

AVANCE DE INVESTIGACIÓN

ANÁLISIS DE ONDELETAS CRUZADAS DURANTE UN EVENTO DE PRECIPITACIÓN INTENSA SOBRE EL OBSERVATORIO DE HUANCAYO

José Luis Flores-Rojas¹, Wagner Leite dos Santos² y Hugo Abi Karam²

RESUMEN

El objetivo del presente avance de investigación es realizar el análisis espectral de ondeletas cruzadas (TOX) entre la serie temporal de precipitación comparada con las series temporales de humedad específica, temperatura superficial del aire e intensidad del viento horizontal antes, durante y después del evento de precipitación intensa ocurrido sobre el observatorio de Huancayo (OHY) el día 6 de octubre de 2019 a las 15:00 hora local. Este evento registró un máximo de precipitación acumulada horaria igual a 6.2 mm h^{-1} . Los resultados del TOX muestran que existe una similitud entre los patrones de periodicidad de todas las series temporales analizadas con un valor mínimo de 0.3 horas (18 minutos) y una periodicidad máxima de 6 horas para la humedad específica y la temperatura del aire y de 8 horas para la intensidad del viento horizontal. En relación a los desfases o retardos temporales, los resultados muestran un desfase mínimo de 180° (9 minutos) y máximo de 90° (1.5 horas) para la humedad específica, mínimo de 180° (9 minutos) y máximo de 230° (3.8 horas) para la temperatura superficial del aire y mínimo de 270° (14 minutos) y máximo de 45° (1 hora) para la intensidad del viento horizontal. Estas diferencias ponen en evidencia el hecho de que los máximos de estas variables ocurren en momentos diferentes dentro de su ciclo diurno y, por lo tanto, tienen un desfase diferente en relación al momento de la ocurrencia de la máxima intensidad de precipitación.

Palabras clave: *Ondeletas, análisis espectral, desfase, ciclo diurno.*

AFILIACIÓN:

1. Instituto Geofísico del Perú (IGP), Lima, Perú
2. Instituto de Geociencias, Universidad Federal de Rio de Janeiro, Brasil

Citar como: Flores-Rojas, J. L., Leite dos Santos, W., Abi Karam, H. (2021). Análisis de ondeletas cruzadas durante un evento de precipitación intensa sobre el observatorio de Huancayo. *Boletín científico EL Niño*, Instituto Geofísico del Perú, Vol. 8 n.º 06, págs. 15-21.

INTRODUCCIÓN

Diversas investigaciones, enfocadas en el análisis de series temporales de ciertas variables, durante eventos meteorológicos asociados a la convección atmosférica, han utilizado metodologías que permiten la identificación de tendencias (de aumento o disminución) en la precipitación. Desvíos en las tendencias lineales pueden indicar no-estacionalidad en las series temporales que pueden estar asociadas tanto a la variabilidad propia de los datos como a las fluctuaciones climáticas en el periodo de tiempo analizado. La técnica espectral de ondeletas continua (TOC) permite la identificación y cuantificación de la variabilidad de series temporales mediante la descomposición en el dominio del tiempo y de las frecuencias de la señal, permitiendo la identificación de periodicidades intermitentes (Torrence and Compo, 1998; Grinsted et al., 2004). Más aún, cuando se analizan dos series temporales, la técnica espectral de ondeletas cruzadas (TOX) permite la identificación de potencias comunes de ondeletas cruzadas, de la fase relativa y del cambio de fase en el dominio del tiempo y la frecuencia, respectivamente. Por lo tanto, TOX es de gran importancia para explorar periodicidades comunes en dos series de tiempo de variables meteorológicas asociadas a la ocurrencia de precipitaciones intensas (Tomás et al., 2020; Onderka and Chudoba, 2018).

En este contexto, el objetivo del presente trabajo es realizar un análisis de la TOX a las series temporales de precipitación, temperatura del aire, humedad específica e intensidad del viento horizontal, antes, durante y después del evento de precipitación intensa ocurrido sobre el observatorio de Huancayo (OHY) el día 6 de octubre de 2019 a las 15:00 hora local.

