

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**



**“DINÁMICA ATMOSFÉRICA ASOCIADA A EVENTOS LLUVIOSOS  
QUE ORIGINAN INUNDACIONES REPENTINAS (REPIQUETES)  
DURANTE LA TEMPORADA DE VACIANTE EN LA AMAZONÍA  
PERUANA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:  
INGENIERO METEORÓLOGO**

**MANUEL ALEJANDRO FIGUEROA CULQUI**

**LIMA - PERÚ**

**2022**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**“DINÁMICA ATMOSFÉRICA ASOCIADA A EVENTOS LLUVIOSOS  
QUE ORIGINAN INUNDACIONES REPENTINAS (REPIQUETES)  
DURANTE LA TEMPORADA DE VACIANTE EN LA AMAZONÍA  
PERUANA”**

Presentado por:

**MANUEL ALEJANDRO FIGUEROA CULQUI**

Tesis para Optar El Título Profesional de:

**INGENIERO METEORÓLOGO**

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

---

Mestre. Jerónimo García Villanueva  
PRESIDENTE

---

Ph.D. Haline Heidinger Abadia  
MIEMBRO

Ph.D. Raúl Espinoza Villar  
MIEMBRO

Mg. Sc. Victoria Doris Calle Montes  
ASESORA

---

Ph.D. Elisa Armijos Cárdenas  
CO ASESORA

## DEDICATORIA

A mis padres Manuel y Gladys,  
y a mis abuelitos Manuel y Vilma  
quienes me apoyaron incansablemente  
a lo largo de mi formación.

## AGRADECIMIENTOS

A Fondecyt por el financiamiento del proyecto: Origen, frecuencia y magnitud de los “repiquetes”, su impacto en la agricultura amazónica y en el transporte de sedimentos, utilizando sensoramiento remoto - Proyecto Fondecyt 412-2019

A la Dra. Elisa Armijos del Instituto Geofísico del Perú por financiar gran parte de mi investigación, depositar su confianza en mis capacidades y compartir sus experiencias y conocimientos que complementaron el presente trabajo.

Al Dr. Jhan Carlo Espinoza por su constante guía en el desarrollo de la tesis, motivar espacios de diálogo y brindar sugerencias oportunas sobre mi trabajo.

A la Dra. Josyane Ronchail, cuyas comunicaciones encaminaron la investigación.

A Pascal Fraizy, quién fue uno de los hidrólogos pioneros en la medición de caudales y niveles en la Amazonía como parte del Instituto Francés de Investigación para el desarrollo (IRD), y cuyos datos recopilados fueron fundamentales para la presente investigación.

A mi asesora y profesora Victoria Calle por todas las recomendaciones y las tutelas impartidas durante mi formación académica.

A mis compañeros de la Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrosfera del Instituto Geofísico del Perú (SCAH-IGP), quienes siempre estuvieron dispuestos a contestar mis consultas con el fin de continuar en mi investigación, en especial a Gerardo Rivera y Víctor Mayta.

Y, finalmente, a Fiorela Castellón quién muchísimas veces me brindó un poco de su valioso tiempo y parte de sus conocimientos a lo largo del proceso de redacción de la tesis.

Este trabajo utilizó los recursos computacionales, HPC-Linux- Cluster, del Laboratorio de Dinámica de Fluidos Geofísicos Computacionales del Instituto Geofísico del Perú (Subvenciones 101-2014-FONDECYT, SPIRALES2012 IRD-IGP, Manglares IGP-IDRC, PpR068).

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1 Regímenes hidrológicos y agricultura de recesión en la Amazonía peruana.....	3
2.1.1 Repiquetes: características e impactos .....	5
2.2 Clima de la cuenca Amazónica.....	9
2.3 Hidroclimatología de la cuenca Amazónica occidental .....	14
2.3.2 La cuenca del Marañón .....	16
2.3.3 La cuenca del Ucayali .....	18
2.4 Patrones de circulación atmosférica en la Amazonía.....	20
III. METODOLOGÍA.....	21
3.1 Área de estudio.....	21
3.2 Datos .....	22
3.2.1 Datos hidrológicos.....	22
3.2.2 Datos meteorológicos .....	23
3.3 Métodos.....	26
3.3.1 Caracterización hidrométrica de los repiquetes de los ríos principales.....	26
3.3.2 Identificación de eventos lluviosos y los patrones de circulación asociados al inicio de los repiquetes .....	32
3.3.3 Determinación de mecanismos físicos que favorecen la formación de los eventos de lluvia asociados a los repiquetes .....	34
3.3.4 Determinación de la dinámica atmosférica asociada a la ocurrencia de un caso relevante .....	35
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	37
4.1 Caracterización hidrométrica de los repiquetes de los ríos Marañón y Ucayali ...	37
4.1.1 Control de calidad de datos hidrológicos .....	37
4.1.2 Identificación y caracterización de los repiquetes según su inicio, duración y magnitud.....	40
4.1.3 Agrupamiento de repiquetes por precursores .....	47
4.2 Identificación de eventos lluviosos y patrones de circulación asociados al inicio de los repiquetes.....	52
4.2.1 <i>Composites</i> de anomalías filtradas .....	52
4.2.2 Patrones de circulación relacionados a la ocurrencia de repiquetes.....	75

4.2.3 Índices V y EW .....	84
4.3 Determinación de mecanismos físicos que favorecen la formación de los eventos de lluvia asociados a los repiquetes .....	85
4.3.1 Repiquetes tipo T1.....	85
4.3.2 Repiquetes tipo T3.....	99
4.4 Determinación de la dinámica atmosférica asociada a la ocurrencia de un caso relevante .....	112
4.4.1 Repiquetes relevantes .....	112
4.4.2 Estudio de caso.....	113
V. CONCLUSIONES .....	125
VI. RECOMENDACIONES .....	127
VII. BIBLIOGRAFÍA .....	128
VIII. ANEXOS .....	137

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Caudales promedio ( $m^3/s$ ) de los principales ríos de la cuenca amazónica con las respectivas estaciones de medición para el periodo 1999-2017.....	8
Tabla 2: Datos hidrométricos .....	22
Tabla 3: Velocidad promedio de la sección del río (m/s) medido con “Acoustic Doppler Current Profiler” (ADCP) para el periodo de estudio 2002 - 2011. ....	22
Tabla 4: Bandas espectrales del canal del generador de imágenes de GOES 8. ....	25
Tabla 5: Tipos de repiquetes a definir. ....	31
Tabla 6: Pruebas estadísticas realizadas para las series limnimétricas (periodo 1985-2018). ....	37
Tabla 7: Pruebas estadísticas realizadas para las series limnimétricas (periodo 1996-2018). ....	38
Tabla 8: Actualización del periodo utilizado de los datos hidrométricos.....	39
Tabla 9: Cantidad de repiquetes registrados que superan cierta magnitud.....	41
Tabla 10: Relación temporal (en días) entre estaciones utilizando mediciones obtenidas por ADCP. ....	47
Tabla 11: Resultados de la técnica de correlación cruzada. ....	47
Tabla 12: Tipos de repiquetes definidos, los ríos involucrados y el número de eventos registrados (1996-2018). ....	49
Tabla 13: Porcentaje de ocurrencia de patrones de circulación de gran escala (CPs, definidos por Paccini et al., 2017) desde d-10 a d0 durante los repiquetes T1 (repiquetes observados en Tamshiyacu con un precursor en el río Marañón - San Regis) de 37/47 eventos observados para el periodo 1997 – 2014. Valores mayores a 20% están en negrita y todos los valores mayores a 29% están subrayados. ....	76
Tabla 14: Porcentaje de ocurrencia de patrones de circulación de gran escala (CPs, definidos por Paccini et al., 2017) desde d-10 a d0 durante los repiquetes T3 (repiquetes observados en Tamshiyacu con precursores en los ríos Marañón y Ucayali) de 11/15 eventos observados para el periodo 1997 – 2014. Valores mayores a 20% están en negrita y todos los valores mayores a 29% están subrayados. ....	80
Tabla 15: Repiquetes tipo 1 y 3 en el río Amazonas que superan el percentil 90 en magnitud de la estación Tamshiyacu. ....	112

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Nivel del río y producción de arroz en el área de Iquitos desde el 2001-2010, en el “eje y” los metros sobre el nivel del mar y en el “eje x” los meses. En color verde el promedio plantado en hectáreas (has), en naranja el promedio cosechado en hectáreas y en marrón el promedio producido en toneladas métricas (TMs).....	3
Figura 2: Típica sección transversal en la Amazonía peruana. ....	4
Figura 3: Área común de estudios previos relacionados a los repiquetes. ....	5
Figura 4: a) Nivel del agua en (cm) de la estación Tamshiyacu y lluvia (mm/día, en barras) en la misma estación. b) Número de repiquetes como función de la magnitud de la reversión para el periodo 1985-2014. Los valores de magnitud están agrupados en diferentes amplitudes.....	6
Figura 5: Número promedio de repiquetes por año para el periodo (1985-2014) en la estación Tamshiyacu del río Amazonas. En a) menores a 20 cm y en b) mayores a 20 cm en magnitud de la reversión.....	7
Figura 6: Distribución de la precipitación estacional (mm) sobre la Cuenca Amazónica y alrededores (a) DEF, (b) MAM, (c) JJA y (d) SON. ....	9
Figura 7: Precipitación promedio diaria TRMM con vientos promedios a 850hPa para los meses DEF (a) y JJA (b); precipitación promedio TRMM con vientos promedios a 200hPa para los meses DEF (c) y JJA (d).....	10
Figura 8: Representación esquemática de las más importantes características de circulación atmosférica en la región de Sudamérica : (a) Baja tropósfera y (b) Alta tropósfera. IL = Líneas de inestabilidad; CL = Baja del Chaco; LLJ = Jet de bajos niveles; ET = Vaguada ecuatorial; MCC = Complejo convectivo de mesoescala; CONV = actividad convectiva; CG = ciclogénesis; STH = Alta subtropical; EA = Anticiclón extratropical; L = Centro de baja presión; CV = Vórtice ciclónico; BH = Alta de Bolivia; CCV = Vórtice de núcleo frío; STJ = jet subtropical; PJ = jet polar. ....	12
Figura 9: Efectos de la deforestación sobre las lluvias en los trópicos. a) Gran parte de las lluvias de los bosques tropicales provienen de la humedad evapotranspirada de los mismos. b) En un caso con deforestación, la evapotranspiración disminuye y menor cantidad de humedad es transportado hacia la atmósfera generando menor cantidad de lluvia. ....	13



Figura 10: Régimen de precipitaciones en siete estaciones de la Amazonía peruano-ecuatoriana.....	14
Figura 11: Curvas hipsométricas de los ríos a) Marañón, b) Ucayali y c) Amazonas hasta las estaciones San Regis, Requena y Tamshiyacu, respectivamente.....	15
Figura 12: Subcuencas de la cuenca Marañón.....	16
Figura 13: Precipitación mensual datos CHIRPSv2 0.05° - Cuenca Marañón. ....	17
Figura 14: Subcuencas de la cuenca Ucayali.....	18
Figura 15: Precipitación mensual datos CHIRPSv2 0.05° - Cuenca Ucayali. ....	19
Figura 16: Nueve patrones de circulación y sus probabilidades de transición.....	20
Figura 17: Localización del área de estudio. ....	21
Figura 18: Metodología. ....	26
Figura 19: a) Ejemplo del nivel del río Amazonas año 2012 con referencia al nivel medio del mar. Características de los repiquetes: b) magnitud (cm) y c) duración (días) junto con los días de inicio y fin de los eventos. En azul los repiquetes categorizados como “in” y en verde el último repiquete anual para el periodo estudiado categorizados como “out”. ....	29
Figura 20: Repiquetes identificados durante el año 1997 para la estación a) Requena, b) San Regis y c) Tamshiyacu. Los repiquetes caracterizados como “in” (“out”) en color celeste (verde) para cada estación. Los datos diarios del nivel del río para cada estación (1996-2018) se colocan en líneas grises. Las líneas negras corresponden al nivel del río diario durante el año 1997. Las líneas verticales rojas representan los máximos y mínimos del nivel del río definidos en el año 1997. ....	40
Figura 21: Distribución de la magnitud de los repiquetes dados entre 1996 y 2018 para la estación a) Tamshiyacu (río Amazonas), b) San Regis (río Marañón) y c) Requena (río Ucayali).....	42
Figura 22: Variación mensual de la magnitud y duración de los repiquetes registrados en la estación Tamshiyacu del río Amazonas para el periodo (1996-2018).....	43
Figura 23: Variación mensual de la magnitud y duración de los repiquetes registrados en la estación San Regis del río Marañón para el periodo (1996-2018).....	44
Figura 24: Variación mensual de la magnitud y duración de los repiquetes registrados en la estación Requena del río Ucayali para el periodo (1996-2018).....	44
Figura 25: Diferencias entre a) magnitud y b) duración de repiquetes “in” y “out”. ....	46

Figura 26: Representación esquemática del número de repiquetes significativos en cada estación para el periodo 1996-2018. Los círculos gris oscuro, gris y gris claro corresponden a las estaciones Tamshiyacu, San Regis y Requena, respectivamente. La intersección de los tres círculos corresponde al “tipo 3” de repiquetes identificados en este estudio, es decir, los 15 repiquetes observados en el río Amazonas con un precursor en ambos ríos (Marañón y Ucayali).....	48
Figura 27: Repiquetes significativos de la estación Tamshiyacu (río Amazonas) para el periodo (1996-2018) que han sido previamente observados en las estaciones San Regis (río Marañón) y Requena (río Ucayali). .....	50
Figura 28: Retraso (en días) del inicio de los repiquetes dados en Tamshiyacu (río Amazonas) y agrupados con su(s) respectivo(s) precursor(es) al ocurrido aguas arriba, sea en la estaciones San Regis (río Marañón) y/o Requena (río Ucayali) para el periodo (1996-2018).....	51
Figura 29: Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos CHIRPSv2.0 (0.25°) y vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim (0.25°) para repiquetes tipo T1, con d0 igual al día de inicio del evento en Tamshiyacu. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.....	53
Figura 30: Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos TRMM3B42V7 (0.25°) y vientos a 500 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim (0.25°) para repiquetes tipo T1, con d0 igual al día de inicio del evento en Tamshiyacu. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.....	54
Figura 31: Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos PISCOpdV2.1 (0.1°) y vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim (0.25°) para repiquetes tipo T1, con d0 igual al día de inicio del evento en Tamshiyacu. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.....	55
Figura 32: Promedio diario de precipitación con el conjunto de datos CHIRPSv2.0 (0.25°) y vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim (0.25°) para los repiquetes tipo T1, con d0 igual al día de inicio del evento en	

Tamshiyacu. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.....	56
Figura 33: Líneas de corriente del compuesto de anomalías de vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim (0.25°) para repiquetes tipo T1, con d0 igual al día de inicio del evento en Tamshiyacu.....	57
Figura 34: Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos CHIRPSv2.0 (0.25°) y de vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim (0.25°) para repiquetes tipo T2, con d0 igual al día de inicio del evento. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.....	58
Figura 35: Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos TRMM3B42V7 (0.25°) y de vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim (0.25°) para repiquetes tipo T2, con d0 igual al día de inicio del evento. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.....	59
Figura 36: Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos PISCOpdV2.1 (0.1°) y de vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim (0.25°) para repiquetes tipo T2, con d0 igual al día de inicio del evento. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.....	60
Figura 37: Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos CHIRPSv2.0 (0.25°) y vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim (0.25°) para repiquetes tipo T3, con d0 igual al día de inicio del evento. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.....	62
Figura 38: Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos TRMM3B42V7 (0.25°) y vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim (0.25°) para repiquetes tipo T3, con d0 igual al día de inicio del evento. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.....	63
Figura 39: Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos PiscopdV2p1 (0.1°) y vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim (0.25°) para repiquetes tipo T3, con d0 igual al día de inicio del	

evento. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.....	64
Figura 40: Líneas de corriente del compuesto de anomalías de vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim (0.25°) para repiquetes tipo T3, con d0 igual al día de inicio del evento en Tamshiyacu.....	65
Figura 41: Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos CHIRPSv2.0 (0.25°) y de vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim (0.25°) para repiquetes tipo TAM, con d0 igual al día de inicio del evento. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.....	66
Figura 42: Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos TRMM3B42V7 (0.25°) y de vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim (0.25°) para repiquetes tipo TAM, con d0 igual al día de inicio del evento. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.....	67
Figura 43: Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos PISCOpdV2.1 (0.1°) y de vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim (0.25°) para repiquetes tipo TAM, con d0 igual al día de inicio del evento. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.....	68
Figura 44: Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos CHIRPSv2.0 (0.25°) y de vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim (0.25°) para repiquetes tipo SRE, con d0 igual al día de inicio del evento. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.....	69
Figura 45: Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos TRMM3B42V7 (0.25°) y de vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim (0.25°) para repiquetes tipo SRE, con d0 igual al día de inicio del evento. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.....	70
Figura 46: Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos PISCOpdV2.1 (0.1°) y de vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim (0.25°) para repiquetes tipo SRE, con d0 igual al día de inicio del	

evento. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.....	71
Figura 47: Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos CHIRPSv2.0 (0.25°) y de vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim (0.25°) para repiquetes tipo REQ, con d0 igual al día de inicio del evento. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.....	72
Figura 48: Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos TRMM3B42V7 (0.25°) y de vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim (0.25°) para repiquetes tipo REQ, con d0 igual al día de inicio del evento. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.....	73
Figura 49: Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos PISCOpdV2.1 (0.1°) y de vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim (0.25°) para repiquetes tipo REQ, con d0 igual al día de inicio del evento. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.....	74
Figura 50: a) Promedio de CPs 2 que se asocian al origen de repiquetes (izq.) y promedio de CPs 2 que no se asocian al origen de los mismos (der.) donde el vector de referencia es igual a 3m/s, b) CP 2 característico, c) La diferencia entre CPs 2 asociados a repiquetes y los que no, donde el vector de referencia es igual a 2m/s.....	77
Figura 51: a) Promedio de CPs 3 que se asocian al origen de repiquetes(izq.) y promedio de CPs 3 que no se asocian al origen de los mismos (der.) donde el vector de referencia es igual a 3m/s, b) CP 3 característico, c) La diferencia entre CPs 3 asociados a repiquetes y los que no, donde el vector de referencia es igual a 2m/s.....	78
Figura 52: a) Promedio de CPs 4 que se asocian al origen de repiquetes(izq.) y promedio de CPs 4 que no se asocian al origen de los mismos (der.) donde el vector de referencia es igual a 3m/s, b) CP 4 característico, c) La diferencia entre CPs 4 asociados a repiquetes y los que no, donde el vector de referencia es igual a 2m/s.....	79

Figura 53: a) Promedio de CPs 2 que se asocian al origen de repiquetes(izq.) y promedio de CPs 2 que no se asocian al origen de los mismos (der.) donde el vector de referencia es igual a 3m/s, b) CP 2 característico, c) La diferencia entre CPs 2 asociados a repiquetes y los que no, donde el vector de referencia es igual a 2m/s.....	81
Figura 54: a) Promedio de CPs 3 que se asocian al origen de repiquetes(izq.) y promedio de CPs 3 que no se asocian al origen de los mismos (der.) donde el vector de referencia es igual a 3m/s, b) CP 3 característico, c) La diferencia entre CPs 3 asociados a repiquetes y los que no, donde el vector de referencia es igual a 2m/s.....	82
Figura 55: a) Promedio de CPs 4 que se asocian al origen de repiquetes(izq.) y promedio de CPs 4 que no se asocian al origen de los mismos (der.) donde el vector de referencia es igual a 3m/s, b) CP 4 característico, c) La diferencia entre CPs 4 asociados a repiquetes y los que no, donde el vector de referencia es igual a 2m/s.....	83
Figura 56: La mediana y el rango intercuartil de los índices EW y V de repiquetes T1 y T3 desde el día -15 hasta el día +5. ....	84
Figura 57: Presión a nivel medio del mar para el compuesto de repiquetes tipo T1.....	88
Figura 58: Líneas de corriente en el nivel de 1000hPa sobre Sudamérica para el compuesto de repiquetes tipo T1. ....	89
Figura 59: Líneas de corriente en el nivel de 925 hPa sobre Perú para el compuesto de repiquetes tipo T1. ....	90
Figura 60: Líneas de corriente en el nivel de 925 hPa sobre Sudamérica para el compuesto de repiquetes tipo T1. ....	91
Figura 61: Líneas de corriente en el nivel de 850 hPa sobre Sudamérica para el compuesto de repiquetes tipo T1. ....	92
Figura 62: Líneas de corriente en el nivel de 850 hPa sobre Perú para el compuesto de repiquetes tipo T1. ....	93
Figura 63: Líneas de corriente en el nivel de 700 hPa sobre Perú para el compuesto de repiquetes tipo T1. ....	94
Figura 64: Líneas de corriente en el nivel de 500 hPa sobre Sudamérica para el compuesto de repiquetes tipo T1. ....	95

Figura 65: Líneas de corriente en el nivel de 200 hPa sobre Sudamérica para el compuesto de repiquetes tipo T1. ....	95
Figura 66: Divergencia y convergencia en el nivel de 850 hPa para el compuesto de repiquetes tipo T1. ....	96
Figura 67: Variación longitudinal de la humedad específica (g/kg), de la temperatura potencial equiv. (K) y del vector resultante de la componente zonal y vertical del viento en la latitud de 3.25°S para el compuesto de repiquetes tipo T1. El valor de la velocidad vertical (cm/s) fue reescalado por cinco y el vector de referencia solo es válido para la componente zonal (m/s). ....	97
Figura 68: Variación longitudinal de la humedad relativa (%), de la temperatura potencial equiv. (K) y del vector resultante de la componente zonal y vertical del viento en la latitud de 3.25°S para el compuesto de repiquetes tipo T1. En sombreado los valores de humedad específica El valor de la velocidad vertical (cm/s) fue reescalado por cinco y el vector de referencia solo es válido para la componente zonal (m/s). ....	98
Figura 69: Presión a nivel del mar para el compuesto de repiquetes tipo T3. ....	101
Figura 70: Líneas de corriente en el nivel de 1000hPa sobre Sudamérica para el compuesto de repiquetes tipo T3. ....	102
Figura 71: Líneas de corriente en el nivel de 925hPa sobre Perú para el compuesto de repiquetes tipo T3. ....	103
Figura 72: Líneas de corriente en el nivel de 850hPa sobre Perú para el compuesto de repiquetes tipo T3. ....	104
Figura 73: Líneas de corriente en el nivel de 850hPa sobre Sudamérica para el compuesto de repiquetes tipo T3. ....	105
Figura 74: Líneas de corriente en el nivel de 500hPa sobre Sudamérica para el compuesto de repiquetes tipo T3. ....	106
Figura 75: Líneas de corriente en el nivel de 200hPa sobre Sudamérica para el compuesto de repiquetes tipo T3. ....	106
Figura 76: Divergencia y convergencia en el nivel de 850 hPa para el compuesto de repiquetes tipo T3. ....	107
Figura 77: Variación longitudinal de la humedad específica (g/kg), de la temperatura potencial equiv. (K) y del vector resultante de la componente zonal y vertical del viento en la latitud de 3.25°S para el compuesto de repiquetes tipo T3. En	

sombreado los valores de humedad específica. El valor de la velocidad vertical (cm/s) fue reescalado por cinco y el vector de referencia solo es válido para la componente zonal (m/s).....	108
Figura 78: Variación longitudinal de la humedad específica (g/kg), de la temperatura potencial equiv. (K) y del vector resultante de la componente zonal y vertical del viento en la latitud de 5.5°S para el compuesto de repiquetes tipo T3. En sombreado los valores de humedad específica. El valor de la velocidad vertical (cm/s) fue reescalado por cinco y el vector de referencia solo es válido para la componente zonal (m/s).....	109
Figura 79: Variación longitudinal de la humedad específica (g/kg), de la temperatura potencial equiv. (K) y del vector resultante de la componente zonal y vertical del viento en la latitud de 8.5°S para el compuesto de repiquetes tipo T3. En sombreado los valores de humedad específica. El valor de la velocidad vertical (cm/s) fue reescalado por cinco y el vector de referencia solo es válido para la componente zonal (m/s).....	110
Figura 80: Repiquetes registrados en las estaciones Requena, San Regis y Tamshiyacu para el año 2002. Caso 06/07/2002 (d0 en Tamshiyacu) enmarcado por un rectángulo morado. En líneas grises se muestran el nivel del río diario en cada estación para el periodo 1996-2018. Las líneas negras corresponden al nivel del río diario durante el año 2002. Las líneas verticales rojas representan los máximos y mínimos del nivel del río definidos en el año 2002. ....	113
Figura 81: Cambio del nivel del río por día para el repiquete del 06/07/2002 al 17/08/2002. ....	114
Figura 82: Precipitación CHIRPS desde el día -10 hasta el d+1 para el caso 06-07-2002. El área en contorno supera la precipitación de 10 mm. ....	115
Figura 83: Precipitación desde el día -10 hasta el d+1 para el caso 06-07-002 para los datos a) TRMM y b) PISCO. El área en contorno supera la precipitación de 10 mm. ....	116
Figura 84: Precipitación TRMM desde el d0 hasta el d+19 para el caso 06-07-2002. El área en contorno supera la precipitación de 10 mm.....	117
Figura 85: Precipitación media ponderada (TRMM3B42v7) por subcuena totalizada desde a) d-10 hasta d0 (26jun al 06jul del 2002) b) d-10 hasta el día+18 (26jun al 24jul del 2002). ....	118



Figura 86: Espesor 500/1000hPa (contornos), viento en 850 hPa (m/s) y presión en superficie (colores) días previos al evento del 06 de julio del 2002.....	119
Figura 87: Vientos en niveles bajos (850hPa) días previos al evento del 06 de julio del 2002. ....	120
Figura 88: Vientos en niveles medios (500hPa) días previos al evento del 06 de julio del 2002. ....	120
Figura 89: Agua precipitable ( $\text{kg m}^{-2}$ ) días previos al repiquete del 06 de julio del 2002. ....	121
Figura 90: Anomalías de agua precipitable promediada desde los 10°S hasta los 2°N desde el 26 de junio al 31 de julio del 2002. ....	121
Figura 91: Imagen GOES 8 Temperatura de brillo del canal 3 / vapor de agua en niveles medios próximos al a) d-5 (01-07-2002) hora UTC y b) d-1 (05-07-2002) hora UTC. ....	122
Figura 92: Imágenes GOES 8 Temperatura de brillo del canal 4 / temperatura de superficie o topes de nube próximos al a) d-5 (01-07-2002) hora UTC y b) d-1 (05-07-2002) hora UTC. ....	123
Figura 93: Variación longitudinal de la humedad específica (g/kg), de la temperatura potencial equiv. (K) y del vector resultante de la componente zonal y vertical del viento en la latitud de 3.25°S para d-10 hasta d0 del caso estudiado. En sombreado los valores de humedad específica. El valor de la velocidad vertical (cm/s) fue reescalado por cinco y el vector de referencia solo es válido para la componente zonal (m/s). ....	124

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Repiquetes en el río Amazonas - Estación Tamshiyacu .....	137
Anexo 2: Repiquetes en el río Marañón - Estación San Regis .....	141
Anexo 3: Repiquetes en el río Ucayali - Estación Requena .....	145

## RESUMEN

Los agricultores ribereños que cultivan sobre tierras bajas próximas al río Amazonas y sus afluentes enfrentan altos riesgos de pérdida de producción frente a inundaciones repentinas durante el periodo de recesión. Estos eventos de reversiones en el nivel del río son conocidos localmente como repiquetes y su génesis ha sido poco estudiada aguas arriba del río Amazonas. Por lo cual, en el presente estudio los repiquetes son caracterizados y se busca determinar su ocurrencia en base a determinados patrones de circulación intraestacionales y mecanismos meteorológicos asociados sobre la cuenca de los ríos Marañón y Ucayali. Para tal fin se utiliza datos de estaciones hidrométricas y conjuntos de datos satelitales y de reanálisis. Como resultado se obtuvieron 73 repiquetes significativos en el río Amazonas en el periodo 1996-2018, de los cuales el 64.4% (47) poseen un precursor en el río Marañón, el 20.5% (15) presentan precursores de ambos ríos, y aunque el aporte de cada río varía de mes a mes solo el 5.5% (4) se asocian exclusivamente al río Ucayali al menos como precursor, y finalmente, el 9.6% (7) restante solo se registran en el río Amazonas. Los repiquetes en general presentan mayor duración y magnitud para los meses de setiembre-octubre que los meses de mayo y junio, aunque fechas cercanas a julio presentan la mayor cantidad de valores atípicos. Entre el lado este de los Andes y la llanura amazónica, cambios en niveles bajos de vientos del noroeste a vientos del sureste entre 5 y 3 días previos, generados por el paso de una alta presión sobre Argentina, contribuyen a una mayor precipitación relacionada a la ocurrencia de repiquetes. Y aunque las zonas de precipitación presentan algunas diferencias de acuerdo al conjunto de datos que se utilice, las precipitaciones que se dan desde la región de transición andino-amazónica y hacia la planicie de la cuenca del Marañón entre Perú y Ecuador resultan ser las más relevantes, seguidas de las precipitaciones que ocurren sobre la región centro-oriente del Perú entre Huánuco y el bajo Ucayali. Por último, se analiza un caso del año 2002 por tener una elevada magnitud y duración en comparación con el resto de los eventos.

