

INFLUENCIA DE LA OSCILACIÓN MADDEN-JULIAN EN LA LLUVIA DE LA REGIÓN SUR DE GUATEMALA DURANTE EL PERIODO DE 1980 - 2015.

Influence of the Madden-Julian Oscillation on rainfall in the Southern Region of Guatemala during the period 1980-2015.

Paris Francisco Rivera Ramos

Mtro. en Recursos Hidráulicos
paris.rivera@gmail.com

Marvin Roberto Salguero Barahona

Dr. en Gestión Integrada y Gobernabilidad
de Recursos Hídricos
marvinsal@gmail.com

Recibido: 16 de agosto de 2021. | Revisado: 15 de marzo de 2022. | Aprobado: 15 de junio de 2022.

RESUMEN

Se reportan evidencias de la presencia de la Oscilación Madden-Julian OMJ en la región sur de Guatemala, que se cuantifica en términos de intensidades diarias de precipitación. Mediante el análisis de filtros de paso bajo, espectro de ondas ecuatoriales, espectro de transformada wavelet, análisis de radiación de onda larga y simple, acumulado de lluvia relacionada con las fases de la OMJ, se demuestra que hay cierta influencia que principalmente se detecta en las fases 1 y 8 para aportes de precipitación y fase 3 y 4 con inhibición de precipitación, en la región sur de Guatemala.

Se estima que existen aportes mínimos a nivel anual que alcanzan 0.48 % de la precipitación anual en la región de boca costa y del 1.12 % en la región de costa sur. Además, se evidencia mayor cambio porcentual en los análisis de acumulados mensuales, los cuales tienen variaciones hasta un 8 % de los milímetros mensuales.

PALABRAS CLAVE

Oscilación Madden-Julian, precipitación, variabilidad, intraestacional, wavelet, filtro de paso bajo, región sur de Guatemala.

ABSTRACT

Shows the evidence of the presence of the Madden-Julian OMJ Oscillation in the southern region of Guatemala and also its quantification in terms of daily precipitation intensities. Through the analysis of low-pass filters, equatorial wave spectrum, wavelet transform spectrum, accumulated simple and long-wave radiation analysis of rain related to the phases of the OMJ, it is shown that there is some influence on precipitation, mainly detected in phases 1 and 8 for precipitation contributions and phase 3 and 4 with precipitation inhibition, in the southern region of Guatemala.

Be estimated that there are minimum contributions at the annual level that reach 0.48% of the annual precipitation in the Boca Costa region. and 1.12% in the South Coast region. But it is possible to show a greater percentage change in the monthly accumulated analyzes, which have variations in monthly rainfall accumulations of up to 8% of the monthly mm.

KEYWORDS

Madden-Julian oscillation, precipitation, variability, intra-seasonal, wavelet, low-pass filter, southern region of Guatemala.

INTRODUCCIÓN

La OMJ es una perturbación de la convección y la circulación en el viento zonal de escala planetaria que más se destaca a fines de primavera y durante el verano austral, entre el 21 de septiembre y el 21 de diciembre, se propaga hacia el este por la línea ecuatorial y atraviesa los océanos Índico y Pacífico occidental con un período aproximado de 30 a 60 días (Madden, 2009). La señal de la OMJ no es constante en todas las estaciones y en distintos años, es más intensa en el verano austral (diciembre a febrero) y en condiciones del fenómeno de El Niño y la Oscilación de Sur ENOS neutrales, y tiende a suprimirse durante episodios de El Niño y La Niña intensos (Madden, 2011). La OMJ produce una serie de impactos en la atmósfera tropical, ésta se vincula a las variaciones en las precipitaciones locales como la actividad e interrupción de los monzones asiático- australiano y africano.

El estudio realizado por Hendon y Liebman (1990) evalúa los períodos del verano 1957-87, con registros de una sola estación, que excluye las fluctuaciones sinópticas. La metodología utilizada en ese estudio es el análisis espectral de la ORL (radiación de onda larga saliente), que consiste en la descomposición de dicha onda en sus diversas componentes dentro del dominio de frecuencia. Posteriormente, Nakasawa (1998) determina que las variaciones intraestacionales en la convección tropical están relacionadas con la precipitación en distintas escalas temporales.