Este estudio permitirá mejorar el entendimiento de las escalas temporales dominantes entre los flujos de calor y humedad específica del aire que puedan estar asociados al proceso de formación de lluvias intensas en los Andes centrales.

DESARROLLO

Para el presente estudio se utilizaron datos de precipitación obtenidos por el pluviómetro Campbell modelo TE525-L, el cual tiene un colector de 15.4 cm de diámetro y se encuentra configurado con una resolución temporal de un minuto y una precisión igual a 0.254 mm por minuto. También se utilizaron las mediciones de temperatura y humedad relativa de los termohigrómetros de la marca Campbell (HMP60) y datos de intensidad del viento medidos por anemómetros de 3 copas de la marca Campbell (03002Wind Sentry). Todos estos sensores fueron instalados en 4 niveles diferentes (2, 6, 12, 18, 24)

de una torre de gradiente de 30 m de altura, ubicada en el OHY del Instituto Geofísico del Perú, el cual está localizado en los Andes centrales (12°S , 75.3°W).

Por otro lado, se escogió el evento de precipitación intensa ocurrido el 6 de octubre de 2019 a las 15:00 hora local sobre el OHY, con un acumulado horario igual a 6.2 mm. Tal como se observa en la Figura 1a, este evento fue el más intenso de octubre del 2019 y fue el primer evento de precipitación intensa ocurrido en la temporada lluviosa 2019-2020 (Figura 1b). El acumulado horario de precipitación excedió considerablemente la desviación estándar del valor medio de la precipitación histórica registrada durante ese mes (Figura 1b).