Palabras clave: repiquetes, inundaciones, llanura amazónica, Andes-Amazonía.

## ABSTRACT

Riparian farmers who farm on lowlands near the Amazon River and its tributaries face high risks of loss of production in the face of flash floods during the recession period. These reversal events in the river level are known locally as repiquetes and their genesis has been little studied upstream of the Amazon River. Therefore, in this study, the repiquetes are characterized and their occurrence is determined based on intra-seasonal circulation patterns and associated meteorological mechanisms over the Marañón and Ucayali river basin. Upon As a result, it was identified 73 significant repiquetes that occurred in the Amazon River in the 1996-2018 period, 64.4% (47) have a precursor in the Marañón River, 20.5% (15) have precursors from both rivers, and although the contribution of each river varies from month by month only 5.5% (4) are exclusively associated with the Ucayali River at least as a precursor, and finally, the remaining 9.6% (7) are only registered in the Amazon River. In general, the repiquetes present a greater duration and magnitude for the months of September-October than the months of May and June, although dates close to July have the highest number of outliers. Between the eastern side of the Andes and the Amazon plain, changes from the northwest to southeast low levels winds between 5 and 3 days prior, generated by the passage of high pressure over Argentina, contribute to higher precipitation related to the occurrence of repiquetes. And although the precipitation zones have some differences according to the data set used, the precipitations that occur from the Andean-Amazon transition region and towards the plain of the Marañón basin between Peru and Ecuador turn out to be very relevant, followed by precipitation over Huánuco. Finally, a case from 2002 is analyzed as it has a high magnitude and duration in comparison with the rest of the events.

Keywords: repiquetes, flood, amazon floodplain, Andes-Amazonia.

## I. INTRODUCCIÓN

En la llanura amazónica existen eventos de inundaciones repentinas (repiquetes) que dejan pérdidas económicas a las comunidades próximas al cauce de los ríos amazónicos. Estas comunidades obtienen aproximadamente un 80% de sus ingresos de la agricultura, la cual se practica anualmente desde principios de junio hasta mediados de octubre (temporada de vaciante) en las llanuras de inundación y alrededores sembrando principalmente arroz, frijol Chiclayo, yuca, además de maíz, caña de azúcar, sandía, entre otros (List, 2016; List & Coomes, 2019). Se estima que durante el año 2012 la pérdida total de cultivos y la reducción de la producción familiar debido a repiquetes en localidades próximas a la ciudad de Iquitos asciende al 43% y al 50%, respectivamente (List, 2016). Aunque tales cifras varían año a año, estos eventos siempre son un riesgo de importancia para los agricultores. Además, Garcia Mora (2005) explica que estos mismos eventos tienen influencia en los ecosistemas acuáticos causando por ejemplo el sofoco de los huevos de tortugas antes de su oclusión al re-sumergirlos. De manera que estas inundaciones repentinas ejercen efectos sobre la fauna y flora del medio.

Por otra parte, Langerwisch et al. (2013) con la utilización de modelos de cambio climático plantean una menor ocurrencia de años secos y un incremento de años húmedos consecutivos que podrían resultar en mayores inundaciones, cambios asociados a valores extremos y a la duración de las épocas de vaciante y creciente sobre todo en la parte oeste del Amazonas.

Por lo tanto, el presente estudio tiene como objetivo determinar la dinámica atmosférica de los eventos lluviosos que originan repiquetes en el río Amazonas durante la época de vaciante. Con el fin de lograr el objetivo general, este se subdivide en cuatro objetivos específicos:

- i) Caracterizar hidrométricamente los repiquetes de los ríos Marañón y Ucayali en función de su magnitud, duración e influencia sobre el río Amazonas.
- ii) Identificar los eventos lluviosos y los patrones de circulación asociados al inicio de los repiquetes.
- iii) Determinar los mecanismos físicos atmosféricos asociados a los eventos lluviosos mencionados.
- iv) Determinar la dinámica atmosférica asociada a la ocurrencia de un caso relevante.

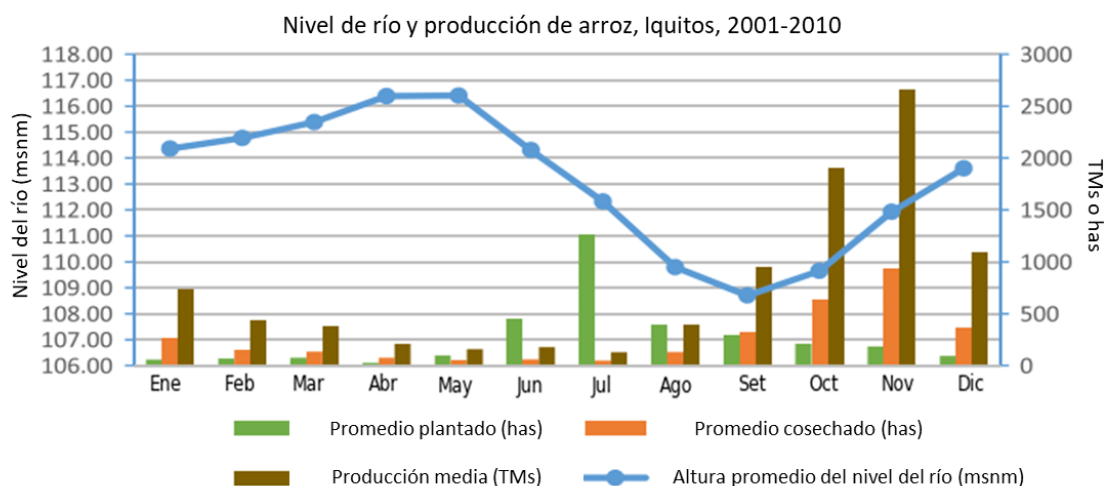
Tales puntos contribuyen a un mayor conocimiento de los fenómenos hidrometeorológicos que originan inundaciones y tratan de caracterizar adecuadamente estos con el fin de ser utilizados en la disminución de la vulnerabilidad del medio y en la reducción de las pérdidas económicas de los agricultores ribereños en la Amazonía peruana.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Regímenes hidrológicos y agricultura de recesión en la Amazonía peruana

Los ríos amazónicos presentan dos estaciones anuales bien marcadas llamadas: creciente, la cual es la temporada de agua altas, y vaciante que presenta aguas bajas. Los máximos niveles del agua del río Amazonas se dan entre abril y mayo disminuyendo hasta setiembre u octubre, donde generalmente alcanza un nivel mínimo (Espinoza et al., 2009a; Figura 1).

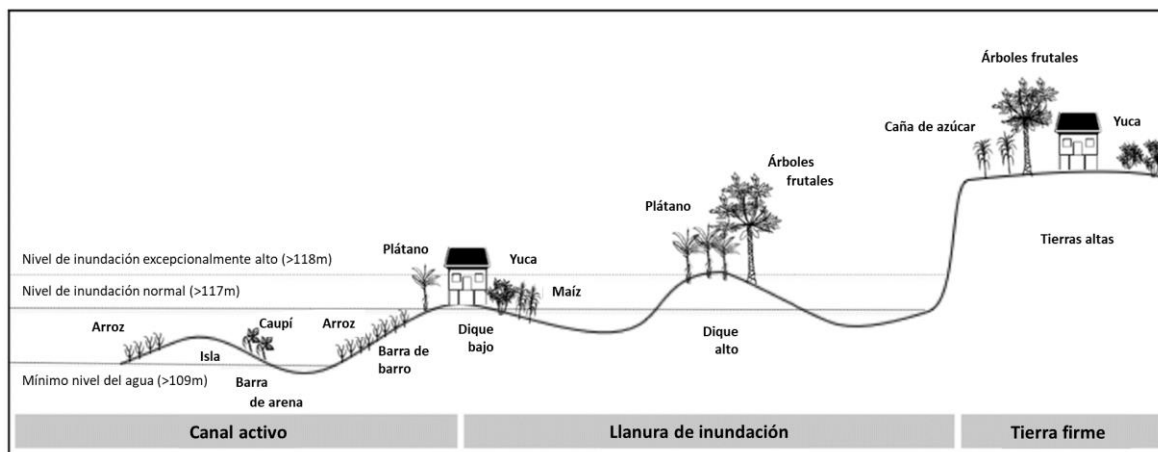
“Las temporadas de vaciante y creciente regulan los medios de vida en la Amazonía” (Junk, 2001), de ahí que los pobladores de las comunidades próximas a los ríos principales conocidos como ribereños estén adaptados y desarrollen distintas actividades durante el año como la pesca, la agricultura y la extracción de productos forestales (List, 2016).



**Figura 1:** Nivel del río y producción de arroz en el área de Iquitos desde el 2001-2010, en el “eje y” los metros sobre el nivel del mar y en el “eje x” los meses. En color verde el promedio plantado en hectáreas (has), en naranja el promedio cosechado en hectáreas y en marrón el promedio producido en toneladas métricas (TMs).

**FUENTE:** Modificado de Coomes et al. (2016)

Este pulso de las aguas enriquece las tierras bajas, los canales activos y las llanuras de inundación, durante las inundaciones trayendo sedimentos ricos en nutrientes desde los Andes (McClain & Naiman, 2008). Las llanuras de inundación son expuestas a partir del mes de junio y por lo tanto los ribereños aprovechan los diferentes accidentes geográficos (Figura 2) para sembrar productos como la yuca, el maíz, el tomate, el plátano, la caña de azúcar, el culantro, entre otros, pero principalmente el arroz (List, 2016).



**Figura 2:** Típica sección transversal en la Amazonía peruana.

**FUENTE:** List & Coomes (2017)

El informe “El arroz” del Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI, 2012) estima que Loreto contribuye con solo un 4% de la producción total de arroz a pesar de poseer el 10% de las áreas cosechadas. Lo que evidencia un bajo rendimiento principalmente debido a inundaciones tempranas, repiquetes y suelos pobres sobre los cuales se siembra por desconocimiento (List, 2016).

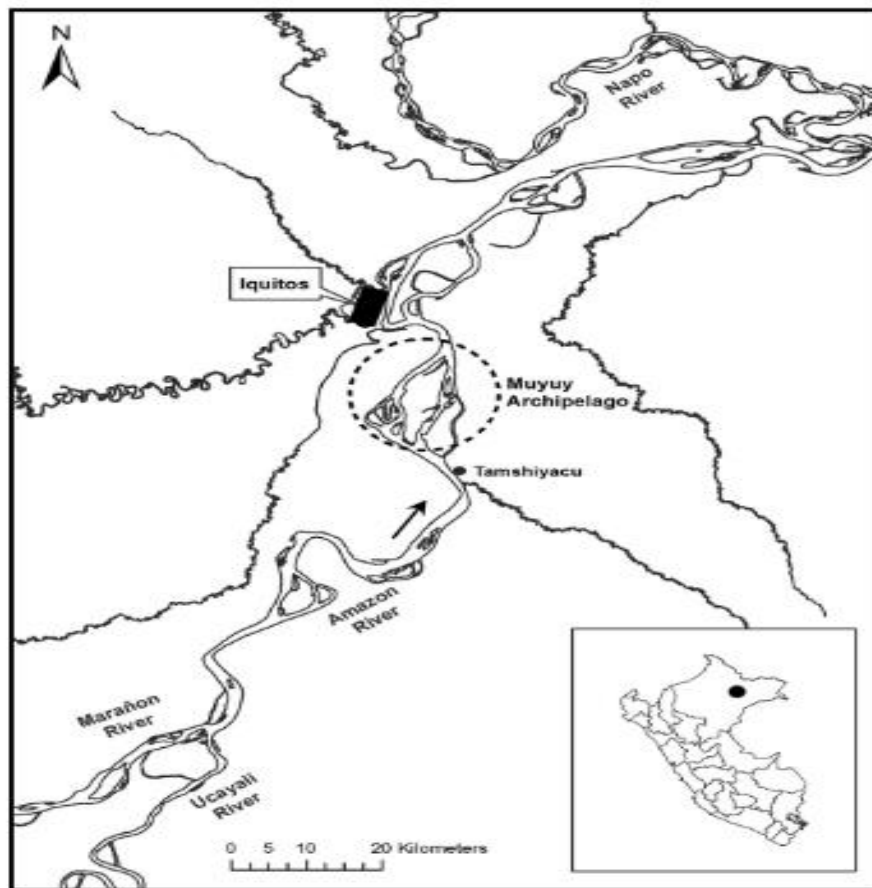
Otros problemas que aquejan a los agricultores ribereños son las plagas, la baja calidad del suelo por acumulación de arenas, la falta de apoyo del gobierno para la implementación de mejoras tecnológicas o mayor instrucción de instituciones como el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), entidad que en algunos casos brinda variedades de arroz resistentes a las inundaciones aunque estas no son preferidas por las comunidades dado que poseen mayor tiempo de maduración (List, 2016).



### 2.1.1 Repiquetes: características e impactos

Este estudio se enfocará en los eventos de repiquetes definidos previamente por Ronchail et al. (2018) como “inversiones en la dirección (o signo) del nivel del agua mayores o iguales a 1 cm de amplitud” analizados durante la temporada de vaciante. Esta definición y las variaciones de sus características como la frecuencia, la duración y la magnitud guarda relación con eventos definidos en trabajos previos (Coomes et al., 2016; List & Coomes, 2017).

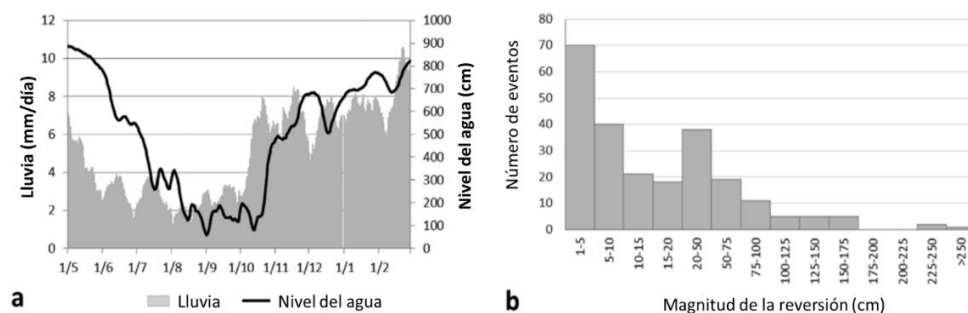
Para los años 2011-2012 se estimó que los eventos de repiquetes representan un 18% de los riesgos de pérdidas totales de cultivos de arroz sembrados en las comunidades ribereñas cercanas a las islas de Muyuy (Figura 3) del bajo amazonas, mientras que otros riesgos por plagas, ratas y aves solo representan un 8% (List, 2016). Los repiquetes también tienen efectos sobre la población de tortugas debido a que estas se guían del nivel del agua para depositar sus huevos los cuales pueden ser sofocados durante la ocurrencia de un repiquete (García Mora, 2005).



**Figura 3:** Área común de estudios previos relacionados a los repiquetes.  
**FUENTE:** Coomes et al. (2016)

Frappart et al. (2019) sugiere que a escalas mensuales en las subcuencas altas con muy poca o nula llanura de inundación, la contribución del agua subterránea a la descarga es relevante, en cambio, en tierras bajas el aporte es mucho menor. Sin embargo, existe escasa bibliografía con respecto al aporte del agua del suelo al cauce principal durante la vaciante y lo significativo que ello podría resultar en la región amazónica en diferentes escalas temporales. En ese mismo sentido y considerando que el estudio se realiza durante la temporada de vaciante, época en la cual las precipitaciones tardarían más en infiltrarse debido a una relativamente menor humedad del suelo y menor conductividad hidráulica (Lee et al., 2006). Por lo expuesto, se considera que, para la ocurrencia de repiquetes en esta temporada, la precipitación días antes toma mayor importancia respecto a las demás variables del ciclo hidrológico dado que no presentan cambios bruscos a una escala temporal diaria. Resultando que la variable más estudiada con relación al origen de repiquetes es la precipitación en días previos (Ronchail et al., 2018).

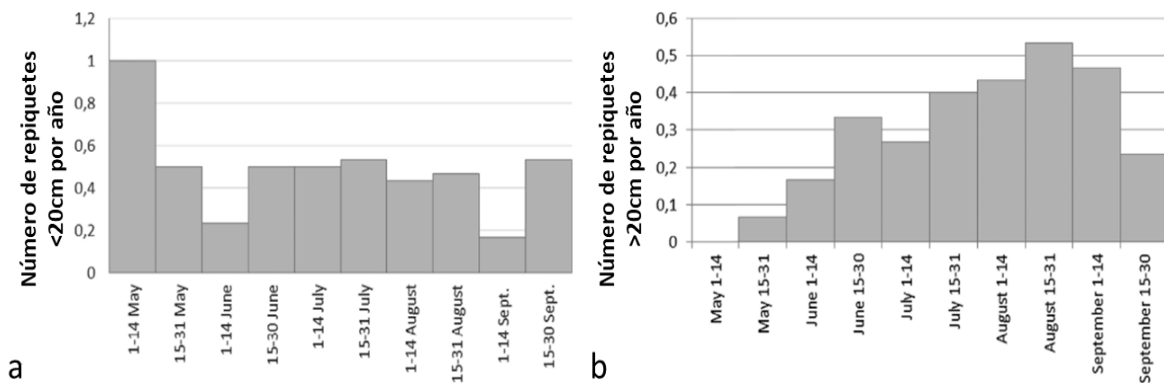
Ronchail et al. (2018) realiza una descripción en función de la magnitud de la reversión sobre el río Amazonas y de la lluvia acumulada diaria en la estación Tamshiyacu para el periodo 1985-2014 (Figura 4). La autora relaciona diez eventos de repiquetes mayores a 1 m y seis repiquetes mayores a 20 cm con eventos de lluvia precedente en la estación Tamshiyacu. Además, halla 48 eventos mayores a 50 cm, 18 mayores a 1 m y tres mayores a 2m de un total de 235 repiquetes identificados en el periodo. En general, los eventos menores a 20 cm duran un poco menos de una semana y eventos mayores pueden durar 2 semanas o incluso más dependiendo de su magnitud. Estos eventos concuerdan con estudios previos realizados con datos de la estación Enapu (Iquitos) en el río Amazonas (Coomes et al., 2016; List & Coomes, 2017).



**Figura 4:** a) Nivel del agua en (cm) de la estación Tamshiyacu y lluvia (mm/día, en barras) en la misma estación. b) Número de repiquetes como función de la magnitud de la reversión para el periodo 1985-2014. Los valores de magnitud están agrupados en diferentes amplitudes.

**FUENTE:** Ronchail et al. (2018)

Continuando con la descripción, la distribución de los eventos de repiquetes a nivel anual y dividiéndolos según su magnitud sea superior o inferior a 20 cm, se ha documentado que los primeros son más frecuentes desde los primeros 15 días de julio hasta los mismos días en setiembre y menciona que los eventos menores son más frecuentes en mayo produciéndose en promedio un evento por año para luego distribuirse por igual de mayo a setiembre (Figura 5).



**Figura 5:** Número promedio de repiquetes por año para el periodo (1985-2014) en la estación Tamshiyacu del río Amazonas. En a) menores a 20 cm y en b) mayores a 20 cm en magnitud de la reversión.

**FUENTE:** Modificado de Ronchail et al. (2018)

Sin embargo, estos estudios no han considerado los precursores de los repiquetes del Amazonas, es decir la influencia de los ríos Maraón y Ucayali, además de cuáles son los factores meteorológicos relacionados a las precipitaciones que ocasionan su origen.

En resumen, se han realizado estudios previos de este tipo de eventos, pero solo con respecto al río Amazonas, sin evaluar los mismos, aguas arriba. Por lo tanto, el presente estudio incluye los ríos Maraón y Ucayali como los principales afluentes del Amazonas y cuyos comportamientos hidrológicos presentan variaciones estacionales como se refleja en sus caudales mensuales promedio (ver Tabla 1).

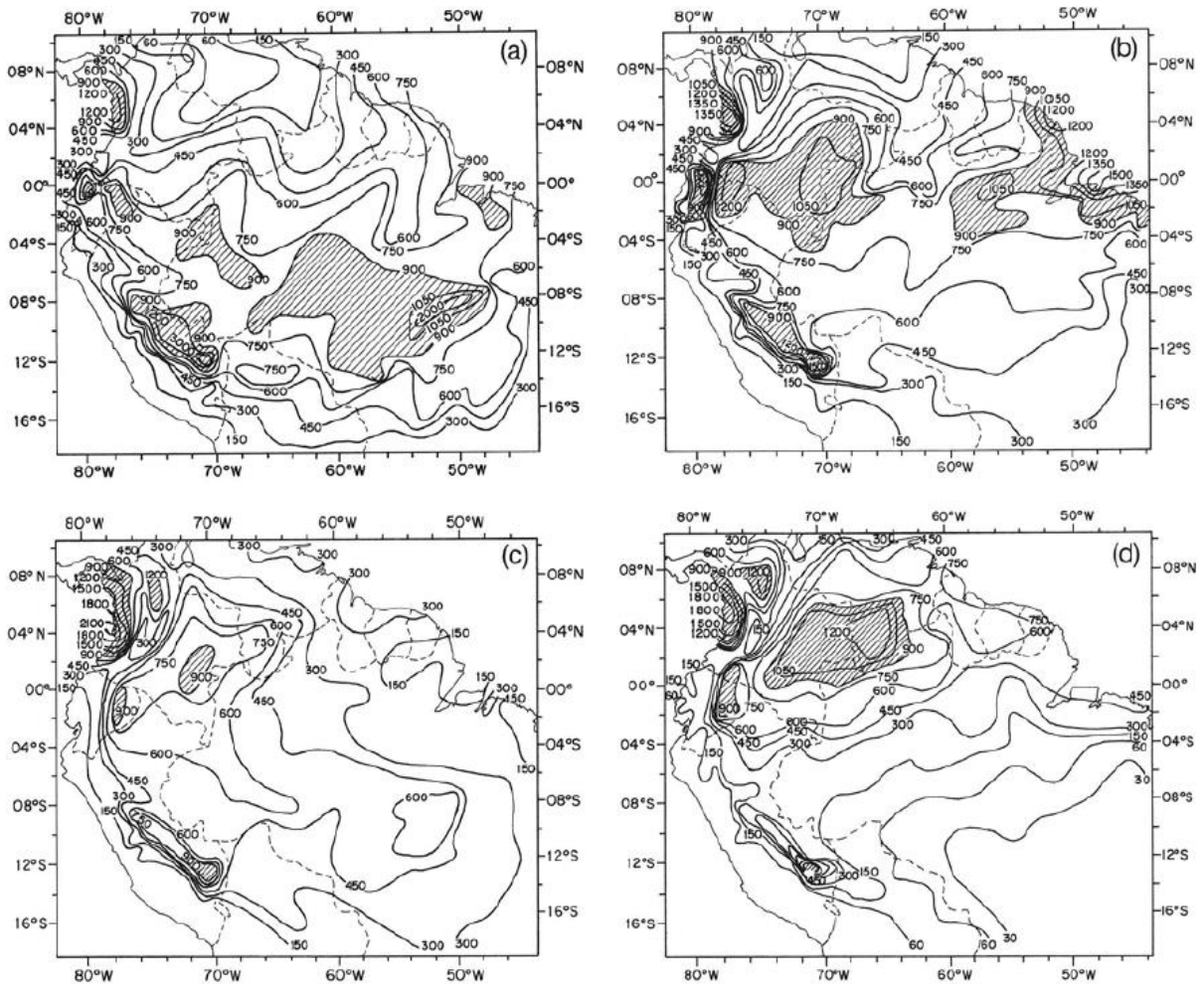
**Tabla 1:** Caudales promedio (m<sup>3</sup>/s) de los principales ríos de la cuenca amazónica con las respectivas estaciones de medición para el periodo 1999-2017.