Se puede decir que los distintos estudios sobre la Oscilación Madden-Julian (OMJ) han encontrado influencia de ésta en la inhibición y la intensificación de la lluvia. Por otro lado, se puede decir que las latitudes medias no se escapan de su efecto, ya que se reportan evidencias en los Estados Unidos como lo mencionan Xue et al. (2002), y también en la región de latitud media del hemisferio sur como mencionan Jones & Carvalho (2002).

En la mayoría de los estudios el dominador común es el análisis de la OLR, utilizando el análisis espectral

para filtrar las diferentes temporalidades de la OMJ; asimismo, para las precipitaciones se utilizan datos de modelos globales y en ocasiones se realizan algunos índices y clasificaciones específicas como en el estudio de Torres (2012) y Solano (2015).

La metodología de análisis en común implica el filtrado por varios métodos de un conjunto de datos de precipitación global o de estaciones locales diarias. Otros estudios también determinan un índice de la radiación de onda larga (OLR) de la OMJ sobre el área de estudio con base en modelos globales, luego se comparan con los datos puntuales de las estaciones locales, principalmente para el pronóstico de la OMJ. La radiación de onda larga (OLR) es muy utilizada para el análisis y monitoreo de la Madden-Julian (MJO), y se usa para su análisis de predictibilidad. Las anomalías de OLR tienden a ser opuestas en signo a anomalías de convección tropical (que favorecen la lluvia), como la convección profunda se asocia típicamente con nubes más altas y, por lo tanto, las temperaturas de nubosidad más frías y menos emisiones de radiación de onda larga (Wheeler & Weickmann, 2001). Es por esto por lo que en los mapas de OLR los valores negativos son los que favorecen a que se presenten nubes.

En la mayoría de los estudios consultados no se compara o estima cuánto podría favorecer o desfavorecer en porcentaje, la influencia de la OMJ en la precipitación, a excepción de Poveda y otros (2002), que estiman en un 37 % la variación de la lluvia en la región Sur de América. La utilización de funciones ortogonales empíricas también es un tipo de análisis que permite encontrar la relación entre dos variables y se utiliza para algunos estudios, como en el caso de Janicot & Mounier (2004).

Torres (2012) utiliza el análisis espectral (Wavelets) para evaluar series de precipitación pentadal (acumulados de cinco días), con datos provenientes de mediciones en pluviómetros de estaciones locales en Colombia, y reporta señales que relacionan la precipitación con la OMJ entre 10-20 días, 30-40 días,

55-60 días, semestrales, interanuales e interdecadales; igualmente identifica que en la escala intraestacional de la precipitación la señal más marcada es la cercana a los 30 días, por lo que intenta relacionar directamente esta señal con la correspondiente en la serie del Índice de Madden-Julian, identificando correlaciones relativamente destacadas para algunas de las regiones analizadas.

Este método parece adecuado para detectar perturbaciones en las series de precipitación de las estaciones a utilizar en este estudio, ya que ofrecen suavizar las series y así poder identificar la OMJ. Yepes & Poveda (2013), con base en series de precipitación pentadal, provenientes de uno de los niveles de datos obtenidos por medición remota de la Tropical Rain Measurement Mission (TRMM), y con el uso de espectro de Hilbert-Huang, encuentran también una señal importante sobre los 20 días que se expresa mejor sobre la Amazonía y el Pacífico colombiano. El periodo superior a 20 días es el periodo menor encontrado para la manifestación de la OMJ, los periodos más largos pueden llegar a 90 días según los estudios consultados.

DESARROLLO DEL ESTUDIO

El estudio que se reporta es cuantitativo, de alcance explicativo y diseño no experimental. Se recolectan las series de datos a nivel diario de registros de precipitación diaria de 8 estaciones locales de periodo de 1980 al 2015, provenientes de la red de estaciones meteorológicas del INSIVUMEH, además de datos de reanálisis del NCEP/NCAR, datos de amplitud de la OMJ del Buró de metodología de Australia. Para los análisis se utiliza el software wavelet de la Universidad de Colorado de Boulder, el modelo simple de circulación Speedy del ICTP de Italia y software R.