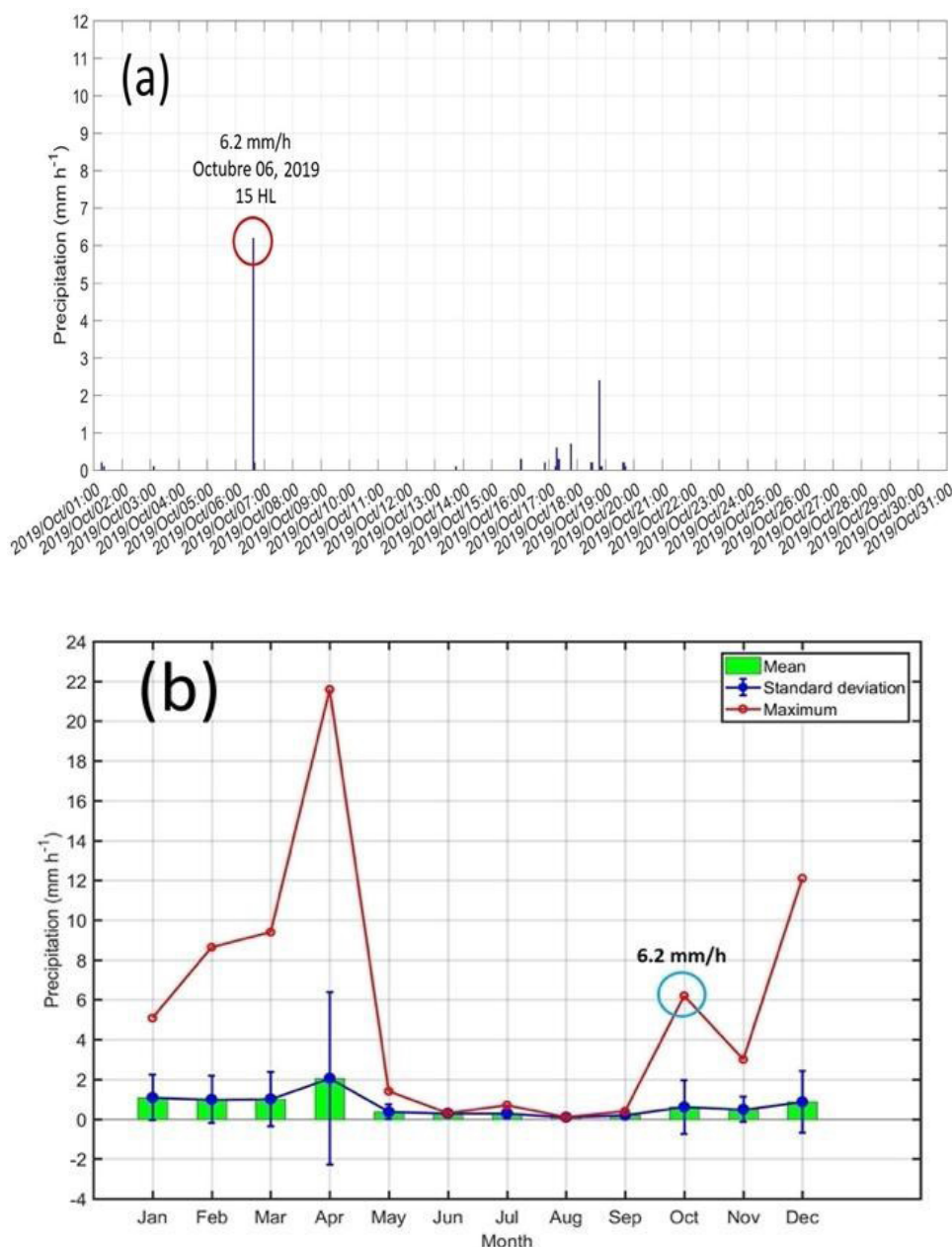


Figura 1. (a) Valores medios con desviaciones estándar y valores máximos de precipitación acumulada horaria mensual durante el año 2019 sobre el OHY. Se resalta el evento de máxima intensidad de precipitación horaria ocurrido en el mes de octubre con 6.2 mm h^{-1} . (b) Serie temporal de precipitación acumulada horaria durante el mes de octubre 2018, se resalta el evento de mayor intensidad ocurrido el 6 de octubre de 2019 a las 15:00 hora local con intensidad de 6.2 mm h^{-1} .

Para el análisis de las series temporales de las variables atmosféricas durante el evento del 6 de octubre de 2019 se utilizó la TOC, la cual descompone las series temporales en una imagen de potencias espectrales en el dominio del tiempo y de la frecuencia, donde la potencia de las ondeletas es función de ambas variables. Por lo tanto, la TOC puede ser utilizada para identificar periodicidades relevantes dentro de intervalos de tiempo definidos en una serie de datos. Para este estudio se usó la ondeleta de tipo Morlet, ya que ha sido usada en trabajos similares (Grinsted et al., 2004).

Además, la relación entre dos diferentes series temporales puede ser analizada utilizando la TOX, la cual multiplica la TOC de la serie temporal de una primera variable por la compleja conjugada de la TOC de la serie temporal de otra segunda variable. La TOX calculada a partir de las dos TOCs exhibe regiones con altos valores de potencia de ondeletas cruzadas comunes a ambas series temporales. Adicionalmente, la fase del gráfico TOX indica el retardo temporal (Δt) existente entre ambas series y puede ser calculada mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta t = \frac{\Delta \phi \times T}{2 \pi}$$

Donde T es la periodicidad o el periodo de la onda común a ambas series temporales y $\Delta \phi$ es la diferencia de fase entre las dos señales medido radianes. En el presente trabajo se realizó un análisis de la TXO aplicada a las series temporales de precipitación y las series temporales de humedad específica, temperatura del aire e intensidad del viento.

RESULTADOS

SERIES TEMPORALES DE LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS

La Figura 1a muestra la serie temporal de la precipitación del evento del día 6 de octubre de 2019, con un acumulado horario máximo igual a 6.2 mm ocurrido a las 15:00 hora local. La Figura 2 muestra la serie temporal de la temperatura superficial del aire, la humedad relativa, la humedad específica y la intensidad de viento dos días antes y dos días después del evento de precipitación intensa, el cual está resaltado por dos líneas verticales y un círculo negro que indica el inicio de la precipitación. En la figura 2a, se observa que el evento de precipitación coincide con un decaimiento significativo de la temperatura desde los 12 °C hasta 0 °C. Este gradiente térmico es mucho más intenso en comparación con otros días sin precipitación. La Figura 2b muestra la serie temporal de la humedad relativa durante el evento de precipitación intensa, donde se observa un aumento significativo de la humedad relativa desde 15 % hasta 86 % en el nivel de 29 m. Al igual que en el caso de la temperatura, este gradiente de humedad relativa es mucho más intenso si se compara con los otros días sin precipitación intensa.

