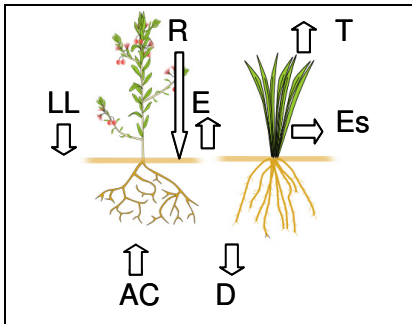


NECESIDADES DE RIEGO EN LOS AGUACATES: APLICACIÓN PARA CÍTRICOS Y OLIVOS.

INTRODUCCIÓN.

El riego es una práctica cultural consistente en proporcionar agua al suelo para que desde éste las raíces de las plantas succionen la misma, supliendo las deficiencias o su falta suministrada por la lluvia y ascenso capilar.

En el sistema suelo-planta-agua, en el balance de agua debe verificarse que la cantidad de agua que entra menos la cantidad de agua que sale de un volumen de suelo determinado, ha de ser igual al cambio de contenido de agua (dS) del volumen del suelo considerado. Las entradas de agua pueden ser debidas a la lluvia (LL), riego (R) o el ascenso capilar (AC) de una capa subyacente; mientras que las salidas se deberán a la escorrentía (Es), drenaje (D) o la evaporación (E) de agua desde el suelo a la atmósfera más la transpiración (T) de las plantas (ET = evapotranspiración).



Deberá de cumplirse que:

$$LL+R+AC-(ET+D+Es) = dS$$

Ahora bien, en nuestras condiciones de cultivo de terrazas sorribadas es muy difícil que exista ascensión de agua capilar y que un riego produzca escorrentía. Por otra parte, un buen riego debe suministrar el agua necesaria para que el cambio de contenido de agua (dS) sea mínimo y poder mantener la mejor humedad en el suelo.

Aplicando las anteriores consideraciones a la ecuación anterior, se obtiene:

$$R = ET + D - LL$$

En la anterior ecuación, el drenaje (D) se suele expresar como un porcentaje de ET (en caso de que fuera necesario) y el problema es estimar la ET del sistema.

Por otra parte, existen métodos basados en determinar el contenido de agua en el suelo para regar cuando se agota un determinado porcentaje del mismo para mantener una dS casi constante. Generalmente se suelen aplicar dos o tres riegos diarios para alcanzar este fin. En general, la diversidad de suelos, sistemas de riego, manejos del cultivo, etc., hacen que sea imposible establecer valores óptimos de implementación de este instrumento, siendo necesario su calibración en cada instalación. Además, debido a las enormes diferencias entre fincas (incluso dentro de una misma finca), los datos son difícilmente extrapolables para el resto de la zona.

También existen sistemas para medir el contenido de agua en la planta, pero esto sólo indicará cuándo regar y será la experimentación en el riego la que nos irá indicando el volumen de agua a utilizar.

CALCULO DE LA ETo y Etc.

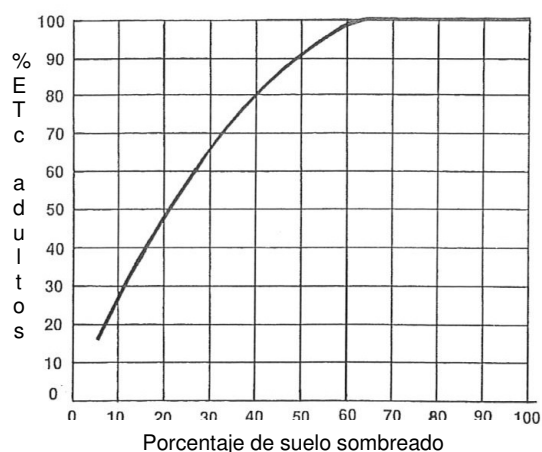
El término de evapotranspiración se utiliza para englobar tanto el proceso físico de pérdida de agua por evaporación como el proceso de evaporación del agua absorbida por las plantas (transpiración).

El modelo de Penman-Monteith define la evapotranspiración de referencia como la correspondiente a un cultivo hipotético que tiene una altura de 0,12 m, una resistencia de cubierta de 70 s/m, una resistencia aerodinámica de $208/U_2$ s/m, donde U_2 es la velocidad del viento a dos metros de altura; y un albedo de 0,23.

El método de Penman-Monteith es el método que mejor resultado ha dado en el estudio de ASCE, 1989, además es el método adoptado en FAO 56 "Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos", disponible en (<ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf>). En la página web de agrocabildo, (http://www.agrocabildo.org/agrometeorologia_estaciones.asp) se encuentran los datos diarios de todas las estaciones activas que posee el Cabildo Insular de Tenerife, por lo que su obtención no reviste dificultad. El método FAO 56 requiere conocer los datos diarios de temperatura, humedad relativa (ambas como máximas, medias y mínimas), la radiación neta diaria y la velocidad del viento.