Los acumulados de lluvia asociados a fases de la OMJ y amplitudes, se determinan con el programa Excel, la detección de la OMJ en la región sur se determina gracias al software wavelet, filtro de paso bajo usando Scilab.

Los patrones de inhibición y aporte de lluvia se calculan usando el software R y el programa Excel.

En la figura 1 se muestra la ubicación de las estaciones meteorológicas cuyos registros se utilizan.

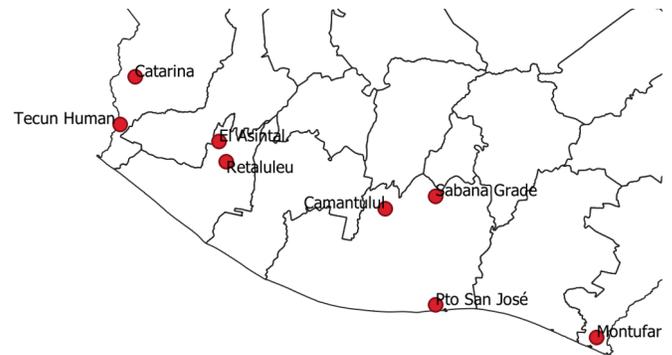


Figura 1. Estaciones de a región sur de Guatemala utilizadas para el estudio.

Luego de detectar la señal de la OMJ, se procede a realizar la cuantificación de los aportes o inhibiciones en que la OMJ influye en la precipitación. Para ello se encuentra la diferencia entre las intensidades de lluvia diaria asociadas a la amplitud alta de la OMJ (> 1.48) y las intensidades de precipitación diaria asociadas a una amplitud baja (< 0.88). Así mismo, estas diferencias están filtradas en los casos de cada una de las 8 fases de la oscilación.

Finalmente, se realiza la prueba Chi-cuadrado para evaluar la representatividad estadística de la relación entre los cambios de amplitud y los cambios de propiciación de las intensidades encontradas.

Los resultados más relevantes del estudio se presentan a continuación.

RESULTADOS OBTENIDOS

El espectrograma de potencia aplicado a las series de precipitación de las subregiones de boca costa y Pacífico indican periodos de variación de precipitación entre los 30 a 50 días, lo cual es una señal que la OMJ influye en esos cambios, como se puede observar en la figura 2, la serie tiene aplicado un filtro de paso bajo.

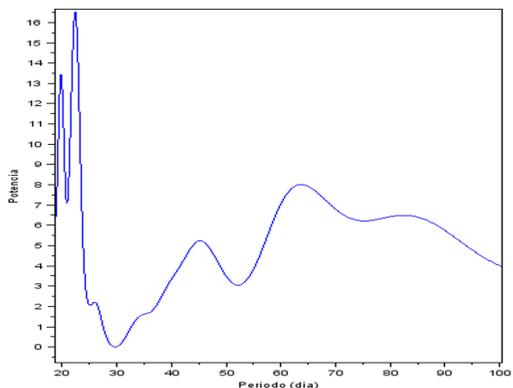


Figura 2. Espectro de potencia, del promedio de precipitación del as estaciones de la Región Sur, periodo 1980 al 2015.

El espectro de frecuencia de ondas ecuatoriales también detecta la señal de la OMJ con datos de precipitación. En este caso, en vez de utilizar los datos de estaciones se usa la salida del modelo Speedy, a una resolución espacial de 30Km cuadrados para una latitud de -15 grados sur a 15 grados norte.

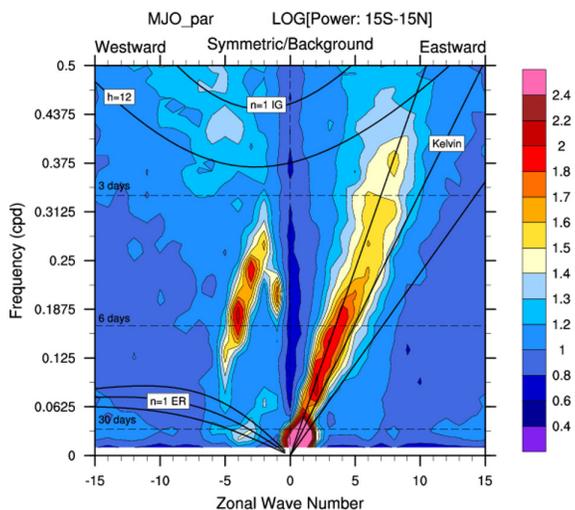


Figura 3. Espectro de frecuencia de ondas ecuatoriales de la lluvia.

