

## EVALUACIÓN DE LA TASA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN EN HUMEDALES DE TRATAMIENTO DE LODOS

**Aguirre, Esteban Luis**

*Instituto de Química Aplicada del Litoral (IQAL, UNL-CONICET)*

*Director/a: Nocetti Emanuel*

*Codirector/a: Hadad Hernán Ricardo*

Área: Ingeniería

Palabras claves: Humedales construidos, Evapotranspiración, Penman-Monteith.

### INTRODUCCIÓN

Los humedales de tratamiento de lodos (HTL) son sistemas destinados a la deshidratación y estabilización de lodos industriales (Nielsen y Stefanakis, 2020). Estos residuos comúnmente presentan un contenido de agua superior al 90%. La reducción del contenido de agua conduce a disminuir costos de manejo y disposición final de los lodos. Las macrófitas utilizadas en los HTL desempeñan un rol fundamental debido a que favorecen la pérdida de agua por evapotranspiración (ET) y por consiguiente una reducción del volumen de lodo a disponer (Saeed et al., 2022). Por esto, el uso de una especie de macrófita con elevada tasa de ET es beneficioso para la construcción de un HTL. Si bien esta variable puede ser calculada por diversos métodos, como Penman-Monteith (Xiang et al., 2020), se ha reportado que los mismos pueden ser subestimados en HTL (Nivala et al., 2022), lo cual implica que la tasa de ET debe ser evaluada en campo.

### OBJETIVOS

- Evaluar la tasa de ET de diferentes macrófitas a fines de seleccionar la especie óptima para ser utilizada en un HTL.
- Comparar los resultados observados con los estimados por Penman-Monteith.

### METODOLOGÍA

Se construyeron HTL a escala microcosmos utilizando reactores plásticos de 6 L de capacidad. Los mismos fueron dispuestos por duplicado en un invernadero localizado en la Facultad de Ingeniería Química de la UNL. Los tratamientos evaluados fueron definidos como: sustrato + *Canna glauca* y sustrato + *Typha domingensis*.

Título del proyecto: Evaluación de macrófitas como biomonitoras de metales en humedales periurbanos del río Paraná Medio  
Instrumento: PICT  
Año convocatoria: 2020  
Organismo financiador: Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica  
Director/a: Hernán Ricardo Hadad

