

## RELACIÓN ENTRE LA EVAPORACIÓN Y LOS ELEMENTOS DEL CLIMA EN PERÍODOS DE 24 HORAS EN LA ZONA DE ALTAGRACIA, ESTADO LARA, VENEZUELA

### RELATIONS BETWEEN EVAPORATION AND CLIMATE ELEMENTS IN 24-HOUR PERIODS IN THE ALTAGRACIA ZONE, LARA STATE, VENEZUELA

Luis Majano<sup>1</sup> †  Reinaldo Pire<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Venezuela.

#### Correspondencia:

Reinaldo Pire

email: rpire@ucla.edu.ve

**Para citar este artículo.** Majano, L. & Pire, R., (2022). Relación entre

la evaporación y los elementos del clima en períodos de 24 horas en

la zona de Altagracia, estado Lara, Venezuela. *Revista de Investigación Hatun Yachay Wasi*, 1(2), 19 - 27. <https://doi.org/10.57107/hyw.v1i2.20>

#### RESUMEN

La tasa de evaporación del agua en las diferentes regiones del planeta depende de las condiciones climáticas existentes y afecta directamente las necesidades de riego de los cultivos. El objetivo fue establecer la relación de la evaporación y los elementos del clima en períodos de 24 horas en una zona agrícola de Altagracia, estado Lara, Venezuela. Se seleccionaron tres días (repeticiones) con poca o ninguna nubosidad entre los meses de octubre y noviembre, y se midió la tasa de evaporación cada dos horas durante el día. Además, se registraron datos de radiación solar, temperatura del aire y del suelo, humedad del aire y velocidad del viento. Se realizó análisis de regresión. La radiación solar presentó una baja asociación con la tasa de vaporación del agua. La temperatura fue el elemento climático, que mostró el mayor coeficiente de determinación en su vinculación con la tasa de evaporación. La velocidad del viento fue mayor en las horas diurnas. Se concluyó que la evaporación del agua en períodos de 24 h está muy vinculada con la temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento, siendo este el principal elemento del clima que propicia la alta tasa de evaporación nocturna, factor importante para considerar en la agricultura de riego.

**Palabras clave:** evaporación, clima, riego, viento

#### ABSTRACT

The rate of water evaporation in the different regions of the planet depends on the existing climatic conditions and directly affects the irrigation needs of crops. The objective was to establish the relationship between evaporation and climate elements in periods of 24 hours in an agricultural area of Altagracia, Lara state, Venezuela. Three days (repetitions) with little or no cloudiness between the months of October and November were selected, and the evaporation rate was measured every two hours during the day. In addition, data on solar radiation, air and soil temperature, air humidity and wind speed were recorded. A



regression analysis was performed. Solar radiation presented a low association with the evaporation rate was measured every two hours during the day. In addition, data on solar radiation, air and soil temperature, air humidity and wind speed were recorded. A regression analysis was performed. Solar radiation presented a low association with the rate of water vaporization. Temperature was the climatic element that showed the highest coefficient of determination in its relationship with the evaporation rate. wind speed was higher during daytime hours. It was concluded that the evaporation of water in periods of 24 hours is closely linked to air temperature, relative humidity and wind speed, this being the main element of the climate that promotes the high rate of night evaporation, an important factor to consider. in irrigated agriculture.

**Keywords:** evaporation, climate, irrigation, wind

## INTRODUCCIÓN

En las zonas áridas y semiáridas, la medición de la evaporación representa una actividad muy importante, ya que el conocimiento de las pérdidas de agua por evaporación resulta imprescindible en el planeamiento de los sistemas de riego (El Bilali et al., 2022; Martínez de Azagra et al., 2022).

La agricultura de riego requiere que los volúmenes de agua, aplicados a los cultivos estén basados en lo que se conoce como evapotranspiración de referencia, la cual es altamente dependiente de las condiciones climáticas, y, específicamente, de la tasa de evaporación de cada zona en particular (Liu et al., 2019; Poyen et al., 2016; Rezaei et al., 2016).