Mes	Río Amazonas Est. Tamshiyacu	Río Marañón Est. San Regis	Río Ucayali Est. Requena
SET	14656	9905	4367
OCT	17163	11630	5832
NOV	22339	13832	9251
DIC	28406	16819	12530
ENE	33268	18502	15482
FEB	35521	19624	16891
MAR	40012	21742	18491
ABR	44589	23588	19688
MAY	43257	23247	17254
JUN	34647	20503	11737
JUL	26332	17001	7641
AGO	18064	11955	5186

FUENTE: OREHYBAM (<http://www.ore-hybam.org/>)

## 2.2 Clima de la cuenca Amazónica

La Cuenca Amazónica (CA) está ubicada entre las latitudes 5°N y 20°S, limita por el oeste con la cordillera de los Andes y por el este con el Océano Atlántico. Debido a esta ubicación y a su variada topografía existe una gran cantidad de sistemas atmosféricos que la afectan, los cuales le confieren una alta variabilidad espacial de la precipitación en diferentes escalas temporales incluyendo la escala estacional (Figura 6; Satyamurty et al., 1998).

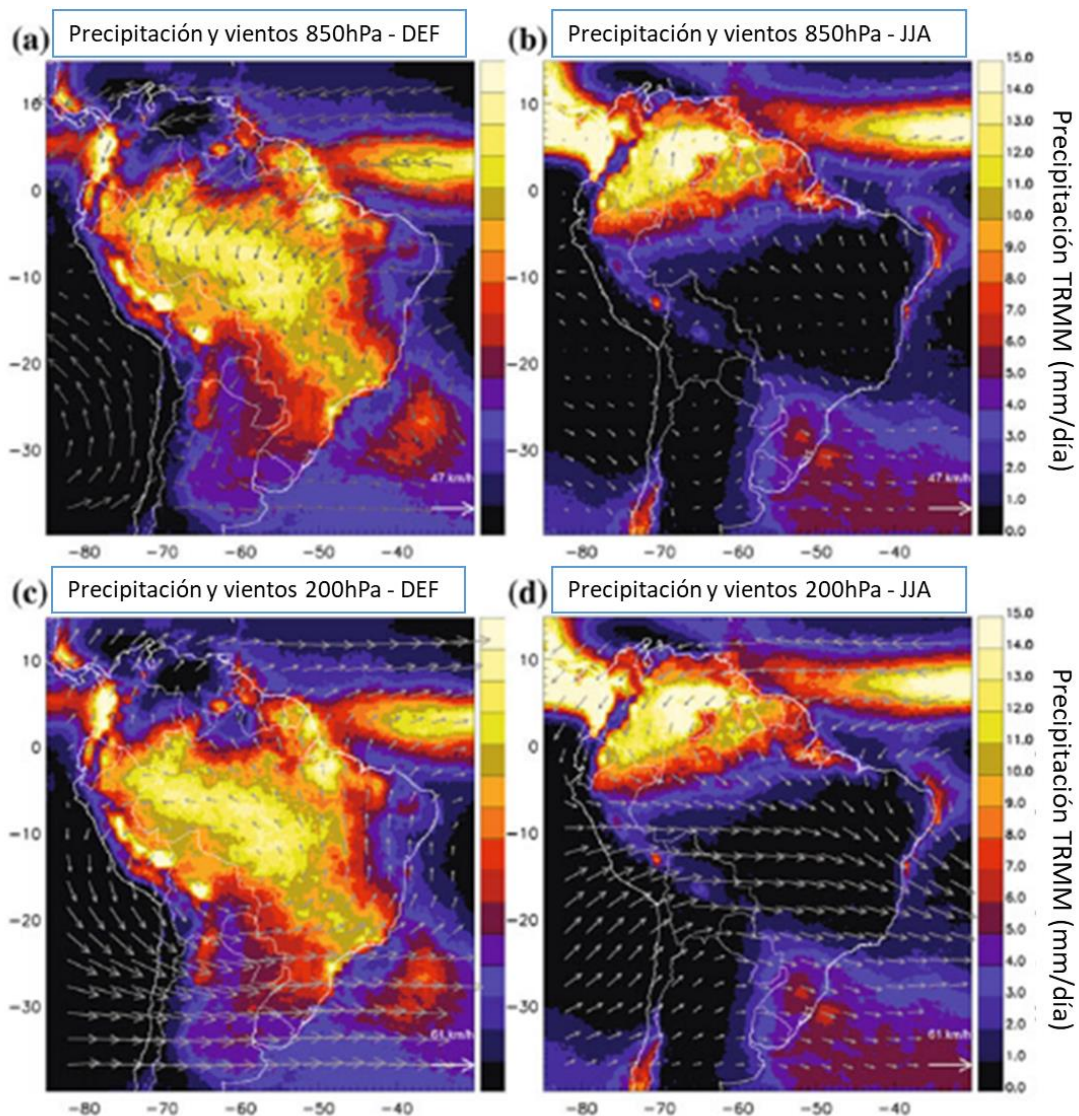


**Figura 6:** Distribución de la precipitación estacional (mm) sobre la Cuenca Amazónica y alrededores (a) DEF, (b) MAM, (c) JJA y (d) SON.

**FUENTE:** Satyamurty et al. (1998)

Espinoza et al. (2009b) realiza un análisis del régimen anual de las precipitaciones en la CA, y encuentra dos regímenes de precipitación que difieren principalmente entre la región norte y sur de la CA. En la región sur de la CA, las mayores precipitaciones ocurren en los meses de verano austral (diciembre, enero y febrero) y se deben a sistemas como el Monzón Sudamericano (SAMS; Vera et al., 2006), la Alta de Bolivia (AB; Silva Dias et al., 1983) y

la zona de baja presión conocida como Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS; Carvalho, Jones, & Liebmann, 2002). Por el contrario, la región norte de la CA presenta sus máximas precipitaciones durante el invierno austral (junio, julio y agosto) relacionadas a vientos predominantes del sur en niveles bajos sobre la región ecuatorial y convergencia de los alisios para esta temporada (Wang & Fu, 2002). Similares distribuciones de precipitaciones con un desplazamiento al noroeste de las lluvias intensas de verano a invierno austral sobre Sudamérica fueron halladas tanto en estudios previos como recientes (Figura 7; L. Carvalho & Cavalcanti, 2016; Figueroa & Nobre, 1990).



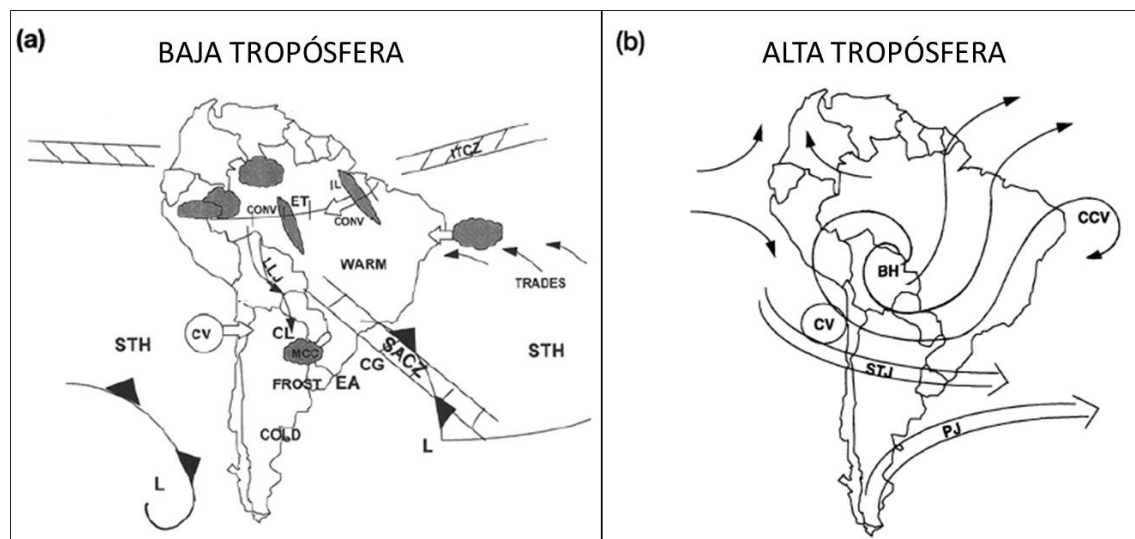
**Figura 7:** Precipitación promedio diaria TRMM con vientos promedio a 850hPa para los meses DEF (a) y JJA (b); precipitación promedio TRMM con vientos promedio a 200hPa para los meses DEF (c) y JJA (d).

**FUENTE:** Modificado de L. Carvalho & Cavalcanti (2016)

Otro sistema de importancia es la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), descrita por Garreaud et al., (2009) como una zona de bajas presiones y convergencia de vientos en niveles bajos, también provoca lluvias al norte de la CA durante los meses de marzo, abril y mayo. Liu & Xie (2002) utilizaron vectores de vientos observados con el escaterómetro QuickSCAT para resaltar la permanencia casi anual de dos bandas de la ZCIT: la primera se origina por la convergencia de vientos del norte y del sur, normalmente dada entre el 0° y 10° N; y la segunda (más débil) se origina dentro de los mismos vientos del sur. Sin embargo, el primer ramal descrito es el que se considera como ZCIT a nivel global.

El jet de bajos niveles (LLJ, por sus siglas en inglés) es un mecanismo que aporta humedad hacia las regiones al sur de la CA y al lado este de los Andes. El LLJ se define como vientos fuertes y húmedos en niveles bajos que cumplen con las siguientes características: por lo general provienen del norte al nivel de 850hPa, poseen velocidades mayores a 12m/s, presentan una cizalladura de viento en la vertical mayor a 6m/s entre los niveles de 850 y 700 hPa, además de presentar un predominio de viento meridional sobre zonal (Marengo et al., 2004). El LLJ advecta humedad hacia el sistema de baja presión de origen térmico conocido como la Baja del Chaco situado comúnmente al sur de Bolivia y al norte de Argentina (Saulo et al., 2004). La Baja del Chaco suele ser profunda en verano y debilitarse en primavera y otoño, para finalmente ser menos frecuente durante el invierno austral (Lichtenstein, 1980).

Los sistemas mencionados anteriormente y otros de importancia para Sudamérica se pueden observar en la Figura 8, la cual representa de manera esquemática la posición de las principales características atmosféricas para esta región.



**Figura 8:** Representación esquemática de las más importantes características de circulación atmosférica en la región de Sudamérica : (a) Baja tropósfera y (b) Alta tropósfera. IL = Líneas de inestabilidad; CL = Baja del Chaco; LLJ = Jet de bajos niveles; ET = Vaguada ecuatorial; MCC = Complejo convectivo de mesoescala; CONV = actividad convectiva; CG = ciclogénesis; STH = Alta subtropical; EA = Anticiclón extratropical; L = Centro de baja presión; CV = Vórtice ciclónico; BH = Alta de Bolivia; CCV = Vórtice de núcleo frío; STJ = jet subtropical; PJ = jet polar.

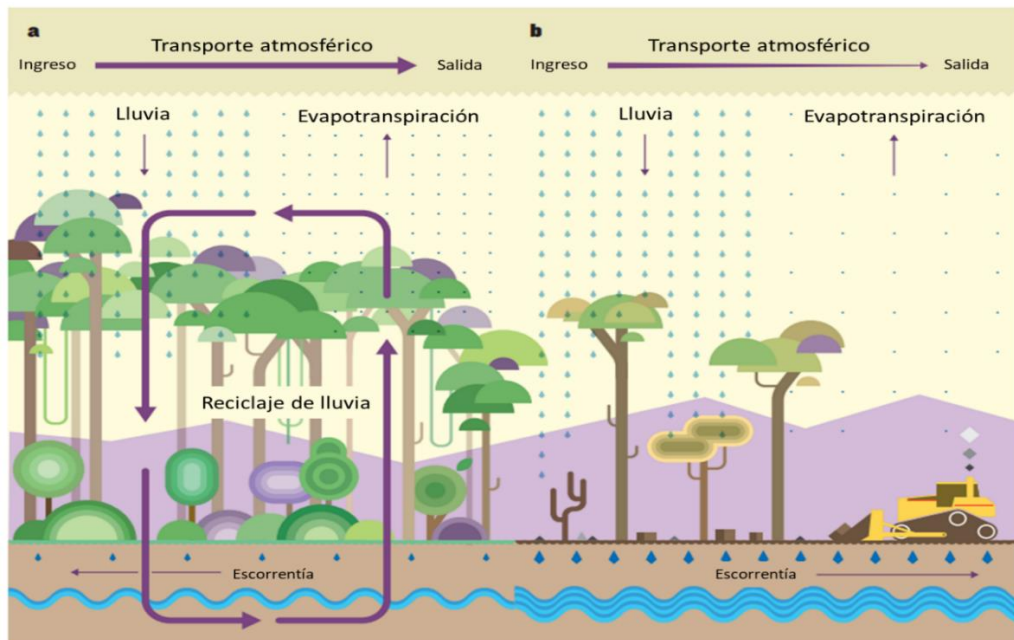
**FUENTE:** Satyamurty et al. (1998)

La precipitación en la CA también se ve afectada en escalas que van desde la intraestacional hasta la sinóptica por la Oscilación Madden-Julian (MJO), Complejos Convectivos de gran escala (CCM), líneas de inestabilidad (LI), friajes. La MJO domina la variabilidad intraestacional en la CA y resulta en aportes importantes de precipitación para el periodo seco sobretodo en algunos de los “hotspots” en la región sur de la CA oeste (Mayta et al., 2018). Los CCM definidos como áreas extensas (>50 000 km<sup>2</sup>) de actividad convectiva y delimitada generalmente por temperaturas de brillo muy bajas asociados a atmósfera barotrópica y que pueden durar más de 10 horas (Velasco & Fritsch, 1987). Las LI son bandas convectivas estrechas mayores a 100km que se desplazan hacia el oeste y comúnmente se presentan entre los meses de abril y agosto (Cohen et al., 1995). Continuando, los friajes son definidos como frentes fríos que se adentran sobre la parte central de la Amazonía más frecuentemente durante la época seca (J. Marengo, 1983 y las referencias citadas en el mismo). Estos autores relacionan los friajes con vientos del sur, descensos bruscos de la temperatura mínima, descensos en la humedad, elevación de la presión, entre otros; además utilizan imágenes satelitales y observaciones para su monitoreo.



Además de todo lo ya mencionado, estudios recientes resaltan la importancia que pueden ejercer las ondas ecuatoriales, las ondas del este y las ondas de gravedad sobre las precipitaciones en la CA (Cohen & Gandu, 2012; Flores-Rojas et al., 2019; Kiladis et al., 2009).

Un tema no necesariamente reciente, pero con un potencial para modificación de la circulación sobre la CA y la distribución de las lluvias asociadas es la deforestación. La deforestación es una de las principales amenazas que enfrenta la región amazónica además de la minería ilegal, el petróleo, el gas, las presas, la construcción de carreteras y la agricultura de tala y quema (Rhett A. Butler, 2012). La deforestación a gran escala en la Amazonía podría disminuir las precipitaciones en un 12% durante la temporada de lluvias y un 21% durante la época seca (Spracklen et al., 2012). Estudios previos han evaluado la respuesta de modelos climáticos de gran escala frente a escenarios de deforestación en la Amazonía concluyendo que las consecuencias pueden llevar a una menor cantidad de evapotranspiración reduciendo el reciclaje de lluvias y ocasionando una reducción de las mismas (Figura 9), además, se realizaron estimaciones de un punto de no retorno próximo a la deforestación del 40% de la región (Aragão, 2012; Sampaio et al., 2007).

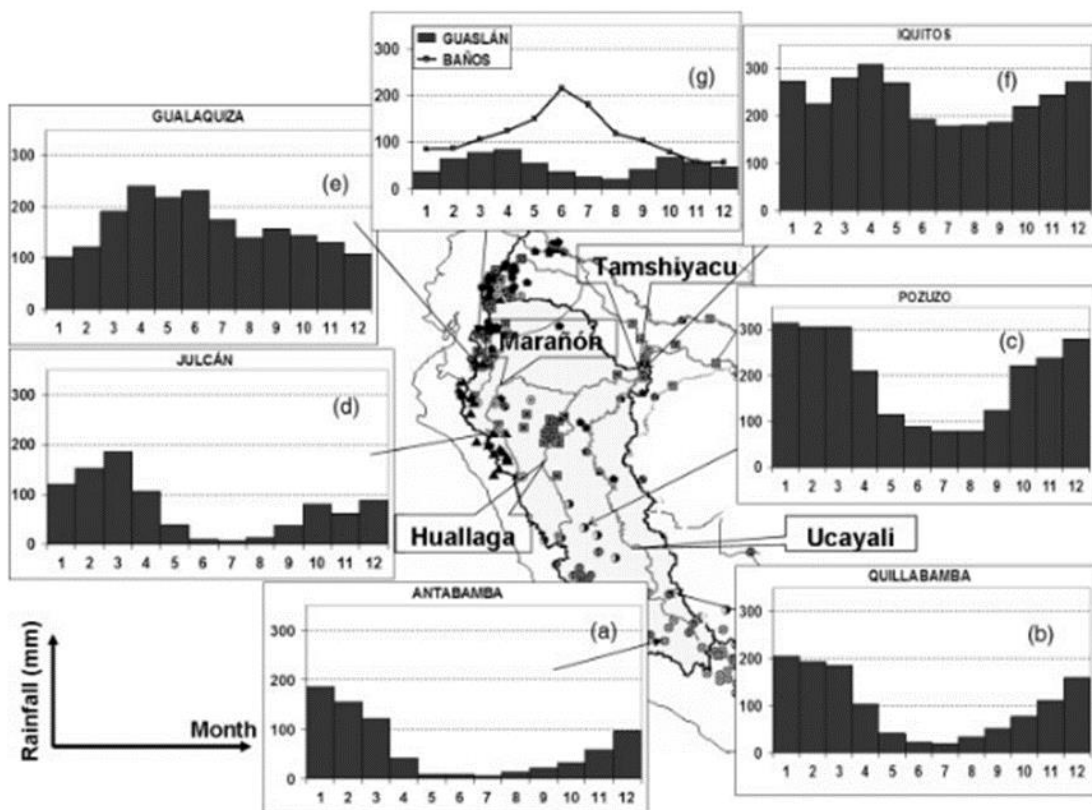


**Figura 9:** Efectos de la deforestación sobre las lluvias en los trópicos. a) Gran parte de las lluvias de los bosques tropicales provienen de la humedad evapotranspirada de los mismos. b) En un caso con deforestación, la evapotranspiración disminuye y menor cantidad de humedad es transportado hacia la atmósfera generando menor cantidad de lluvia.

**FUENTE:** Modificado de Aragão (2012)

### 2.3 Hidroclimatología de la cuenca Amazónica occidental

La CA más occidental conformada principalmente por las subcuencas andino-amazónicas que dan origen a los ríos Marañón y Ucayali y que llega hasta la estación Tamshiyacu, situada aguas abajo del área de confluencia de ambos ríos mencionados, es comúnmente conocida en la literatura como cuenca Tamshiyacu. Aunque tal nombre sea tomado de una estación y no de un río principal como tal, este ha sido utilizado para hacer referencia a toda esta región en estudios previos (Espinoza et al., 2011), por tal razón será utilizado en ese mismo sentido a lo largo de la investigación. La cuenca Tamshiyacu (CT) posee un área de 726400 km<sup>2</sup>, está ubicada entre las latitudes 0° y 16°S (Espinoza et al., 2009). Se extiende longitudinalmente desde los Andes de Perú y Ecuador hasta el inicio de la llanura de inundación amazónica, de manera similar a la CA exhibe una alta variabilidad en las precipitaciones con una intensidad promedio de 4.8 mm/día (Espinoza et al., 2011, 2016). Así mismo, al encontrarse en la región occidental de la CA presenta variaciones latitudinales, con regímenes del norte, del sur e intermedios (Figura 10; Espinoza et al., 2009).



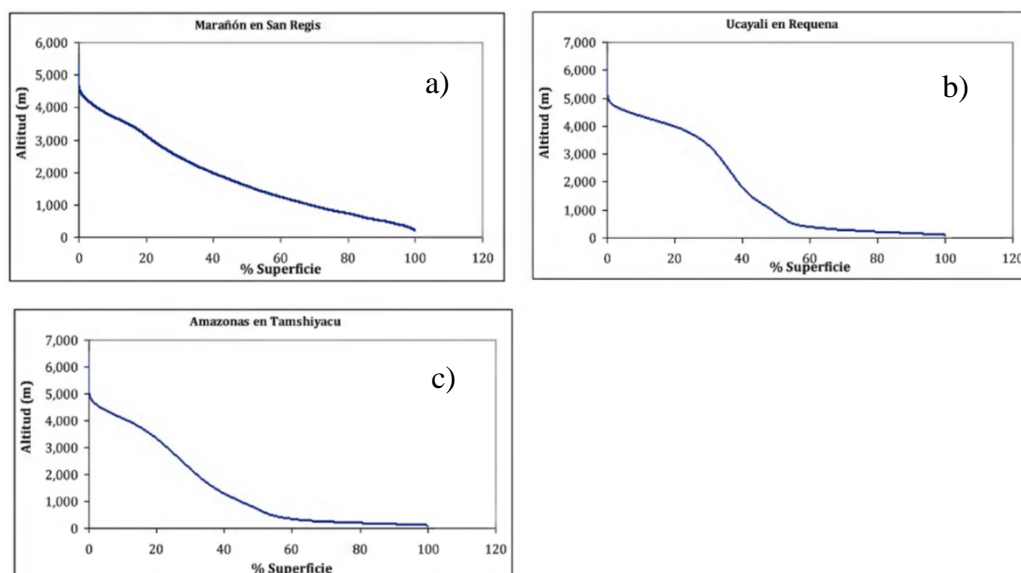
**Figura 10:** Régimen de precipitaciones en siete estaciones de la Amazonía peruano-ecuatoriana.

**FUENTE:** Espinoza, Ronchail et al. (2009)

Entre los principales sistemas que propician la precipitación en esta región se encuentran: la zona de convergencia intertropical (ZCIT) con grandes aportes de humedad en los meses de marzo, abril y mayo (Garreaud et al., 2009); la Oscilación Madden-Julian (MJO) promoviendo convección y cambios en los patrones de circulación (Mayta et al., 2018), los complejos convectivos de mesoescala (CCM), entre otros mencionados anteriormente.

Anteriormente, la región de los Andes que forma también parte de la CT, ha exhibido variedad de regímenes al norte de la cuenca donde resalta el régimen bimodal (e.g. Espinoza et al., 2009; Laraque et al., 2007; Segura et al., 2019) con picos en los meses de marzo-abril y octubre-noviembre asociados a la ZCIT y al transporte de humedad hacia el oeste de la CA y, por otro lado, regímenes unimodales al sur con picos durante el verano austral asociados a la Alta de Bolivia (AB) y al LLJ (Espinoza, Ronchail, et al., 2009; Segura et al., 2019).

La red fluvial del río Amazonas compuesta principalmente por el río Marañón, el río Ucayali y sus afluentes confluyen a 80km de distancia al sur-sureste de la ciudad de Iquitos. La cuenca del río Marañón posee una pendiente en promedio uniforme a lo largo de su recorrido en comparación con la cuenca del río Ucayali que presenta una marcada cuenca alta por encima de los 4000msnm, una cuenca media bien pronunciada y por último la cuenca baja del río Ucayali abarca una superficie mayor al 40% por debajo de los 1000msnm con muy poca pendiente (Figura 11).

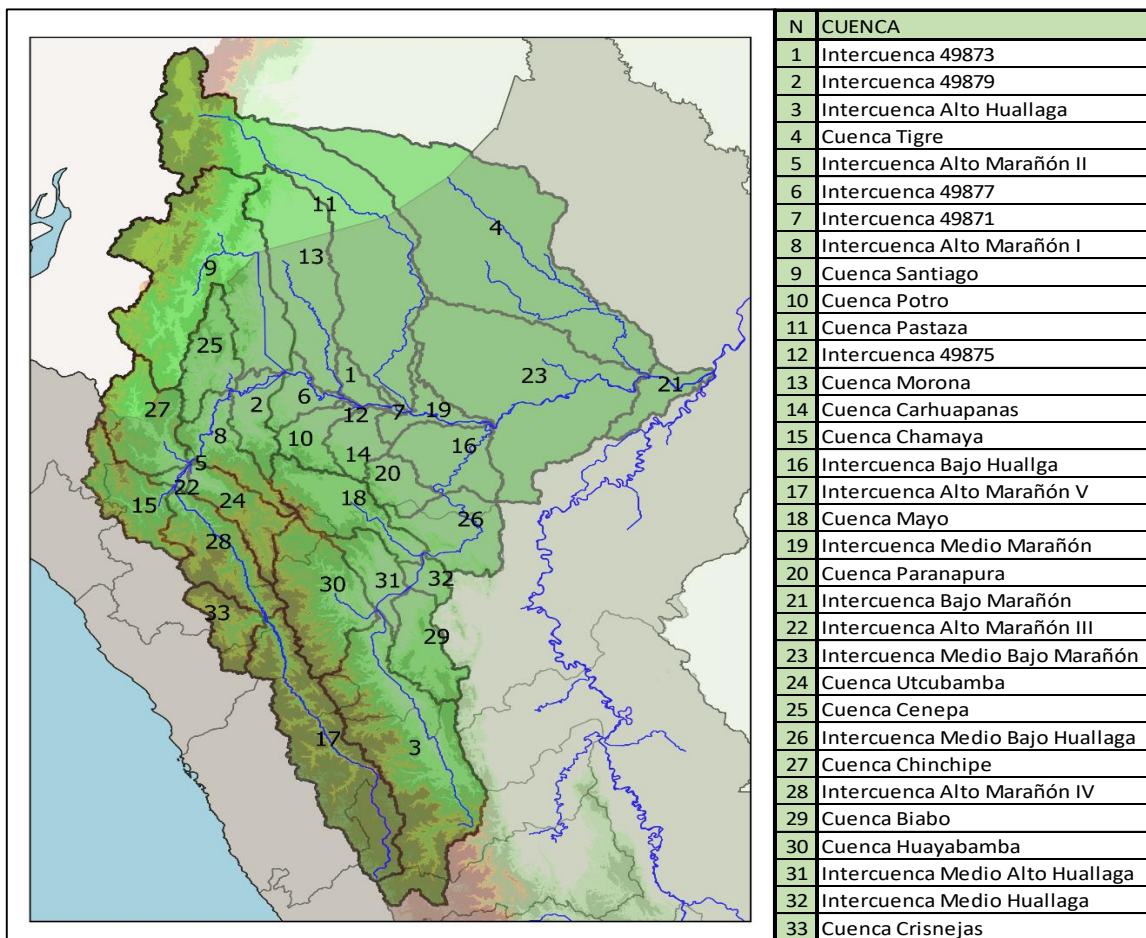


**Figura 11:** Curvas hipsométricas de los ríos a) Marañón, b) Ucayali y c) Amazonas hasta las estaciones San Regis, Requena y Tamshiyacu, respectivamente.