Hay que indicar que en el 2015, el Cabildo Insular de Tenerife dispone de 54 estaciones agrometeorológicas, de las cuales 50 están en terreno agrícola. En todas las estaciones existe la instrumentación necesaria para poder calcular la evapotranspiración de referencia (ETo) por diversos métodos. Tres veces por semana (lunes, miércoles y viernes, generalmente) se actualizan los datos de las estaciones, chequeándose y actualizando la página web todas ellas, indicando la ETo diaria para cada estación.

Por lo tanto, con los datos climáticos podríamos definir una evapotranspiración de referencia, ETo, pero no sabemos que es lo que consume un determinado cultivo. Parece lógico pensar que distintos cultivos tendrán unas necesidades de riego diferentes. Por ello, se introduce un coeficiente que relacione la ETo con las especies. Este coeficiente se conoce como coeficiente de cultivo, Kc. Los factores principales que determinan los valores del coeficiente de cultivo son: las características del cultivo, la fecha de plantación o siembra, la duración y el ritmo de su periodo de desarrollo así como algunas condiciones climáticas, especialmente la frecuencia de lluvias o del riego en la primera fase de crecimiento. Además, cualquier cosa que se disponga



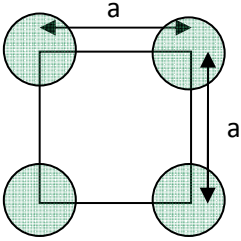
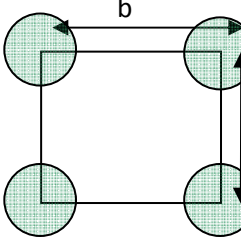
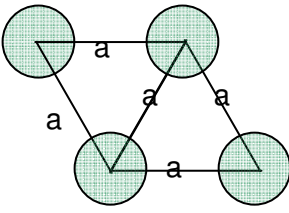
en el terreno y que modifique sustancialmente que los datos que esté tomando la estación no indiquen lo que está sucediendo en nuestro cultivo, afectará a la ETo, entre ellos se podría indicar: la construcción de invernaderos, cortavientos, utilización de capa de mulching de pinocha, etc.

Como anteriormente se ha dicho, el coeficiente de cultivo representa la influencia en la evapotranspiración de la propia planta.

El porcentaje de evapotranspiración lo podemos referir al porcentaje de suelo sombreado por el árbol (Snyder *et al*, 1989). Para sombreado de más del 65% de un árbol joven se considera que se le debería de aplicar el 100% del agua, como si fuese un árbol adulto. Para árboles de menor tamaño (o sombreado inferior al 65%) se deberá de aplicar la ecuación:

$$PER = 3,050 + 2,558 \times \%AS - 0,016 \times \%AS^2$$

Siendo PER el porcentaje de ETC a aplicar en relación con el área sombreada por un árbol adulto. Para calcular el %AS se haría según el marco de siembra:

Cuadrado	Rectangular	Tresbolillo
		
$\%AS = \frac{\pi \times D^2 \times 100}{4 \times a^2}$	$\%AS = \frac{\pi \times D^2 \times 100}{4 \times a \times b}$	$\%AS = \frac{\pi \times D^2 \times 100}{2 \times \sqrt{3} \times a^2}$

Los círculos representarían a los distintos árboles, siendo la proyección vertical de cada árbol es aproximadamente un círculo de diámetro D.

Por tanto, cuando %AS sea menor del 65% habrá que modificar el Kc que multiplica a la evapotranspiración de referencia (ET_o). Para ello, se calcula el Kc medio (K_{cmedio}) anual del que se considere normal y modificarlo para obtener un Kc medio (K_{cmedio%AS}) que dependa del área sombreada del árbol. El principal problema estriba, entonces, en disponer de un buen Kc.

Para el caso de los **aguacateros**, según la bibliografía consultada se podrían disponer de los siguientes:

Lugar	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dec	Anual
Chile	0,72	0,72	0,72	0,72	0,75	0,75	0,75	0,75	0,72	0,72	0,72	0,72	0,730
Florida	0,70	0,70	0,86	0,86	0,98	0,98	0,98	0,98	0,86	0,86	0,70	0,70	0,847
California New	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,860
California old	0,40	0,50	0,55	0,60	0,65	0,65	0,65	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,571
Tenerife propu.	0,30	0,40	0,45	0,50	0,55	0,55	0,55	0,55	0,50	0,45	0,45	0,40	0,471

