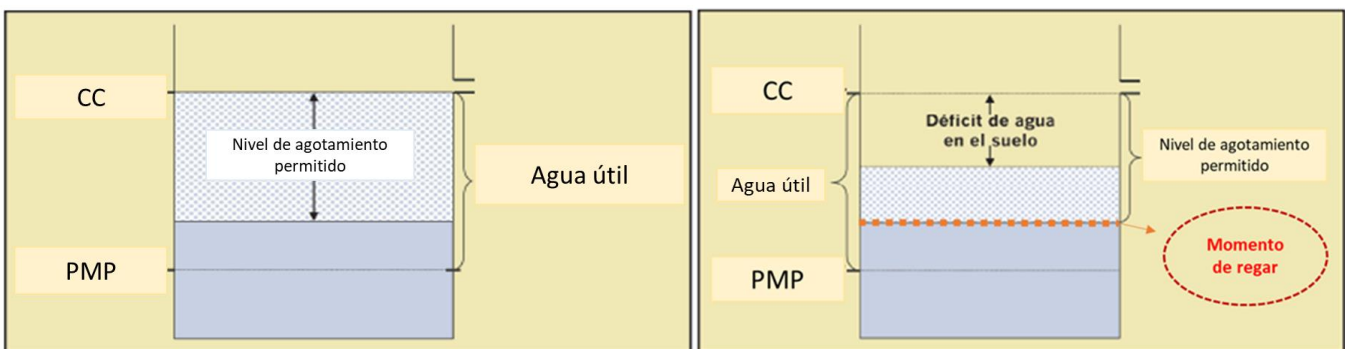


Figura 12 y 13: fracción de agotamiento permitido

5. Porcentaje de suelo mojado

El riego por goteo tiene la ventaja de que sólo humedece una porción del terreno, logrando disminuir las pérdidas por evaporación. Valores altos aumentan la seguridad del sistema, sobre todo en caso de averías del sistema o en situaciones de altas demandas y a mayor volumen de suelo explorado por las raíces más probabilidades de extraer agua. Sin embargo, valores excesivos aumentan el valor de la instalación (mas emisores, mayores diámetros).

$$PSM (\%) = \frac{\text{área humedecida por los emisores}}{\text{área total de los cultivos}} \times 100$$

Un buen diseño agronómico debe lograr el % de suelo mojado óptimo para cada cultivo. Algunos valores de referencia para la región serían:

Vid: 30 – 35 %

Frutales: 45 – 50 %

Hortalizas: 55 – 65 o más %

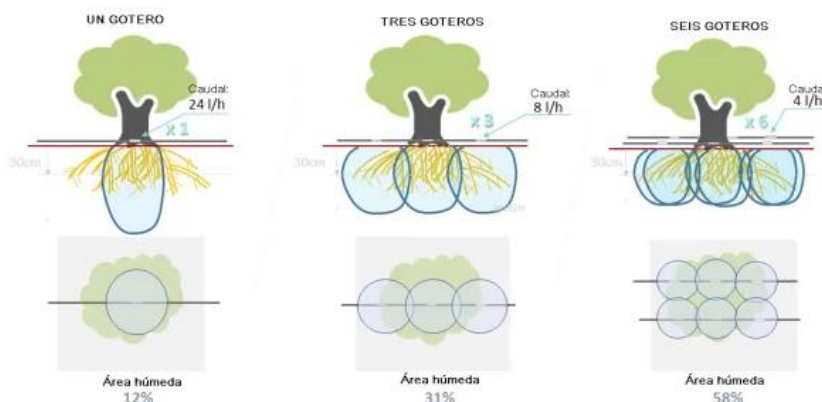


Figura 14: porcentaje de suelo mojado

6. Porcentaje de piedra en el perfil

Un suelo muy pedregoso no podrá retener gran cantidad de agua, es por ello que al momento de calcular la lámina se debe tener presente que % de piedra existe para poder restarla en el cálculo.



Figura 15: perfil pedregoso

¿Cuándo se debe regar?

Hay dos alternativas a la hora de programar un riego por goteo:

- En intervalos diarios; se riega todos los días, recomendado para hortalizas.
- En intervalos en función del umbral de riego, se riega cada dos o tres días, recomendado para cultivos perennes como frutales o vid.

De acuerdo a la época del año y al desarrollo del cultivo se tendrá mayor o menor demanda atmosférica, esto irá definiendo el **momento de riego**, es decir cuando encender el equipo.

