

USO DE CONTADOR VOLUMÉTRICO PARA EL MONITOREO DE RIEGO EN TOMATE BAJO MALLA ANTIÁFIDO

Evelyn Cajías Álvarez
Ing. Agr. M.Sc.

Alexis Villablanca Fadic
Ing. Agr. M.Sc.



Un aspecto de importancia como factor de apoyo a la programación de riego es contar con métodos de estimación de evapotranspiración validados a las condiciones ambientales locales. En efecto, existen numerosas expresiones de cálculo de esta variable. Sin embargo, algunos de los métodos requieren demasiados datos meteorológicos y equipos sofisticados para su determinación en campo, dificultando el uso y acceso de esta información hacia los agricultores.

En la presente cartilla se presenta la comparación entre volúmenes de riego estimados con dos métodos de evapotranspiración y el registro de volumen de agua aplicado en cultivo de tomate bajo malla antiáfido en dos predios del Valle de Azapa. El objetivo de esta evaluación consistió en identificar alguna expresión apta para las condiciones locales, que optimice el escaso recurso hídrico de la región (evitando una sobreestimación o subestimación de riego) y que la aplicación del riego sea monitoreada visualmente por el agricultor a través de contadores volumétricos.



La evapotranspiración de referencia (ET_0) se define como la suma entre la cantidad de agua que se pierde por evaporación del suelo y aquella transpirada por plantas gramíneas sin limitaciones de agua. Esta pérdida debe reponerse diariamente a través del riego, y puede ser estimada con diversos métodos como Bandeja evaporimétrica Clase A, Priestley-Taylor, Blaney-Cridle, entre otros. Las expresiones comparadas fueron las siguientes:

- **FAO Penman-Monteith (FAO PM).** Es el método más aceptado por las comunidades científicas para el cálculo de ET_0 , y requiere datos de radiación, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento. Su fórmula es la siguiente:

$$ET_0 = \frac{0,408 \times \Delta \times R_n + \gamma \cdot \frac{900}{T_m + 273} \times u_2 \times (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 \times u_2)}$$

En donde:

- ET_0 : Evapotranspiración de referencia (mm día^{-1})
- R_n : Radiación neta en la superficie del cultivo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)
- R_a : Radiación extraterrestre (mm día^{-1})
- G : Flujo de calor de suelo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)
- T : Temperatura media del aire a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$)
- u_2 : Velocidad del viento a 2 m de altura (m s^{-1})
- e_s : Presión de vapor de saturación (kPa)
- $e_s - e_a$: Déficit de presión de vapor (kPa)
- Δ : Pendiente de la curva de presión de vapor ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)
- Γ : Constante psicométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)

- **Hargreaves.** Es un método sencillo debido a que utiliza principalmente información de temperatura máxima y mínima. Su ecuación es la siguiente:

$$ET_0 = 0,0135 (t_{med} + 17,78) R_s$$

En donde:

- ET_0 : Evapotranspiración de referencia (mm/día)
- t_{med} : Temperatura media ($^{\circ}\text{C}$)
- R_s : Radiación solar incidente (mm/día)

Los datos consolidados de ET_0 se presentan en el Cuadro 1, para ello se utilizó la información registrada por la Estación Meteorológica Automática de Azapa Medio, ubicada en el km 19 del Valle de Azapa. Ambos métodos presentan valores mensuales diferentes, que pueden resultar en una sobreestimación (exceso) o subestimación de riego (ahorro de agua). Los peaks mínimo y máximo se registraron en los meses de julio y febrero con 2,99 y 6,37 mm/día , respectivamente para el método FAO PM, y julio y enero con 2,12 y 4,61 mm/día , respectivamente, para el método Hargreaves. Por lo tanto, entre ambos métodos existe una diferencia aproximada de 0,87 mm/día en las estaciones frías y de 1,76 mm/día en las estaciones cálidas.

Para cultivos protegidos, estos valores deben corregirse por el efecto de la malla antiáfida que reduce la demanda hídrica de un cultivo en un 30,3% respecto al aire libre, que equivale a un 30% de ahorro de agua.

Cuadro 1. Evapotranspiración de referencia mensual para EMA Azapa Medio.

Mes	Evapotranspiración de referencia (ET_0) (mm/día)			
	FAO Penman Monteith	Hargreaves	FAO PM bajo malla	Hargreaves bajo malla
Enero	6,30	4,61	4,39	3,21
Febrero	6,37	4,52	4,43	3,15
Marzo	5,64	4,07	3,93	2,83
Abril	4,35	3,31	3,03	2,30
Mayo	3,49	2,60	2,43	1,81
Junio	3,03	2,12	2,11	1,47
Julio	2,99	2,12	2,08	1,47
Agosto	3,39	2,50	2,36	1,74
Septiembre	4,12	3,07	2,87	2,13
Octubre	4,85	3,64	3,38	2,53
Noviembre	5,42	4,06	3,77	2,82
Diciembre	5,89	4,41	4,10	3,07

El volumen de agua se midió diariamente a través de contadores volumétricos instalados en dos predios de tomate bajo malla antiáfido, ubicados en los sectores de Sobraya (Km. 21) y Pan de Azúcar (Km. 35) del Valle de Azapa (Figura 1 y 2). La recomendación de riego se realizó a partir de la ET_0 FAO Penman Monteith, a discreción del agricultor de acuerdo a las condiciones ambientales de cada día.