La cantidad de evaporación depende fundamentalmente de dos factores: disponibilidad de energía (radiación solar), y capacidad de la atmósfera de recibir humedad (función de la humedad relativa) (Didari & Ahmadi, 2019; Yihdego & Webb, 2018; Antonopoulos & Antonopoulos, 2017). De esta forma, la radiación solar es considerada el elemento activador del ciclo hidrológico, de modo que, su acción está íntimamente ligada con el proceso de evaporación de las masas de agua y la humedad contenida en los suelos. Adicionalmente, el proceso de evaporación del agua está relacionado con la temperatura del aire y velocidad del viento como elementos meteorológicos (Faramiñán et

al., 2021; Xing et al., 2016; Zhang et al., 2017), elementos que fluctúan considerablemente entre las horas diurnas y nocturnas.

Dada la importancia del conocimiento de la tasa de evaporación en períodos diurnos y nocturnos en cada zona en particular, el objetivo de este estudio fue establecer la relación entre la evaporación y los elementos del clima en períodos de 24 horas en una zona agrícola del estado Lara, Venezuela.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la finca de Viñedos Altagracia ubicada en una zona semiárida a 10°21' latitud norte y 480 m s.n.m en la localidad de Altagracia, estado Lara, Venezuela. Para ello se seleccionaron tres días (repeticiones) con poca o ninguna nubosidad entre los meses de octubre y noviembre, en los que se midió la tasa de evaporación cada dos horas durante las 24 horas del día. Simultáneamente, se registraron los datos provenientes de una estación meteorológica de primer orden ubicada en el sitio del ensayo. Los datos correspondieron a los siguientes elementos del clima:

La radiación solar fue determinada mediante un actinógrafo bimetalico, tipo Robitzsch, marca Campbell Scientific LTD. Temperatura del aire y la del suelo a 30 cm de profundidad utilizando

termómetros de mercurio. Humedad del aire, expresada como humedad relativa, empleando un psicrómetro de termómetros gemelos. Velocidad del viento medida a 0,5 y 2,5 m sobre la superficie del suelo utilizando un anemómetro de cazoletas PCE. La evaporación del agua fue medida directamente mediante un evaporímetro o tina de evaporación tipo A.

Con la información colectada se realizó análisis de regresión para determinar el efecto que cada uno de los elementos del clima producía sobre la tasa de evaporación mediante el grado de ajuste indicado por el coeficiente de determinación ( $r^2$ ).

En cada caso, se usó el promedio entre las tres mediciones del elemento climático y la cantidad de evaporación ocurrida en ese intervalo de tiempo (2 h). Se elaboraron gráficos, para representar la tendencia de los elementos del clima a partir del valor medio y su dispersión durante las 24 h.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En días despejados, la máxima radiación solar se obtuvo hacia las 12, y hubo luego cierto descenso hacia las 14 h producto de una ligera nubosidad que se presentó en ese período (Fig. 1). En general, se observó un aumento progresivo desde las primeras horas de la mañana hasta alcanzar su máximo a las horas del mediodía para luego disminuir paulatinamente, debido al movimiento relativo del sol durante el día.

Se encontró que, en períodos de 24 h, la radiación solar presentó una baja asociación con la tasa de vaporación del agua (Ecuación 1), debido a que entre todos los análisis de regresión realizados fue el elemento del clima con el menor coeficiente de determinación ( $r^2$ ), el cual estuvo representado por la ecuación de Evaporación:

$$0,486 + 0,803 * \text{Radiación} \quad (r^2 = 0,580) \quad (1)$$

Aunque esta baja asociación luce contradictoria dado que la radiación solar es la principal fuente de energía disponible en la atmósfera para evaporar el agua (Heck et al., 2020), esto tiene su explicación en el hecho de que en las horas nocturnas la radiación solar era cero, pero al mismo tiempo, correspondió a un período en que existió una significativa cantidad de evaporación (Fig. 1), es decir, existió una evaporación de cierta importancia durante el período nocturno (ausencia de radiación solar), lo cual indica que otros elementos del clima participaron en el proceso.