Además, la Figura 2c muestra la serie temporal de la humedad específica en la cual se observa un aumento significativo desde 2 hasta los 6 g kg⁻¹ en el nivel de 29 m durante la ocurrencia del evento. Finalmente, la Figura 2d muestra la serie temporal de la intensidad del viento horizontal durante el evento de precipitación intensa, donde, al igual que en los casos anteriores, se observa un crecimiento significativo de la intensidad del viento desde 0 hasta 17 m s⁻¹ en el nivel de 29 m.

Todas las variaciones de este conjunto de variables atmosféricas se observan antes, aproximadamente entre 10 y 20 minutos, del inicio del evento de precipitación intensa.

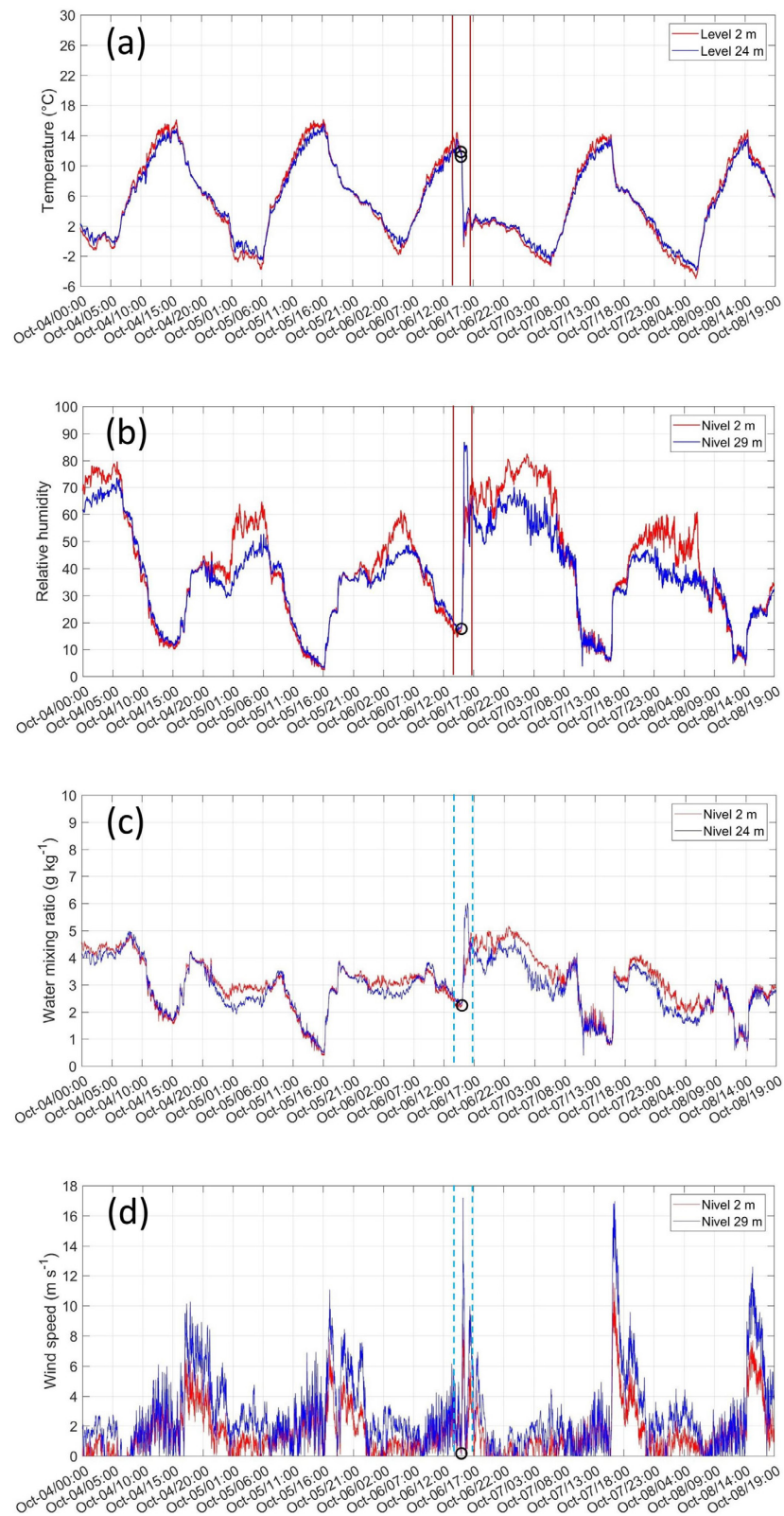


Figura 2. Series temporales de (a) temperatura en superficie (°C), (b) humedad relativa (%), (c) razón de mezcla de vapor de agua (g kg⁻¹) y (d) intensidad de viento (m s⁻¹), durante dos días antes y dos días después de la ocurrencia del evento de precipitación intensa ocurrido el 06 de octubre del 2019 a las 15:00 hora local sobre el OHY. El inicio del evento se resalta con un círculo negro y dos líneas verticales.

ESPECTRO DE POTENCIAS DE ONDELETAS CRUZADAS (TOX)

La Figura 3a muestra la evolución temporal del espectro de ondeletas cruzadas entre la serie temporal de la precipitación y la humedad específica, dos días antes y dos días después del evento de precipitación intensa del día 6 de octubre de 2019 a las 15:00 hora local. Se observan valores de