La elección del Kc para la Isla de Tenerife se ha realizado sabiendo el consumo medio de la vertiente norte (unos 2.600 m³/ha) y sur-sureste (unos 6.500 m³/ha) de la Isla (Rodríguez y Cáceres, 2014) y ajustando el que mejor se adaptaba a nuestras condiciones. Por lo tanto, para árboles que no alcancen el anterior diámetro de copa, bien porque sean jóvenes o se han sembrado un marco de siembra inferior a 6 x 6 m., podemos calcular el K_{cmedio%AS} mediante la expresión:

Si %AS ≥ 65% se tomará que K_{cmedio%AS} = 0,471

Si %AS < 65%, se hará K_{cmedio%AS} = PER x 0,471/100

Tras aplicar la ecuación anterior del $K_{c_{medio}}$ pero ajustándolo a cada mes mediante la ecuación:

$$K_c = K_{c_{medio}} \%AS \times \frac{K_{ci}}{0,471} = \frac{PER \times K_{ci}}{100}$$

Siendo K_{ci} el coeficiente de cultivo de uno de los meses (i) para árboles adultos.

Por ejemplo, supongamos que queremos conocer cual sería el K_{ci} de abril para una plantación a 5x6 m de marco y con una copa de 4 m.

$$\%AS = \frac{\pi \times D^2 \times 100}{4 \times a \times b} = \frac{\pi \times 4^2 \times 100}{4 \times 5 \times 6} = 41,89\%$$

$$PER = 3,050 + 2,558 \times 41,89 - 0,016 \times 41,89^2 = 82,13$$

$$K_c = PER \times \frac{K_{ci}}{100} = 82,13 \times \frac{0,50}{100} = 0,411$$

Luego a partir de aquí y conocido ETo se puede proceder a continuar con los cálculos de necesidades hídricas del aguacatero.

PRECIPITACIÓN EFECTIVA.

Cuando se produce una precipitación en forma de lluvia, no toda el agua caída es aprovechable por la planta. No es fácil determinar que parte de la precipitación aprovecha el cultivo, y mucho menos en riegos localizados, puesto que el sistema radicular no explora todo el terreno.

Por otro lado, lluvias pequeñas (menor a 1 mm) no deberían ser tenidas en cuenta ya que no penetran en el suelo. En caso de que la lluvia sea superior a 40 mm en un día o 60 mm en tres días consecutivos, tampoco se debería de tener en cuenta la lluvia que supere la anterior cantidad ya que parte se perderá por escorrentía y otra a capas profundas de la tierra (percolación). A la precipitación que cumpla con los requisitos anteriores, la denominaremos precipitación útil (Pu).

La zona de influencia del sistema radicular se podría considerar que alcanza la correspondiente proyección en el suelo de la copa de la planta y aproximadamente un 25% más. De esta forma, para calcular la precipitación efectiva aplicaremos un factor de corrección dado por:

$$F_{pef} = \frac{1,25 \times \%AS}{100}$$

Con un valor máximo de 0,80

Conocida la precipitación útil, Pu, se considerará la precipitación efectiva (Pef) a:

$$P_{ef} = P_u \times F_{pef}$$

NECESIDADES DE RIEGO REALES, Nriego.

Las necesidades de riego brutas se pueden calcular como:

$$N_{rb} = (E_{To} \times K_{ci}) - P_{ef}$$

Las anteriores necesidades pueden verse incrementadas por tres factores principalmente.

a) En suelos de textura gruesa o arenosa, las pérdidas por percolación pueden suponer un 10 a un 15%. En suelos de textura fina o arcillosos, las pérdidas se reducen a un 3-5%.

b) En riego localizado, cuando la CE (conductividad eléctrica) del agua sea superior a 0,8-0,9 dS/m, debería utilizarse una fracción extra de agua para poder lavar las sales. Esta fracción se conoce como fracción de lavado (RL). Podría calcularse por la ecuación:

$$RL = \frac{CE_w}{2 \times CE_{e \max}} \text{ En el caso de riego localizado y}$$

$$RL = \frac{CE_w}{5 \times CE_e - CE_w}, \text{ en el caso de riego por aspersión o microaspersión.}$$

El valor de CE_{max} para los **aguacateros** es de 6 S/m, mientras que el de CE_e se debe tomar 1,5 S/m si la CE es menor a 1,5 y de 1,3 S/m si es mayor (Maas Hoffman).

c) En todo sistema de riego existe una parte del agua que no puede ser utilizada por la planta, por lo que se podría hablar de eficiencia de la aplicación. En general, se deberá de tener en cuenta que este valor lo podemos cifrar en un 15%.

