

Impactos de la oscilación de Madden–Julian en la variabilidad de la lluvia intraestacional del Amazonas



PhD Victor C. Mayta
INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

PhD en Ciencias Atmosféricas por el Instituto de Astronomía, Geofísicas y Ciencias Atmosféricas de la Universidad de Sao Paulo – Brasil. Investigador del Departamento de Ciencias e Ingeniería del Clima y el Espacio (CLASP)- Universidad de Michigan. Investigador y colaborador del Instituto Geofísico del Perú (IGP). Profesor visitante del programa de Doctorado de Recursos Hídricos (UNALM). Tiene experiencia en Geociencias, con énfasis en Meteorología Tropical, Interacción Trópico - Extratropical y Variabilidad Climática.

INTRODUCCIÓN

La precipitación en la cuenca del Amazonas (AB) es el resultado de interacciones compleja de varios procesos dinámicos y termodinámicos a gran escala, así como de características locales, que son responsables de la distribución temporal y espacial de la precipitación (Figueroa y Nobre, 1990; Satyamurty et al., 1998).

Se sabe que en las escalas de tiempo intraestacional (IE), la Oscilación de Madden y Julian (MJO por sus siglas en inglés; Madden y Julian, 1994; Zhang, 2005) es el modo más dominante de la variabilidad en los trópicos. Esta perturbación ondulatoria tiene una propagación hacia el este de anomalías convectivas tropicales, desde el océano Índico hasta el Pacífico occidental y, posteriormente, a América del Sur y África, con un período de oscilación de entre 30 y 60 días (Kiladis y Weickmann, 1992; Hendon y Salby, 1994; Madden y Julian, 1994). Durante su travesía por la región tropical, modula la lluvia y los eventos extremos en muchos lugares del mundo (Mo y Higgins, 1998; Carvalho et al., 2004; Jones et al., 2004). Sobre América del Sur y la región amazónica, los estudios recientes (Vera et al., 2018; Mayta et al., 2019), utilizando datos diarios de radiación de onda larga (OLR) y precipitación, mostraron que la variabilidad IE exhibe una actividad significativa durante todo el año.

Desde el descubrimiento de la MJO (Madden y Julian, 1971), muchos estudios han investigado la estructura horizontal

y vertical, así como sus características de propagación, con el objetivo de monitorear y pronosticar su actividad en la región tropical. Para lograr este propósito, se han desarrollado muchos índices MJO, en los cuales el índice MJO multivariado en tiempo real (RMM, por sus siglas en inglés), que fue propuesto por Wheeler y Hendon (2004), es el que más aceptación ha tenido en la comunidad científica. Los índices MJO existentes podrían dividirse en tres tipos principales, los cuales están en función de los datos de entrada que se usan para su cálculo: 1) aquellos que están basados en la convección, que generalmente usan la variable OLR (Outgoing Long-wave Radiation) para describir la propagación de la señal de la MJO (Kiladis et al., 2014), este índice se llamará OMI de ahora en adelante; 2) los índices basados en circulación, que generalmente usan vientos en la tropósfera inferior y superior (Ventrice et al. 2013); y 3) índices MJO multivariados que combinan tanto la parte convectiva como dinámica para representar mejor el desarrollo de la MJO (Wheeler y Hendon 2004).

Sin embargo, estudios anteriores han mostrado algunas ventajas y desventajas de cada índice, esto dependiendo de sus aplicaciones (Straub 2013; Kiladis et al. 2014). Por ejemplo, el índice MJO multivariado basado en la velocidad potencial (VPM por sus siglas en inglés; Ventrice et al., 2013) muestra una correlación robusta con la actividad de los ciclones tropicales. Además, Mayta et al. (2020) encontraron que los índices MJO basados en convección son capaces de representar mejor el impacto de la MJO en la variabilidad de la precipitación IE sobre la cuenca amazónica. Por lo tanto, uno de los objetivos de

este trabajo será explorar las habilidades de los índices MJO para caracterizar los impactos de esta perturbación de gran escala en la precipitación amazónica.

DEFINICIÓN DE UN EVENTO DE PRECIPITACIÓN INTRAESTACIONAL

Un análisis de funciones ortogonales empíricas (EOF) se aplica a la matriz de correlación de las series temporales de anomalías de precipitación. Estas series temporales se filtran para obtener una banda entre 30 a 70 días (tiempo que demora una onda MJO en completar un ciclo en los trópicos). La matriz de correlación otorga un peso similar a cada punto de la región seleccionada y, por lo tanto, evita dar demasiado peso a la parte sur de la cuenca donde se sabe que la variabilidad de la lluvia es más fuerte. La serie temporal de la primera componente principal (PC1 o modo dominante) se utiliza para definir y seleccionar un evento IE, elaborar mapas compuestos y realizar un análisis estadístico.