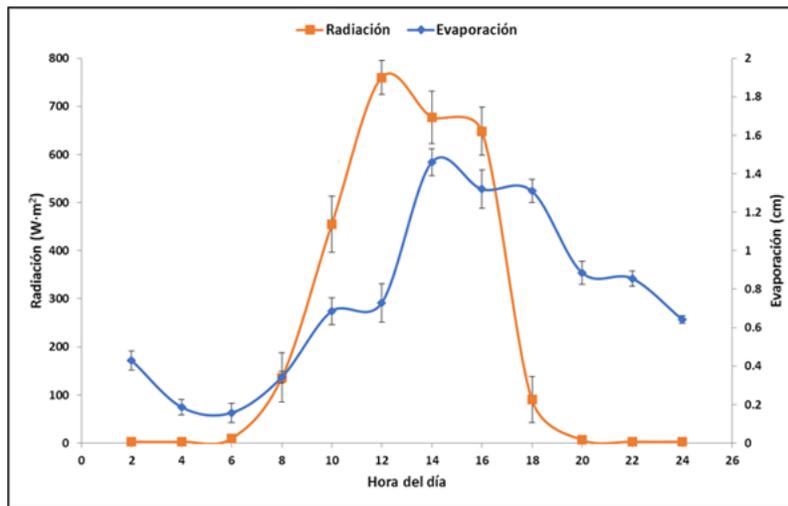
En lado derecho de esta figura, puede observarse que entre las 20 y las 24 h (desde las 8 hasta las 12 p.m.) no se registró radiación, pero la evaporación mostró tasas significativas que variaron entre aproximadamente 0,8 y 0,6 cm en intervalos de dos horas; incluso, hacia las 2:00 h aún se observó un valor de aproximadamente 4 cm de evaporación. En resumen, la evaporación total diurna promedió 5,847 mm y la nocturna 3,157 (Fig. 1). Según estas cifras, se deduce que la evaporación nocturna aportó el 35,06 % de la evaporación total en 24 h.

La tasa de evaporación guardó similitud con la radiación durante el período diurno, ya que es la radiación la que provee casi toda la energía necesaria para la ocurrencia del proceso (Zhang et al., 2017). La evaporación mostró sus mayores valores a partir de las horas del mediodía, pero cuyo pico estuvo ligeramente desplazado (hacia las 14:00 h) con relación al pico de radiación solar, lo cual también ha sido observado por otros autores (Han et al., 2020; Aminzadeh et al., 2018).

Este desplazamiento se atribuye a la energía adicional que aportan las altas temperaturas del aire que ocurrieron en horas de la tarde (Liu et al., 2021).

**FIGURA 1**

Evolución diaria de la radiación solar y la tasa de evaporación en períodos de 24 h en Altagracia, estado Lara, Venezuela



La máxima temperatura del aire ( $T_{\text{aire}}$ ) se produjo al inicio de la tarde, con una fluctuación diurna que mostró un aumento gradual en horas de la mañana y disminución durante la tarde (Fig. 2).

La temperatura fue el elemento climático que mostró el mayor coeficiente de determinación en su vinculación con la tasa de evaporación y estuvo representada por la ecuación 2 de Evaporación:

$$-2,147 + 0,111 \cdot T_{\text{aire}} \quad (r^2 = 0,919) \quad (2)$$

A mayor temperatura del aire mayor es la cantidad de energía calórica que éste puede acumular, lo que a su vez puede propiciar un incremento en la tasa de evaporación (Helm et al., 2016; Yang & Roderick, 2019).

En contraste, la temperatura del suelo ( $T_{\text{suelo}}$ ) no presentó alta poca asociación con la tasa de evaporación (Ecuación 3). Esta temperatura fue medida a los 30 cm de profundidad en el suelo en donde las variaciones son pequeñas porque la transmisión de calor a través del perfil del suelo retrasa mucho el aumento de la temperatura a esa profundidad (Zhang et al., 2021), y en períodos de 24

h sólo se presentaron fluctuaciones ligeras (Fig. 2).