En la figura 3 se puede observar en colores la potencia de las ondas ecuatoriales, se evidencia en color rosado la OMJ, la cual está asociada a un periodo de 40 a 50 días, aproximadamente.

El espectro de potencia wavelet del promedio de las estaciones locales de la región sur de Guatemala, también detecta variabilidad de la precipitación asociada a los ritmos de la OMJ. Ver figura 4 y 5.

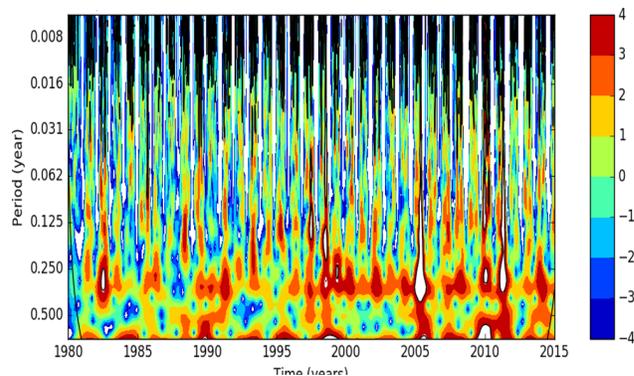


Figura 4. Espectro de potencia de la precipitación (en Logaritmo base 2).

En la figura 4 los colores rojos más notorios presentan la variabilidad estacional a un nivel de 100 días aproximadamente, los colores azules a nivel de 40 a 50 días representan la OMJ.

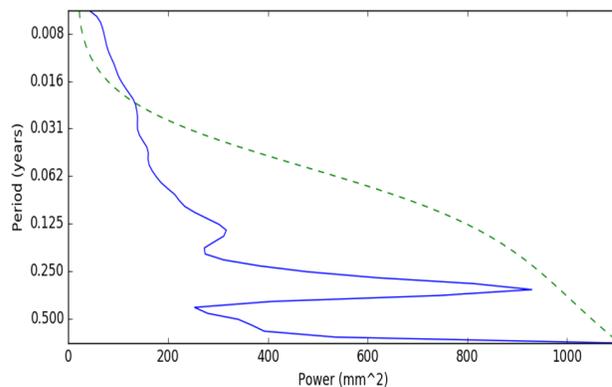


Figura 5. Espectro global de frecuencia wavelet del promedio de estación es de la Regio Sur, periodo 1981 a 2015.

En la figura 5, la línea azul es la serie de precipitación suavizada, se puede notar que hay una perturbación en los periodos asociados a la OMJ.

La línea punteada representa que lo que está por debajo de ella, tiene una representatividad estadística del 95 %.

Respecto a la cuantificación de las intensidades de lluvia asociadas a la OMJ se puede mencionar que son resultado de las diferencias entre las precipitaciones asociadas a una amplitud alta y baja de la OMJ. Los resultados en mm/día se muestran en la tabla 1, distribuidos por mes y fase de la OMJ.

Tabla 1.
Intensidades diarias de precipitación asociadas a la OMJ.

	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5	Fase 6	Fase 7	Fase 8
Enero	-1.4	-0.2	0.0	-1.5	-0.2	0.0	-0.1	0.1
Febrero	-0.1	-0.4	-1.3	-0.9	-0.1	0.4	-0.7	-0.8
Marzo	0.0	0.9	1.4	0.1	0.1	2.1	1.1	0.5
Abril	-0.7	-2.5	-1.8	-0.8	-0.8	-0.9	-0.1	3.3
Mayo	3.5	2.1	1.0	0.1	-1.9	-1.8	-0.2	2.3
Junio	2.8	1.6	-3.7	-1.5	-3.2	-2.9	-2.6	4.9
Julio	0.2	3.7	1.8	0.9	3.4	-3.3	2.7	9.4
Agosto	1.5	1.5	-2.1	-4.8	-0.7	1.7	-2.7	-0.4
Septiembre	5.8	1.5	-3.8	-2.7	-3.8	-8.8	-5.7	1.8
Octubre	-3.0	-2.5	-5.9	-1.4	0.1	-1.0	2.1	-1.3
Noviembre	4.8	1.7	1.2	-0.7	-5.2	-1.4	-0.4	0.9
Diciembre	-0.6	-0.6	-0.7	-0.5	-0.7	-0.7	0.9	1.1

Fuente: elaboración propia.