Sin embargo, existen algunas preguntas por responder:

¿Cómo podemos monitorear la actividad de la MJO y su impacto en la precipitación? ¿Qué índice MJO representa con mayor precisión la variabilidad IE de la precipitación en la región amazónica? ¿Es necesario, quizás, un índice regional IE para fines de monitoreo?

Por lo tanto, para comparar el desarrollo de un evento IE sobre la región amazónica con la evolución de la MJO, se utilizan tres índices descritos anteriormente (RMM, VPM y OMI). Tanto los índices RMM como VPM

se derivan de un EOF multivariado de OLR y circulación, siendo fuertemente influenciado por la circulación sobre el hemisferio occidental. En contraste, el OMI es solo un índice basado en convección; por lo tanto, se espera que este índice muestre un buen desempeño en el monitoreo de la evolución convectiva del evento IE.

EVENTOS DE LLUVIA INTRAESTACIONAL EN LA CUENCA DEL AMAZONAS

El análisis EOF, aplicado a las anomalías de precipitación que se encuentran en la banda de 30 a 70 días, muestra una configuración espacial de precipitación de tipo dipolo entre el noroeste y el sureste de la Amazonía durante el verano y otoño (Figura 1a, b). En contraste, durante el invierno y la primavera, las regiones favorecidas por convección de gran escala cubren casi todo la AB (Figura 1c, d). Es importante mencionar que la variabilidad IE sobre la AB, de hecho, es parte de un patrón de gran escala en América del Sur (Fig. 2), el cual fue documentado recientemente (Vera et al., 2017; Mayta et al., 2020). También es importante mencionar que la MJO controla las fases activas e inactivas del monzón sudamericano, donde la predominancia de los vientos del norte y sur determinan el patrón dipolar sobre AB (Fig. 2).

Después de observar una gran similitud entre los patrones espaciales del primer modo (Fig. 1), calculado en el dominio regional (AB) y los globales (Fig. 2), los índices fueron usados para análisis posteriores. A partir de la serie temporal PC1, un total de 132 eventos IE fueron identificados durante el período de 30 años.

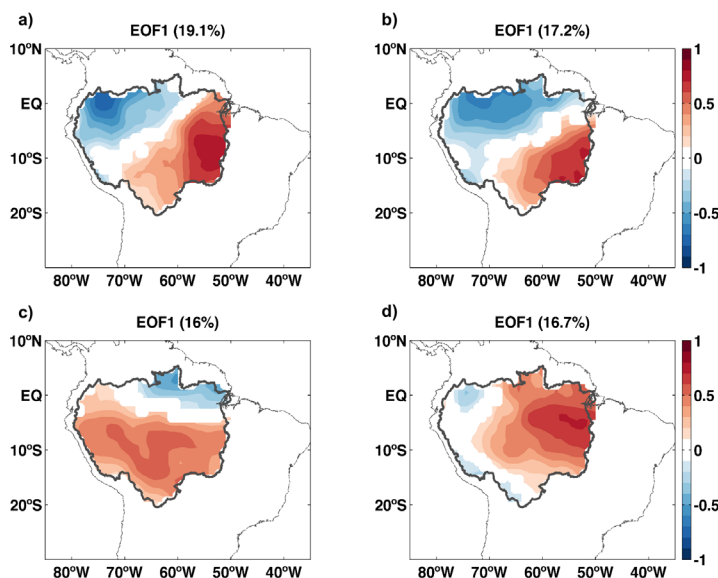


Figura 1. Patrones espaciales del primer modo EOF de lluvia diaria en el rango de periodos de 30-70 días en el periodo 1980-2009 para (a) DEF, (b) MAM, (c) JJA, (d) SON. Los mapas se muestran en forma de coeficientes de correlación entre las anomalías de lluvia filtrada y las series temporales del modo EOF correspondiente. El intervalo de contorno es 0.1. Los sombreados rojos (azules) indican una correlación positiva (negativa) que excede el nivel de significancia del 5 % (Mayta et al., 2019).

