

DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

RELACIÓN ENTRE LA REVERSIÓN DE LA COTA DEL RÍO (REPIQUETES), LAS LLUVIAS Y LOS VIENTOS EN NIVELES BAJOS SOBRE EL OESTE DE LA CUENCA AMAZÓNICA

M.Figueroa¹, E.Armijos¹, J.Espinoza², J.Ronchail³ y P.Fraizy²

RESUMEN

La agricultura ribereña en épocas de recesión del caudal (junio-octubre) es una de las actividades económicas más importantes de la llanura amazónica. Sin embargo, esta labor se ve afectada por los conocidos “repiquetes”, los cuales son inundaciones repentinas que se desarrollan en plena época de recesión debido a la reversión en el nivel del río. Utilizando datos diarios de nivel del río obtenidos de las reglas limnimétricas de las estaciones localizadas en los ríos Amazonas, Marañón y Ucayali, durante el período 1996-2018; se pudo determinar que de los 73 repiquetes observados en el río Amazonas (reversión ≥ 20 cm), el 64 % de ellos fueron precedidos por repiquetes solo en el río Marañón, y el 5 % fueron repiquetes originados solo en el río Ucayali. El 21 % de los eventos fueron anteceditos por repiquetes en ambos ríos y 10 % no tuvieron precursor aguas arriba. Estos resultados indican que el río Marañón es el principal precursor de los repiquetes originados en el río Amazonas. Analizando la lluvia diaria y vientos en niveles bajos (850 hPa) se puede concluir que los repiquetes registrados en el río Amazonas se originan por las abundantes lluvias en la región de transición Andes-Amazonas entre Perú y Ecuador, las cuales acontecen de tres a cinco días antes del inicio de cada repiquete. Las lluvias precursoras se relacionan con un cambio notable en la dirección del viento meridional, de norte a sur, y a un flujo de humedad hacia el este.

El artículo científico original se encuentra en: <https://doi.org/10.3390/atmos10080442>

AFILIACIÓN:

1- Instituto Geofísico del Perú (IGP).

2- Instituto Francés de Investigación para el desarrollo (IRD).

3- Universidad Paris Diderot.

Citar como: Figueroa, M., Armijos, E., Espinoza, J.C., Ronchail, J., Fraizy, P. (2020). Relacion entre la reversión de la cota del río (repiquetes), las lluvias y los vientos en niveles bajos sobre el oeste de la cuenca Amazónica. Boletín científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú, Vol. 7 n.º 10. págs. 5-14.

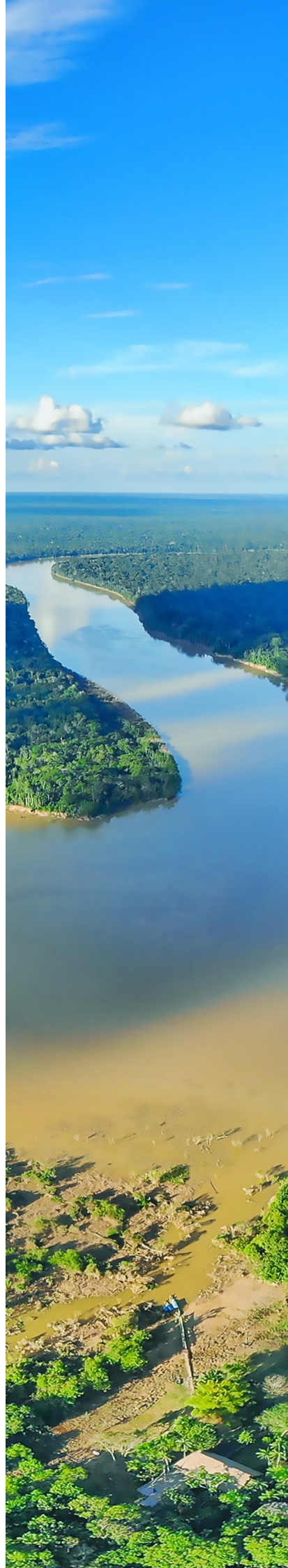
INTRODUCCIÓN

La mayoría de los ríos amazónicos en el Perú nacen en los Andes, donde la geología regional y la topografía permiten el transporte nutrientes que son depositados en llanuras, playas y en las riberas de los ríos (McClain and Naiman, 2008; Armijos et al., 2013). Los agricultores ribereños utilizan estas áreas para sembrar cultivos de ciclo corto como arroz, frijol “chiclayo”, entre otros. Cada año, esta actividad productiva y económica de la selva peruana se ve afectada por inundaciones repentinas que ocurren entre julio y octubre, siendo conocidas localmente como repiquetes. Coomes et al. (2016) definen a los repiquetes como reversiones inesperadas en la dirección (signo) del nivel del agua, igual o superior a 1 cm.