La evaporación, en cambio, tuvo variaciones notorias en ese mismo período de tiempo por lo que su asociación con la temperatura del suelo fue sólo moderada, representada por la siguiente ecuación de regresión:

$$-12,35 + 0,539 \cdot T_{\text{suelo}} \quad (r^2 = 0,697) \quad (3)$$

Se observó que la temperatura media diaria del aire se aproximó al valor obtenido al promediar los valores de 8:00 y 10:00, por lo que la temperatura media de una zona equivaldría aproximadamente a la que ocurre a las 9:00, hora astronómica.

La evolución de la humedad relativa mostró una tendencia opuesta a la temperatura del aire (Fig. 2), destacando sus menores valores entre las 14 y 18 h. Según esta tendencia, a menor humedad relativa, mayor fue la tasa de evaporación (Ecuación 4). Similarmente, Farhat (2018), encontró que la evaporación diaria aumentó en 80 % cuando la humedad relativa descendió a 53 %. Dado que la evaporación del agua depende fundamentalmente de la energía disponible y del espacio en el aire para

captar el vapor de agua, tiene sentido que una baja humedad facilite el proceso de evaporación (Jin et al., 2022).

Como se observa, esta ecuación también muestra un alto valor de  $r^2$ , denotando que la relación entre ambas variables fue muy estrecha.

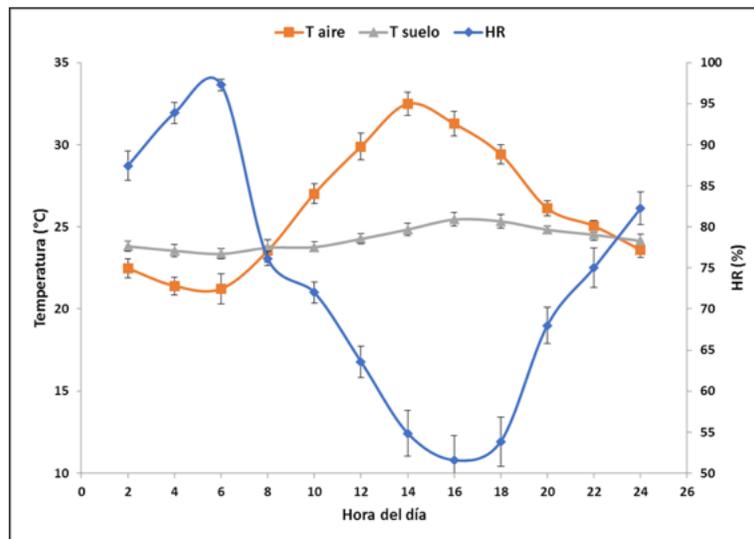
El carácter inverso de esta relación se demuestra por el signo negativo que presentó este elemento del clima en la siguiente ecuación de regresión:

Con relación al viento, éste alcanzó, en promedio a 0,5 m de altura sobre el suelo, la mayor velocidad ( $1,16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) a las 14:00 y la menor ( $0,09 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) a las 8:00 h.

$$2,688 - 0,026 \cdot \text{HR} \quad (r^2 = 0,885) \quad (4)$$

**FIGURA 2**

Evolución diaria de las temperaturas del aire (Taire) y el suelo (Tsuelo) junto a la humedad relativa (HR) en períodos de 24 horas en Altagracia, estado Lara, Venezuela



La evolución diaria del viento mostró patrones muy similares a los 0,5 y 2,5 m sobre la superficie del suelo (Fig. 3). Sin embargo, a medida que la lectura se realizó más cerca de la superficie del suelo la velocidad fue menor atribuido a la resistencia que ofrece la superficie sólida al movimiento de las masas de aire (Mahpeykar & Khalilabadi, 2021).

horas (medianoche), en las mediciones realizadas a 0,5 m del suelo. Al realizar las comparaciones con la tasa de evaporación, la medición realizada a 0,5 m fue la que presentó un mayor  $r^2$ , atribuido a la similitud en altura sobre el suelo en que se midieron ambas variables. Estas asociaciones están representadas por las ecuaciones 5 y 6.