**FUENTE:** Mialocq et al. (2010)

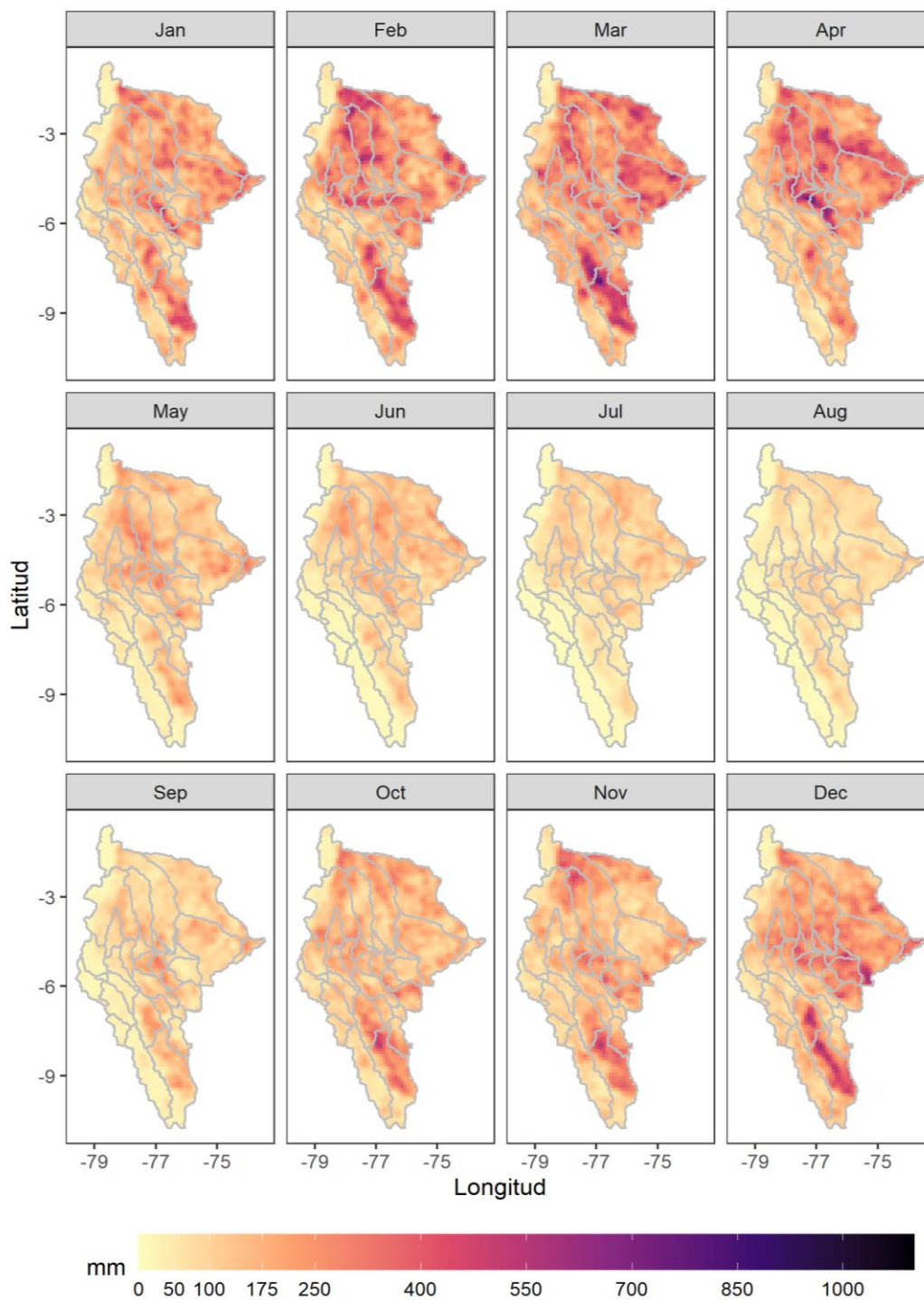
### 2.3.2 La cuenca del Marañón

Es una cuenca binacional que presenta una extensión de 364991 km<sup>2</sup> y una descarga media anual de 17362 m<sup>3</sup>/s para el periodo 1999-2017 (Tabla 1). El río Marañón tiene su origen en la Cordillera de Huayhuash y recibe aportes principales de los ríos Santiago, Morona, Pastaza, Tigre, Huallaga, Utcubamba, Crisnejas, Chamaya, Cenepa y Nieva. Es clasificado como un río multicanal aunque en ciertos tramos presenta meandros (Abad et al., 2013). Su lecho está conformado por sedimentos arenosos, limosos y finalmente arcillosos hacia la confluencia con el río Ucayali (Armijos, 2010). Las subcuencas que conforman la cuenca se resumen en la Figura 12 que contiene información de las principales Unidades Hidrográficas definidas por la Autoridad Nacional del Agua sobre la región peruana más las subcuencas transfronterizas de los ríos de aporte ecuatoriano (ANA, 2012).



**Figura 12:** Subcuencas de la cuenca Marañón.

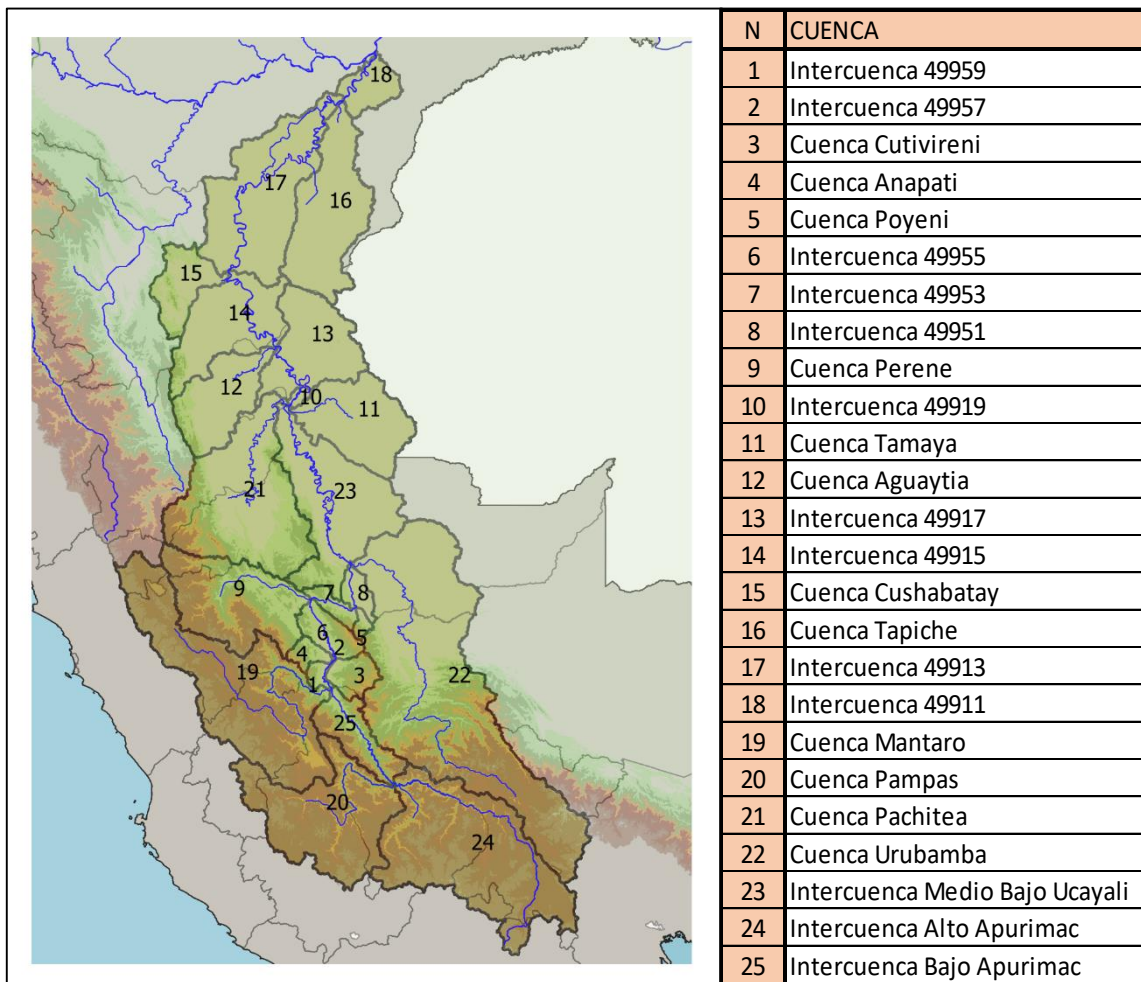
La variabilidad espacial y temporal a escala mensual de la precipitación sobre la cuenca del Marañón se pueden apreciar en la Figura 13. Estudios recientes muestran diferentes regímenes de precipitación sobre la región Andina de esta cuenca con regímenes unimodales ecuatoriales y bimodales al norte de los 8°S con picos en los meses de marzo-abril y octubre-noviembre, con un periodo menos lluvioso de junio a agosto (Segura et al., 2019).



**Figura 13:** Precipitación mensual datos CHIRPSv2 0.05° - Cuenca Marañón.

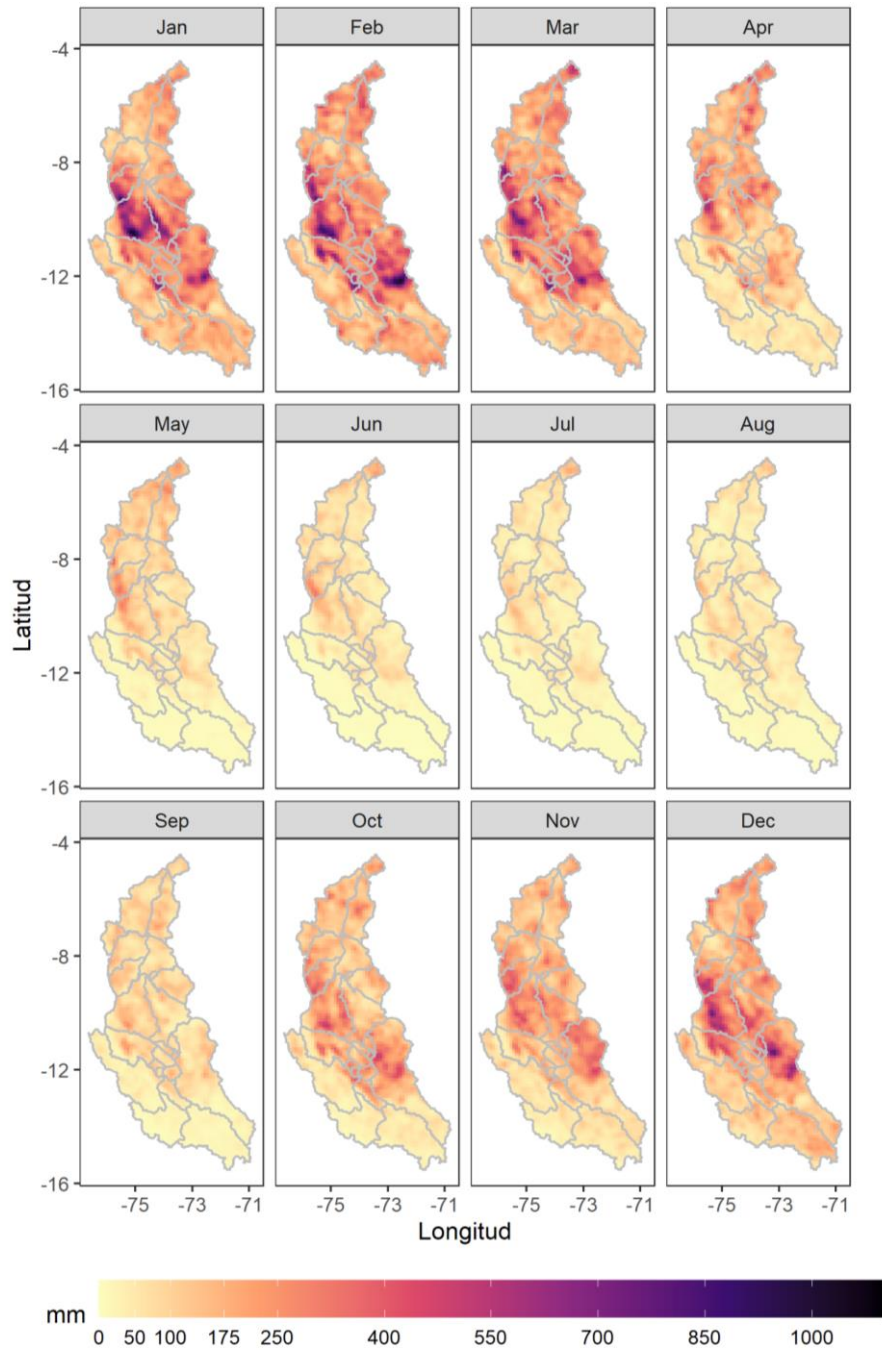
### 2.3.3 La cuenca del Ucayali

La cuenca Ucayali presenta una extensión de 350323 km<sup>2</sup> y una descarga media anual de 12029 m<sup>3</sup>/s (Tabla 1). Sus orígenes se dan en la Cordillera de Chila recibiendo los nombres de río Apurímac, Ene y Tambo durante su recorrido para finalmente juntarse con el río Urubamba para su formación. Es clasificado como un río meándrico a lo largo de su camino de sur a norte (Abad et al., 2013). Las principales Unidades Hidrográficas definidas por la Autoridad Nacional del Agua sobre la región se muestran en la Figura 14 (ANA, 2012).



**Figura 14:** Subcuencas de la cuenca Ucayali.

La variabilidad espacio-temporal de la lluvias mensuales sobre la cuenca del Ucayali se pueden apreciar en la Figura 15, con una temporada seca más duradera al Sur (MJJAS). Estudios previos resaltan la estacionalidad en la región Sur de los Andes y la Amazonía con una temporada húmeda entre diciembre y febrero relacionada a condiciones de humedad, una extensión hacia el norte del LLJ y la AB (Mayta et al., 2020; Segura et al., 2019).

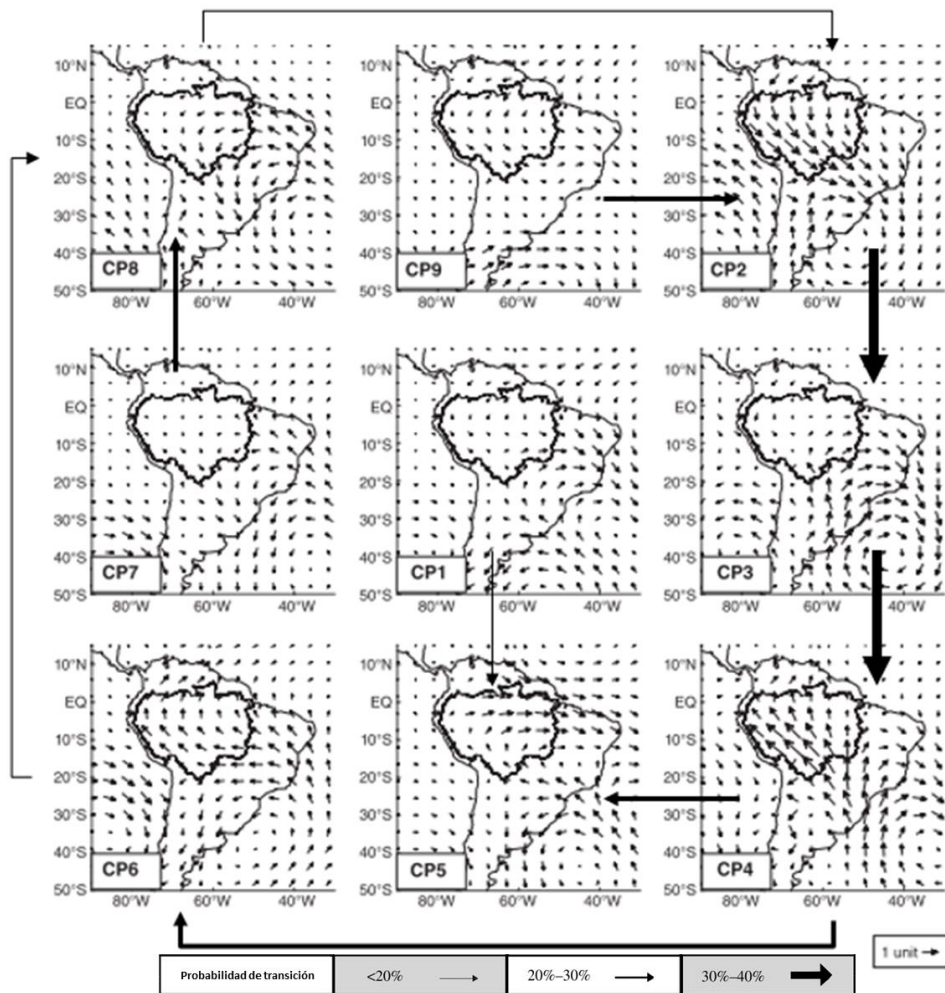


**Figura 15:** Precipitación mensual datos CHIRPSv2 0.05° - Cuenca Ucayali.

## 2.4 Patrones de circulación atmosférica en la Amazonía

Estudios previos han utilizado técnicas de Aprendizaje Profundo y Clasificación Ascendente Jerárquica para descomponer la variabilidad atmosférica de niveles bajos en patrones de circulación (en adelante CPs) atmosférica principalmente a 850 hPa (Espinoza et al., 2012; Paccini et al., 2017). Estos CPs resumen el comportamiento horizontal de los vientos diarios durante cierto periodo agrupándolos en categorías de patrones de circulación recurrentes a gran escala con características comunes entre sí.

Paccini et al. (2017) identifica 9 CPs y calcula las probabilidades de transición entre ellos (Figura 16), tres con vientos predominantes del norte (CP8, CP9 y CP2), tres con vientos predominantes del sur (CP6, CP5 y CP4) y otros tres patrones intermedios (CP7, CP1 y CP3). Es importante mencionar que de los CPs definidos se caracteriza al CP4 (CP5) como clave de las lluvias máximas (mínimas) diarias sobre la región noroeste de la cuenca.



**Figura 16:** Nueve patrones de circulación y sus probabilidades de transición.  
**FUENTE:** Modificado de Paccini et al. (2017).



### III. METODOLOGÍA

#### 3.1 Área de estudio

El área de estudio se localiza en la región noreste de la Amazonía peruana, en la confluencia de los ríos Marañón y Ucayali a 80 kilómetros de la ciudad de Iquitos. El área incluye las tres estaciones hidrológicas San Regis, Requena y Tamshiyacu sobre las cuales se analizaron los eventos de repiquetes (Figura 17).

El estudio se realizó en la temporada de vaciante para los años con registro histórico confiable debido a la precisión necesaria para evaluar la influencia que los repiquetes tienen principalmente sobre las pérdidas de los cultivos de recesión.

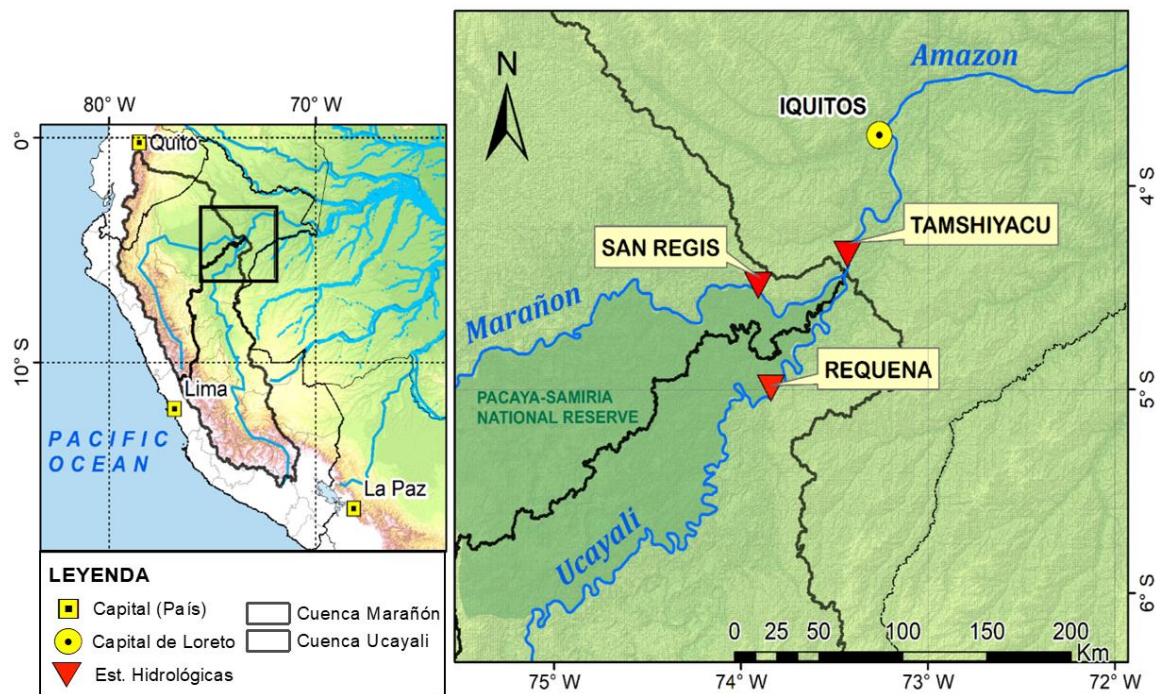


Figura 17: Localización del área de estudio.

## 3.2 Datos

### 3.2.1 Datos hidrológicos

La caracterización de los eventos de repiquetes requiere de datos hidrométricos históricos diarios como los niveles de ríos de las estaciones ubicadas en cada río de estudio. En este caso solo se tomaron tres estaciones: San Regis, Requena y Tamshiyacu que caracterizan los ríos Marañón, Ucayali y Amazonas, respectivamente (Tabla 2). Los datos son de libre acceso y los disponibiliza en el Servicio de Observación SO HYBAM "Control geodinámico, hidrológico y bio-geoquímico de la erosión/alteración y de las transferencias de materia en las cuencas del Amazonas, del Orinoco y del Congo" en la página <http://www.ore-hybam.org/index.php/eng/Data>.

**Tabla 2:** Datos hidrométricos

Estación	Río	Lat	Lon	Altura del cero de la regla	Periodo
Tamshiyacu	Amazonas	-4.00343	-73.1615	80.25 msnm	1985-2018
San Regis	Marañón	-4.51339	-73.9068	84.5 msnm	1985-2018
Requena	Ucayali	-5.04111	-73.8399	87.45 msnm	07/1996-2018

También se utilizaron datos de velocidades de la sección transversal del río medidos con "Acoustic Doppler Current Profiler" (ADCP, por sus siglas en inglés) en aforos realizados por el SO-HYBAM durante la temporada de estudio para los dos afluentes (Tabla 3).

**Tabla 3:** Velocidad promedio de la sección del río (m/s) medido con "Acoustic Doppler Current Profiler" (ADCP) para el periodo de estudio 2002 - 2011.

Estacion		<i>may</i>	<i>jun</i>	<i>jul</i>	<i>ago</i>	<i>set</i>	<i>oct</i>
San Regis	media	1.56	1.5	1.45	1.13	1.04	1.1
	std	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02
	n	9	3	1	3	3	5
	t	49	12	5	19	14	23
Requena	media	1.35	1.09	0.92	0.5	0.54	0.73
	std	0.05	0.01	0.03	0.01	0.02	0.02
	n	6	4	1	2	2	5
	t	39	21	4	11	10	19

Donde *std* es la desviación estándar, *n* es el número total de aforos y *t* es el número de transectos realizados por aforo.

### 3.2.2 Datos meteorológicos

Para identificar y evaluar los diferentes mecanismos físicos asociados a los repiquetes se utilizaron variables meteorológicas, las cuales se mencionan líneas abajo, con una resolución temporal diaria debido a la escala temporal en la que ocurren estos eventos hidrológicos.

#### a. Reanálisis ERA Interim

Los datos meteorológicos de reanálisis son elaborados a partir de observaciones históricas disponibles y simulaciones realizadas con modelos numéricos globales para describir el estado atmosférico en grillas regulares y en diferentes niveles de presión atmosférica.

ERA-Interim es un reanálisis global con datos disponibles para el periodo 01/01/1979-31/08/2019, elaborado con el modelo global *European Centre for Medium Range Weather Forecast* (ECMWF). 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.

Los datos de viento zonal (u) y meridional (v), humedad relativa (HR), humedad específica (q) y temperatura atmosférica utilizados para este estudio poseen una resolución espacial de 0.25° y una resolución temporal diaria durante el periodo 1985-2018 y abarcan la región delimitada por 20°N, 50°S, 120°W, 30°W en los niveles de presión de 1000, 950, 925, 850, 700, 500, 300 y 200 hPa. Además, se utilizó datos de la presión atmosférica al nivel del mar a la misma resolución y para el mismo periodo de estudio.