Las pérdidas económicas por estos eventos son importantes, por ejemplo, en 2012 tras la ocurrencia de un repiquete, la pérdida de los cultivos en la zona de Muyuy (Loreto) llegó a un 43 % del total de la zona cultivada convirtiéndose en una reducción del 50 % de la producción familiar (List, 2016, List y Coomes 2019). Por otro lado, estos eventos no solo afectan los cultivos, sino también a los ecosistemas acuáticos ocasionando el ahogamiento de los huevos de tortugas antes de su oclusión al ser re-sumergidos (García Mora. 2005).

Ronchail et al. (2018) encontraron evidencia de un incremento en el período de estiaje desde la década de los años ochenta en el río Amazonas tras analizar datos de la estación hidrológica de Tamshiyacu (ciudad localizada a 80 km aguas arriba de Iquitos). Además, relacionaron los eventos de repiquetes con un incremento inusual de las lluvias sobre la cuenca de Tamshiyacu (confluencia del río Marañón y Ucayali) durante una semana previa a estos eventos. De otra parte, Langerwisch et al. (2013) observaron que un aumento de años húmedos consecutivos podrían resultar en mayores inundaciones. Estos cambios están asociados a valores extremos de caudal y variaciones en la duración de las épocas de vaciante y creciente, sobre todo en la parte oeste del Amazonas.

El presente manuscrito hace referencia al trabajo presentado por Figueroa et al. (2020), el cual tuvo como objetivo caracterizar los fenómenos hidrometeorológicos que originan inundaciones llamados “repiquetes”, conociendo sus orígenes desde el punto de vista meteorológico e hidrológico, sus magnitudes y duraciones; con el fin de contribuir en el conocimiento del fenómeno. De esta manera se pretende disminuir las pérdidas económicas de los agricultores ribereños en la Amazonía peruana.



ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en la región noreste de la Amazonía peruana, la cual recibe las contribuciones de dos subcuencas principales: la subcuenca del Río Marañón y la subcuenca del Río Ucayali; tales ríos son monitoreados en las estaciones hidrológicas de San Regis y Requena, respectivamente.

Los repiquetes se analizan con los datos de la estación hidrológica de Tamshiyacu, localizada en el río Amazonas, luego de la confluencia de los ríos Marañón y Ucayali, y ubicada a 80 km de la ciudad de Iquitos (Figura 1).

La región amazónica presenta una alta variabilidad de la precipitación que ha sido registrada tanto espacial como temporalmente. En la región sur, la época húmeda se extiende desde diciembre hasta marzo con picos asociados a la Alta de Bolivia y al jet de bajos niveles (Espinoza et al., 2009a; Segura et al., 2019). La región norte más occidental exhibe regímenes bimodales y/o más uniformes, con picos en los meses de marzo-abril y octubre-noviembre asociados al desplazamiento de la zona de convergencia intertropical y al transporte de humedad hacia el oeste (Espinoza et al., 2009a; Laraque et al., 2007; Segura et al., 2019). Finalmente, los meses de máximas crecidas en la región de estudio se presentan entre abril y mayo, además presentan la época de vaciante entre los meses de julio a octubre (Espinoza et al., 2009a, Ronchail et al., 2018).