**Evaporación:**

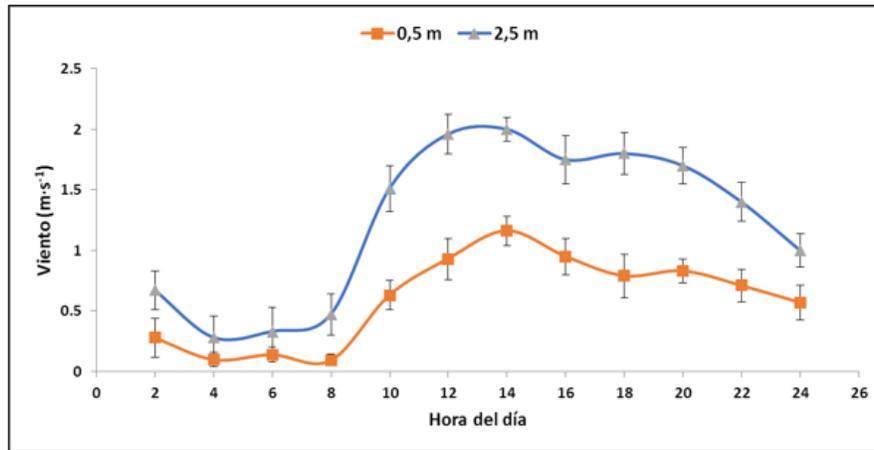
Se destaca que la velocidad fue mayor en las horas diurnas; sin embargo, en las horas nocturnas aún se registraron valores moderadamente altos, tales como  $0,85 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a las 20:00 h y  $0,55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a las 24:00

$$0,012 + 1,222 \cdot \text{Viento } 0.5 \quad (r^2 = 0,875) \quad (5)$$

$$-0,047 + 0,647 \cdot \text{Viento} \cdot 2.5 \quad (r^2 = 0,830) \quad (6)$$

**FIGURA 3**

Evolución diaria de la velocidad del viento a 0,5 y 2,5 m sobre la superficie del suelo en períodos de 24 h en Altagracia, estado Lara, Venezuela



A pesar de que la temperatura del aire fue el elemento del clima que mostró el mayor coeficiente de determinación en su vinculación con la tasa de evaporación (Ecuación 2), se ha mostrado en estudios de larga duración que esta vinculación disminuye a medida que es menor la velocidad del viento (Stephens et al., 2018). Así mismo, Yan et al. (2019) encontró que una reducción significativa en la radiación solar era el factor principal en la disminución de la evaporación, mientras que la disminución de la velocidad del viento era el segundo factor en importancia, lo que indica que después de la radiación el viento es el elemento de mayor relevancia, ya que renueva el aire saturado que está próximo a la superficie de evaporación. Esto realza la importancia del viento en el proceso de evaporación del agua.

En los periodos en que la radiación solar disminuye o es nula como en el caso de las horas nocturnas, es el calor sensible intercambiado con la atmósfera el que aporta energía para el proceso de evaporación (Liu et al., 2021). Puesto que este intercambio es propiciado por el viento, se deduce entonces que la incidencia del viento nocturno no sólo influye al renovar el aire saturado, sino que aporta energía para que ocurra la evaporación.

Lo expuesto anteriormente significa que, por una parte, el viento tiene la capacidad de reducir el espesor de la capa límite o capa de aire quieto que existe sobre la superficie de los cuerpos con lo que se favorece la tasa de evaporación y, dentro de ciertos límites, ésta será mayor a medida que aumenta la velocidad del viento (Mahpeykar & Khalilabadi, 2021); por otra parte, el viento aporta energía al proceso de evaporación en virtud de su contenido calórico.

El hecho de que el viento a 0,5 m sobre el suelo mostró una alta asociación con la tasa de evaporación (Ecuación 5) y que existió una moderada incidencia del viento en horas nocturnas, período cuando no existía radiación solar, permite sugerir que el viento nocturno es el principal elemento del clima que condiciona tasa de evaporación nocturna del agua en las condiciones semiáridas de la localidad de Altagracia en el estado Lara, Venezuela.

La alta evaporación nocturna es un factor importante a considerar en la agricultura de riego, y en muchos casos puede obligar al productor a aplicar riegos al final de la tarde y no al inicio de la mañana para evitar un eventual estrés hídrico de sus cultivos en horas de la noche.