Figura 1. Contador volumétrico en predio ubicado en sector Sobraya, Valle de Azapa.



Figura 2. Contador volumétrico en predio ubicado en sector Pan de Azúcar, Valle de Azapa.

Sector Sobraya

El ciclo de cultivo correspondió a la temporada 2015, con el trasplante realizado el 06 de febrero y término de cosecha a principios de diciembre. La variedad cultivada fue Naomi sobre Emperador, espaciadas a 0,52 m sobrehilera y 1,7 m entrehilera ($n= 11307$ plantas en hectárea). El suelo es de textura franca; densidad aparente de 1,42 g/cc; 2,8% de materia orgánica y 3,4 dS/m de conductividad eléctrica.

De acuerdo al Cuadro 2, el método de FAO PM recomendaba un volumen de **10913 m³ en hectárea (ha)** para la temporada, pero lo aplicado por el agricultor fue **9676 m³/ha**, implicando un ahorro de agua de un 11,3%. Por otra parte, los volúmenes de agua calculados a partir de ET_0 con el método Hargreaves resultó menor a lo aplicado por el agricultor, en orden de 8366 m³/ha, lo que podría favorecer un estrés hídrico temporal en el cultivo.

Cuadro 2. Volumen mensual de agua en cultivo de tomate bajo malla antiáfido en sector Sobraya, Valle de Azapa.

Mes	Metros cúbico (m ³ mensual/ha)		
	Agricultor	FAO PM	Hargreaves
Febrero	464	291	213
Marzo	854	809	624
Abril	1091	1101	873
Mayo	1432	1059	792
Junio	885	897	662
Julio	782	916	678
Agosto	839	1025	816
Septiembre	1064	1185	969
Octubre	959	1465	1119
Noviembre	999	1593	1191
Diciembre	307	571	427
Total	9676	10913	8366

Sector Pan de Azúcar

El ciclo de cultivo de tomate correspondió desde fines de diciembre 2014 a noviembre de 2015. La variedad cultivada fue Naomi sobre Maxifort, espaciadas a 0,45 m sobrehilera y 1,8 m entrehilera (n= 12333 plantas/ha). El suelo es de textura franco arenosa; densidad aparente de 1,43 g/cc; 2,9% de materia orgánica y 6,8 dS/m de conductividad eléctrica.

De acuerdo al Cuadro 3, el volumen de riego total con FAO PM correspondió a **10837 m³/ha**, pero el volumen aplicado por el agricultor fue **7979 m³/ha**, que significa un 26,4% de ahorro de agua para la temporada. El método Hargreaves estimó 7554 m³/ha, que podría significar una condición temporal de estrés hídrico en el cultivo.

Cuadro 3. Volumen mensual de agua en cultivo de tomate bajo malla antiáfido en sector Pan de Azúcar, Valle de Azapa.

Mes	Metros cúbico agricultor (m ³ mensual/ha)		
	Agricultor	FAO PM	Hargreaves
Enero	313	335	312
Febrero	659	914	451
Marzo	922	1338	828
Abril	901	1106	879
Mayo	955	932	693
Junio	868	789	579
Julio	827	849	593
Agosto	521	1069	714
Septiembre	605	1305	848
Octubre	834	1281	979
Noviembre	572	921	679
Total	7979	10837	7554

El rendimiento por hectárea (Cuadro 4) considera una pérdida de un 10% por frutos pequeños, deformaciones, plagas y enfermedades.

Cuadro 4. Rendimiento de tomate bajo malla antiáfido en dos predios del Valle de Azapa.

Sector	Rendimiento (ton/ha)
Sobraya	283
Pan de Azúcar	278

Consideraciones finales

Para las condiciones ambientales del Valle de Azapa, se recomienda el uso de ET_o calculado mediante FAO Penman Monteith, que permite un ahorro de agua entre un 11 y 26% en la temporada.

Las diferencias mensuales entre los volúmenes de agua en ambos predios están dadas por la densidad de plantas, estado fenológico de acuerdo a época de trasplante, fracción de lavado a partir de la conductividad eléctrica del agua y clase textural del suelo.

El uso de contador volumétrico en las estaciones de riego permiten un monitoreo preciso acerca de la cantidad de agua que ingresa al cultivo, e identificar disminuciones de presión por falta de limpieza de filtros. Se recomienda su instalación y registro de caudales en forma diaria.