Estos eventos IE, que caracterizan la precipitación intraestacional sobre AB, mostraron inactividad (eventos por debajo de la media) durante la fase cálida del El Niño Oscilación del Sur (ENOS), o sea El Niño. Asimismo, durante la severa sequía amazónica de 2005 y 2010, asociadas a condiciones cálidas en el Atlántico tropical, se registró un déficit en el número de eventos IE.

El análisis espacial de tiempo versus longitud de la OLR filtrada y el potencial de velocidad de niveles superiores para todas las estaciones (Figura 3) muestra una señal típica de propagación hacia el este, la cual está relacionada con MJO de anomalías convectivas con divergencia superior en la región tropical. Esta propagación canónica hacia el este representa entre el 65 % y el 85 % del total de eventos

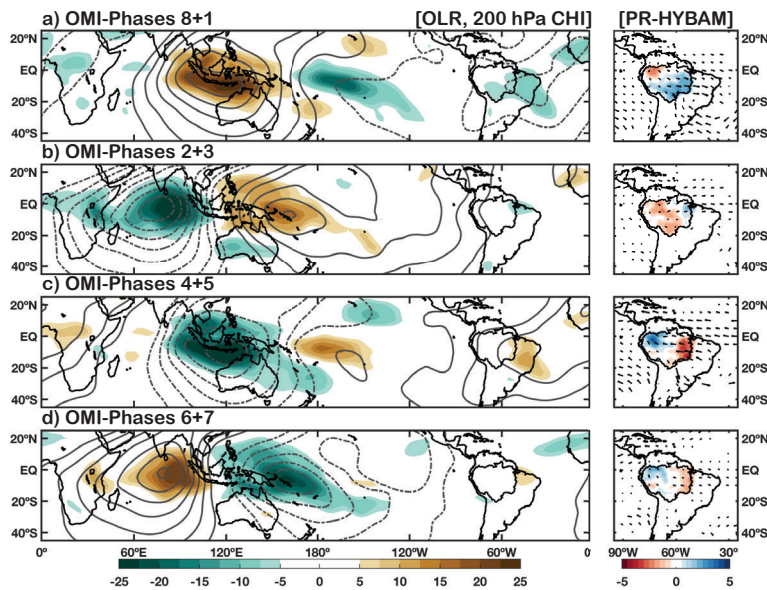


Figura 2. Mapas compuestos de anomalías filtradas de OLR y velocidad potencial a 200 hPa (columna izquierda), precipitación y campos de viento a 850hPa (columna derecha). Los compuestos se basan en el índice OMI. La OLR en contornos está en $W\ m^{-2}$ y precipitación en $mm\ día^{-1}$. El intervalo de contorno de la velocidad potencial es $7.5 \times 10^5\ m^2s^{-1}$. Los vectores de viento son plotados solo cuando el componente u o v es significativo al nivel del 95 % o más (Mayta et al., 2020).

dependiendo de la estacionalidad. En consecuencia, los eventos identificados con datos de lluvia en la región amazónica no se limitan a la propagación ecuatorial hacia el este de la MJO, por lo que otros mecanismos (por ejemplo, a través de los trenes de ondas de Rossby en

el hemisferio sur) podrían ser responsables del 25–35 % restante. Es importante destacar que también se notan modos de propagación hacia el oeste sobre el hemisferio occidental, lo que dificulta a los índices globales representar bien la variabilidad IE en América del Sur.