coherencia estadísticamente relevantes entre ambas señales temporales con valores superiores a 0.7 y con dos intervalos de periodicidades que van desde las 0.3 horas (18 minutos) hasta las 1.20 horas (primer intervalo) y desde las 2.5 hasta las 8 horas (segundo intervalo), con un pico máximo cercano a las 6 horas.

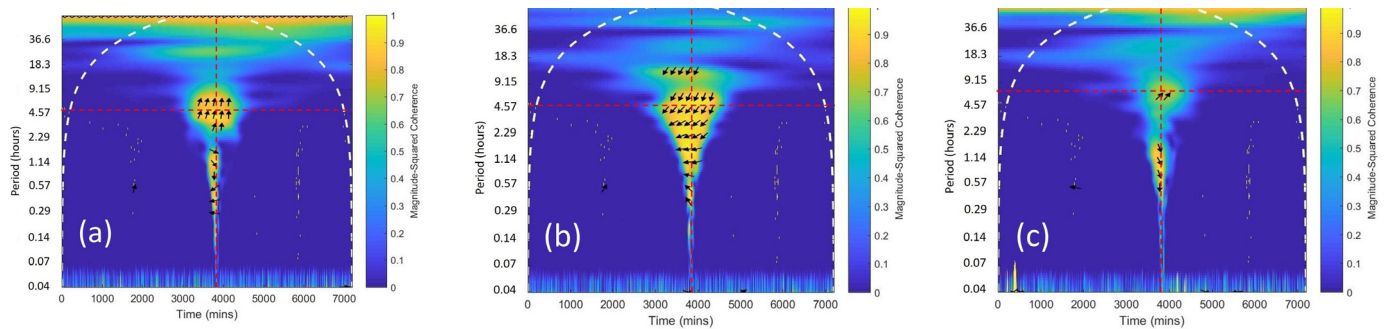


Figura 3. Evolución temporal del espectro de potencia de ondeletas cruzadas (TOX) para las series temporales de (a) razón de mezcla de vapor de agua y precipitación en superficie; (b) temperatura y precipitación en superficie; (c) intensidad del viento y precipitación en superficie, durante dos días antes y dos días después de la ocurrencia del evento de precipitación intensa ocurrido el 6 de octubre de 2019 a las 15:00 hora local sobre el OHY. La escala de colores indica la magnitud del espectro de coherencia.

El intervalo de periodos más bajos (primer intervalo) corresponde a periodicidades comunes cercanas al pico de mayor intensidad de precipitación, por el contrario, los periodos más altos (segundo intervalo) corresponden a periodicidades horarias de la serie temporal de la humedad específica. En relación al retardo temporal entre ambas señales (Δt), para el primer intervalo de periodicidades se observa un retardo entre los 180° (9 min) y los 0° (en fase) y para el segundo intervalo, el retardo es de aproximadamente 90° , lo cual indica un retardo de 1.5 horas para un periodo de 6 horas.