#### b. CHIRPS

*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS) es un conjunto combinado de datos estimados de lluvia a partir de estaciones pluviométricas (observaciones) y satelitales basadas en la duración de una nube fría con un umbral de temperatura definido, utilizando un algoritmo modificado de la ponderación de la distancia inversa o IDW, por sus siglas en inglés, que abarca todas las longitudes entre las latitudes de 50°N y 50°S (Funk et al., 2015). Los datos están disponibles en <ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0> desde 1981 hasta la actualidad y resoluciones espacial de 0.05° y 0.25°, los cuales se utilizarán en este estudio.

c. TRMM 3B42 V7

Es un producto del *Tropical Rainfall Measurement Mission* (TRMM; Huffman et al., 2007) que combina tanto estaciones en superficie como estimaciones de varios satélites, presentando mejoras a una resolución temporal diaria y espacial de  $0.25^\circ$ , alguna de las cuales han sido documentada en Zulkafli et al. (2014). La serie de productos TRMM son muy utilizados por su desempeño sobre la Cuenca Amazónica a diferentes escalas temporales (Paccini et al., 2017; Zubieta et al., 2015). Este producto puede ser descargado de <https://disc.sci.gsfc.nasa.gov/>.

d. PISCOp V2.1

Es un producto del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrografía (SENAMHI) denominado *Peruvian-Interpolated data of SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations* (PISCOp V2.1; Aybar et al., 2019). Este producto es un conjunto grillado de datos de lluvia con una resolución horizontal de  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  para el periodo 1981-2016 en su versión estable y disponible en <https://piscoprec.github.io/> a paso diario. La creación de este conjunto de datos involucra una combinación de datos de estaciones del SENAMHI, CHIRP V2.0, combinaciones de mediciones de precipitación por radar, métodos de interpolación geostatísticos, determinísticos y además se aplica un factor de corrección mensual utilizando datos TRMM.

e. Patrones de Circulación

Los datos de patrones de circulación que se utilizaron en la presente investigación fueron resultados de una investigación previa realizada por Paccini (2016) durante su trabajo de tesis de pregrado. Los cuales se solicitaron y básicamente expresan una lista de días asociados a un determinado CP (del 1 al 9) para el periodo 1979-2014.

f. GRIDSAT-GOES

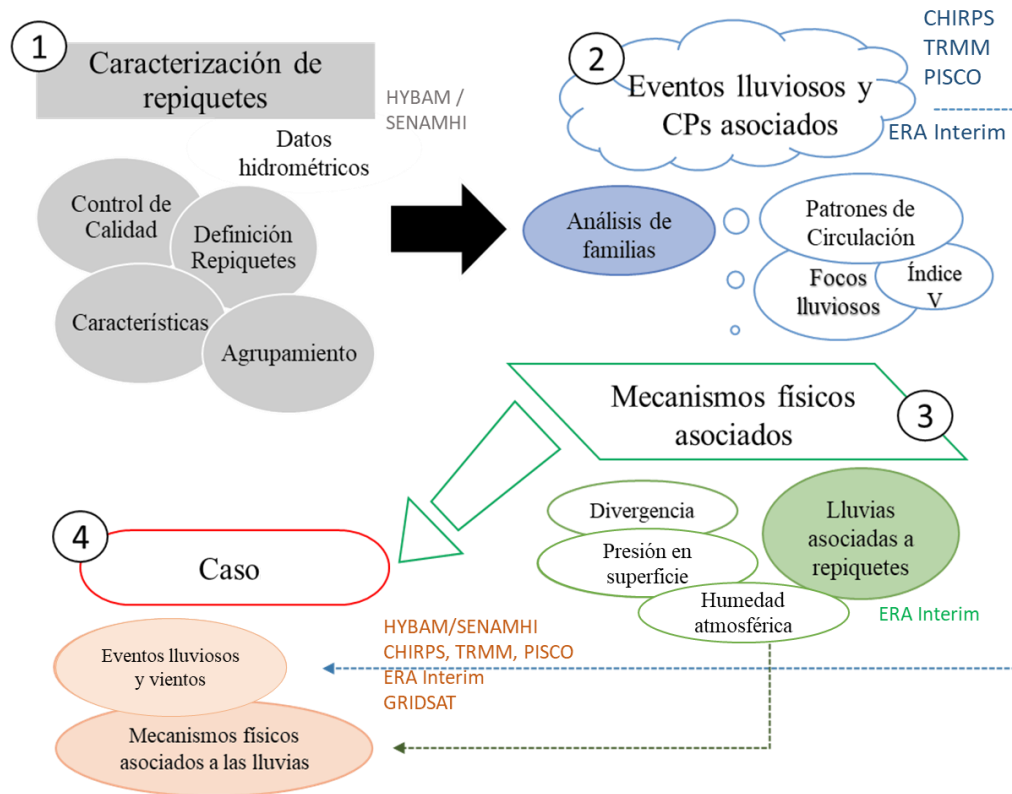
Es un producto elaborado por Knapp & Wilkins (2018) y financiado por la (NOAA) como un medio para facilitar el acceso a los datos del GOES 8-15 con una resolución temporal de 1 hora y que abarca todo el hemisferio oeste. Los datos son de libre descarga desde la página web <https://www.ncdc.noaa.gov/gridsat/>. El producto satelital en mención presenta cinco bandas espectrales:

**Tabla 4:** Bandas espectrales del canal del generador de imágenes de GOES 8.

Canal #	Longitud de onda central em $\mu\text{m}$ (micrómetros)	Resolución Espacial (km)	Aplicaciones
1	00.65	1,00	Nubes visibles y características de superficie
2	03,90	4,00	IR de niveles bajos utilizado para identificar nubes/nieblas o incendios.
3	06.70	8,00	IR de niveles medios relacionado con la absorción de IR del vapor de agua.
4	10,70	4,00	IR temperatura de superficie/topes de nube
5	12.00	4,00	IR temperatura de superficie/topes de nube, vapor de agua de niveles bajos

### 3.3 Métodos

La metodología seguida se resume en la Figura 18 y en los ítems posteriores.



**Figura 18:** Metodología.

#### 3.3.1 Caracterización hidrométrica de los repiquetes de los ríos principales

##### a. Control de calidad de datos hidrológicos

Se realizó un control de calidad a las series limnimétricas obtenidas de las tres estaciones hidrológicas: Requena, San Regis y Tamshiyacu teniendo en cuenta la existencia o no de datos faltantes y la existencia de puntos de quiebre en las series.

Para verificar la existencia significativa de puntos de quiebre se aplicaron tres pruebas estadísticas a cada una de las series limnimétricas: la prueba de homogeneidad normal estándar o SNHT, por sus siglas en inglés (Alexandersson, 1986), la prueba Pettitt (Pettitt, 1979), la prueba Buishand (Buishand, 1984). En la presente investigación, se define un quiebre estadísticamente significativo en las series hidrométricas cuando es observado por al menos dos de las tres pruebas estadísticas con un margen de tres días de diferencia para una misma estación y hasta nueve días de diferencia entre estaciones aguas arriba y abajo.

### Prueba de homogeneidad normal estándar

Fue desarrollado por Alexandersson (1986) para detectar un cambio en series de tiempo de intensidades de precipitación. La metodología utiliza valores estandarizados y calcula un estadístico a partir de estos. La hipótesis nula planteada es que la serie es homogénea entre dos tiempos dados asumiendo una distribución normal. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que esta prueba es sensible a tendencias.

El estadístico utilizado:

$$T = \max T_k \text{ con } T_k = kz_1^2 + (n - k)z_2^2 \dots (1 \leq k < n)$$

donde:

$$z_1 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \quad z_2 = \frac{1}{n-k} \sum_{i=k+1}^n \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$$

denotan promedios muestrales antes y después de un tiempo k.

### Prueba de Pettitt

Es una prueba no paramétrica desarrollada por Pettitt (1979), la cual no hace asunciones respecto a la distribución de los datos a excepción que estos sean continuos. La hipótesis nula H asume que no hay cambios en la serie y la hipótesis alternativa A indica que sí hay un cambio, el estadístico utilizado es:

$$K_T = \max |U_{t,T}|$$

Donde T es el número de observaciones y se utiliza una versión de la prueba Mann-Whitney para dos muestras de una misma población  $sgn(X_i - X_j)$

$$U_{t,T} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^T sgn(X_i - X_j)$$

De existir un cambio, este se localiza en  $K_T$  y se estima probabilidades de significancia asociadas con la siguiente expresión :

$$p \cong 2 \exp\left(\frac{-6 K_T^2}{T^3 + T^2}\right)$$

Considerándose que la aproximación es buena, con una precisión de dos decimales, para valores  $p \leq 0.5$ .

Esta prueba admite valores perdidos al inicio y al final de la serie, pero no en valores interiores de la serie.

### Prueba de Buishand

Es una prueba estadística desarrollada por Buishand (1984) y utilizada para identificar cambios en la media en una serie de tiempo de datos hidrológicos o meteorológicos. Asumiendo que las variables aleatorias siguen una distribución Normal con media igual a cero y varianza  $\sigma^2$ . La hipótesis nula indica que la diferencia entre la media de las series parciales es cero ( $\Delta\mu = 0$ ) contra la alternativa donde tal diferencia es diferente de cero y se asume que hay un cambio en la serie. El estadístico a calcular es U:

$$U = [n(n + 1)]^{-1} \sum_{k=1}^{n-1} (S_k/D_x)^2$$

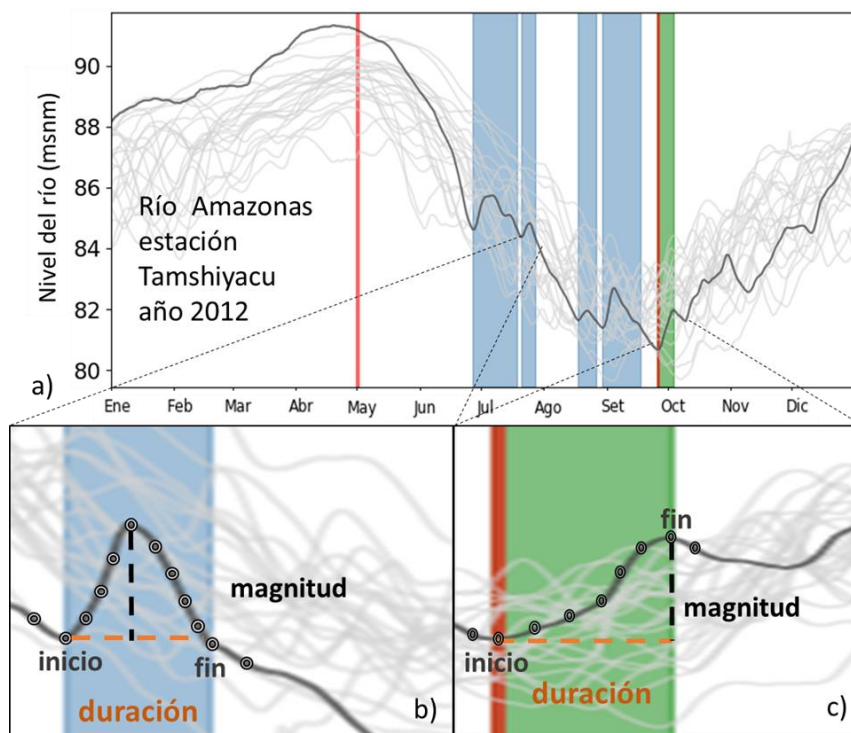
Donde:

$$S_k = \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x}) \dots (1 \leq i < n) \text{ y } D_x = \sqrt{n^{-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

- b. Identificación y caracterización de los repiquetes según su inicio, duración y magnitud

Se identificaron los repiquetes ocurridos en los ríos Marañón, Ucayali y Amazonas utilizando los registros de las estaciones hidrológicas mencionadas anteriormente. En principio, se buscaron cambios en la dirección o sentido del nivel del río durante la temporada de recesión, es decir, si bien durante la temporada de recesión el registro limnimétrico debería estar disminuyendo desde un máximo hacia un mínimo, existen reversiones o, en este caso, incrementos del nivel del agua mayores o iguales a 1 cm los cuales fueron considerados como un evento desde que inicia la reversión hasta que el nivel del agua vuelva a ser menor o igual a la cota de inicio (ver eventos sombreados en celeste categorizados como “in” en la Figura 19). Es importante mencionar que el mínimo anual se considera como la fecha inicial del último repiquete del año que termina cuando el nivel del agua deja de aumentar por al menos un día, este usualmente coincide con el inicio de la creciente de los ríos (ver eventos sombreados en verde categorizados como “out” en la Figura 19).





**Figura 19:** a) Ejemplo del nivel del río Amazonas año 2012 con referencia al nivel medio del mar. Características de los repiquetes: b) magnitud (cm) y c) duración (días) junto con los días de inicio y fin de los eventos. En azul los repiquetes categorizados como “in” y en verde el último repiquete anual para el periodo estudiado categorizados como “out”.

Una vez identificados los eventos de repiquetes se caracterizó cada uno de estos según la fecha de inicio, la fecha de término o fin, duración en días, magnitud de la reversión (Figura 19). Esta caracterización se elaboró siguiendo la metodología de Coomes et al. (2016) y Ronchail et al. (2018) para el periodo de estudio escogido posterior al control de calidad de los datos hidrológicos (Tabla 8). Los criterios tomados en la caracterización fueron los siguientes:

- La fecha de inicio se define como el día a partir del cual la reversión del nivel del agua es mayor o igual a 1 cm.
- La fecha de término o fin del evento se define como el día donde la reversión del nivel del agua vuelva a ser menor o igual al nivel de inicio, a excepción del último repiquete anual considerado, el cual termina cuando deja de haber un aumento en el nivel del río.
- La duración del evento se define como la diferencia en días entre el día de término y de inicio del evento.
- La magnitud se define como la máxima reversión a lo largo de la duración del evento.

### c. Agrupamiento de repiquetes por precursores

La metodología descrita anteriormente caracteriza la distribución y la variación de la magnitud y la duración de los repiquetes. Sin embargo, los eventos se estudian separadamente de acuerdo a la estación, en este ítem se busca vincular eventos aguas arriba con eventos aguas abajo definiendo “Tipos de repiquetes” (Tabla 5).

Para relacionar eventos aguas arriba con eventos aguas abajo es importante primero determinar un retraso temporal (tiempo de propagación de la onda) que asocie eventos registrados en Tamshiyacu con eventos registrados en San Regis (Marañón-Amazonas) y otro que asocie eventos registrados en Tamshiyacu con eventos aguas arriba registrados en Requena (Ucayali-Amazonas). Para determinar este tiempo de propagación de la onda se utilizaron dos metodologías:

- Se utilizaron las mínimas velocidades medias de la sección transversal (Tabla 3) y se midieron las distancias entre estaciones aguas arriba y abajo utilizando Google Earth Pro para calcular un tiempo máximo de propagación en horas que posteriormente es convertido a días (para mayores detalles ver sección 4.1.3).
- Se utilizó el método de correlación cruzada para determinar el retraso de los eventos aguas abajo con respecto a los de aguas arriba. Este retraso fue calculado considerando toda la serie de limnimétrica y, por lo tanto, debería ser menor al valor (en días) calculado tomando en cuenta la velocidad del río para la época de aguas bajas (para mayores detalles ver sección 4.1.3).

El tiempo escogido como máximo retraso de propagación de la onda fue el mayor valor obtenido de las dos metodologías, al cual se le sumó un día más para evitar la pérdida de eventos aguas abajo debido al promedio diario realizado para la obtención de los niveles a partir de los registros realizados comúnmente a las 06, 10, 14, 18 horas locales.

En el mismo sentido y con la finalidad de una mejor agrupación de eventos aguas arriba y abajo se utilizaron umbrales para la magnitud de los repiquetes en las tres estaciones, de tal manera que se aprecie de mejor manera la relación entre estaciones, la relación entre la lluvia y los niveles del río y el daño a los cultivos para futuras investigaciones. En tal sentido, Ronchail et al. (2018) menciona que repiquetes por encima de 20 cm podrían estar más relacionados con daños a los cultivos en términos de resumergir las plantas y/o remover sus semillas, aunque este valor podría variar dependiendo de la zona y de la fase de crecimiento

del cultivo. El mencionado umbral de 20 cm es utilizado en la presente investigación para la definición de repiquetes significativos en la estación Tamshiyacu del Río Amazonas. De igual manera, los repiquetes significativos también se definen sobre las estaciones San Regis y Requena de los ríos Marañón y Ucayali, respectivamente, utilizando para ambos casos un umbral de 10 cm. Entonces estos repiquetes significativos, es decir, repiquetes mayores a 20 cm en la estación Tamshiyacu y mayores a 10 cm en las estaciones San Regis y Requena, son agrupados en tipos utilizando la relación temporal calculada entre ellos y caracterizados en función de su magnitud.

Se utilizaron los máximos tiempos de propagación calculados y los umbrales definidos por estación para agrupar los repiquetes previamente identificados en diferentes tipos, los cuales se detallan en la Tabla 5.

**Tabla 5:** Tipos de repiquetes a definir.

TIPO	RÍOS DONDE SE OBSERVAN
T1	Marañón → Amazonas
T2	Ucayali → Amazonas
T3	Marañón + Ucayali → Amazonas
TAM	Solo Amazonas
SRE	Solo Marañón
REQ	Solo Ucayali

### 3.3.2 Identificación de eventos lluviosos y los patrones de circulación asociados al inicio de los repiquetes

#### a. *Composites* de anomalías filtradas

Como primer paso se calcularon las anomalías de los vientos horizontales a 850hPa y de la precipitación de CHIRPSv2, TRMM 3B42V7 y PISCOpdV2.1, removiendo el promedio anual y posteriormente se aplicó un filtro Lanczos (Duchon, 1979) para eliminar la baja frecuencia (inferiores a 1/30 días) quedando las frecuencias altas, las cuales se verificaron utilizando gráficos Wavelet de tiempo-frecuencia. De estas anomalías filtradas se calcularon *composites* para cada tipo de repiquetes utilizando como día cero (d0) las fechas de inicio de los repiquetes en Tamshiyacu para los tipos T1, T2 y T3 y la fecha de inicio en su respectiva estación para los tipos TAM, SRE y REQ. Los *composites* de cada tipo se utilizan para analizar los eventos lluviosos y las circulaciones en niveles bajos desde diez días previos hasta un día posterior al inicio de los repiquetes debido a que previos estudios relacionan los repiquetes con precipitaciones ocurridas una semana antes (Ronchail et al., 2018). De esta forma se buscará ubicar posibles zonas con lluvias de importancia para la ocurrencia de estos eventos y los cambios en la circulación en niveles bajos asociados a su formación.

#### b. Patrones de circulación relacionados a la ocurrencia de repiquetes

Se utilizaron los patrones de circulación (CPs) elaborados por Paccini et al. (2017) para calcular el porcentaje de ocurrencia de determinados CPs relacionados al origen de los repiquetes e identificar características propias de la configuración de los vientos en niveles bajos días previos al origen de los repiquetes. Una breve introducción sobre los CPs se da en la sección 2.4 y la Figura 16 presenta las principales características de la variabilidad intraestacional que resumen los mismos.

El porcentaje de ocurrencia de un determinado CP se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\% CP_x \text{ para día } i = \left( \frac{\# CP_x \text{ para día } i}{\# \text{ eventos}} \right) * 100 \quad (\text{Paccini et al., 2017})$$

Además, para caracterizar las diferencias entre estados atmosféricos similares (un mismo CP) a escala intraestacional a niveles bajos (850hPa) que podrían originar repiquetes se realizan dos *composites*: i) CPs relacionados al origen de repiquetes y ii) CPs no relacionados al origen de repiquetes entre los días -10 y 1 (el resto de días asociados a ese mismo CP para todo el periodo de estudio).

c. Índices V y EW

Se calcularon dos índices comúnmente utilizados para la determinación de precipitaciones en el noroeste de la CA.

- El primero es el índice V utilizado por Wang & Fu (2002) para la determinación de regímenes de flujos trans-ecuatoriales en niveles bajos que favorecen la formación de los eventos lluviosos. El cálculo del índice mencionado se basa en el promedio areal (5°S-5°N, 65°-75°W) de los vientos meridionales diarios de niveles bajos, comúnmente se usa el nivel de 925 hPa pero también se suele usar el nivel de 850 hPa (Espinoza et al., 2015).
- El segundo índice “Easterlies/Westerlies winds” (EW) o vientos del este/oeste utilizado comúnmente para el análisis de las fases activas (convección y precipitación sobre el sureste de Brasil) e inactivas (convección y precipitación al noroeste de Brasil) del SAMS durante el verano, es también utilizado debido a que es una región con potencial para captar el cambio de flujos zonales en una escala intraestacional (Jones & Carvalho, 2002). Para este caso se usa el viento zonal a 850 hPa sobre la región de 13° S - 9° S, 64°W – 60°W muy utilizada en estudios científicos en Brasil.

### 3.3.3 Determinación de mecanismos físicos que favorecen la formación de los eventos de lluvia asociados a los repiquetes

Para cada tipo de repiquete (Tabla 5) definido según la metodología 3.3.1.c se realizaron *composites* de:

- La presión en superficie y el viento horizontal en los niveles de presión de 1000, 925, 700, 850, 500 y 200 hPa para cada tipo de repiquetes agrupado. La atmósfera baja es importante para describir la circulación atmosférica asociada a la variabilidad intraestacional de la lluvia, el jet de niveles bajos, advecciones de humedad, friajes (Marengo, 1983; Marengo et al., 2004; Paccini et al., 2017; Vera et al., 2006) en la región tropical y subtropical de América del Sur.
- La divergencia y convergencia en los niveles de 850hPa, 500hPa, 200hPa para un análisis de los movimientos verticales asociados a este tipo de eventos.

Donde la divergencia de viento ( $10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ) es igual a:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \quad (\text{Holton, 2004})$$

- La temperatura potencial equivalente en la vertical para la determinación de estabilidad atmosférica asociada a eventos de precipitación importantes.

$$\theta_e = T_e \left( \frac{1000}{p} \right)^{R/c_p} \quad (\text{Tsonis, 2007})$$

$$T_e = T + \frac{l_v}{c_p} * r \quad (\text{Tsonis, 2007})$$

$$r = \frac{m_v}{m_d} = \frac{\rho_v}{\rho_d} = \frac{R_d}{R_v} \frac{e}{p-e} = \epsilon \frac{e}{p-e} = 0.622 \frac{e}{p-e} \quad (\text{Tsonis, 2007})$$

$$e = e_s * \frac{\text{RH}}{100} \quad (\text{Tsonis, 2007})$$

$$e_s(T) = 6.11 * 10^{(7.5*(T-273.15)/(237.3+(T-273.15)))} \quad (\text{Tetens, 1930})$$

Donde T es la temperatura atmosférica en K,  $\theta$  es la temperatura potencial en K, p es la presión atmosférica, e es la presión de vapor de agua,  $e_s$  es la presión de saturación de vapor de agua calculada con la ecuación de Tetens, R es la constante del aire seco,  $L_v = 2.69 \times 10^6 \text{ Jkg}^{-1}$  es el calor latente de vaporización,

$c_p = 1004 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$  es el calor específico del aire seco a presión constante,  $r$  es la relación de mezcla [ $\text{kg kg}^{-1}$ ].

- Humedad específica de cada nivel de presión para resaltar la incursión de humedad días previos al inicio de los eventos.
- La columna total de vapor de agua como una medida de humedad en la columna vertical troposférica.

#### 3.3.4 Determinación de la dinámica atmosférica asociada a la ocurrencia de un caso relevante

Como se ha mencionado anteriormente para resumir el conjunto de eventos de repiquetes se ha optado por agrupar estos en tipos siguiendo la metodología descrita en el ítem 3.3.1.c. Sin embargo, existen casos anómalos o excepcionales dentro de los tipos designados. Por ello, se decidió realizar una selección de casos especiales o relevantes para escoger un caso a estudiar, el cual puede aportar a un mayor entendimiento de las condiciones atmosféricas que caracterizan a los eventos lluviosos antes y durante la ocurrencia de repiquetes. Por lo expuesto, el presente ítem se subdivide en los siguientes subítems:

##### a. Repiquetes relevantes

Se utilizó la información generada en el ítem 3.3.1.c de los tipos de repiquetes, seleccionando los tipos T1, T2 y T3, posteriormente se utilizó el percentil 90 en magnitud (para cada tipo con respecto a la estación Tamshiyacu) para identificar los repiquetes relevantes con impactos en alrededores de la estación Tamshiyacu.

El caso a estudiar fue elegido en base al resto de características como duración, cota inicial, id y/o relaciones entre estas. De esta manera, el repiquete que se estudió posee las siguientes características:

- Elevada magnitud por encima del percentil 90.
- Elevada duración dado que puede ocasionar mayor daño a los cultivos de arroz.
- Ocurre entre mediados-finales de junio y finales de agosto cuando el cultivo está en pleno crecimiento.

Estas tres características nos indican que un determinado evento afectó a los cultivos quedando estos por debajo de la inundación a una mayor profundidad y durante un mayor tiempo a lo largo de su periodo de crecimiento.

b. Estudio de caso

Se desarrollaron los pasos descritos en los ítems 3.3.2.a y 3.3.3 para el caso designado a estudiar. La diferencia principal con los ítems mencionados se debe a que en estos se analizó las condiciones atmosféricas asociadas a los tipos de repiquetes definidos y agrupados. Por el contrario, en el presente ítem se analizó solamente las precipitaciones y la dinámica asociada del caso designado antes y durante el evento, es decir, se identificaron las lluvias y sus patrones de circulación atmosférica asociados junto con los mecanismos físicos relacionados al origen a los eventos lluviosos antes y durante el repiquete.



## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Caracterización hidrométrica de los repiquetes de los ríos Marañón y Ucayali

#### 4.1.1 Control de calidad de datos hidrológicos

Las series limnimétricas estudiadas contienen tanto datos reconstruidos como datos medidos dentro del periodo de estudio (Tabla 2), debido a ello, es relevante realizar un control de calidad con anterioridad al resto de métodos planteados en la metodología (sección 3.3).

Como resultado de la aplicación del control de calidad, la serie hidrométrica de San Regis presenta un quiebre estadísticamente significativo el día 25 de julio de 1994 observado claramente en las tres pruebas realizadas (Tabla 6). El mismo quiebre y para los mismos días (25 ó 26 de julio) es identificado en la estación Tamshiyacu para las pruebas Pettit y Buishand. Resulta relevante que el quiebre se registre casi el mismo día en ambas estaciones dado que ello no representaría una secuencialidad natural entre eventos aguas arriba y aguas abajo, sino que este quiebre tendría una explicación particular como, por ejemplo, el uso de una misma metodología de procesamiento aplicada a los datos.

**Tabla 6:** Pruebas estadísticas realizadas para las series limnimétricas (periodo 1985-2018).

Pruebas	TAMSHIYACU	SAN REGIS	REQUENA
<b>SNHT</b>			
Estadístico T	104.71	113.33	158.5
P valor	0	0	0
Probable punto de quiebre	30-Jun-2018	<b>25-Jul-1994</b>	7-Jun-1997
<b>PETTITT</b>			
Estadístico U*	2820892	3332536	2378918
P valor	2.97694E-11	1.55E-15	7.53678E-29
Probable punto de quiebre	<b>25-Jul-1994</b>	<b>25-Jul-1994</b>	5-Jul-2003
<b>BUISHAND</b>			
Estadístico U	2.2627	3.7891	9.4988
P valor	0	0	0
Probable punto de quiebre	<b>26-Jul-1994</b>	<b>26-Jul-1994</b>	10-Jul-2003

\*en negrita los puntos de quiebre considerados en el análisis.

Dos pruebas estadísticas (Pettitt y Buishand) en la estación Requena rechazan la hipótesis nula de no hay cambio en las series, pero tales quiebres están por fuera del margen de tres días definido en la metodología por ello no se considera que haya un quiebre en esta estación.

Según la Tabla 6, se rechaza la hipótesis nula, es decir, las series presentan un cambio y se define un quiebre para el mes de julio de 1994 registrado en las estaciones Tamshiyacu y San Regis.