Es decir, en las zonas áridas y semiáridas donde la evaporación nocturna alcanza valores altos, el agricultor debe decidir sobre cual es el mejor momento del día para el riego de sus cultivos.

Por otra parte, el análisis de regresión indica que, en la localidad mencionada, la tasa de evaporación varió según las horas del día y exhibió una relación directa con la temperatura y la velocidad del viento, y relación inversa con la humedad del aire. Asimismo, la evaporación estuvo vinculada directamente con la radiación solar durante las horas diurnas, pero no en el período de 24 h. Resultados similares fueron reportados por Gundalia & Dholakia (2013), quienes señalaron que la evaporación varió de forma directa con la radiación solar y la temperatura, y de forma inversa con la humedad relativa. En este estudio, la mayor tasa de evaporación ocurrió al mediodía y primeras horas de la tarde cuando la radiación, temperatura y viento fueron máximos, y la humedad del aire mínima.

### CONCLUSIONES

- La evaporación del agua en períodos de 24 horas está muy relacionada con la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento.
- El viento nocturno, con moderada velocidad, es el principal elemento del clima que propicia la alta tasa de evaporación nocturna, que se produce en la localidad en la época considerada.
- La alta evaporación nocturna es un factor importante para considerar en la agricultura de riego, debido a que el productor debe aplicar riegos al final de la tarde y no al inicio de la mañana para evitar el estrés hídrico de sus cultivos en horas de la noche.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aminzadeh, M., Lehmann, P., & Or, D. (2018). Evaporation suppression and energy balance of water reservoirs covered with self-assembling

floating elements. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22 (7), 4015 - 4032. <https://doi.org/10.5194/hess-22-4015-2018>

Antonopoulos, V., & Antonopoulos, A. (2017). Daily reference evapotranspiration estimates by artificial neural networks technique and empirical equations using limited input climate variables. *Computers and Electronics in Agriculture*, 132, 86 - 96. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.11.011>

Didari, S., & Ahmadi, S. (2019). Calibration and evaluation of the FAO56-Penman-Monteith, FAO24-radiation, and Priestly-Taylor reference evapotranspiration models using the spatially measured solar radiation across a large arid and semi-arid area in southern Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 136 (1), 441 - 455. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2497-2>

El Bilali, A., Taghi, Y., Briouel, O., Taleb, A., & Brouziyne, Y. (2022). A framework based on high-resolution imagery datasets and MCS for forecasting evaporation loss from small reservoirs in groundwater-based agriculture. *Agricultural Water Management*, 262, 107434. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107434>

Faramiñán, A., Carmona, F., Rivas, R., Degano, M., & Olivera-Rodríguez, P. (2021). Monitoreo de la evapotranspiración real horaria por medio del balance energético y un lisímetro de pesada. *Boletín Geológico y Minero*, 132 (1 - 2), 47 - 56. DOI: 10.21701/bolgeomin.132.1-2.005

Farhat, N. (2018). Effect of relative humidity on evaporation rates in Nabatieh region. *Lebanese Science Journal*, 19 (1), 59. <http://dx.doi.org/10.22453/LSJ-019.1.059-066>

Gundalia, M., & Dholakia, M. (2013). Estimation of pan evaporation using mean air temperature