1. Demanda del cultivo

La **necesidad neta o demanda neta del cultivo (Nn)** es el agua que evapotranspira el cultivo y se obtiene a través de las siguientes fórmulas:



AGUA



$$ET_c = ET_o \times K_c$$

ET_c: Evapotranspiración del cultivo

ET_o: Evapotranspiración de referencia

K_c: Coeficiente del cultivo

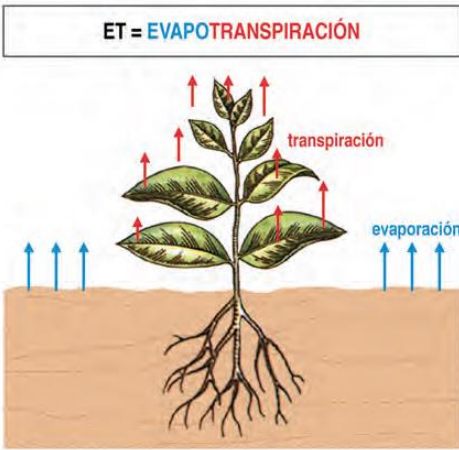


Figura 16: Evaporaspiración

Cuando se habla de **evapotranspiración** se hace referencia al agua que se evapora del cultivo a través de sus estomas (transpiración), como así también a la que se evapora de la superficie del suelo (evaporación). La **evapotranspiración de referencia (ET_o)** está influenciada por las condiciones meteorológicas del lugar: radiación solar, temperatura ambiente, humedad ambiente y la velocidad del viento. Este dato es posible obtenerlo de las estaciones meteorológicas cercanas.

[\(https://www.mendoza.gov.ar/contingencias/agrometeorologia/\)](https://www.mendoza.gov.ar/contingencias/agrometeorologia/)

<http://siga.inta.gob.ar>

El **coeficiente del cultivo (K_c)** hace referencia a las características morfológicas-fisiológicas del cultivo y al manejo agronómico. Por ejemplo: etapas fenológicas, arquitectura foliar, altura, densidad, fecha de siembra, etc. Este dato puede ser extraído de tablas como las que se encuentran disponibles en el Manual FAO 56 (Pag. 110-114) - <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>).

$$N_n = ET_c - P_{ef}$$

N_n: Necesidad neta del cultivo

ET_c: Evapotranspiración del cultivo

P_{ef}: Precipitación efectiva

No toda la precipitación que cae en el suelo puede ser aprovechada por el cultivo, ya que parte se pierde, es por esto que se habla de una **precipitación efectiva (P_{ef})**, esta depende de varios factores como: textura del suelo, compactación, cobertura vegetal, humedad del suelo antes del evento, intensidad de precipitación y topografía. Los principales métodos para determinarla son estos dos:

- a) *Porcentaje fijo*: la precipitación efectiva es un porcentaje fijo de la real y se calcula de la siguiente manera. Lo aconsejable es considerar como precipitación efectiva al 80% de los eventos que sean de entre 10mm y 30mm. Por debajo de 10 mm y por encima de 30 mm las lluvias no se considerarían efectivas.

$$P_{ef} = \text{porcentaje fijo} * P$$





b) *Precipitación confiable*: la fórmula fue desarrollada por el servicio de aguas de la FAO.

$$P_{ef} = 0,6 P - 10 \text{ para } P_{mensual} \leq 70mm$$

$$P_{ef} = 0,8 P - 10 \text{ para } P_{mensual} > 70mm$$

Posteriormente se calcula la necesidad bruta (Nb), a partir de la siguiente ecuación:

$$Nb = \frac{Nn}{(1 - k) \times CU}$$

Nb: necesidad bruta

Nn: necesidad neta

k: coeficiente

CU: coeficiente de uniformidad

En la **necesidad bruta** se tiene en cuenta el agua que evapotranspira el cultivo más el extra que se debe adicionar, ya sea por la ineficiencia misma del riego (generalmente la eficiencia de aplicación (Eap) ronda el 85-95%) o debido al extra que se corresponde adicionar para mantener la salinidad del bulbo en un valor adecuado para el cultivo sin que ocurran mermas en el rendimiento, lo cual se denomina requerimiento de lixiviación (RL). Existen varias fórmulas que dependen de la salinidad del agua como del suelo. Se opta por la de mayor valor de las dos.

$$k = 1 - \text{Eficiencia de aplicación}$$

$$k = \text{Requerimiento de lixiviación}$$

Eficiencia de aplicación (Eap)

Depende de:

- Profundidad de la raíz del cultivo
- Textura del suelo

Prof. Raíz	Aren	Fco	Arci
<0.75 m	0.90	0.95	0.95
0.75-1.5 m	0.90	0.95	1.00
>1.5 m	0.95	1.00	1.00

Ej. $k = 1 - EA = 0.05$

Relación de lixiviación (RL)

Para riego por goteo (Allen, 1997).