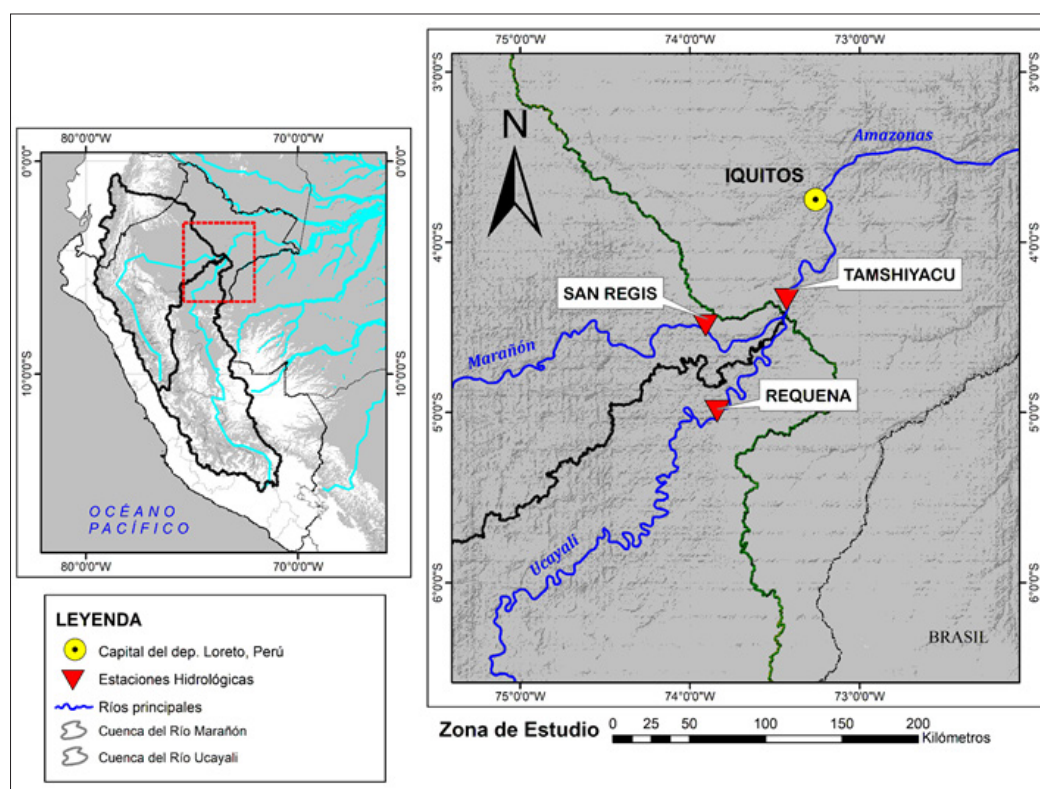


Figura 1. a) Localización del área de estudio en el contexto peruano . b) Localización de las principales estaciones usadas en el presente estudio: San Regis sobre el río Marañón, Requena sobre el río Ucayali y Tamshiyacu sobre el río Amazonas.

DATOS

Este estudio se enfoca en la época de vaciante, debido a que es la época de siembra y cosecha de los cultivos de corta duración.

- **Datos hidrológicos:** se utilizaron datos diarios del nivel del río de las estaciones de Requena (río Ucayali), San Regis (río Marañón) y Tamshiyacu (río Amazonas) para el período común de 1996-2018, obtenidos de <http://www.ore-hybam.org>.
- **Datos de precipitación:** los datos de precipitación provienen del producto CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data) con una resolución espacial de 0.05° y 0.25° (Funk et al., 2015), para el período 1996-2018.
- **Circulación Atmosférica:** los datos de viento zonal (u), meridional (v) humedad específica (q) y presión a nivel del mar fueron tomados del reanálisis global ERA-Interim elaborado con el modelo global European Centre for Medium Range Weather Forecast (ECMWF; Dee et al. 2011). Tales variables poseen una resolución espacial de 0.25° a un paso de tiempo diario para el periodo 1996-2018. Se utilizaron los niveles de presión de 1000, 950, 925, 850, 700, 600, 500, 400 y 300 hPa. El conjunto de datos está disponible en <https://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=pl/> y es de libre descarga a través de ECMWF Web API.

METODOLOGÍA

Se desarrollaron 2 etapas:

- **Caracterización de los Repiquetes.** En esta etapa se analizaron los datos del nivel del río para establecer la definición de repiquete (magnitud, duración, y frecuencia). Se considera un evento de repiquete desde que inicia el cambio de la dirección del nivel hasta que el nivel del agua vuelva a ser menor o igual al nivel de inicio (ver eventos sombreados en celeste en la Figura 2). Para el estudio se consideró que el período de recesión inicia desde el máximo nivel del río en mayo hasta el mínimo ocurrido antes del mes de noviembre de cada año. La magnitud se define como la máxima reversión a lo largo de la duración del evento. La duración del evento se define como la diferencia en días entre el día de término y de inicio del evento (Figura 2). Se utilizó la velocidad de flujo para calcular el tiempo que tarde en observarse un evento en Tamshiyacu (aguas abajo de San Regis y/o Requena).