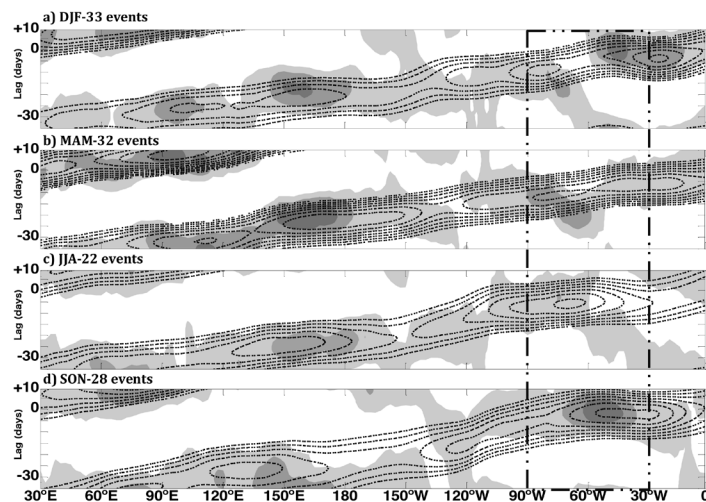


Figura 3. Diagramas de tiempo versus longitud de anomalías filtradas (30–70 días) de OLR (sombreado) y velocidad potencial en altos niveles atmosféricos (contorno discontinuo). Estas anomalías están promediadas entre 10°S y 10°N para DEF (a), MAM (b), JJA (c), y para el periodo SON (d). El eje Y es el tiempo desde el día -35 hasta el día +10. Solo se muestran OLR negativos (intervalo de contorno $-5\ W/m^2$) y valores negativos de velocidad potencial (intervalo de contorno cada $5 \times 10^5\ m^2\ s^{-1}$) (Mayta et al., 2019).

EL SKILL DE LOS DIFERENTES ÍNDICES MJO GLOBALES PARA CARACTERIZAR LA PRECIPITACIÓN IE SOBRE LA REGIÓN AMAZÓNICA

Anteriormente planteamos las siguientes cuestiones: ¿Qué índice MJO representa con mayor “precisión” la variabilidad de la precipitación IE en la región amazónica? ¿Es necesario, quizás, un índice “regional” IE para fines de monitoreo? En esta sección seleccionaremos tres tipos de índices detallados anteriormente, con el fin de evaluar el desempeño de cada uno de ellos. Este análisis incluye la selección de un estudio de caso.

Los resultados muestran diferencias en la caracterización del paso de la MJO sobre América del Sur. Un desfase

entre los índices (con diferente fecha de inicio–pico–final), así como diferente duración de la fase activa sobre América del Sur son algunas de las características observadas en varios eventos (Figuras 4 y 5). También notamos que varios eventos donde la señal OLR no se desarrolló (es decir, fases OMI inactivas) se clasificaron como eventos MJO fuertes por índices basados en circulación (RMM y VPM). Los casos opuestos también son bastante frecuentes, principalmente durante la estación seca, cuando los índices basados en circulación no representan adecuadamente la propagación de MJO hacia el norte y el este (Wang et al., 2018). Esta característica se observa claramente en eventos de lluvia extrema durante los años de La Niña (Figuras 4 y 5). A pesar del hecho de que alrededor del 45% del total de eventos se identifican como un evento MJO activo en todos los índices, un considerable 35% de los casos se detectan solo por el índice OMI. Por lo tanto, argumentamos que incluir o no la componente convectiva en el cálculo del índice MJO conduce a diferencias relevantes en la interpretación.

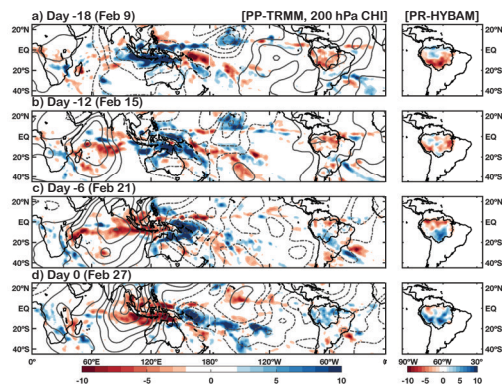


Figura 4. Mapas compuestos de anomalías de precipitación TRMM y velocidad potencial a 200 hPa (columna izquierda), y precipitación obtenida del Observatorio HYBAM (columna derecha). La leyenda muestra la precipitación sombreada en mm día^{-1} . El intervalo de contorno de la velocidad potencial es de $7.5 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, los valores negativos están en líneas discontinuas. Los compuestos se centran en el día -18 (9 de febrero de 2001) hasta el día 0 (27 de febrero de 2001) (Mayta et al., 2020).

CONCLUSIONES

La relación entre la oscilación de Madden-Julian (MJO) y el ciclo estacional de la variabilidad intraestacional (IE) de la precipitación en la cuenca del Amazonas (AB) se analiza utilizando datos de lluvia para el período 1980–2009. Los eventos IE se han definido y seleccionado usando la serie temporal de la primera componente principal, que proviene del análisis de funciones ortogonales empíricas aplicado a los datos de lluvia sobre la AB. Se identificaron un total de 132 eventos IE con una media de cinco eventos por año. Alrededor del 25 % del total de eventos IE en la AB no está relacionado a la teleconexión trópico-trópico (asociada a la propagación tropical de la MJO) sino a otros mecanismos como por ejemplo, los trenes de ondas de Rossby en el hemisferio sur.