$$RL = \frac{CE_i}{6 \times CE_e - 2 \times CE_i}$$

- CE_i = conductividad eléctrica del agua de riego (ej. 0.9 dS/m)
- CE_e = CE del extracto de saturación que disminuye un 10% el rendimiento del cultivo (vid: 2.5 dS/m)

Finalmente, a modo de ejemplo se realizarán los cálculos para la programación de un riego por goteo de una parcela de vid conducida en espaldero que se encuentra en la localidad de San Rafael, Mendoza. La misma será para el mes de diciembre donde la evapotranspiración de referencia (Eto) es de 6 mm/día y el coeficiente del cultivo (Kc) es 0,7. Los aportes por precipitación no serán tenidos en cuenta.

$$ETc = ETo \times Kc$$

$$4,2 \text{ mm/día} = 6 \text{ mm/día} \times 0,7$$

$$Nn = ETc - P_{ef}$$

$$4,2 \text{ mm/día} = 4,2 - 0$$

Esta tiene un marco de plantación de 2,5 metros entre hileras y 1 metro entre planta. Cuenta con una sola manguera por hilera, la cual posee goteros de 2 litros/hora separados a 50 cm entre sí. La textura del suelo es franco-arenosa (CC: 20 g%g y PMP: 10g%g), la densidad aparente es de 1,5 g/cm³. La profundidad de interés será un metro y se regará cuando el suelo agote el 40% de su capacidad máxima de almacenamiento. El porcentaje de suelo mojado es del 30% y posee un 20% de piedras en la profundidad objetivo.



$$\text{Lámina } (Ln) = \frac{(CC - PMP)}{100} \times PEA \times PROF \times NAP \times PSH \times (1 - \%P)$$

$$\text{Lámina } (Ln) = \frac{(20 \text{ g\%g} - 10 \text{ g\%g})}{100} \times 1,5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 1000 \text{ mm} \times 0,4 \times 0,3 \times (1 - \frac{20}{100})$$

$$\text{Lámina } (Ln) = 14,4 \text{ mm}$$

Intervalo de riego regando **según umbral de riego**

$$\text{Intervalo de riego } (IR) = \frac{Ln}{Nn} = \frac{14,4 \text{ mm}}{4,2 \text{ mm/día}} = 3,43 \text{ días}$$

Tiempo de riego regando **según umbral de riego**

$$\text{Intensidad de precipitación } (IP) \left(\frac{\text{mm}}{\text{h}}\right) = \frac{q \text{ gotero } \left(\frac{\text{l}}{\text{h}}\right) \times n^{\circ} \text{ laterales por hilera}}{\text{distancia entre hileras} \times \text{esp entre goteros}}$$

$$\text{Intensidad de precipitación } (IP) \left(\frac{\text{mm}}{\text{h}}\right) = \frac{2 \text{ l/h} \times 1}{2,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}} = 1,6 \text{ mm/h}$$

$$\text{Tiempo de riego } (Tr) = \left(\frac{Ln}{(1 - k) \times CU}\right) \div IP$$

$$\text{Tiempo de riego } (Tr) = \left(\frac{14,4 \text{ mm}}{(1 - 0,10) \times 0,85}\right) \div 1,6 \frac{\text{mm}}{\text{h}} = 11,7 \text{ hs}$$

Se regarán 12 horas cada 3 días

Tiempo de riego regando **todos los días**

$$\text{Tiempo de riego } (Tr) = \left(\frac{4,2 \text{ mm}}{(1 - 0,10) \times 0,85}\right) \div 1,6 \frac{\text{mm}}{\text{h}} = 3,43 \approx 3,5 \text{ hs}$$

Se regarán 3.30 horas todos los días

Ing. Agr. Armando N. Sosa

EEA Rama Caída

sosa.armando@inta.gob.ar



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria
Argentina



FUENTES CONSULTADAS

Allen et al., (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Manual 56. FAO. Roma, Italia.

Ferrari y Olmedo (2017). Operación de riego por goteo. Herramientas de manejo, control y monitoreo en viticultura. EEA Mendoza-INTA. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/riego_por_goteo_11-08.pdf

Gómez et al., (2010). Manual de riego para agricultores: módulo 4. Riego localizado: manual y ejercicios. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca, 2010. Sevilla, España.

Muñoz L., (2020). Riego por goteo: ¿Qué caudal y distancia entre goteros debo **utilizar**? <https://www.agrohuerto.com/riego-por-goteo-caudal-y-distancia-entre-goteros/>

Pizarro F., (1996). Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF). Ediciones Mundi-Prensa. 3ra Edición. Bilbao, España.

Schilardi C., (2022). Introducción al riego por goteo. Maestría de riego y drenaje. Facultad de Ciencias Agrarias, UNCuyo. Mendoza.