Tomando en cuenta el riesgo por inundación de cultivos de estudios previos (Coomes et al., 2016) se analizan los repiquetes que superan los umbrales de 20 cm para Tamshiyacu y 10 cm para San Regis y Requena, y el tiempo de retraso entre Tamshiyacu y San Regis es 3 días y 5 días para Requena. Finalmente, se identificaron y agruparon los repiquetes en función de su precursor.

- **Descripción de los eventos de precipitación y de los mecanismos físicos atmosféricos asociados al origen de Se** calcularon anomalías de precipitación (CHIRPSv2) y viento horizontal en niveles bajos (850hPa), a los cuales se les removi6 el ciclo anual. Posteriormente, se realizaron mapas de composiciones de estas variables desde diez días antes hasta un día después del inicio de los repiquetes, a fin de identificar los días con más precipitación previo al inicio del evento. Además, se analizó la presión a nivel del mar, el viento horizontal, las componentes del flujo de humedad verticalmente integrado para cada tipo de repiquetes.

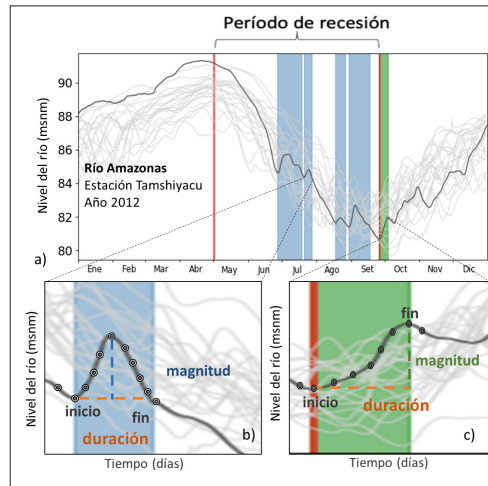


Figura 2. a) Ejemplo del nivel del río Amazonas para el año 2012 con referencia al nivel medio del mar. Características de los repiquetes: b) magnitud (medida en cm) y c) duración (medida en días). En celeste los repiquetes estudiados y en verde el último repiquete anual para el periodo estudiado.

RESULTADOS

CARACTERÍSTICAS DE LOS REPIQUETES

Este estudio registró 73, 117 y 85 repiquetes, durante el período 1996-2018, en las estaciones de Tamshiyacu, San Regis y Requena, respectivamente. De los 73 eventos en Tamshiyacu, el 64 % tuvo su origen en el río Marañón, a estos se le denominarán Tipo 1; el 5 % tiene como precursor el río Ucayali por lo que será del Tipo 2. El 21 % fueron observados en ambos afluentes por lo que denominamos Tipo 3, y el 10 % de los repiquetes no tienen un precursor aguas arriba por los que lo hemos caracterizado como Tipo 4.

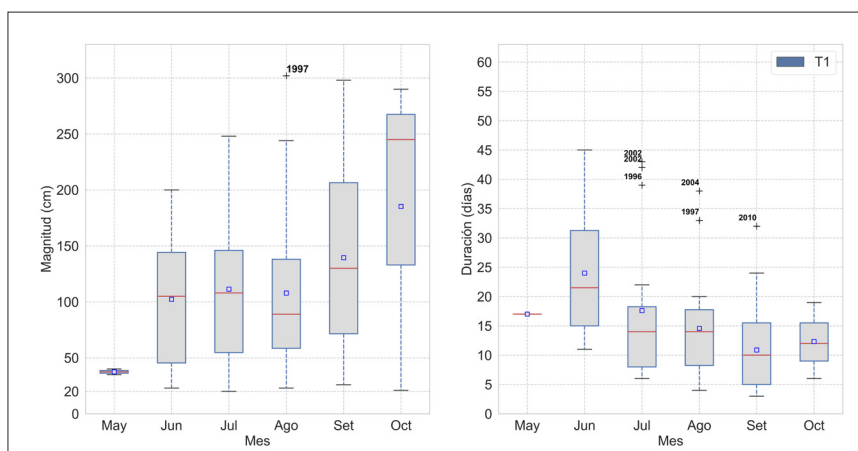


Figura 3. Variación mensual de (a) magnitud y (b) duración de los repiquetes tipo 1 (Marañón-Amazonas). El cuadrado azul representa la posición de la media y se muestran los años en que ocurren los valores extremos registrados.