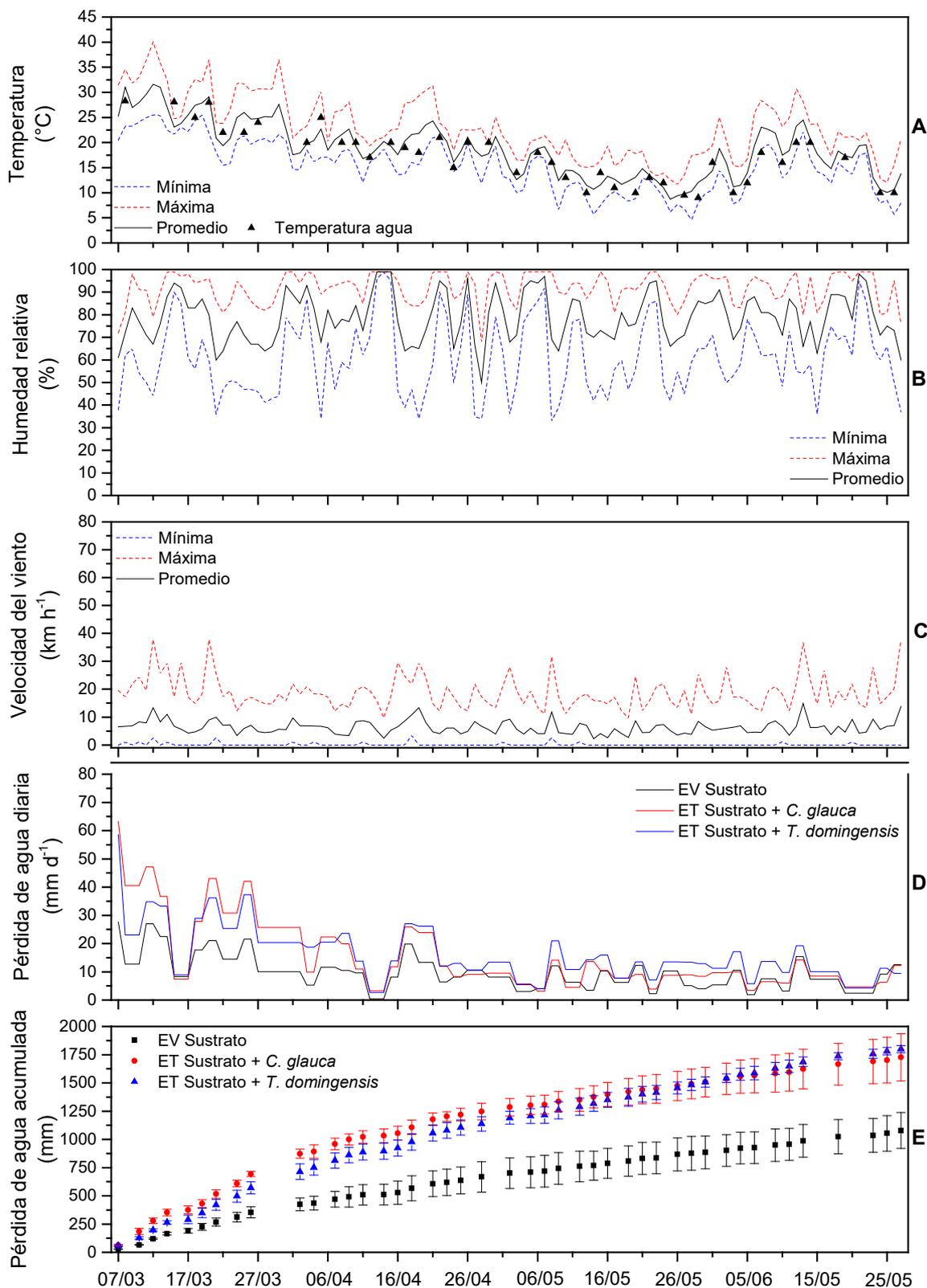
Además, se evaluó la pérdida de agua en sustrato no vegetado como control. Para todos los tratamientos el sustrato fue conformado por 5 cm de arena fina y 20 cm de canto rodado. Inicialmente se colocaron dos individuos por reactor con una altura media de 20 cm. El período de aclimatación duró 1 mes. Se llevó a cabo un monitoreo durante los meses de marzo a junio de 2024. Durante este período se estimaron las tasas de ET en cada tratamiento y evaporación (EV) en los controles. Para esto, los sustratos se mantuvieron en saturación con agua de red. Se midieron niveles iniciales y finales de pelo de agua 3 veces por semana y se calculó la diferencia de nivel para cada período. Las tasas de EV y ET se obtuvieron al dividir este valor por la cantidad de días de cada período. Se registraron variables meteorológicas como temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento, obtenidos de la estación meteorológica de la FIQ (UNL). De acuerdo a la Ecuación 1, los datos meteorológicos fueron utilizados para estimar la ET y EV por el método de Penman-Monteith.

$$\text{Pérdida de agua diaria } \left(\frac{\text{mm}}{\text{d}}\right) = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} \times R_n + E_a}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1} \quad \text{Ec. 1}$$

donde la pérdida de agua diaria hace referencia a la EV o ET,  $\Delta/\gamma$  es una relación adimensional que depende de la temperatura del aire,  $R_n$  es la radiación neta utilizada para el cambio de estado del agua, y  $E_a$  es la capacidad evaporante de la atmósfera, que depende de la velocidad del viento y del déficit higrométrico del ambiente. En el cálculo de la  $E_a$  se considera la velocidad del viento y la humedad relativa para la EV y además se introduce un factor que considera la transpiración de la vegetación para la ET. Los valores estimados de pérdida de agua fueron comparados con los observados en los tratamientos. Además, se midió la temperatura del agua de los reactores al momento de cada muestreo. Cada 15 días, se registró el número de plantas y la altura de las mismas en cada reactor. Se calculó la densidad de plantas y la tasa de crecimiento relativo (TCR) de acuerdo a Hunt (1978).

## RESULTADOS

La Figura 1 presenta las variables meteorológicas y las mediciones realizadas durante el experimento. Los valores observados de ET son comparables con los reportados por otros autores (Nivala et al., 2022; Bois et al., 2021). Para todos los tratamientos, los períodos de baja EV y ET observada coinciden con períodos de elevada humedad relativa y baja amplitud de humedad relativa y térmica (Fig. 1 A y B). Asimismo, períodos de alta EV y ET coinciden con períodos en los que se registraron menores porcentajes de humedad relativa y mayor amplitud de humedad relativa y térmica considerando períodos próximos. Los resultados observados en la Figura 1 sugieren que valores de EV y ET muestran una relación positiva con la velocidad del viento, es decir que una mayor velocidad del viento puede verse relacionada con mayores valores de EV y ET diaria (Fig. 1 C y D). A partir de los 30 días de monitoreo (06/04), la ET diaria de los tratamientos con *T. domingensis* superaron a los de *C. glauca* (Fig. 1 D). Dicha situación se mantuvo en el tiempo. En concordancia con los resultados de ET diaria, la ET acumulada observada para los tratamientos con *C. glauca* fue significativamente superior a los de *T. domingensis* hasta los primeros 30 días. Los tratamientos con *C. glauca* y *T. domingensis* no mostraron diferencia significativa en la ET acumulada al final del período evaluado (Fig. 1 E). La temperatura media del agua previo/posterior a los 30 días fue  $26 \pm 4 / 17 \pm 4$  °C. Esta diferencia de temperatura en el agua podría estar afectando la tasa de ET de las distintas especies.



