

CI5101- Hidrología

Semestre Primavera 2021

Elaborado por Ximena Vargas y Miguel Lagos

Profesor: Pablo Mendoza
Profesores Auxiliares: Marcia Paredes y Diego Pinto
Ayudantes: Diego Herrera y Mariana Nova

Ejemplo de aplicación de Métodos de estimación de Radiación:

Mediante el método combinado determine la tasa evaporación diaria para las siguientes condiciones:

- Elevación estación: 2m
- Presión atmosférica: 101.3 kPa
- Velocidad del viento: 3 m/s
- Radiación Neta: 200 W/m²
- Temperatura del aire: 25 °C
- Humedad relativa 40%.

Método Radiativo:

El calor latente de vaporización se calcula como:

$$l_v = 2,501 \cdot 10^6 - 2370 \cdot T \left[\frac{J}{kg} \right]$$

$$l_v = 2,501 \cdot 10^6 - 2370 \cdot 25 \left[\frac{J}{kg} \right] = 2441,75 \cdot 10^3 \left[\frac{J}{Kg} \right]$$

La densidad del agua a 25°C es de 997,13 [kg/m³] (ver Tabla Anexa), de este modo y recordando que 1 J = 1 Ws:

$$E_r = \frac{Rn}{l_v \cdot \rho_w} = \frac{200}{2441,75 \cdot 10^3 \cdot 997,13} \left[\frac{Js^{-1}}{JKg^{-1}Kg \cdot m^{-3}} \right]$$

$$E_r = 8,2 \cdot 10^{-8} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Calculando la tasa sobre un área de 1 m², y llevando a mm/d

$$E_r = 8,2 \cdot 10^{-8} \cdot 10^3 \cdot 86400 \left[\frac{mm}{d} \right]$$

$$E_r = 7,08 \left[\frac{mm}{d} \right]$$

Método Aerodinámico:

La presión de vapor de saturación a la temperatura del aire está dado por:

$$e_{as} = 611 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot T}{T + 237,3}\right) = 611 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot 25}{25 + 237,3}\right) = 3168,8 \text{ [Pa]}$$

Recordando la relación de humedad relativa para la presión de vapor y presión de vapor de saturación:

$$e_a = HR \cdot e_{as} = 0,4 \cdot 3168,8 = 1267,5 \text{ [Pa]}$$

El factor B está dado por:

$$B = \frac{0,622k^2 \rho_a u_2}{P \rho_w \left[\ln\left(\frac{z_2}{z_0}\right) \right]^2} \left[\frac{m}{Pa \cdot s} \right]$$

La densidad del aire para una atmósfera estándar a 25°C corresponde a 1,18 [kg/m³], y considerando la profundidad z₀ 0,3 [mm] para la lámina de agua, luego:

$$B = \frac{0,622 \cdot 0,4^2 \cdot 1,18 \cdot 3}{101,3 \cdot 10^3 \cdot 997,13 \cdot \left[\ln\left(\frac{2}{3 \cdot 10^{-4}}\right) \right]^2} \left[\frac{m}{Pa \cdot s} \right]$$

$$B = \frac{0,352}{101 \cdot 10^6 \cdot 77,56} = 4,49 \cdot 10^{-11} \left[\frac{m}{Pa \cdot s} \right]$$

$$B = 3,879 \cdot 10^{-3} \left[\frac{mm}{Pa \cdot d} \right]$$

De esta forma la evaporación aerodinámica estará dada por:

$$E_a = B(e_{as} - e_a)$$

$$E_a = 3,873 \cdot 10^{-3} \cdot (3168,8 - 1267,5) \left[\frac{mm}{d} \right] = 7,38 \left[\frac{mm}{d} \right]$$

Método combinado

La fórmula de la constante psicométrica está dada por:

$$\gamma = \frac{C_p K_h P}{0,622 l_v K_w}$$

El calor específico del aire es 1005 [JKg⁻¹K⁻¹], la razón entre los coeficientes de difusión Kh/Kw=1, luego:

$$\gamma = \frac{1005 \cdot 101,3 \cdot 10^3}{0,622 \cdot 2441,75 \cdot 10^3} \left[\frac{JKg^{-1}K^{-1}Pa}{JKg^{-1}} \right]$$

$$\gamma = 67,03 \left[\frac{Pa}{K} \right]^1$$

El gradiente de la curva de presión de vapor está dado por:

$$\Delta = \frac{4098 e_{as}}{(237,3 + T)^2} \left[\frac{Pa}{^\circ C} \right]$$

$$\Delta = \frac{4098 \cdot 3168,8}{(237,3 + 25)^2} \left[\frac{Pa}{^\circ C} \right]$$