La Figura 3a y 3b muestra la variación mensual de las características observadas en los repiquetes Tipo 1. En promedio, las máximas magnitudes en los repiquetes Tipo 1 acontecen en septiembre y octubre, con medianas por encima de 125 cm; sin embargo, valores por encima de 1 m son observados también en los meses de junio y julio. Además, se observan valores de alta duración en los meses de junio, julio y agosto incluyendo extremos durante estos meses.

Estos resultados muestran que algunos de los repiquetes con alta magnitud, que ocurren durante los meses de junio y julio, también pueden durar muchos días (incluso superando un mes) perjudicando a los cultivos durante los primeros estadios de crecimiento, lo cual concuerda con los eventos que generaron mayores pérdidas y fueron registrados en estudios previos (List and Coomes, 2017). En Figueroa et al. (2020) se encontró que en la estación de Tamshiyacu (San Regis) hay un promedio de 3.2 (5.1) repiquetes por año con potencial para dañar cultivos en tierras bajas, estos se reducen a 1.1 (2.1) si solo consideramos el periodo junio-julio.

EVENTOS DE LLUVIA ASOCIADOS A LOS REPIQUETES

En esta sección presentaremos los repiquetes del tipo 1 (T1), debido a que representan la mayor cantidad de eventos ocurridos en el río Amazonas. Sin embargo, en Figueroa et al. (2020) se describen los eventos de lluvia para todos los tipos de repiquetes. La distribución de anomalías de precipitación CHIRPS (Figura 4) muestra que los eventos lluviosos asociados a este tipo de repiquetes inician el día -5 (d-5) al norte de la cuenca del Marañón, sobre la cuenca del río Pastaza, con intensidades mayores a 10 mm sobre la región de transición Andino-Amazónica extendiéndose con menor intensidad hacia zonas más bajas al sureste de la misma cuenca.

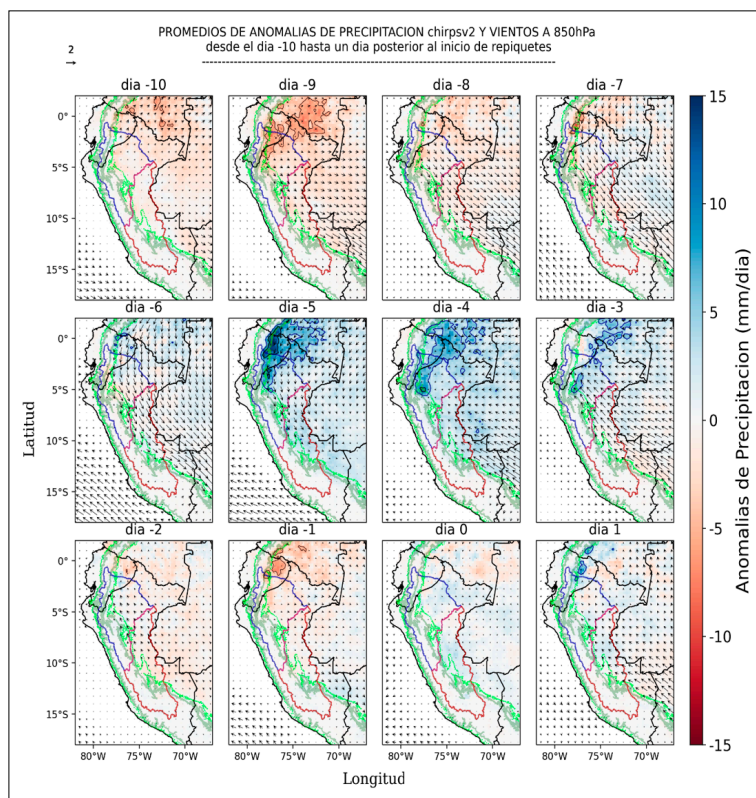


Figura 4. Anomalías de precipitación con el conjunto de datos CHIRPSv2.0 y vientos a 850 hPa con datos de reanalysis de ERA-Interim para repiquetes tipo 1, con día cero d0 igual al día de inicio del evento en Tamshiyacu. En contornos azules (rojos) se muestran los valores mayores (menores) a 5 mm y 10 mm (-5 mm y -10 mm). En líneas verdes y verdes oscuras se muestran las elevaciones de 500 y 1500 m s. n. m., respectivamente.