Las intensidades encontradas se pueden presentar en una distribución de las fases de la OMJ y en cada estación evaluadas. Ver figura 6.

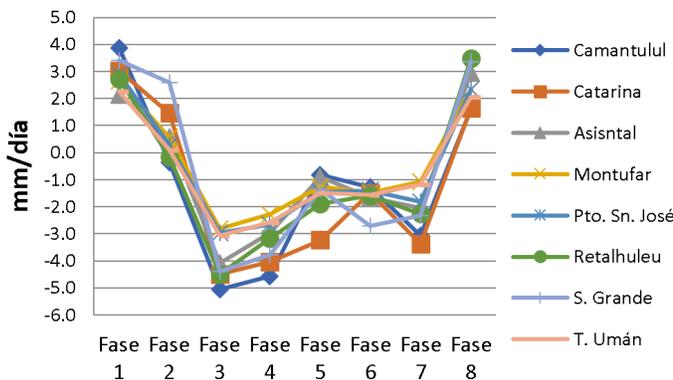


Figura 6. Intensidad de lluvia por fase de OJM.

La figura 6 muestra las distintas intensidades de lluvia en términos de anomalía, para cada estación de la región sur de Guatemala asociada en cada fase de la OMJ.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Zhang (2013), identifica fenómenos atmosféricos que se relacionan con eventos hidrometeorológicos extremos, tanto en su intensidad como en su recurrencia, lo cual coincide con Martin y Schumacher (2011), quienes encontraron que los eventos de lluvia extrema sobre las islas caribeñas muestran una fuerte relación con las fases 1 y 2 de la MJO. Coincidiendo en parte con este estudio, ya que se encontró también aportes de precipitación justamente en las fases 1 y 2.

Los periodos de variabilidad de precipitación asociada a la OMJ que se identifican en este estudio (25 a 45 días) son similares a los encontrados en el estudio realizado en Costa Rica en el 2014. El análisis espectral con filtrado de 30 días de los datos de lluvia de las estaciones de Liberia, Paquera y Coto, se reporta que, la mayor potencia está asociada a un período de 28, 31 y 29 días respectivamente en la vertiente del Pacífico de Costa Rica (Poleo et al., 2014).

Se identifica la existencia de la influencia de la OMJ en la región sur, con el uso de filtros de paso bajo, similar a Poleo et al. (2014); diagrama de ondas ecuatoriales como Matthew Wheeler & Kiladis (1999), transformada wavelet (Torrence & Compo, 1998; Torres & Pabón, 2017) y análisis de radiación de onda larga como Pohl et al. (2007) y simple acumulado de lluvia relacionada con las fases de la OMJ, demuestran que hay cierta influencia en la precipitación. Principalmente se detecta en las fases 1, 2 y 8 para aportes de precipitación y fase 3 y 4 con inhibición de precipitación. Se detecta también que la OMJ tiene un componente estacional en la variabilidad de su amplitud, es decir, la fuerza de la OMJ, la cual varía a con periodos mayores a los intraestacionales.

Los resultados de esta investigación en términos generales son similares a los encontrados en los estudios mencionados, principalmente en las fases

de aporte y en las señales de variabilidad dentro de los periodos de la OMJ. Pero es necesario realizar evaluación de la relación de la OMJ con otros forzantes climáticos como el ENOS, por lo que este es otro vacío de conocimiento interesante relacionado con la OMJ y su manifestación en Guatemala.