**Figura 1:** Temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento, temperatura del agua, EV y ET diarias y acumuladas, registradas para cada tratamiento durante el periodo de estudio.

Tanto para las tasas de EV y ET diaria (Fig. 1 D) como acumulada (Fig. 1 E), los controles no vegetados mostraron una pérdida de agua significativamente inferior respecto a los tratamientos vegetados. Esto se debe a que, en reactores vegetados, además del proceso de evaporación se agrega el proceso de transpiración (Bois et al., 2021).

Hasta el día 45 de monitoreo (21/04), los reactores vegetados no variaron su densidad de plantas. Luego, los tratamientos con *C. glauca* duplicaron su densidad. Durante los primeros 45 días, *T. domingensis* presentó valores significativamente mayores de TCR respecto a *C. glauca*. Los días posteriores, la TCR de *C. glauca* fue mayor respecto a la de *T. domingensis*. A pesar de este incremento, los valores de tasa de ET observados en los tratamientos con *T. domingensis* fueron significativamente mayores respecto a *C. glauca*, debido a que los nuevos individuos de *C. glauca* aún no mostraban un gran desarrollo y, por lo tanto, no contribuyeron significativamente a la ET.

Los resultados de EV y ET observados fueron significativamente superiores a los calculados. Con respecto a los valores de pérdida de agua acumulados durante el experimento, la EV y ET calculada fue de 346,9 mm y 377,0 mm, respectivamente; mientras que los valores observados fueron de sustrato + *C. glauca* = 1702,3 mm, sustrato + *T. domingensis* = 1781,0 mm y control = 1053,5 mm. Esto puede deberse a que el cálculo de EV y ET por Penman-Monteith usualmente subestima los correspondientes observados en HTL. De acuerdo a Nivala et al. (2022), esto se debe a un efecto conocido como “clothesline effect” en humedales a pequeñas escalas, el cual indica que las plantas tienen una mayor influencia sobre el sistema mientras menor sea el área del humedal o mayor sea la altura de las plantas.

## CONCLUSIÓN

Los HTL vegetados presentaron mayor eficiencia en la pérdida de agua con respecto a los tratamientos no vegetados utilizados como control. Los resultados obtenidos fueron los esperados en períodos de condiciones favorables para la ET. Estos sugieren que la densidad de plantas y la TCR pueden condicionar fuertemente los valores de tasa de ET observados, aunque se necesitan más estudios para corroborarlo. Las tasas de EV y ET observadas fueron superiores a las estimadas por Penman-Monteith. *C. glauca* y *T. domingensis* demostraron ser especies apropiadas para su uso en HTL. Se requiere profundizar el análisis del efecto de la especie sobre la ET en función de la temperatura.

## BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

**Bois, P., Childers, D. L., Walaszek, M., Wanko, A.,** 2021. Plant transpiration in constructed treatment wetland: Effects on water budget and management consequences. *Journal of Environmental Management*, 295, 113132.

**Hunt, R.,** 1978. *Plant Growth Analysis*. In: *Studies in Biology* N° 96. Edward Arnold Ltd, London.

**Nielsen, S., Stefanakis, A. I.,** 2020. Sustainable Dewatering of Industrial Sludges in Sludge Treatment Reed Beds: Experiences from Pilot and Full-Scale Studies under Different Climates. *Applied Sciences*, 10, 7446.

**Nivala, J., Wallace, S., van Afferden, M., Müller, R. A.,** 2022. Evapotranspiration dynamics in aerated and non-aerated subsurface flow treatment wetlands. *Science of the Total Environment*, 843, 156605.

**Saeed, T., Majed, N., Yadav, A. K. Hasan, A., Miah, M. J.,** 2022. Constructed wetlands for drained wastewater treatment and sludge stabilization: Role of plants, microbial fuel cell and earthworm assistance. *Chemical Engineering Journal*, 430, 132907.

**Xiang, K., Li, Y., Horton, R., Feng, H.,** 2020. Similarity and difference of potential evapotranspiration and reference crop evapotranspiration – a review. *Agricultural Water Management*, 232, 106043.