Para el día -4 (d-4) las anomalías positivas se presentan al norte del departamento de Amazonas, al oeste de Loreto, quedando tenues anomalías en sentido SO-NE para el día -3 (d-3). Los resultados encontrados indican que los días de mayor contribución al origen de los repiquetes serían los días -5 , -4 y -3 , lo cual no significa que en los días posteriores a estos no existan contribuciones, aunque estas serían de menor influencia, tal como se puede apreciar en la Figura 4.

Además, los flujos de humedad verticalmente integrados sobre la región antes de la ocurrencia del evento revelan un constante flujo del este sobre la cuenca del Mara  n. Esta característica sumada a la anomalía de vientos meridionales de niveles bajos apoyarían a concentrar la humedad atmosférica sobre la región norte antes y durante los días de máximas precipitaciones (Figura 4 y 5).

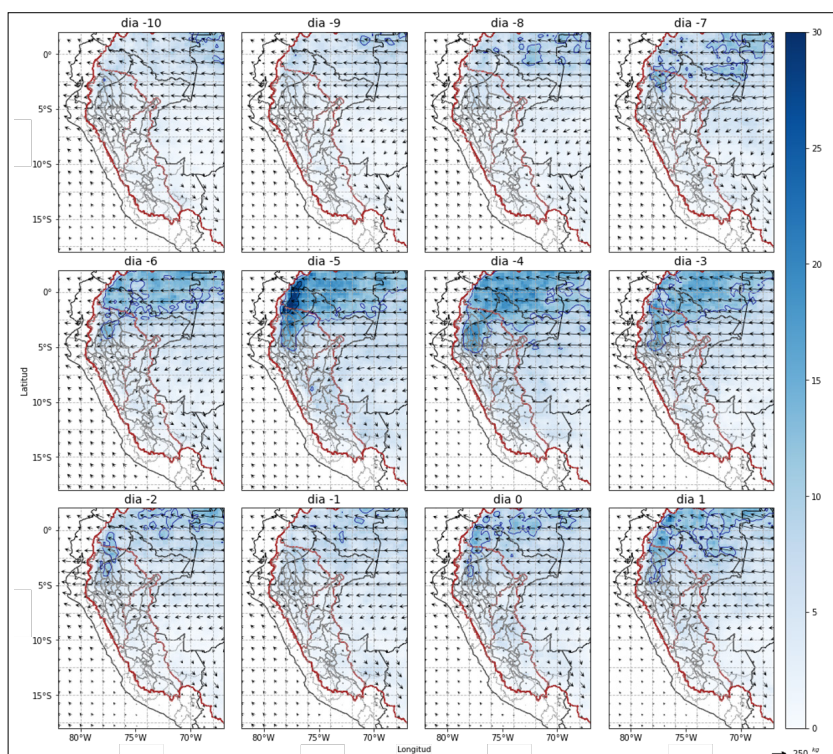


Figura 5. Promedio diario de precipitación (mm/día) con el conjunto de datos CHIRPSv2.0 y de las componentes vectoriales del flujo de humedad verticalmente integrado con datos del reanálisis ERA-Interim para los repiquetes tipo 1, con d0 igual al día de inicio del evento en Tamshiyacu. En contornos azules y negros se muestran los valores de precipitación media por encima de 10 y 25mm, respectivamente. En gris las principales subcuencas del área de estudio y en contornos rojos las cuencas del Mara  n, del Ucayali y del Amazonas hasta la estación Tamshiyacu.

A gran escala y a partir del d-6, el paso de una alta migratoria sobre la región sur de sudamérica favorece la atenuación de las presiones bajas sobre la región del Chaco y la extensión de una dorsal del Anticiclón del Atlántico Sur sobre la región oeste de sudamérica (Figura 6). Tal configuración facilita el ingreso de los flujos de humedad hasta la región oriental de los Andes peruanos y ecuatorianos al norte de 8  S, lo cual, promovería el ascenso de aire húmedo por convección forzada bajo determinadas condiciones de calentamiento, orientación de pendientes montañosas y estabilidad (Garreaud, 1999; Campozano 2016). Durante los d-4 y d-3 se produce el paso de una circulación anticiclónica anómala, asociada a la presencia de un anticiclón migratorio que cual propicia la incursión del sureste descrita anteriormente sobre los días de mayores anomalías positivas de precipitación. Algunas características del paso de altas presiones al sur de Sudamérica son documentados en trabajos previos (Marengo, 1983; Espinoza 2013).