Tomando en cuenta estos resultados, la existencia de gran cantidad de datos reconstruidos por HYBAM (P. Fraizy, comunicación personal, junio de 2020), la falta de metadata para años previos y considerando que la disposición de datos de la estación Requena es a partir del año 1996. Se decidió realizar el estudio para el periodo 1996-2018 en las tres estaciones, iniciando las pruebas estadísticas desde setiembre de 1995 hasta marzo 2019 debido a que la metodología elimina los primeros y últimos valores (Tabla 7).

**Tabla 7:** Pruebas estadísticas realizadas para las series limnimétricas (periodo 1996-2018).

Pruebas	TAMSHIYACU	SAN REGIS	REQUENA
<b>SNHT</b>			
Estadístico T	93.492	144.6	158.5
P valor	0	0	0
Probable punto de quiebre	30-Jun-2018	<b>12-Dic-2011</b>	7/06/1997
<b>PETTITT</b>			
Estadístico U*	1822087	2356272	2378918
P valor	5.1512E-15	8.01E-25	7.53678E-29
Probable punto de quiebre	<b>20-Dic-2011</b>	<b>12-Dic-2011</b>	5/07/2003
<b>BUISHAND</b>			
Estadístico U	1.9985	4.4345	9.4988
P valor	0.0001	0	0
Probable punto de quiebre	<b>17-Dic-2011</b>	<b>11-Dic-2011</b>	10/07/2003

\*en negrita los puntos de quiebre considerados en el análisis.

Como resultado de la aplicación de estas pruebas, la estación San Regis muestra un quiebre estadísticamente significativo en diciembre del 2011; la estación Tamshiyacu muestra un quiebre para días posteriores identificado por las pruebas de Pettit y Buishand, y finalmente la estación Requena no muestra un quiebre definido debido a que no cumple con la condición de tres días de diferencia entre la misma estación. Es importante resaltar que los

quebres observados en las pruebas de las estaciones San Regis y Tamshiyacu por su secuencialidad representarían un comportamiento natural dándose primero aguas arriba y posteriormente en aguas abajo. Este quiebre podría estar relacionado a la intensa precipitación registrada sobre la cuenca del Marañón sobre todo en noviembre del 2011, inicio de la temporada húmeda 2011/2012. El año 2012 presenta los mayores registros limnimétricos en las estaciones San Regis y Tamshiyacu, tal temporada húmeda se vincula a condiciones frías en el Pacífico Ecuatorial y a un Océano Atlántico Sur cálido (Espinoza, Ronchail, Frappart, et al., 2013; Espinoza et al., 2018). Además, no existen registros en la metadata que asocien estos cambios a errores en proceso de medición, cambios en los operadores de estación, además este periodo no contiene datos reconstruidos (P. Fraizy, comunicación personal, junio de 2020). Por lo tanto, este quiebre es tomado en cuenta para el análisis, pero posterior a su identificación no se realiza otra metodología para corregir el cambio dado que probablemente sea natural y la aplicación de una remoción de la tendencia a ambos lados del quiebre, en este caso, puede alterar las características a medir de cada evento (por ej. aumentando o disminuyendo la magnitud y/o variando la frecuencia) debido a la sensibilidad con la cual se miden los repiquetes (del orden de centímetros).

En adelante se utilizaron las tres estaciones hidrológicas con un periodo de tiempo tal como se indica en la Tabla 8 para la identificación y caracterización de repiquetes.

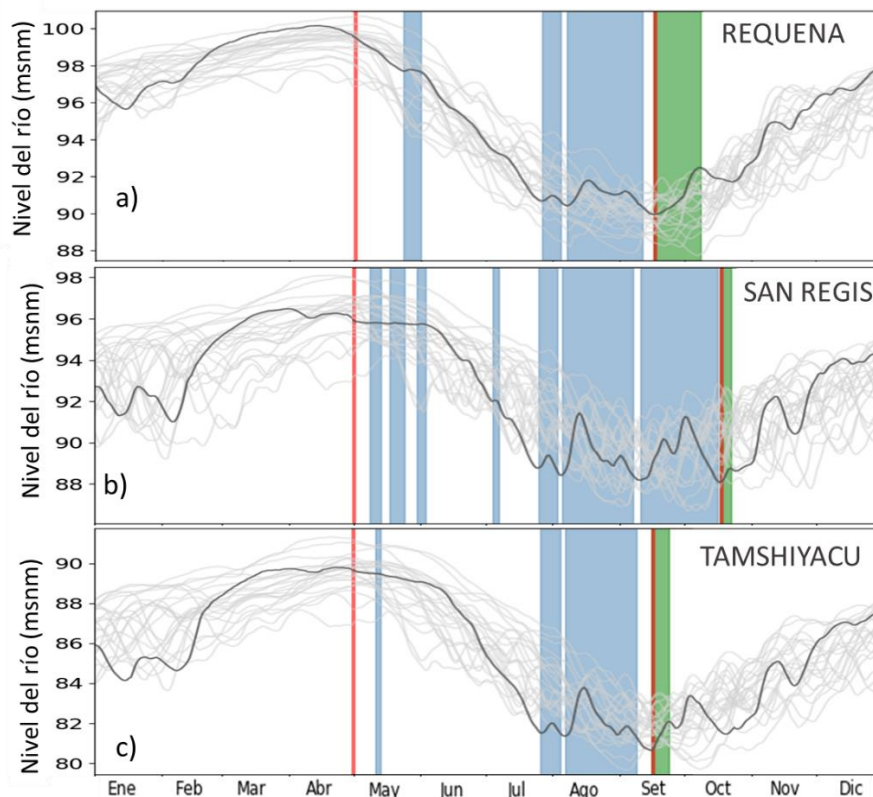
**Tabla 8:** Actualización del periodo utilizado de los datos hidrométricos.

Estación	Río	Lat (°)	Lon (°)	Altura del cero de la regla con respecto al EGM2008*	Periodo
Tamshiyacu	Amazonas	-4.00343	-73.1615	80.25 m	1996-2018
San Regis	Marañón	-4.51339	-73.9068	84.50 m	1996-2018
Requena	Ucayali	-5.04111	-73.8399	87.45 m	07/1996-2018

\*Modelo de geoide global EGM2008

#### 4.1.2 Identificación y caracterización de los repiquetes según su inicio, duración y magnitud

Para el periodo 1996-2018 se identificaron 134 repiquetes en la estación Tamshiyacu, 154 en San Regis y 119 en Requena, es decir, 407 eventos en total. Por lo tanto, debido a la cantidad de eventos, en este ítem se presenta la información de manera resumida. Sin embargo, en ANEXOS se detalla cada evento estudiado con sus características asociadas como fecha inicio y término, duración, magnitud, cota de inicio y un identificador (id) que posee 2 categorías, las cuales son explicadas líneas abajo. Para un mayor entendimiento de los repiquetes y a manera de ejemplo, la Figura 20 presenta los eventos identificados durante el año 1997. Esta figura presenta eventos sombreados en celeste y en verde, los primeros se identificaron con id igual a “in” y los segundos por ser los últimos eventos anuales analizados en la presente investigación se identificaron con id igual a “out”.



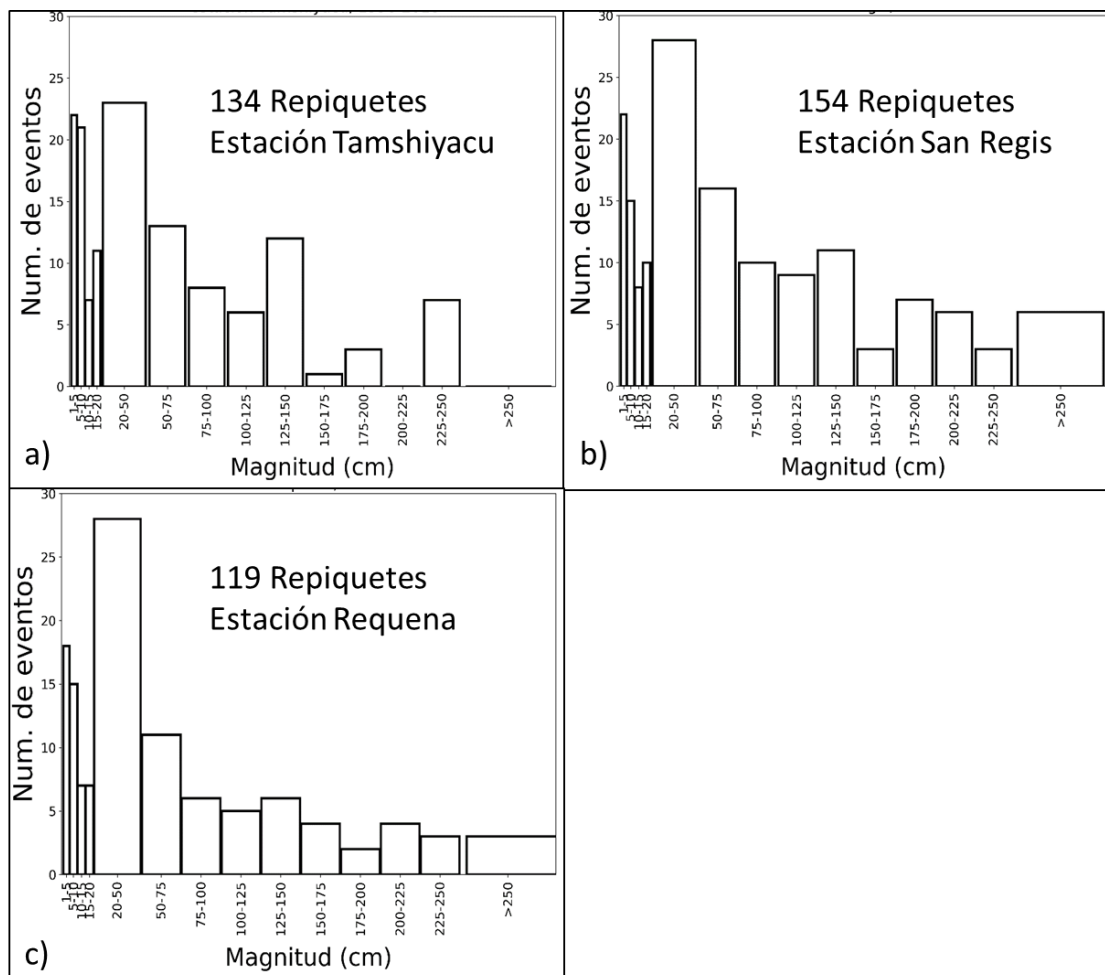
**Figura 20:** Repiquetes identificados durante el año 1997 para la estación a) Requena, b) San Regis y c) Tamshiyacu. Los repiquetes caracterizados como “in” (“out”) en color celeste (verde) para cada estación. Los datos diarios del nivel del río para cada estación (1996-2018) se colocan en líneas grises. Las líneas negras corresponden al nivel del río diario durante el año 1997. Las líneas verticales rojas representan los máximos y mínimos del nivel del río definidos en el año 1997.

La cantidad de eventos que superan ciertos valores se detallan en la Tabla 9 por cada estación, los repiquetes con magnitudes mayores a 250 cm solo se encuentran aguas arriba en las estaciones San Regis (6) y Requena (3).

**Tabla 9:** Cantidad de repiquetes registrados que superan cierta magnitud.

Magnitud (cm)	Tamshiyacu	San Regis	Requena
	Amazonas	Marañón	Ucayali
>250	-	6	3
>100	29	45	27
>50	50	71	44
>20	73	99	72
>10	91	117	86
>5	112	132	101
>1	134	154	119

Posterior a su identificación y caracterización, la distribución de todos repiquetes según su magnitud y estación se muestra en la Figura 21. Las distribuciones son similares en las tres estaciones, pero a diferencia de estudios previos realizados en la estación Tamshiyacu (Ronchail et al., 2018) la cantidad de eventos menores a 20cm (Figura 21a) disminuye. Esta disminución se debe al periodo de tiempo seleccionado en el análisis, ya que los estudios en mención consideran los eventos desde inicios de mayo donde estos presentan una menor magnitud y son más frecuentes. En cambio, en la presente investigación solo se consideran los eventos a partir del máximo anual que por lo general puede ocurrir en días posteriores a los primeros días de mayo. Con respecto a los repiquetes registrados en la estación San Regis, estos presentan la mayor cantidad de eventos con mayores magnitudes (Figura 21b), los cuales se reflejan aguas abajo con una magnitud menor.

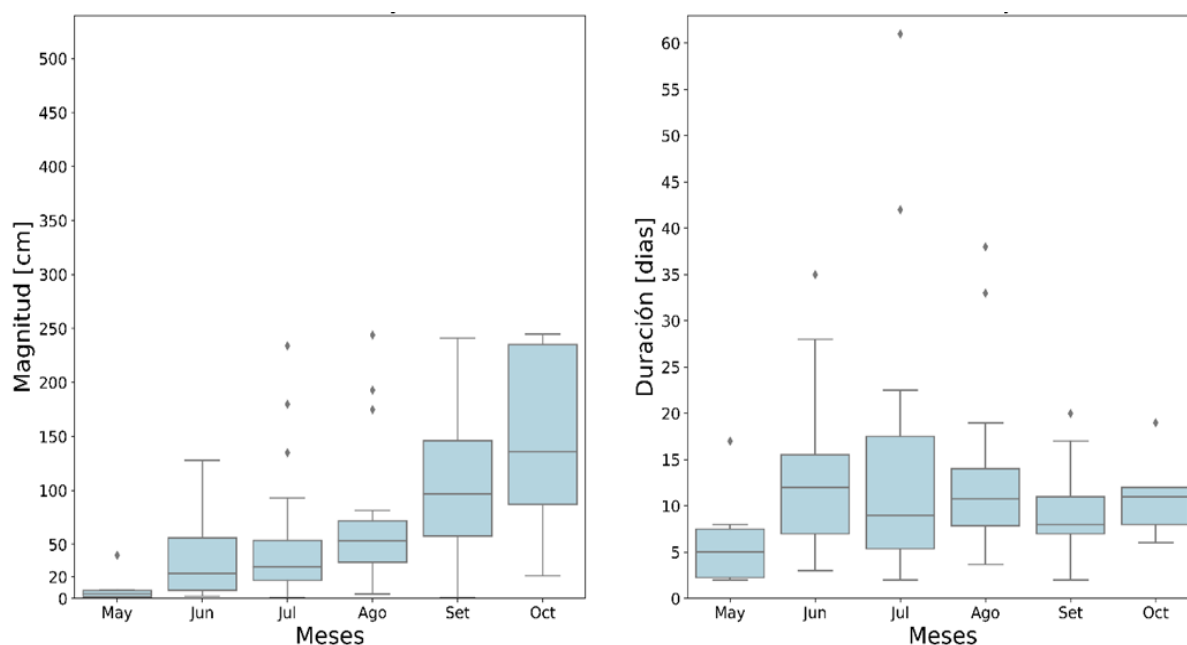


**Figura 21:** Distribución de la magnitud de los repiquetes dados entre 1996 y 2018 para la estación a) Tamshiyacu (río Amazonas), b) San Regis (río Marañón) y c) Requena (río Ucayali).

Para analizar cómo varían las características de magnitud y duración a lo largo del periodo estudiado (mayo a octubre) se agruparon los repiquetes según el mes de inicio y para cada una de las estaciones (Figura 22, Figura 23 y Figura 24).

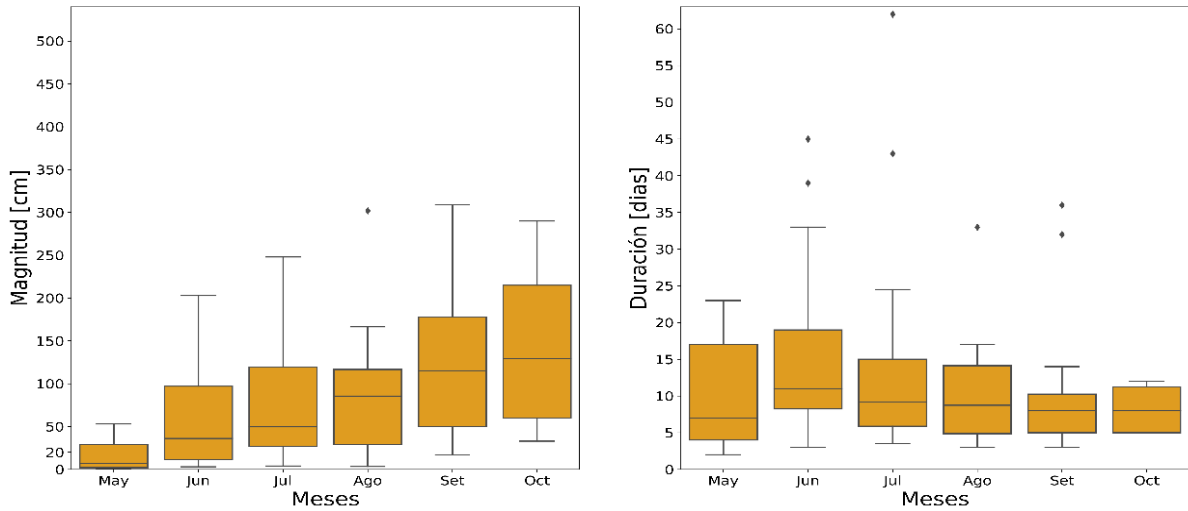
Para la estación Tamshiyacu (Río Amazonas), los eventos de menor magnitud se presentan en mayo y, por lo general, esta aumenta hasta octubre, mes con una media superior a 150 cm (Figura 22). Los repiquetes dados en los meses de julio y agosto presentan en promedio magnitudes que oscilan entre 20 y 50 cm, aunque estos meses a su vez registran valores atípicos superiores a 1m., repiquetes de importancia dado que los cultivos durante estos meses están en pleno crecimiento. La magnitud de los repiquetes que ocurren en el mes de setiembre y octubre es muy variable, desde unos pocos centímetros hasta valores cercanos

a los 2.5m debido a la presencia de los eventos caracterizados como “in” y “out” (Figura 20). Con respecto a la duración de los eventos, los repiquetes de mayo tienen una menor duración (entre 3 y 7 días) y los repiquetes en los meses posteriores poseen una duración entre una y dos semanas. De igual manera que ocurría con la magnitud, la duración presenta valores atípicos superiores a un mes en los meses de junio julio y agosto. Estos últimos afectan seriamente a los cultivos que quedan por debajo del nivel del río como ha sido documentado por List & Coomes (2017).



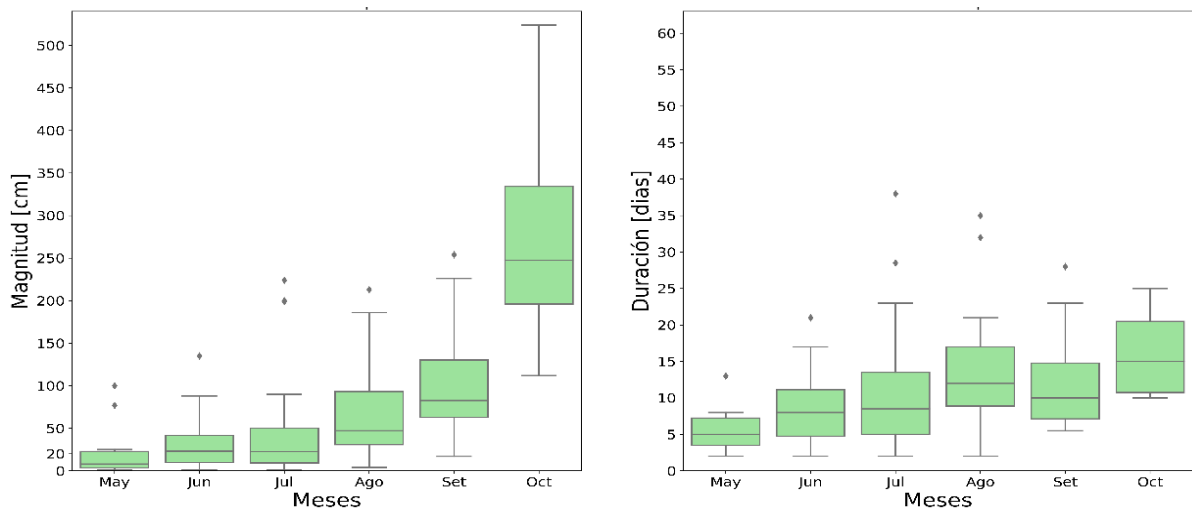
**Figura 22:** Variación mensual de la magnitud y duración de los repiquetes registrados en la estación Tamshiyacu del río Amazonas para el periodo (1996-2018).

Las características evaluadas anteriormente se distribuyen de manera similar en la estación San Regis del Río Marañón (Figura 23), pero en general con mayores magnitudes en todos los meses y con valores más dispersos hacia valores altos en los meses de junio, julio, setiembre y octubre en comparación con los repiquetes del río Amazonas. Por otra parte la duración de los eventos, los repiquetes del río Marañón presentan una mayor duración media en los meses de junio-julio y la cantidad de valores atípicos superiores a 30 días similar al caso de Tamshiyacu. Estos eventos de altas magnitudes y duraciones se utilizaron posteriormente en el ítem 4.4 para la determinación de un caso a estudiar (Tabla 15).



**Figura 23:** Variación mensual de la magnitud y duración de los repiquetes registrados en la estación San Regis del río Marañón para el periodo (1996-2018).

Con respecto a la estación Requena (Figura 24), las magnitudes de los meses de mayo, junio y julio son bajas si se comparan con la estación de San Regis, pero estas características aumentan en los meses de agosto-octubre, presentando este último mes valores superiores a los observados en cualquier otra estación (1m a 5m) debido al inicio de la temporada lluviosa sobre la región sur (Arias et al., 2015). La duración de los repiquetes muestra valores atípicos superiores a 30 días en los meses de julio y agosto. Los repiquetes del Río Ucayali que ocurren entre setiembre y octubre poseen mayor duración en comparación a sus semejantes en los ríos Marañón y Amazonas llegando a valores entre 10 y 15 días de duración promedio.



**Figura 24:** Variación mensual de la magnitud y duración de los repiquetes registrados en la estación Requena del río Ucayali para el periodo (1996-2018).

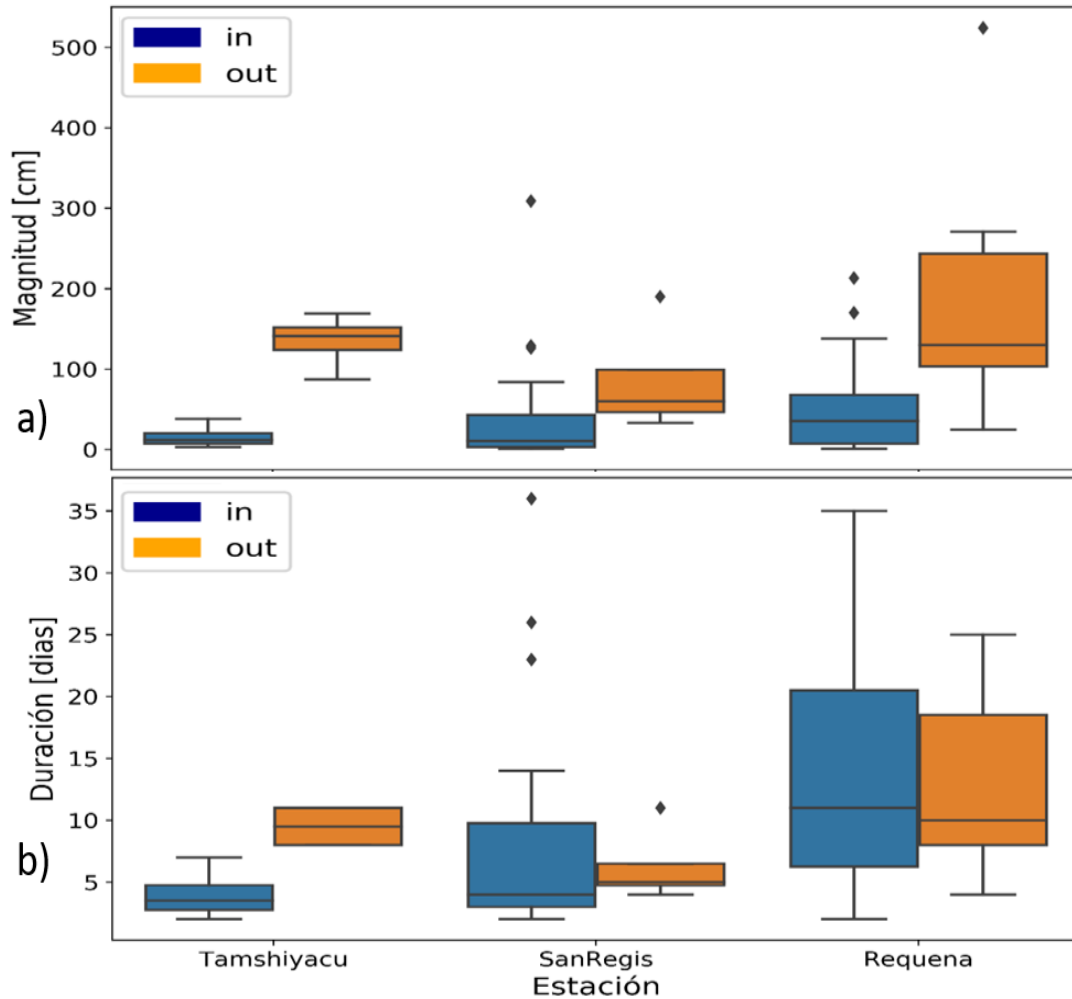


Como se mencionó en la metodología 3.3.1b y se puede apreciar en las Figura 19 y Figura 20, los eventos de repiquetes fueron categorizados en dos grupos:

- **“out”** que agrupa los últimos eventos anuales, es decir, 23 eventos por estación para el periodo 1996-2018 (repiquetes en verde en la Figura 20).
- **“in”** que agrupa el resto de repiquetes dentro del periodo de estudio (en azul en la Figura 20).

El fin de esta categorización fue comparar entre estos eventos ya que los últimos repiquetes anuales marcan un cambio en el comportamiento anual de los niveles del río, sin embargo, tal comparación no sería efectiva si no se seleccionan solo los repiquetes de ambas categorías semejantes entre sí. Para esto último, se seleccionan solo repiquetes “in” que se dieron en el mismo mes y un mes previo al de los últimos anuales categorizados como “out”, la comparación de estos se presenta en la Figura 25.