El estudio que se reporta indica que existen señales de variabilidad de la precipitación en la región sur de Guatemala a nivel intraestacional y esta se relacionada con la amplitud y con la fase en que se encuentre la OMJ. De esto se puede mencionar que lo más importante es el valor de amplitud, ya que es la principal condicionante de la manifestación de la oscilación. Por otro lado, relacionada a sus efectos en la precipitación, hay que considerar que estas señales deben estar acompañadas con los respectivos análisis de humedad en la atmósfera, ya que, si no hay humedad suficiente, la amplitud de la OMJ no genera ninguna influencia en la precipitación.

Respecto al cambio climático, esta oscilación podría impactar de forma más intensa en el futuro si se toman en cuenta los procesos antropogénicos locales, como el cambio de uso del suelo. Ochoa et al. (2016) plantean que se han encontrado señales de variabilidad climática en Guatemala y el cambio de uso de la tierra, principalmente en el altiplano, pero falta observar que sucede en la región sur del país bajo la influencia de la OMJ.

En la región del Pacífico se precipitan anualmente 1,266 mm anuales, promedio del año 1980 al 2015, bajo la influencia de amplitudes altas. Sin esa influencia la precipitación puede alcanzar los 1,280 mm/anuales. Representa unos 10 mm/anuales que se le quitan a la precipitación, equivalente a un 1.12% de la precipitación anual.

Respecto a las intensidades de lluvia asociadas a la OMJ, en fase 2 los aportes están en un rango de 0.0 a 2.6 mm/día. Intensidades mayores a las encontradas por Valadao et al. (2015), en donde en el noreste de Brasil encuentran intensidades en la fase 2 entre

0.9 a 1.9 mm/día. Otros estudios refieren anomalías similares de 2.5 mm/día, tal es el caso del estudio en Nueva Guinea en donde estas relaciones explican el 80 % de la precipitación asociada a la OMJ (Peatman et al., 2014). Magnitudes similares se encuentran en un estudio que aborda la relación entre la OMJ y la precipitación durante el invierno sobre Asia oriental, donde esta relación alcanza un rango de 3 a 4 mm/día (Jeong et al., 2008).

La prueba Chi-cuadrado realizada a las relaciones que se identifican, muestra una representatividad estadística de por lo menos el 95 % en los meses de julio y agosto, donde las intensidades de aporte en promedio son de 9 milímetros por día el mes de julio y una inhibición de aproximadamente 6 milímetros por día en el mes de agosto. En tal sentido estos valores representan en promedio un 4 % de aporte y un -2 % de inhibición de precipitación mensual respectivamente.

CONCLUSIONES

La influencia de la OMJ en la variabilidad intraestacional de la precipitación en la región sur es explicada a través del análisis de la precipitación de 8 estaciones locales en el periodo de 1980 al 2015. Se detecta que existe una variación dentro de los periodos intraestacionales a los periodos de la OMJ.

Se detecta un patrón de variación de lluvia dentro de los periodos de la OMJ (20-60 días) con base en el análisis de frecuencias, transformada wavelet y espectro de potencia. Los acumulados de lluvia presentan un patrón que favorece a la precipitación en la región sur de Guatemala y un patrón que inhibe la precipitación en la región sur de Guatemala.

El aporte de la OMJ a la precipitación es en la fase 1 y 2 y principalmente en la fase 8. La inhibición de precipitación se da en la fase 3 y 4 de la OMJ. Basado solamente en los acumulados de lluvia asociados a las fases de la OMJ, la primera parte de la época lluviosa es en la que más se evidencia la influencia de la OMJ en su fase 1.

Las intensidades estadísticamente que son representativas asociadas a la OMJ, se presentan en los meses de julio y agosto y en promedio representan unos 9 mm/día en la fase 8 y -5 mm/día en el mes de agosto en la fase 4; lo que en porcentaje mensual equivalen a un 4% y -2% de acumulado mensual, respectivamente.

En base en los resultados de la aplicación de la prueba Chi-cuadrado se puede afirmar que solo en algunos casos los patrones encontrados tienen significancia estadística y se puede concluir que el mes de julio es en el que más estaciones cumplen con la prueba durante la fase 8.

RECOMENDACIONES

Se requiere realizar estudios sobre la relación de la OMJ con otros forzantes climáticos como el ENOS, ya que este estudio detecta señales de variabilidad estacional e interanual las cuales podrían estar relacionadas con otros forzantes climáticos.