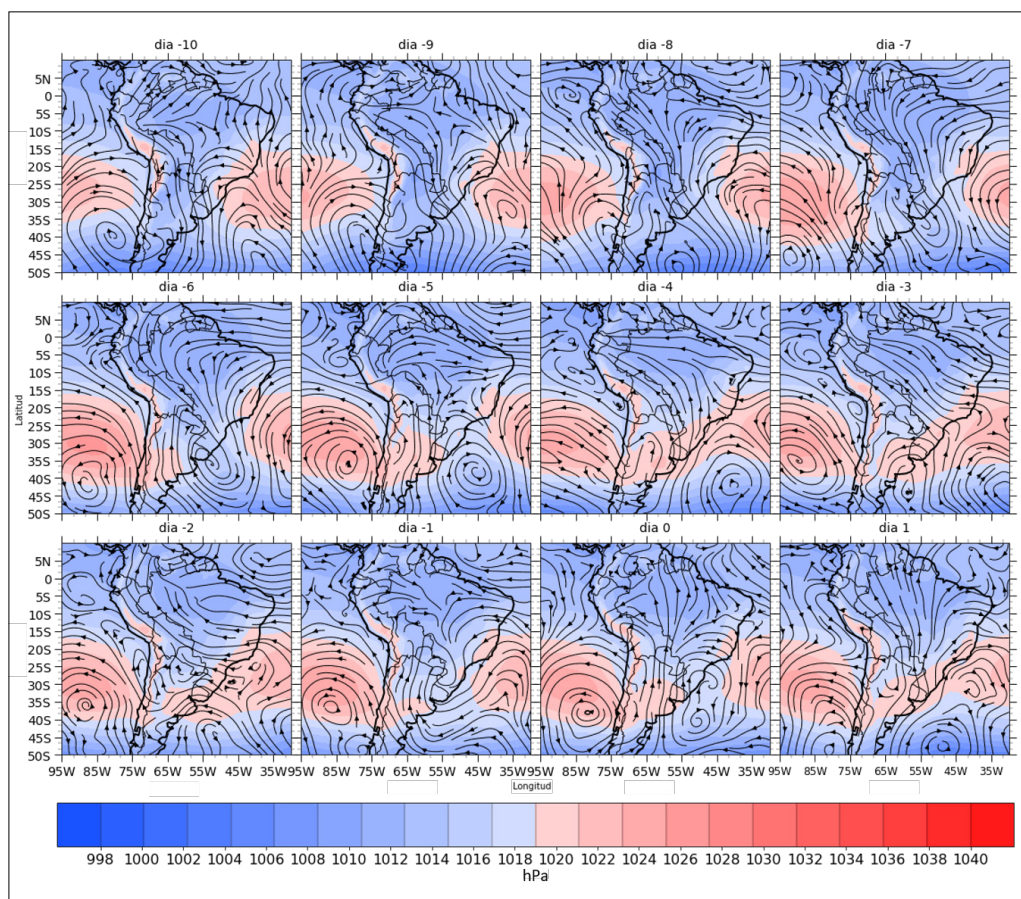


Figura 6. Presión a nivel medio del mar y líneas de corriente anómalas a 850 hPa con datos del reanálisis del ERA-Interim para repiquetes T1, con d0 igual al día de inicio del evento en Tamshiyacu.

CONCLUSIONES

El río Marañón se muestra como el principal precursor de los repiquetes registrados en el río Amazonas, con un día de retraso aproximadamente. Sin embargo, es importante el aporte del río Ucayali a la magnitud de un evento de repiquetes después de iniciado el mismo. Las máximas magnitudes se observan en los meses de julio, agosto y setiembre con duraciones medianas inferiores a 14 días, pero con valores atípicos altos entre junio y setiembre. Los meses de junio y julio son los más sensibles si se consideran estas características y el periodo del crecimiento del cultivo de arroz.

Encontramos que la región de transición Andes-Amazonas peruana y ecuatoriana, en la cuenca norte del río Marañón es una región clave que presenta anomalías positivas de lluvia de cinco a tres días antes de la ocurrencia de los repiquetes de tipo 1 (d-5 a d-3). Las anomalías de lluvia positiva están asociadas con cambios en los patrones de circulación de bajos niveles en los días previos al repiquete. En general, hay una intensificación progresiva del flujo del norte durante d-10 y d-7 sobre la región ecuatorial, seguido de un claro cambio de vientos de norte a sur de bajo nivel entre d-5 y d-3 apoyados por un flujo del este. Durante estos días, se observa una convergencia forzada por la presencia de los Andes en el norte de la cuenca del Marañón, lo que potencia la actividad convectiva en esta región.