Además, la Figura 3b muestra la evolución temporal del espectro de ondeletas cruzadas entre la serie temporal de la precipitación y la temperatura del aire, dos días antes y dos días después del evento de precipitación intensa del día 6 de octubre de 2019 a las 1500 hora local. Al igual que en el caso anterior, se observan dos intervalos de periodicidades con coherencias estadísticamente significativas entre ambas señales. El primer intervalo abarca desde las 0.3 horas (18 minutos) hasta las 1.20 horas, y el segundo intervalo desde las 2.5 horas hasta las 8 horas con un pico máximo cercano a las 6 horas. Para el primer intervalo de periodicidades, el retardo temporal es aproximadamente igual al que se observa en el caso anterior, y se encuentra cercano a los 180° (9 min). Sin embargo, el retardo temporal para el segundo intervalo de periodicidades es diferente al caso anterior, con valores cercanos a los 230° (3.8 horas).

Finalmente, la Figura 3c muestra la evolución temporal del espectro de ondeletas cruzadas entre la serie temporal de la precipitación y la intensidad del viento horizontal, dos días antes y dos días después del evento de precipitación intensa del día 6 de octubre de 2019 a las 15:00 hora local. Al igual que en los casos anteriores, se observan dos intervalos de periodicidades con coherencias estadísticamente significativas entre ambas señales. El primer intervalo abarca desde las 0.3 horas (18 minutos) hasta la 1.2 horas, y el segundo intervalo tiene un pico máximo de intensidad alrededor de las 8 horas. Para el primer intervalo, el retardo temporal es aproximadamente igual a 270° (14 minutos). Sin embargo, el retardo temporal para el segundo intervalo es diferente a los casos anteriores, con valores cercanos a los 45° (1 hora).

CONCLUSIONES PRELIMINARES

- El análisis de la TXO entre las series temporales de precipitación y humedad específica muestra la existencia de una periodicidad común mínima de 0.3 horas (18 minutos) con un desfase de 180° (9 minutos) y una periodicidad común máxima de 6 horas con un desfase de 90° (1.5 horas).
- El análisis de la TXO entre las series temporales de precipitación y temperatura superficial del aire muestra que tienen una periodicidad común mínima de 0.3 horas (18 minutos) con un desfase de 180° (9 minutos) y una periodicidad común máxima de 6 horas con un desfase de 230° (3.8 horas).
- El análisis de la TXO entre las series temporales de precipitación e intensidad del viento horizontal muestra que tienen una periodicidad común mínima de 0.3 horas (18 minutos) con un desfase de 270° (14 minutos) y una periodicidad común máxima de 8 horas con un desfase de 45° (1.0 hora).
- A partir de estos resultados, concluimos que existe una similitud entre los patrones de periodicidad de todas las series temporales analizadas durante el evento de precipitación intensa del día 6 de octubre de 2019 a las 15:00 hora local. Sin embargo, existe una diferencia notoria en los retardos temporales de cada una de estas variables, lo cual pone en evidencia el hecho de que los picos de humedad específica, temperatura del aire e intensidad del viento horizontal ocurren en momentos diferentes dentro de su ciclo diurno y, por lo tanto, tienen un desfase diferente en relación al momento de ocurrencia de la máxima intensidad de precipitación.

REFERENCIAS

Grinsted, A., Moore, J. C., Jevrejeva, S. (2004). Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 11, pp.561-566.

Torrence, C., Compo, G. P. (1998). A Practical Guide to Wavelet Analysis, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79 (1), pp. 61-78.

Tomás, R., Pastor, J. L., Béjar-Pizarro, M., Boní, R., Ezquerro, P., Fernández-Merodo, J. A. et. al. (2020). Wavelet analysis of land subsidence time-series: Madrid Tertiary aquifer case study. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 382, pp.353-359.

Onderka, M., Chudoba, V. (2018). The Wavelets show it – the transit time of water varies in time". *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 66(3), pp. 295-302.