Nuestros resultados también sugieren que, a gran escala (es decir, alrededor de los trópicos globales), incluso en el dominio regional (región Amazónica), el índice calculado en función de la OLR representa mejor las características dinámicas y convectivas asociadas con la variabilidad IE. Sin embargo, dada la diferencia en la representación de la precipitación en la AB, nuestros hallazgos también respaldan la necesidad de un índice regional para monitorear y pronosticar los impactos de la MJO. Es algo que se viene trabajando y se espera obtenerlo a mediano plazo para su aplicación en Sudamérica.

REFERENCIAS

- Carvalho, L.V.M., Jones, C. and Liebmann, B. (2004) The South Atlantic Convergence Zone: intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. *Journal of Climate*, 17, 88–108.
- Hendon, H.H. and Salby, M.L. (1994) The life cycle of the Madden-Julian oscillation. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 51, 2225–2237.
- Kiladis, G.N. and Weickmann, K.M. (1992) Circulation anomalies associated with tropical convection during northern winter. *Monthly Weather Review*, 120, 1900–1923.

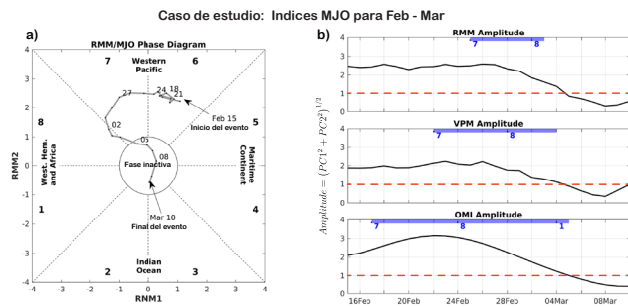


Figura 5. Diagrama de fases del índice RMM (panel izquierdo) y la evolución de la amplitud de todos los índices MJO (RMM - gráfico superior, VPM - gráfico medio, OMI - gráfico inferior) (panel derecho) para el estudio de caso de inundación extrema en el Amazonas en febrero de 2001. Las barras azules sobre los gráficos de amplitud indican períodos MJO activos (Fases 8 + 1) para cada índice (Mayta et al., 2020).

Madden, R.A. and P.R. Julian, 1971: Detection of a 40–50 Day Oscillation in the Zonal Wind in the Tropical Pacific. *J. Atmos. Sci.*, 28, 702–708.

Madden, R.A. and Julian, P.R. (1994) Observations of the 40–50 day tropical oscillation: a review. *Monthly Weather Review*, 122, 814–837.

Mayta, VC, Ambrizzi, T, Espinoza, JC, Silva Dias, PL. The role of the Madden-Julian oscillation on the Amazon Basin intraseasonal rainfall variability. *Int J Climatol*. 2019; 39: 343–360.

Mayta, VC, Natalia P. Silva, Pedro L. Silva Dias, Ambrizzi T., Espinoza JC. "Assessing the skill of all-season diverse Madden-Julian oscillation indices for the intraseasonal Amazon precipitation". *Climate Dynamics*-2020.

Mo, K.C. and Higgins, R.W. (1998) The Pacific–South American modes and tropical convection during the Southern Hemisphere winter. *Monthly Weather Review*, 126, 1581–1596.

Straub, K.H.: MJO Initiation in the Real-Time Multi-variate MJO Index. *Journal of Climate* 1130– 1151 (2013).

Ventrice, M.J., M.C. Wheeler, H.H. Hendon, C.J. Schreck, C.D. Thorncroft, and G.N. Kiladis, 2013: A Modified Multivariate Madden-Julian Oscillation Index Using Velocity Potential. *Mon. Wea. Rev.*, 141, 4197–4210.

Vera, C.S., Alvarez, M.S., Gonzalez, P.L.M., Liebmann, B. and Kiladis, G.N. (2018) Seasonal cycle of precipitation variability in South America on intraseasonal time scales. *Climate Dynamics*, 1–11.

Wheeler, M.C. and Hendon, H.H. (2004) An all-season real-time multivariate MJO index: development of an index for monitoring and prediction. *Monthly Weather Review*, 132, 1917–1932.

Wang, S., Ma, D., Sobel, A. H., Tippett, M. K. (2018). Propagation characteristics of BSISO indices. *Geophysical Research Letters*, 45. 9934–9943.

Zhang, C. (2005) Madden-Julian oscillation. *Reviews of Geophysics*, 43, RG2003.