REFERENCIAS

- Armijos, E., Crave, A., Vauchel, P., Fraizy, P., Santini, W., Moquet, J. S., ... & Guyot, J. L. (2013). Suspended sediment dynamics in the Amazon River of Peru. *Journal of South American Earth Sciences*, 44, 75-84.
- Campozano, L., Célleri, R., Trachte, K., Bendix, J., & Samaniego, E. (2016). Rainfall and cloud dynamics in the Andes: A southern Ecuador case study. *Advances in Meteorology*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/3192765>
- Coomes, O. T., Lapointe, M., Templeton, M., & List, G. (2016). Amazon river flow regime and flood recessional agriculture: Flood stage reversals and risk of annual crop loss. *Journal of Hydrology*, 539, 214–222. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.05.027>.
- Figueroa, M., Armijos, E., Espinoza, J. C., Ronchail, J., & Fraizy, P. (2020). On the relationship between reversal of the river stage (repiquetes), rainfall and low-level wind regimes over the western Amazon basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 32, 100752.
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., & Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations - A new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2, 1–21. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>
- Garcia Mora, N. (2005). Biología reproductiva y conservación de las tortugas charapa *Podocnemis expansa*, Cupiso *Podocnemis sextuberculata* Y taricaya *Podocnemis unifilis* en las playas aledañas al municipio de puerto nariño (Amazonas) [Pontificia Universidad Javeriana]. https://cienciagora.universia.net.co/imgs2011/imagenes/tesis_tortugas_charapa_natalia1.pdf
- Huffman, G. J., Adler, R. F., Bolvin, D. T., Gu, G., Nelkin, E. J., Bowman, K. P., Hong, Y., Stocker, E. F., & Wolff, D. B. (2007). The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. *Journal of Hydrometeorology*, 8(1), 38–55. <https://doi.org/10.1175/JHM560.1>
- Langerwisch, F., Rost, S., Gerten, D., Poulter, B., Rammig, A., & Cramer, W. (2013). Potential effects of climate change on inundation patterns in the Amazon Basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(6), 2247–2262. <https://doi.org/10.5194/hess-17-2247-2013>
- List, G. (2016). Agriculture and the risk of crop loss in the Amazon river floodplain of Peru (Issue April). McGill University.
- List, G., & Coomes, O. T. (2017). Natural hazards and risk in rice cultivation along the upper Amazon River. *Natural Hazards*, 87(1), 165–184. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2758-x>
- List, G., & Coomes, O. T. (2019). Repiquetes y riesgo en el cultivo de arroz de iquitos , Perú repiquetes and risk in the cultivation of rice in the floodplain of the amazon river near iquitos , *Folia Amazónica, PERU*. 28(1), 19–32.
- McClain, M. E., & Naiman, R. J. (2008). Andean Influences on the Biogeochemistry and Ecology of the Amazon River. *BioScience*, 58(4), 325–338. <https://doi.org/10.1641/b580408>
- Ronchail, J., Espinoza, J. C., Drapeau, G., Sabot, M., Cochonneau, G., & Schor, T. (2018). The flood recession period in Western Amazonia and its variability during the 1985–2015 period. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 15(October 2017), 16–30.
- Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., ... Vitart, F. (2011). The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137(656), 553–597. <https://doi.org/10.1002/qj.828>
- Espinoza, J. C., Ronchail, J., Lengaigne, M., Quispe, N., Silva, Y., ..., & Llacza, A. (2013). Revisiting wintertime cold air intrusions at the east of the Andes: Propagating features from subtropical Argentina to Peruvian Amazon and relationship with large-scale circulation patterns. *Climate Dynamics*, 41(7–8), 1983–2002. <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1639-y>

REFERENCIAS

Garreaud, R. D. (1999). Multiscale analysis of the summertime precipitation over the central Andes. *Monthly Weather Review*, 127(5), 901–921.

Segura, H., Junquas, C., Espinoza, J. C., Vuille, M., Jauregui, Y. R., Rabatel, A., Condom, T., & Lebel, T. (2019). New insights into the rainfall variability in the tropical Andes on seasonal and interannual time scales. *Climate Dynamics*, 53(1–2), 405–426. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4590-8>.