$$\Delta = 188,7 \left[\frac{Pa}{^\circ C} \right]$$

De este modo según el método combinado se tendrá que:

$$E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} E_r + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} E_a$$

$$\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} = \frac{118,7}{118,7 + 67,1} = 0,738$$

$$\frac{\gamma}{\Delta + \gamma} = \frac{67,1}{118,7 + 67,1} = 0,262$$

$$E = 0,738 \cdot 7,08 + 0,262 \cdot 7,38 = 7,16 \left[\frac{mm}{d} \right]$$

Método de Priestley-Taylor

$$E = \alpha \cdot \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} E_r$$

$$E = 1,3 \cdot 0,738 \cdot 7,08 = 6,79 \left[\frac{mm}{d} \right]$$

¹ Recordar que por definición el calor específico corresponde a la cantidad de calor necesario que hay que aportar a una sustancia para elevar su temperatura en 1°, en este caso variar en 1°C el calor de un cuerpo equivale a variar 1°K la misma sustancia, de modo que $\gamma = 6.703 \text{ Pa}/^\circ C$

Tabla 1: Densidad el agua a distintas temperaturas

| Temperatura °C | Densidad kg / m ³ | Temperatura °C | Densidad kg / m ³ | Temperatura °C | Densidad kg / m ³ |
|-------------------|---------------------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|---------------------------------|
| 0 (hielo) | 917,00 | 33 | 994,76 | 67 | 979,34 |
| 0 | 999,82 | 34 | 994,43 | 68 | 978,78 |
| 1 | 999,89 | 35 | 994,08 | 69 | 978,21 |
| 2 | 999,94 | 36 | 993,73 | 70 | 977,63 |
| 3 | 999,98 | 37 | 993,37 | 71 | 977,05 |
| 4 | 1000,00 | 38 | 993,00 | 72 | 976,47 |
| 5 | 1000,00 | 39 | 992,63 | 73 | 975,88 |
| 6 | 999,99 | 40 | 992,25 | 74 | 975,28 |
| 7 | 999,96 | 41 | 991,86 | 75 | 974,68 |
| 8 | 999,91 | 42 | 991,46 | 76 | 974,08 |
| 9 | 999,85 | 43 | 991,05 | 77 | 973,46 |
| 10 | 999,77 | 44 | 990,64 | 78 | 972,85 |
| 11 | 999,68 | 45 | 990,22 | 79 | 972,23 |
| 12 | 999,58 | 46 | 989,80 | 80 | 971,60 |
| 13 | 999,46 | 47 | 989,36 | 81 | 970,97 |
| 14 | 999,33 | 48 | 988,92 | 82 | 970,33 |
| 15 | 999,19 | 49 | 988,47 | 84 | 969,69 |
| 16 | 999,03 | 50 | 988,02 | 85 | 969,04 |
| 17 | 998,86 | 51 | 987,56 | 86 | 968,39 |
| 18 | 998,68 | 52 | 987,09 | 87 | 967,73 |
| 19 | 998,49 | 53 | 986,62 | 88 | 967,07 |
| 20 | 998,29 | 54 | 986,14 | 89 | 966,41 |
| 21 | 998,08 | 55 | 985,65 | 90 | 965,74 |
| 22 | 997,86 | 56 | 985,16 | 91 | 965,06 |
| 23 | 997,62 | 57 | 984,66 | 92 | 964,38 |
| 24 | 997,38 | 58 | 984,16 | 93 | 963,70 |
| 25 | 997,13 | 59 | 983,64 | 94 | 963,01 |
| 26 | 996,86 | 60 | 983,13 | 95 | 962,31 |
| 27 | 996,59 | 61 | 982,60 | 96 | 961,62 |
| 28 | 996,31 | 62 | 982,07 | 97 | 960,91 |
| 29 | 996,02 | 63 | 981,54 | 98 | 960,20 |
| 30 | 995,71 | 64 | 981,00 | 99 | 959,49 |
| 31 | 995,41 | 65 | 980,45 | 100 | 958,78 |
| 32 | 995,09 | 66 | 979,90 | | 958,05 |

Tabla 2: Densidad del aire a distintas temperaturas para una atmósfera estándar.

| Temperatura °C | Densidad ρ in $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ |
|----------------|--|
| 35 | 1.1455 |
| 30 | 1.1644 |
| 25 | 1.1839 |
| 20 | 1.2041 |
| 15 | 1.225 |
| 10 | 1.2466 |
| +5 | 1.269 |
| ± 0 | 1.2922 |
| -5 | 1.3163 |
| -10 | 1.3413 |
| -15 | 1.3673 |
| -20 | 1.3943 |
| -25 | 1.4224 |