- and radiation for monsoon season in Junagadh region. *International Journal of Engineering Research and Application*, 3 (6), 64 - 70. [https://www.ijera.com/papers/Vol3\\_issue6/K366470.pdf](https://www.ijera.com/papers/Vol3_issue6/K366470.pdf)
- Han, K., Shi, K., & Yan, X. (2020). Evaporation loss and energy balance of agricultural reservoirs covered with counterweighted spheres in arid region. *Agricultural Water Management*, 238, 106227. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106227>
- Heck, K., Coltman, E., Schneider, J., & Helmig, R. (2020). Influence of radiation on evaporation rates: a numerical analysis. *Water Resources Research*, 56 (10), e2020WR027332. DOI:10.1029/2020WR027332
- Helm, P., Stirling, R., & Glendinning, S. (2016). The implications of using estimated solar radiation on the derivation of potential evapotranspiration and soil moisture deficit within an embankment. *Procedia engineering*, 143, 697 - 707. DOI:10.1016/j.proeng.2016.06.105
- Jin, Y., Wang, D., Feng, Y., Wu, J., Cui, W., He, X., Chen, A., & Zeng, Z. (2022). Decreasing relative humidity dominates a reversal of decreasing pan evaporation in mainland China after 1989. *Journal of Hydrology*, 608, 127641. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127641>
- Liu, Y., Chen, J., & Pan, T. (2019). Analysis of changes in reference evapotranspiration, pan evaporation, and actual evapotranspiration and their influencing factors in the North China Plain during 1998-2005. *Earth and Space Science*, 6 (8), 1366 - 1377. DOI:10.1029/2019EA000626
- Liu, L., Zhang, K., Liu, H., Zhang, S., & Mi, M. (2021). Experimental study on the interfacial heat transfer of sessile droplet evaporation using temperature-sensitive paint. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 128, 110436. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2021.110436>
- Mahpeykar, O., & Khalilabadi, M. (2021). Numerical modelling the effect of wind on Water Level and Evaporation Rate in the Persian Gulf. *International Journal of Coastal and Offshore Engineering*, 5 (1), 47 - 53. [https://ijcoe.org/browse.php?a\\_id=253&sid=1&slc\\_lang=fa](https://ijcoe.org/browse.php?a_id=253&sid=1&slc_lang=fa)
- Martínez de Azagra, A., Del Río, J., Reque, J., Diez, J., & Sanz, F. (2022). Methods for Watering Seedlings in Arid Zones. *Forests*, 13 (2), 351. <https://doi.org/10.3390/f13020351>
- Poyen, E., Ghosh, A., & PalashKundu, P. (2016). Review on different evapotranspiration empirical equations. *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science*, 2(3), 239382. <https://www.neliti.com/publications/239382/review-on-different-evapotranspiration-empirical-equations>
- Rezaei, M., Valipour, M., & Valipour, M. (2016). Modelling evapotranspiration to increase the accuracy of the estimations based on the climatic parameters. *Water Conservation Science and Engineering*, 1 (3), 197 - 207. <https://link.springer.com/article/10.1007/s41101-016-0013-z>
- Stephens, C., McVicar, T., Johnson, F., & Marshall, L. (2018). Revisiting pan evaporation trends in Australia a decade on. *Geophysical Research Letters*, 45 (20), 11 - 164. DOI:10.1029/2018GL079332
- Xing, W., Wang, W., Shao, Q., Yu, Z., Yang, T., & Fu, J. (2016). Periodic fluctuation of reference

evapotranspiration during the past five decades: Does Evaporation Paradox really exist in China? *Scientific Reports*, 6 (1), 1 - 12. DOI: 10.1038/srep39503.

Yan, Z., Wang, S., Ma, D., Liu, B., Lin, H., & Li, S. (2019). Meteorological factors affecting pan evaporation in the Haihe River Basin, China. *Water*, 11 (2), 317. <https://doi.org/10.3390/w11020317>

Yang, Y., & Roderick, M. (2019). Radiation, surface temperature and evaporation over wet surfaces. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 145 (720), 1118 - 1129. <https://doi.org/10.1002/qj.3481>

Yihdego, Y., & Webb, J. (2018). Comparison of evaporation rate on open water bodies: energy balance estimate versus measured pan. *Journal of Water and Climate Change*, 9 (1), 101 - 111. <https://doi.org/10.2166/wcc.2017.139>

Zhang, H., Yuan, N., Ma, Z., & Huang, Y. (2021). Understanding the soil temperature variability at different depths: Effects of surface air temperature, snow cover, and the soil memory. *Advances in Atmospheric Sciences*, 38 (3), 493 - 503. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00376-020-0074-y>

Zhang, Y., Chiew, F., Peña, J., Sun, F., Li, H., & Leuning, R. (2017). Global variation of transpiration and soil evaporation and the role of their major climate drivers. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122 (13), 6868 - 6881. <https://doi.org/10.1002/2017JD027025>