De los tres casos anteriores, se debe de tener en cuenta el mayor de ellos. Generalmente, para aguas con CE menores a 0,9 dS/m será la eficiencia de riego y para mayores CE que el valor dado debemos tomar el RL. Las ecuaciones siguientes:

$$N_{riego} = \frac{Nrb}{Ea} \times 100, \text{ siendo } Ea \text{ la eficiencia de aplicación en \%}$$

$$N_{riego} = \frac{Nrb}{(1 - RL) \times CU} \times 100, \text{ donde } CU \text{ es el coeficiente de uniformidad del sistema de riego (0,9-0,95 en goteo, 0,9-0,85 en microaspersión y 0,75 en aspersión)}$$

TABLAS DE LOS DISTINTOS FRUTALES

Cítricos.

En el caso de los cítricos, las ecuaciones utilizadas han sido:

$$PER = 4,7983 + 2,7477 \times \%AS - 0,0198 \times \%AS^2$$

Si %AS ≥ 65% se tomará que K_{c medio %AS} = 0,647

Si %AS < 65%, se hará K_{c medio %AS} = PER x 0,647/100

Tras aplicar la ecuación anterior del K_{c medio} pero ajustándolo a cada mes mediante la ecuación:

$$Kc = \frac{PER \times Kci}{100} \text{ para } (\%AS < 65)$$

Donde los K_{ci} de cada mes (para %AS ≥ 65; i = mes) se tendrían en la siguiente tabla:

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dec	Anual
0,63	0,62	0,63	0,59	0,52	0,59	0,65	0,75	0,70	0,80	0,69	0,60	0,647

Los valores obtenidos al aplicarlos a la vertiente norte (3.800 m³/ha) y sur-sureste (9.500 m³/ha) en la Isla de Tenerife son coincidentes con los obtenidos en el "Estudio sobre consumos hídricos agrícolas, evaluación de sistemas de riego y estimación de la eficiencia de los regadíos de la isla de Tenerife 2005" del Cabildo Insular de Tenerife.

En el caso de los **cítricos** se deberá tomar CE_{max} 8 S/m y CE_e de 2,3 S/m (Maas Hoffman).

Olivos.

En el caso de los olivos, las ecuaciones utilizadas han sido:

$$PER = 2,659 \times \%AS - 0,01737 \times \%AS^2 - 0,06543$$

Si %AS \geq 65% se tomará que $K_{c_{medio\%AS}} = 0,289$

Si %AS < 65%, se hará $K_{c_{medio\%AS}} = PER \times 0,289/100$

Tras aplicar la ecuación anterior del $K_{c_{medio}}$ pero ajustándolo a cada mes mediante la ecuación:

$$K_c = \frac{PER \times K_{ci}}{100} \quad \text{para } (\%AS < 65)$$

Donde los K_{ci} de cada mes (para %AS \geq 65; i = mes) se tendrían en la siguiente tabla:

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dec	Anual
0,21	0,28	0,28	0,28	0,42	0,455	0,455	0,455	0,21	0,105	0,105	0,21	0,289

En el caso de los **olivos** se deberá tomar CE_{max} 14 S/m y CE_e de 3,8 S/m (Maas Hoffman).

Bibliografía:

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. (2006), **Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimiento de agua de los cultivos**. Estudio FAO Riego y Drenaje 56, 299 p.
- Castel J.R. (2005). **Evapotranspiración, Balance de energía y coeficiente de cultivo de plantaciones de cítrico en Valencia**. Ministerio de Educación y Ciencia, INIA, Madrid, ESP, 9 p.
- Ferrer P.J. (2000). **Consideraciones en torno al manejo de instalaciones de riego localizado en cítricos**. Revista Comunidad Valenciana Agraria nº 15: 12-21p
- Hernández Abreu J.M y Perez Regalado A., 1974. **Consideraciones sobre las necesidades del riego en aguacate en las Islas Canarias**. Revista Agropecuaria nº 512: 53-55
- Hofsi R y Hofsi S, 2006-2007. **Irrigation Scheduling Calculator**. www.avocadosource.com
- Maas EV., Hoffman GJ. (1977). **Crop salt tolerance: Current assessment**. J Irrig Drain E-ASCE 103: 115-134
- Mateos L. (1992). **VI Curso Internacional de Riego Localizado. Programación del Riego por Goteo**. Ed. Consejería de Agricultura y Pesca del gobierno de Canarias, 20p.
- Rodríguez Sosa L. y Cáceres Hernández J.J. (2014), **Rentabilidad del cultivo del aguacate en Canarias**. Ed. Cabildo insular de Tenerife, 87 p.
- Snyder R.L., Lanini B.J., Shaw D.A., Pruitt W.O. (1989), **Using reference evapotranspiration (ET_o) and crop evapotranspiration (ET_c) for trees and vines**. Cooperative Extension University of California, Berkely, C.A., leaflet Nº 21428, 8p.