Estos últimos eventos anuales categorizados como “out” presentan mayores magnitudes en las tres estaciones, pero sobretodo en la estación Tamshiyacu donde los valores de la media y mediana próximos a 20cm se quintuplican en relación a los eventos “in”. Tales resultados nos indican que los valores altos hacia los meses de setiembre y octubre observados en las figuras de variaciones mensuales (Figura 22, Figura 23 y Figura 24) están más relacionados a los eventos categorizados como “out”. Respecto a la duración, los repiquetes caracterizados como “out” tienen mayor duración (8 a 12 días) que eventos “in” (3 a 7 días) en la estación Tamshiyacu y se observa lo contrario aguas arriba, en la estación Requena con media y mediana alrededor de los 13 días y donde ambas categorías presentan un amplio rango de variación (5 a 24 días). Finalmente, en la estación San Regis ambas categorías presenta media y mediana alrededor de 7 días de duración, pero los eventos “in” poseen mayor variación.



**Figura 25:** Diferencias entre a) magnitud y b) duración de repiquetes “in” y “out”.

Los resultados mostrados en magnitudes se vinculan a la estacionalidad de la precipitación sobre la cuenca de los ríos del sur y la subsecuente crecida del Ucayali para los meses de setiembre y octubre (Figura 25a). Aunque las mayores duraciones de la categoría “out” en la estación Tamshiyacu denotan un proceso de crecida mucho más lento en comparación con las otras estaciones, claramente influenciado por aportes del Ucayali que concurra con el tránsito de una onda dinámica a lo largo del río (Figura 25b, Chow et al., 1994).

#### 4.1.3 Agrupamiento de repiquetes por precursores

En el ítem 3.3.1.c se plantean dos metodologías para el cálculo del tiempo de propagación de la onda entre un mismo evento ocurrido tanto aguas arriba como aguas abajo, la primera con cálculos a partir de datos medidos (Tabla 10) y la segunda utilizando una correlación cruzada de las series limnimétricas (Tabla 11). El primer procedimiento se detalla en la Tabla 10 como una relación temporal (en días) entre la ocurrencia de los eventos en estaciones aguas arriba (San Regis o Requena) y abajo (Tamshiyacu).

**Tabla 10:** Relación temporal (en días) entre estaciones utilizando mediciones obtenidas por ADCP.

Estación	Distancia a la est. Tamshiyacu (km) [A]	Velocidad mínima del río (m/s)	Velocidad mínima del río (km/h) [B]	Tiempo en horas [C=A/B]	Tiempo en días
San Regis	150.59	1.04	3.744	40.22	1.676
Requena	219.75	0.50	1.800	122.08	5.087

Tomando como base la relación temporal para los ríos Marañón-Amazonas igual a dos días (redondeando la última columna de la Tabla 10) y el resultado de la correlación cruzada entre los mismos ríos (Tabla 11) igual a un día. El retraso máximo considerado entre repiquetes del río Marañón y del río Amazonas es igual a tres días dado que se le agrega un día de acuerdo a la metodología (ver ítem 3.3.1.c). Entonces para la presente investigación un repiquete en San Regis (aguas arriba) se considera como un precursor de un repiquete en Tamshiyacu (aguas abajo) si el segundo ocurre desde el mismo día hasta 3 días después de ocurrido el primero.

**Tabla 11:** Resultados de la técnica de correlación cruzada.

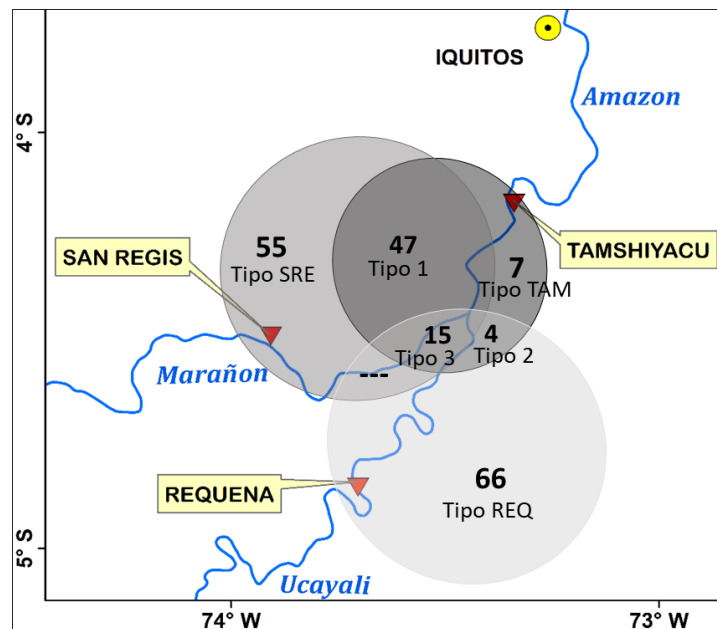
Estación	Lag con máxima correlación
San Regis	1
Requena	4

Asimismo, el resultado del cálculo de la relación temporal entre las estaciones de Requena y Tamshiyacu es igual a 5 días (redondeando el resultado obtenido de la Tabla 10) y el de la correlación cruzada entre las mismas series limnimétricas es igual a cuatro días. Por lo tanto, el retraso máximo considerado entre repiquetes del río Ucayali y del río Amazonas es igual a seis días dado que se le agrega un día más de acuerdo a la metodología (ver ítem 3.3.1c). Entonces para la presente investigación un repiquete en Requena (aguas arriba) se

considera como un precursor de un repiquete en Tamshiyacu (aguas abajo) si el segundo ocurre desde el mismo día hasta seis días después de ocurrido el primero.

El día que se agrega a los valores calculados para asociar eventos aguas arriba con eventos aguas abajo tiene también la finalidad de: i) captar todos los cambios dados entre ambas estaciones ii) observar la disminución progresiva entre eventos asociados, por ejemplo, los repiquetes asociados entre San Regis y Tamshiyacu deberían presentar una mayor cantidad de eventos entre el día uno o dos y disminuir hacia el tercer día.

Siguiendo con la metodología descrita en el ítem 3.3.1.c se agruparon los 73, 117 y 86 repiquetes significativos de las estaciones Tamshiyacu, San Regis y Requena, respectivamente, para la determinación de precursores. Tal agrupamiento y sus relaciones se esquematizan en la Figura 26. Se obtuvieron 47 repiquetes del Amazonas con un repiquete precursor en el río Marañón, 4 repiquetes del Amazonas poseen un precursor en el río Ucayali, 15 eventos del Amazonas tuvieron precursores ambos ríos (Marañón y Ucayali), y finalmente, solo 7 repiquetes no se agruparon a eventos aguas arriba.



**Figura 26:** Representación esquemática del número de repiquetes significativos en cada estación para el periodo 1996-2018. Los círculos gris oscuro, gris y gris claro corresponden a las estaciones Tamshiyacu, San Regis y Requena, respectivamente. La intersección de los tres círculos corresponde al “tipo 3” de repiquetes identificados en este estudio, es decir, los 15 repiquetes observados en el río Amazonas con un precursor en ambos ríos (Marañón y Ucayali).

Tras agrupar los repiquetes significativos, se tiene una visión más clara de los eventos que dan origen a los repiquetes en el río Amazonas. El número de eventos identificados para cada tipo (Tabla 5) se coloca en la Tabla 12. Por lo tanto, en los resultados posteriores se hace referencia a estos eventos agrupados (T1, T2 y T3) y ya no son tratados como eventos individuales de no ser necesario. Los tipos TAM, SRE y REQ son eventos que solo son registrados por la respectiva estación hidrométrica sea esta la estación Tamshiyacu (Río Amazonas), San Regis (Río Marañón) o Requena (Río Ucayali).

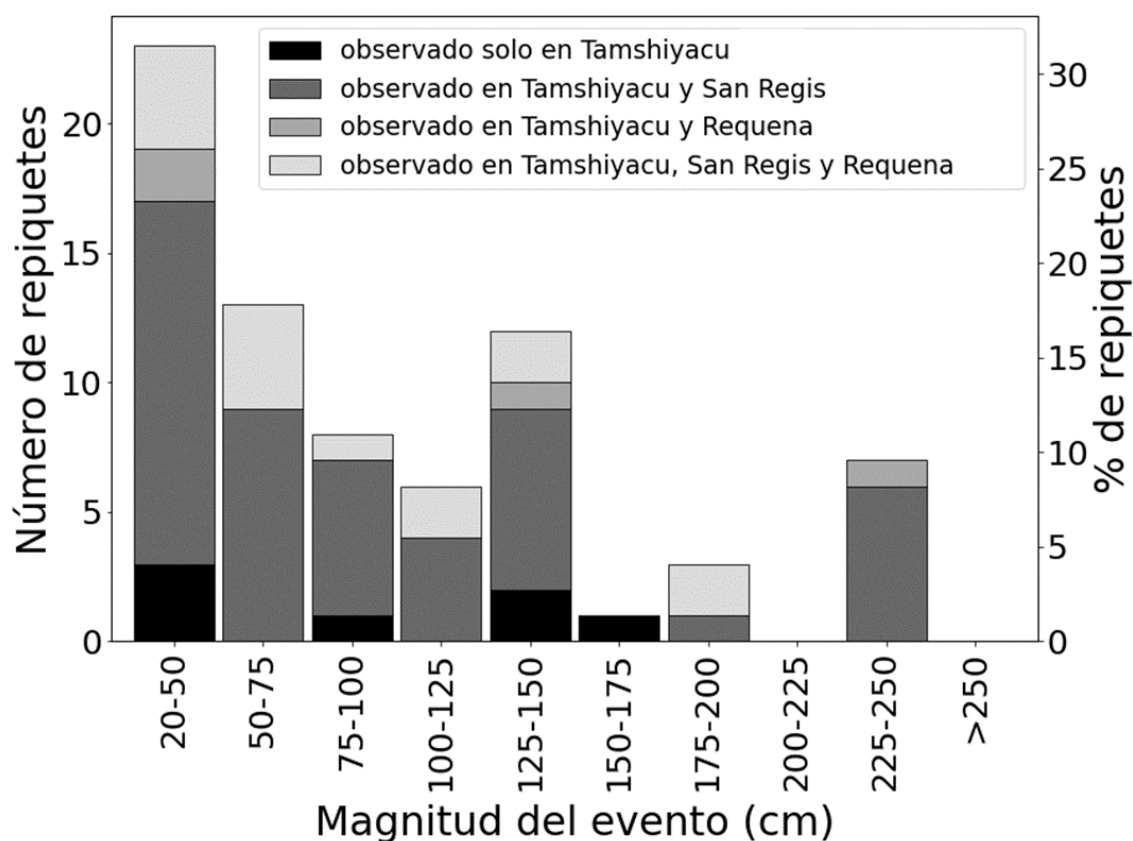
**Tabla 12:** Tipos de repiquetes definidos, los ríos involucrados y el número de eventos registrados (1996-2018).

TIPO	RÍOS	N
T1	Marañón → Amazonas	47
T2	Ucayali → Amazonas	4
T3	Marañón + Ucayali → Amazonas	15
TAM	Amazonas	7
SRE	Marañón	55
REQ	Ucayali	67

La Figura 27 muestra información provista anteriormente en la Figura 21 pero agrupados por los tipos definidos e identificados en la Tabla 12 y que tienen relación con los repiquetes significativos del río Amazonas:

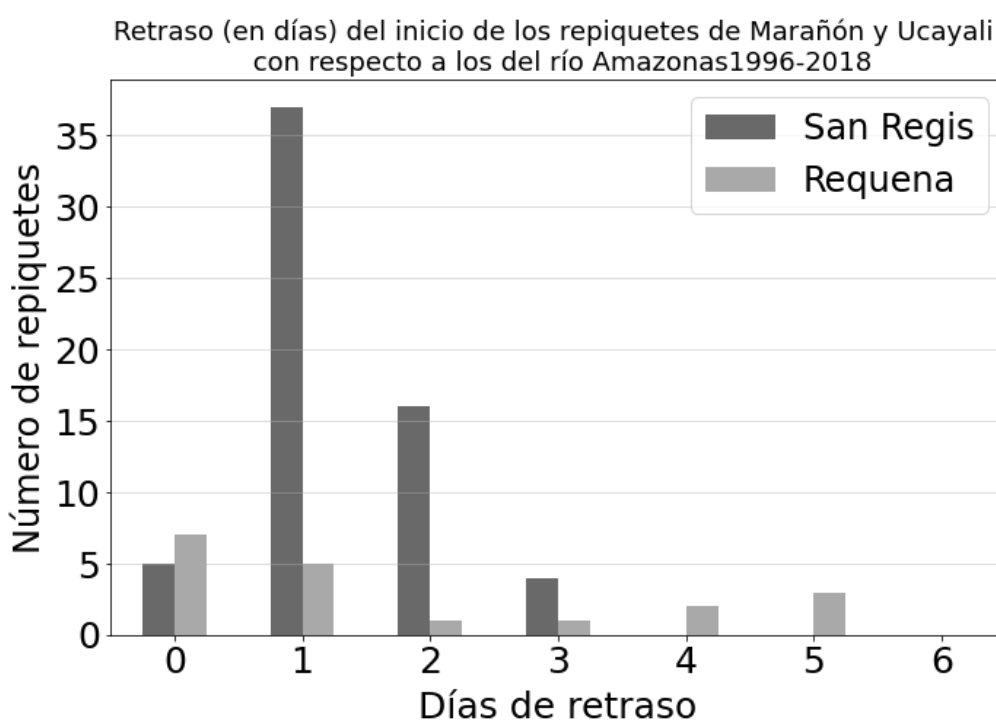
- Como se describió anteriormente en cifras, aproximadamente el 64.4% provienen únicamente del río Marañón (tipo T1). Estos se distribuyen en casi todas las categorías observadas, aunque la mayoría de repiquetes mayores a 2m en el río Amazonas poseen como precursor eventos en el río Marañón.
- Los repiquetes del río Amazonas con precursores en los ríos Marañón y Ucayali (tipo T3) se dan en el 20.4% de los casos, y por lo general son menores a 2m. Sin embargo, es importante aclarar que, aunque tal clasificación nos da una idea del origen del repiquete, pueden existir diversos aportes dependiendo de cada evento.

- El 5.5% de los repiquetes del río Amazonas presentan únicamente un precursor en el río Ucayali (tipo T2) aunque la magnitud de los mismos varía dependiendo del nivel del río Ucayali, el cual presenta aportes menores durante los meses de junio, julio y agosto, salvo excepciones, y cambios bruscos hacia el inicio de la temporada lluviosa (setiembre-octubre).
- De los últimos 7 repiquetes restantes (tipo TAM), tres de ellos presentan magnitudes superiores al metro.
- Por último, también es importante resaltar que el número de eventos que no se asocian es aún grande, 55 sobre el río Marañón (tipo SRE) y 67 en el río Ucayali (tipo REQ), y en algunos casos presentan también elevadas magnitudes, estos no estarían relacionados con el origen de repiquetes aguas abajo pero aun así podrían agravar elevando la magnitud de los mismos.



**Figura 27:** Repiquetes significativos de la estación Tamshiyacu (río Amazonas) para el periodo (1996-2018) que han sido previamente observados en las estaciones San Regis (río Marañón) y Requena (río Ucayali).

Los repiquetes T1, T2 y T3 (Tabla 12) poseen diferentes tiempo de propagación de la onda entre los mismos tipos como se puede visualizar en la Figura 28. Los 62 repiquetes de Tamshiyacu asociados a San Regis (Marañón-Amazonas, T1 y T3) exhiben un retraso predominante de un día y disminuyendo hasta el día tres, lo cual concuerda con los resultados obtenidos de la Tabla 10 y Tabla 11. En cambio, los 19 repiquetes asociados entre Tamshiyacu y Requena (Ucayali-Amazonas, T2 y T3) no muestran un retraso (en días) predominante, sino que se dispersan entre el mismo día y el quinto día. Ambas agrupaciones no muestran algún evento asociado al último día, es decir, el cuarto (sexto) día para los repiquetes Marañón-Amazonas (Ucayali-Amazonas), lo que indicaría que los cálculos del tiempo de retraso son adecuados.



**Figura 28:** Retraso (en días) del inicio de los repiquetes dados en Tamshiyacu (río Amazonas) y agrupados con su(s) respectivo(s) precursor(es) al ocurrido aguas arriba, sea en la estaciones San Regis (río Marañón) y/o Requena (río Ucayali) para el periodo (1996-2018).

## 4.2 Identificación de eventos lluviosos y patrones de circulación asociados al inicio de los repiquetes

### 4.2.1 *Composites* de anomalías filtradas

Como se mencionó en la sección anterior se tienen seis principales tipos de repiquetes caracterizados: T1, T2, T3, TAM, SRE y REQ, para más detalles ver la Tabla 12. Como se describe en la metodología, para cada tipo de repiquete se realizó el cálculo de anomalías diarias y posteriormente *composites* de precipitación utilizando los conjuntos de datos CHIRPSv2.0, TRMM3B42V7 y PISCOpdV2.1 y viento horizontal en el nivel de 850 hPa. Los resultados encontrados entre los tres conjuntos de datos de precipitación varían ligeramente dependiendo del tipo de repiquetes y en todos los casos los días más lluviosos se asocian a un cambio en la anomalía de vientos, de vientos del norte a vientos del sur.

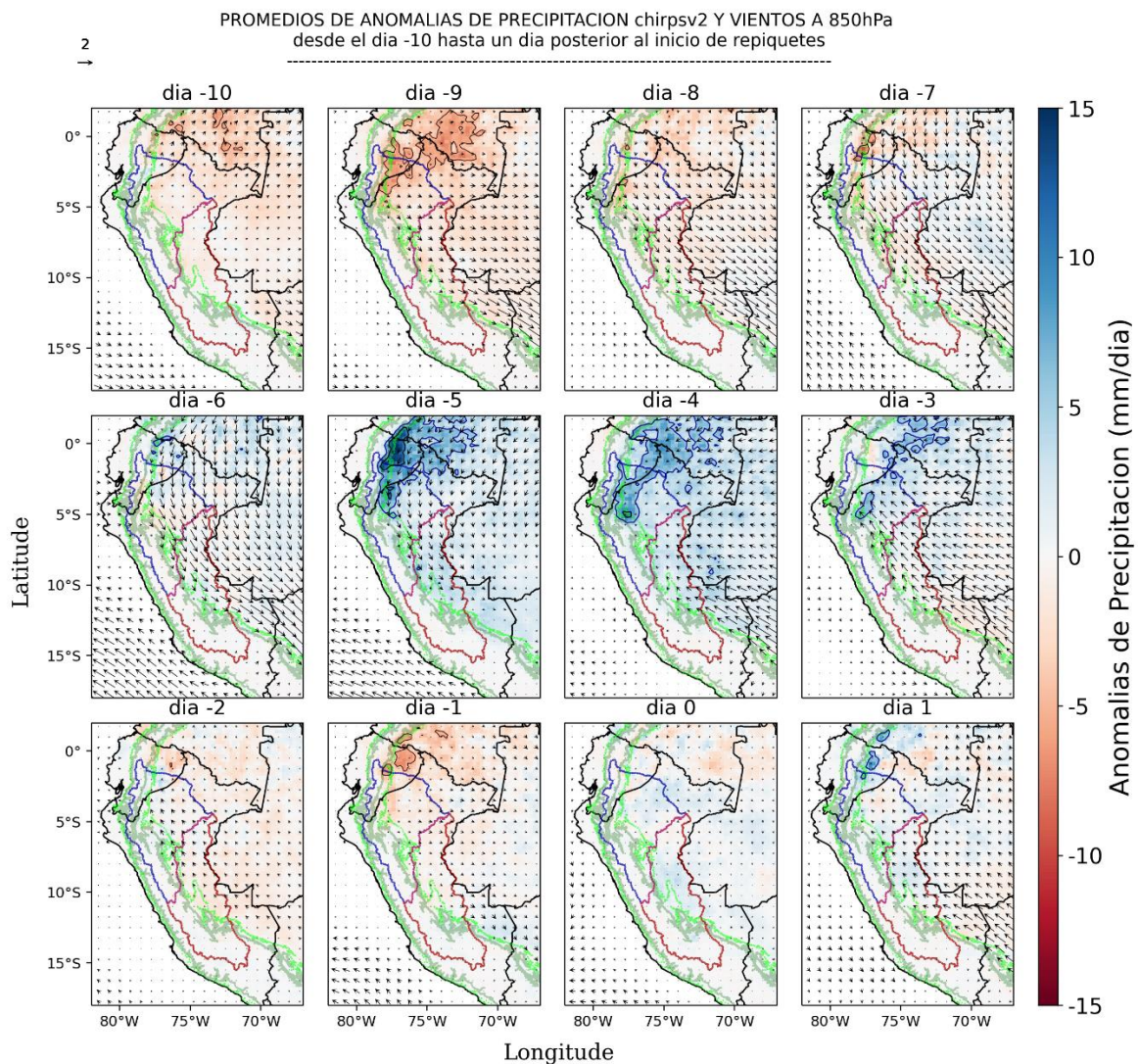
### **REPIQUETES TIPO T1**

La distribución espacio-temporal de anomalías de precipitación CHIRPS días antes del inicio de repiquetes Tipo 1 (Figura 29) 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 de Pastaza, con intensidades superiores a 10mm sobre la región de transición Andino-Amazónica extendiéndose con menor intensidad hacia las cuencas Morona y Santiago y hacia zonas más al sureste de estas. Para el día -4 (d-4) las anomalías positivas se presentan al norte del departamento de Amazonas, al oeste de Loreto, quedando tenues anomalías sobre el norte de Amazonas para el día -3 (d-3). La precipitación TRMM (Figura 31) exhibe anomalías positivas (entre 5 y 10 mm) el d-5 sobre la cuenca media del Ucayali y presenta menores valores de precipitación entre Perú y Ecuador en comparación con los datos CHIRPS para el d-5. Los d-4 y d-3 las anomalías se desplazan hacia al sur (Amazonas) y este (Loreto), siendo más dispersas en los datos TRMM. Los datos PISCO (Figura 31) no muestran las mismas regiones de precipitación, sino que presenta escasos valores de anomalías positivas (entre 5 y 10 mm) sobre regiones aisladas en Huánuco y hacia Amazonas el d-5, al oeste del departamento de Amazonas y al norte de San Martín los días -4 y -3. Los tres conjuntos de datos concuerdan que los días de mayor contribución al origen de los repiquetes tipo T1 son los días -5, -4 y -3, lo cual no significa que en los días posteriores a estos no exista contribuciones pero esta sería de menor influencia para el origen

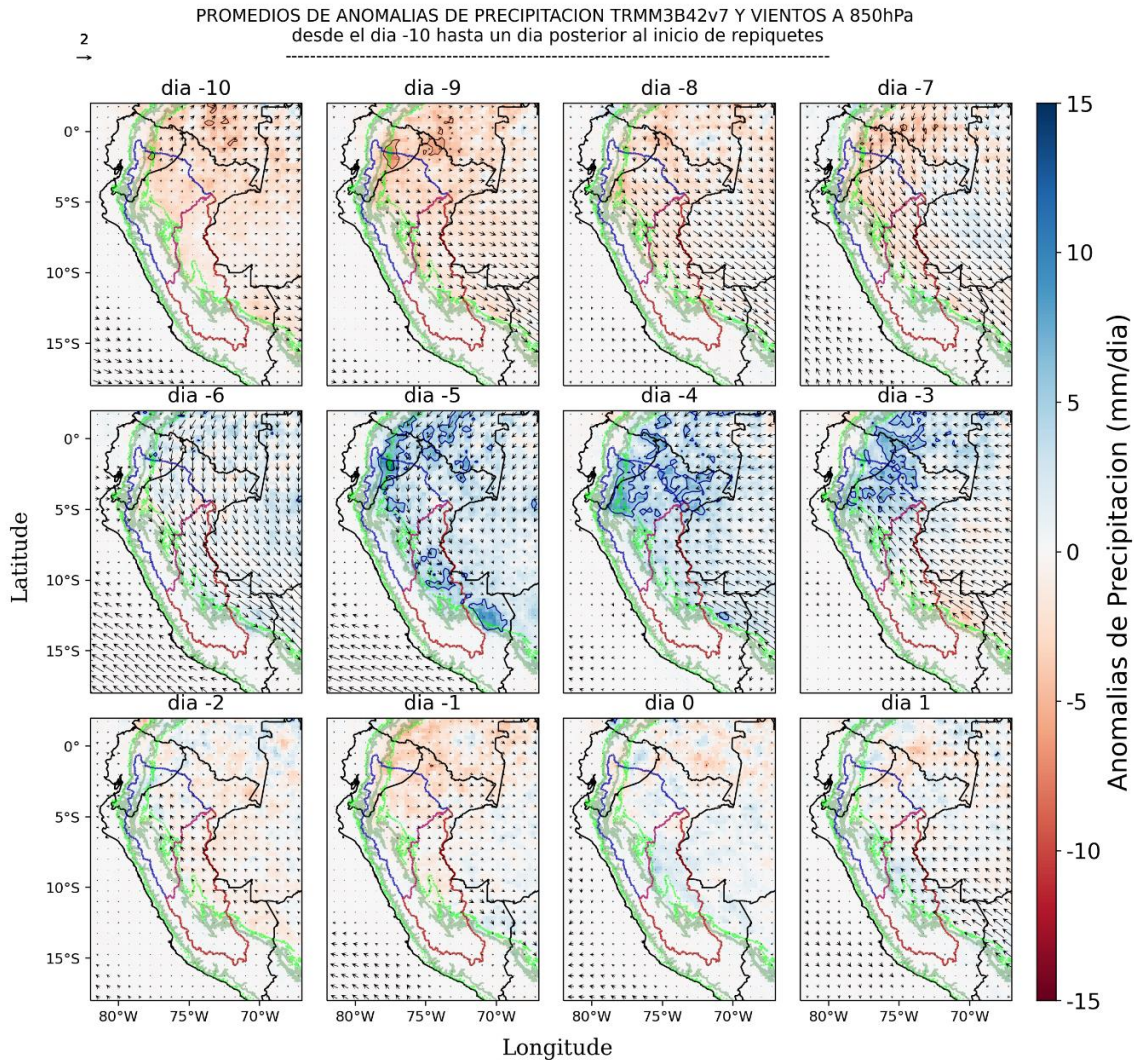


como se puede apreciar en la Figura 32 donde se promedia la precipitación de los mismos repiquetes T1, no la anomalía.

Con relación a los vientos anómalos al lado este de los Andes en niveles bajos (850 hPa) durante los días -9 a -5, estos se intensifican y son desviados de NE a NO alrededor de los 2.5°S por la presencia de los Andes y siguen su recorrido hacia la región sur-oriental de la cuenca Tamshiyacu (Figura 29; Satyamurty et al., 1998). Los vientos anómalos de los días -5 y -4 presentan un mayor componente del este sobre la región norte de la cuenca mientras que por la región sur se presenta una incursión de vientos anómalos del sureste, llegando a la región norte de la selva peruana el d-3 y permaneciendo por un par de días.