Otra vertiente de investigación es la aplicación de análisis similares para otras oscilaciones intraestacionales como las ondas Kelvin y las ondas de Rossby, que también podrían influir en el comportamiento de la precipitación en Guatemala, ya que está ubicada dentro de la banda tropical del mundo, se recomienda evaluar los impactos asociados de los ciclones tropicales fortalecidos por la OMJ.

También se identifican posibilidades de realizar investigaciones que evalúen la relación entre el cambio de uso de la tierra y los posibles impactos de precipitaciones extremas, asociadas a la OMJ en áreas vulnerables al cambio climático en Guatemala; así como estudios que evalúen la habilidad de los modelos de pronóstico meteorológico para predecir la precipitación asociada a la OMJ.

Finalmente, se sugiere utilizar los patrones climáticos encontrados en este estudio para investigaciones que utilicen pronósticos probabilísticos basados en series de tiempo históricas de precipitación diaria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Jeong, J. H., Kim, B. M., Ho, C. H., & Noh, Y. H. (2008). Systematic variation in wintertime precipitation in East Asia by MJO-induced extratropical vertical motion. *Journal of Climate*, 21(4), 788–801. <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1801.1>
- Ochoa, W., Rivera, P., Salguero, M., & Gonzales, B. (2016). *Uso de la tierra y variabilidad climática en la subcuenca del río Panajachel, Sololá, Guatemala*. UNICA, XII Conferencia Científica Internacional.
- Peatman, S. C., Matthews, A. J., & Stevens, D. P. (2014). Propagation of the Madden-Julian Oscillation through the Maritime Continent and scale interaction with the diurnal cycle of precipitation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 140(680), 814–825. <https://doi.org/10.1002/qj.2161>
- Pohl, B., Richard, Y., & Fauchereau, N. (2007). Influence of the Madden-Julian oscillation on southern African summer rainfall. *Journal of Climate*, 20(16), 4227–4242. <https://doi.org/10.1175/JCLI4231.1>
- Torrence, C., & Compo, G. (1998). A Practical Guide to Wavelet Analysis. *Journal of Materials Science*, 32(10), 2623–2627. <https://doi.org/10.1023/A:1018662703668>
- Torres-Pineda, C. E., & Pabón-Caicedo, J. D. (2017). Variabilidad intraestacional de la precipitación en Colombia y su relación con la oscilación de Madden-Julian. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 41(158), 79. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.380>
- Valadao, Lucio, P. S., Rosane Rodrigues, & Carvalho, L. M. V. (2015). *The influence of the madden-julian oscillation on rainfall in the seridó / rn , northeast brazil. October*.
- Wheeler, M., & Weickmann, K. M. (2001). Real-time monitoring and prediction of modes of coherent synoptic to intraseasonal tropical variability. *Monthly Weather Review*, 129(11),

2677–2694. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2001\)129<2677:RTMAPO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2001)129<2677:RTMAPO>2.0.CO;2)

Wheeler, Matthew, & Kiladis, G. N. (1999). Convectively Coupled Equatorial Waves: Analysis of Clouds and Temperature in the Wavenumber-Frequency Domain. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 56(3), 374–399. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1999\)056<0374:CCEWAO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1999)056<0374:CCEWAO>2.0.CO;2)

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES

Doctor en Cambio Climático y Sostenibilidad, Paris Francisco Rivera Ramos, Escuela de Estudios de Postgrado, Facultad de Ingeniería USAC, 2021.

Maestro en Recursos Hidráulicos opción Calidad del Agua de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2005.

Ingeniero Civil, egresado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2001. Afiliación Laboral: Universidad Mariano Gálvez.

Doctor en Gestión Integrada y Gobernabilidad de Recursos Hídricos, Marvin Roberto Salguero Barahona. Facultad de Geociencias, Universidad de Utrecht, 2009.

Maestro en Manejo Sostenible de Suelo y Agua con Especialidad en Planificación y Manejo de Recursos Hídricos en Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad San Carlos de Guatemala, 2002.

Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007

Afiliación laboral: Profesor de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, USAC.