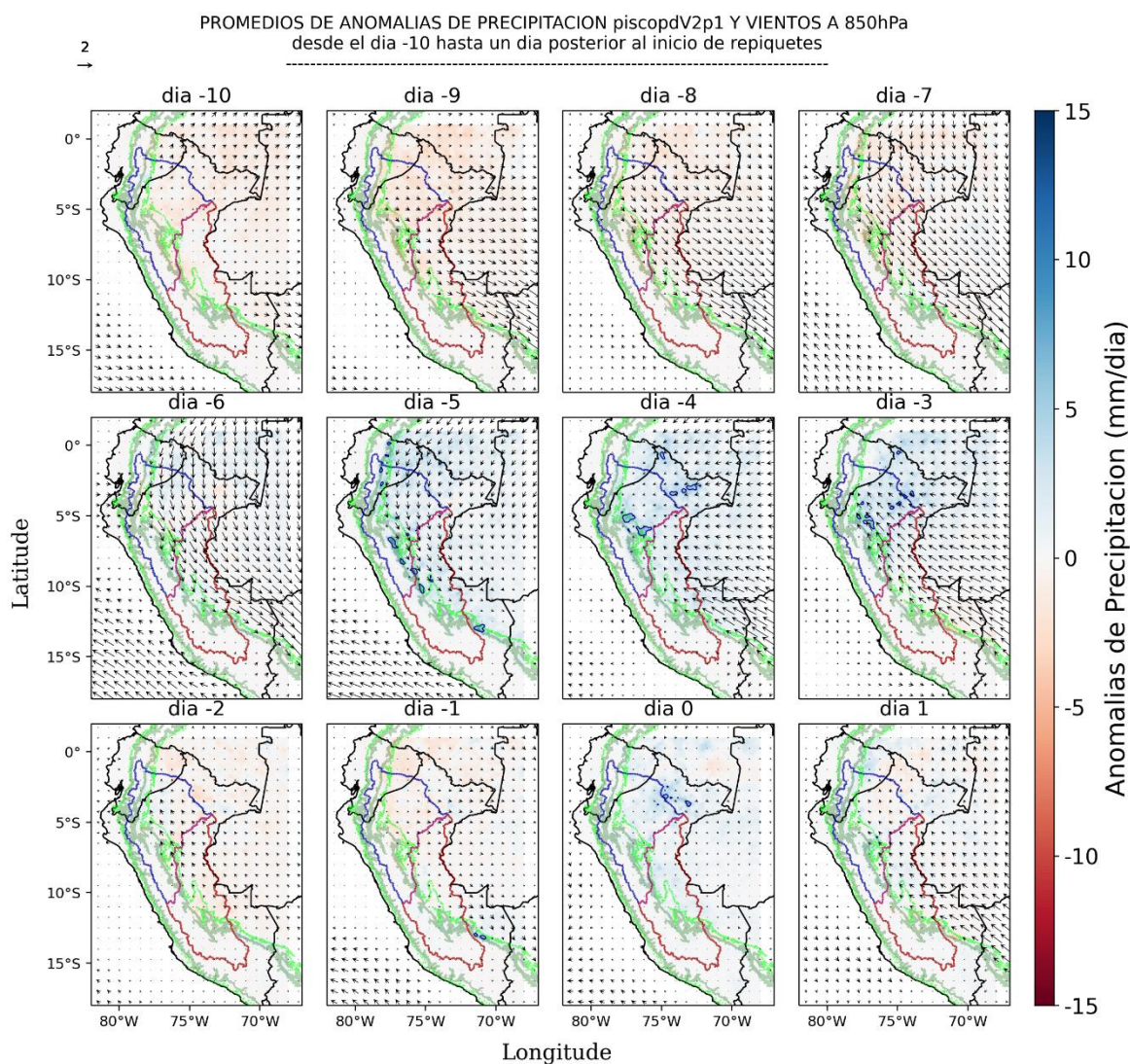
**Figura 29:** Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos CHIRPSv2.0 (0.25°) y vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim (0.25°) para repiquetes tipo T1, con d0 igual al día de inicio del evento en Tamshiyacu. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.



**Figura 30:** Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos TRMM3B42V7 ( $0.25^\circ$ ) y vientos a 500 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim ( $0.25^\circ$ ) para repiquetes tipo T1, con d0 igual al día de inicio del evento en Tamshiyacu. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.

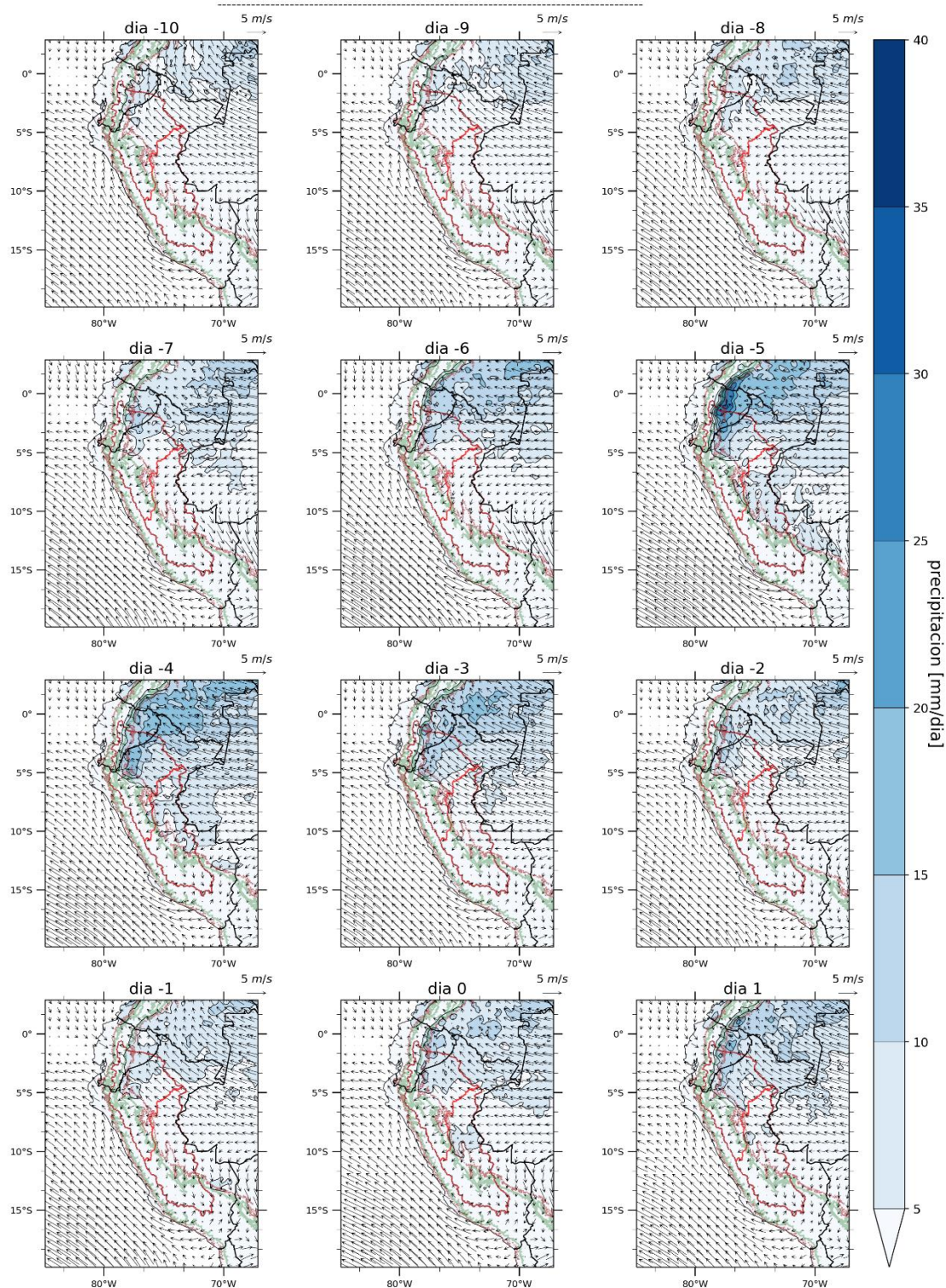
Las líneas de corriente (Figura 33) reflejan una circulación ciclónica anómala con núcleo en  $80^\circ\text{W}$  y  $40^\circ\text{S}$  (d-10) asociada al paso de una vaguada moviéndose al este y sobre los Andes en los días -9, -8, -7 y reapareciendo con una configuración bien marcada el d-6. El posicionamiento de la anomalía ciclónica al este de Uruguay ( $35.5^\circ\text{S}$ - $52^\circ\text{W}$ ) el d-6 favorece la entrada de flujos del este con mayor componente del este/noreste sobre Sudamérica occidental como se puede apreciar en el cambio de dirección del viento sobre Sudamérica con una orientación SE-NO. El d-5, la anomalía ciclónica al sureste de Sudamérica se desplaza al este ( $37.5^\circ\text{S}$ - $45^\circ\text{W}$ ) permitiendo el ingreso mayores flujos con componente del este hasta regiones al este de los Andes peruanos y ecuatorianos al norte de los  $8^\circ\text{S}$ . Durante

los días -4 y -3 se produce el paso de una circulación anticiclónica anómala (alrededor de los 34°S-65°W el d-4, Figura 33), la cual propicia la incursión del sureste descrita anteriormente sobre los días de mayores anomalías positivas de precipitación. Con respecto a esto último, configuraciones similares en niveles bajos fueron documentadas por trabajos previos (Marzano, 2018; Paccini et al., 2017).

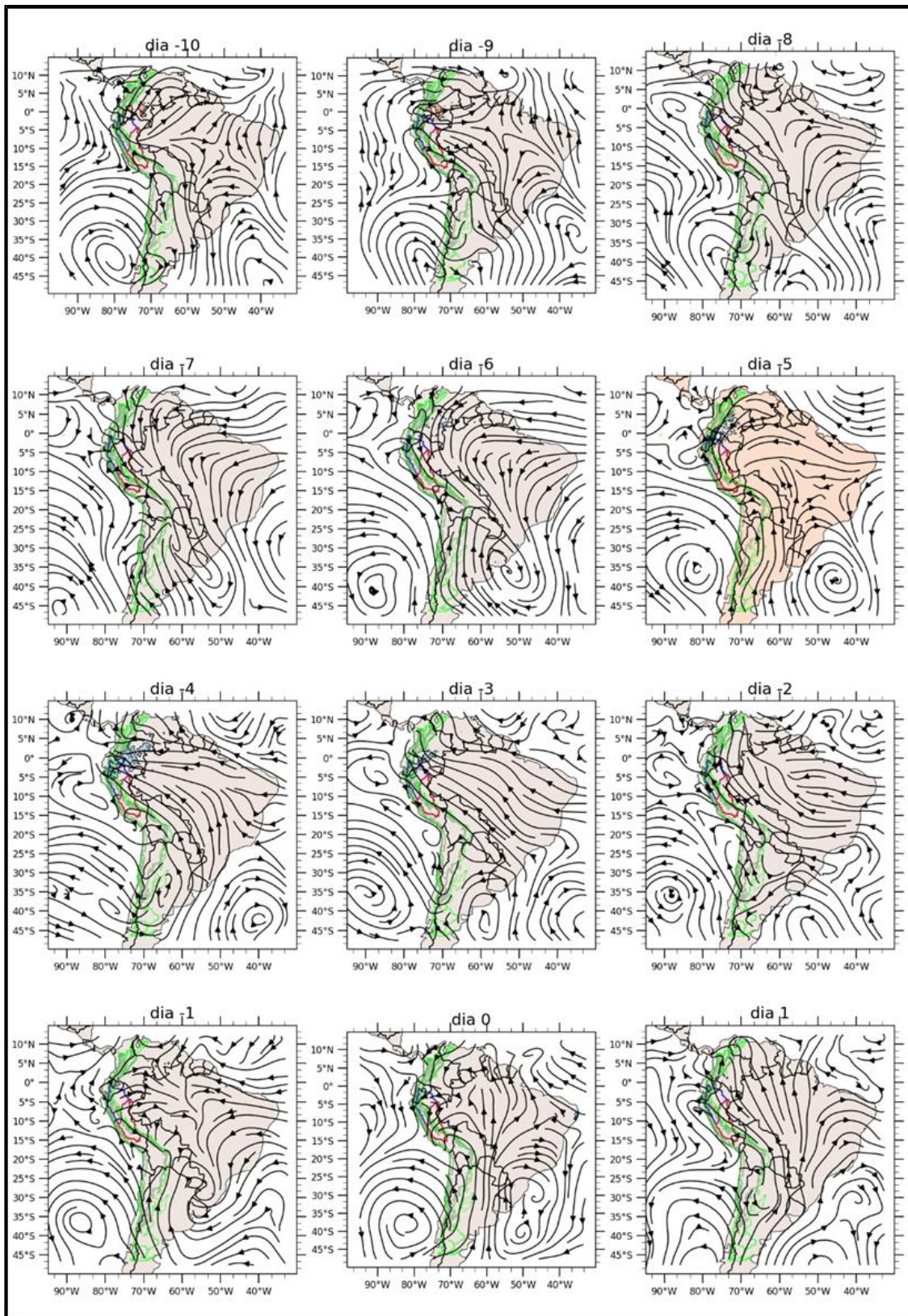


**Figura 31:** Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos PISCOpdV2.1 ( $0.1^\circ$ ) y vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim ( $0.25^\circ$ ) para repiquetes tipo T1, con d0 igual al día de inicio del evento en Tamshiyacu. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.

PROMEDIOS DE PRECIPITACION Y VIENTOS A 850hPa desde el día -10 hasta un día posterior al inicio de repiquetes



**Figura 32:** Promedio diario de precipitación con el conjunto de datos CHIRPSv2.0 ( $0.25^\circ$ ) y vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim ( $0.25^\circ$ ) para los repiquetes tipo T1, con  $d_0$  igual al día de inicio del evento en Tamshiyacu. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.

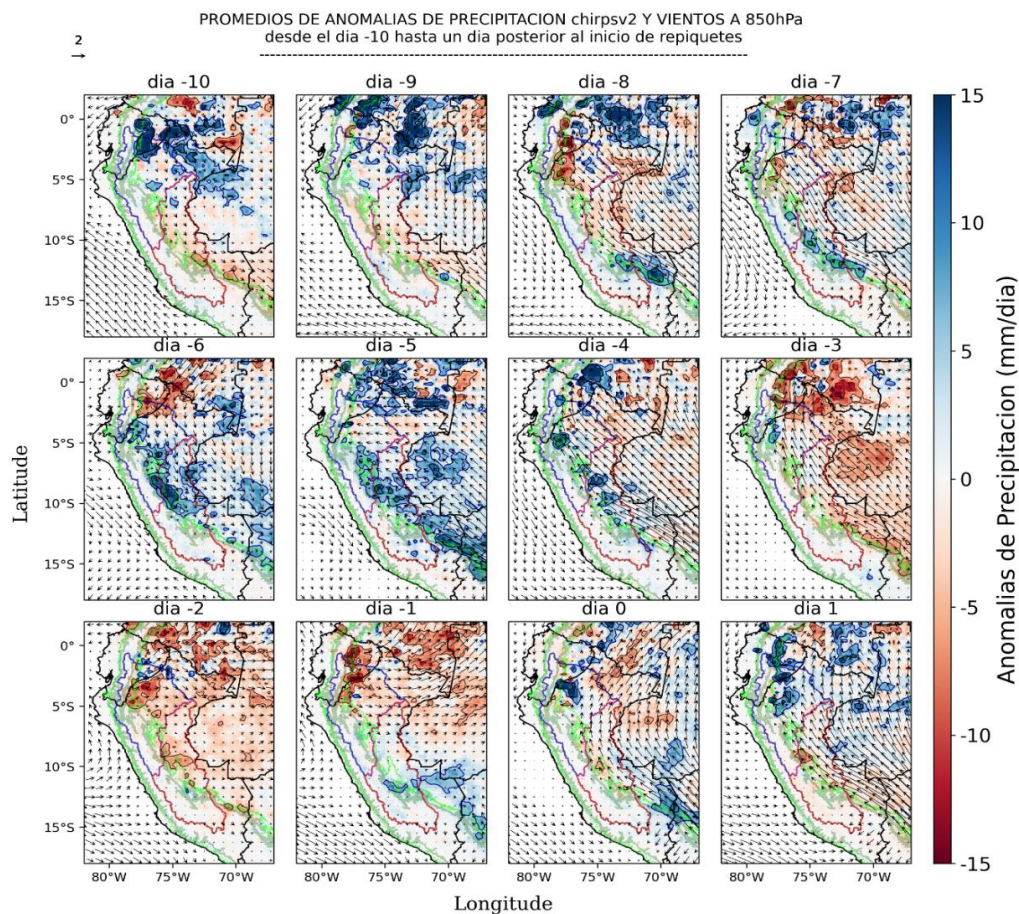


**Figura 33:** Líneas de corriente del compuesto de anomalías de vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim (0.25°) para repiquetes tipo T1, con d0 igual al día de inicio del evento en Tamshiyacu.

## REPIQUETES TIPO T2

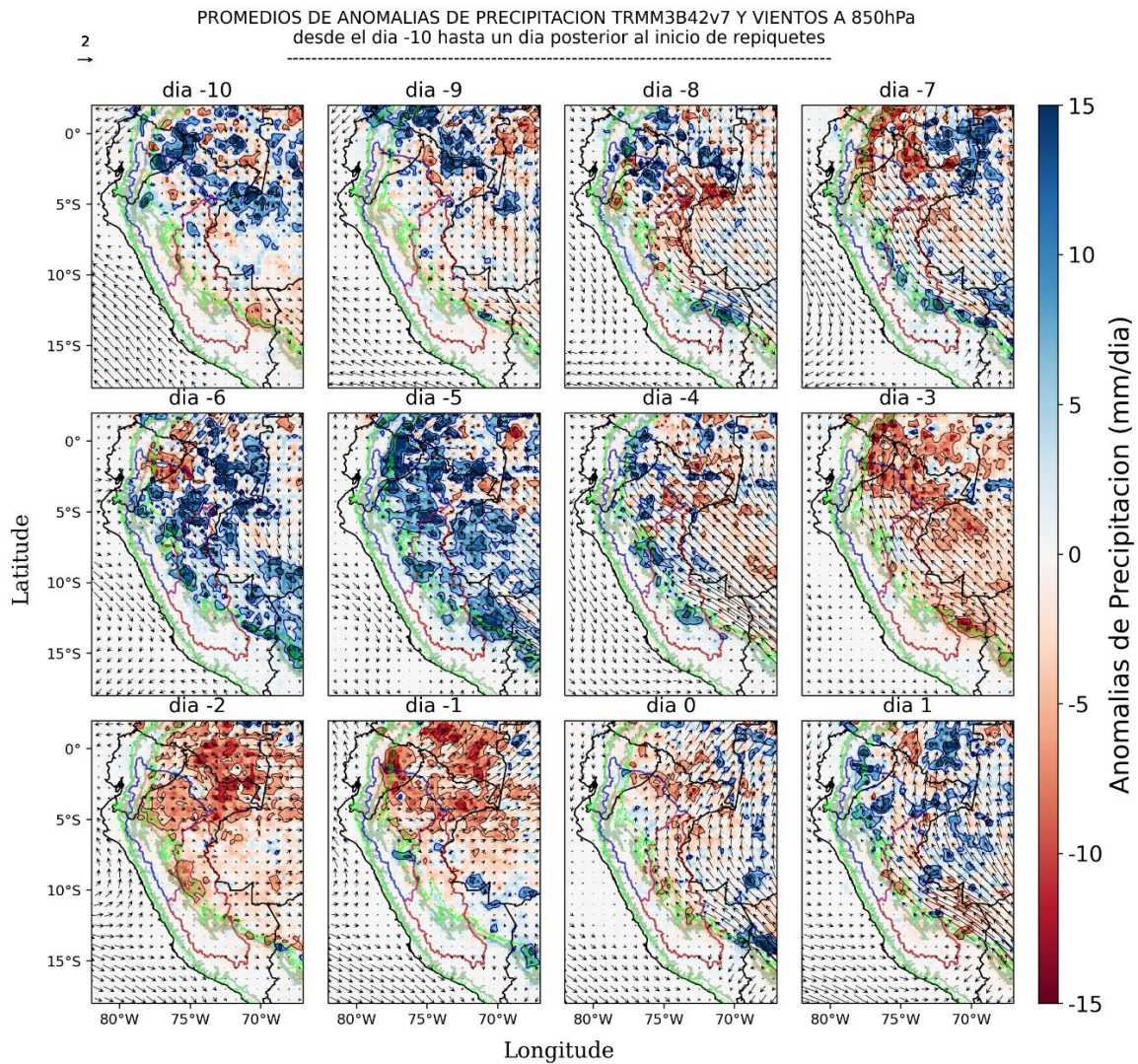
Este tipo de repiquetes agrupa los 4 eventos (Tabla 12) que son registrados con un cambio de nivel mayor a 10 cm en la estación Requena del río Ucayali y se reflejan en un aumento del nivel del río aguas abajo (río Amazonas) por encima de 20 cm. Para este análisis, debemos tener en cuenta que la cantidad de eventos es baja como para realizar mayor análisis o estadísticas al respecto.

Las anomalías de vientos cambian de vientos del NO a vientos del SE entre los días -6 y -5, similar a lo ocurrido con los *composites* T1 (Figura 34). Las precipitaciones CHIRPS de importancia que pueden desencadenar en eventos de repiquetes ocurren los días -7, -6, -5 y -4 sobre la cuenca media del Ucayali. Los días -10, 0 y +1 se observan precipitaciones en la cuenca del Maraón, pero estos no estarían relacionados al origen de este tipo de eventos, aunque pueden contribuir en los próximos días.



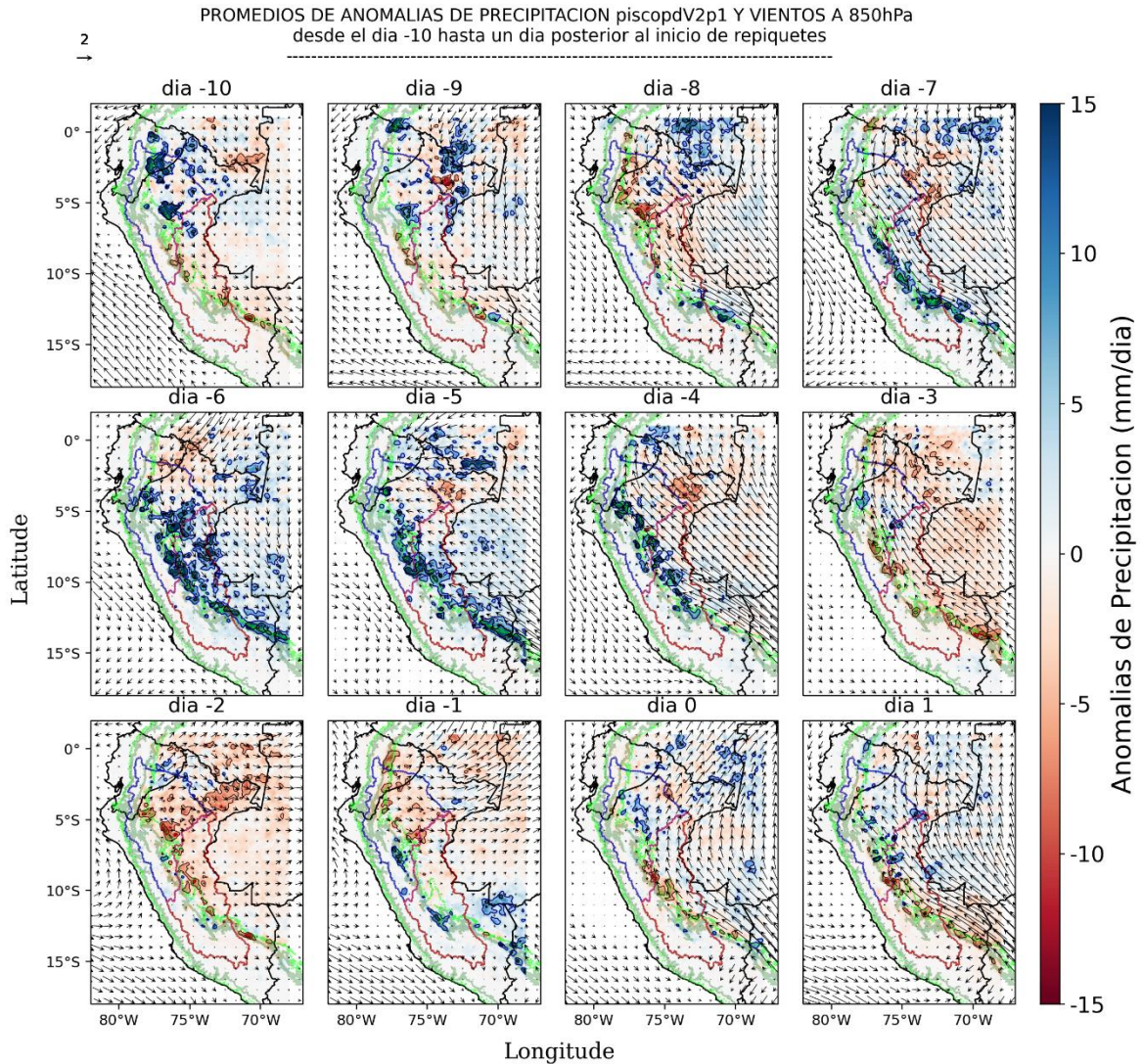
**Figura 34:** Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos CHIRPSv2.0 (0.25°) y de vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim (0.25°) para repiquetes tipo T2, con d0 igual al día de inicio del evento. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.

Existe mucha variabilidad en los datos de precipitación TRMM (Figura 35), sin embargo, para los eventos en estudio los días -7 y -4 resaltan por las precipitaciones sobre Huánuco y Ucayali entre los 500 y 1500 msnm y posteriormente precipitaciones sobre la cuenca baja del Ucayali (d-6 y d-5).



**Figura 35:** Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos TRMM3B42V7 ( $0.25^\circ$ ) y de vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim ( $0.25^\circ$ ) para repiquetes tipo T2, con d0 igual al día de inicio del evento. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.

De manera similar a la precipitación con datos TRMM, el compuesto de días T2 con datos de precipitación Pisco (Figura 36) exhiben precipitaciones a lo largo de la región Andino-Amazónica (d-7 al d-4) y anomalías positivas sobre la cuenca baja del Ucayali para el d-6.



**Figura 36:** Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos PISCOPdV2.1 ( $0.1^\circ$ ) y de vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim ( $0.25^\circ$ ) para repiquetes tipo T2, con d0 igual al día de inicio del evento. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.

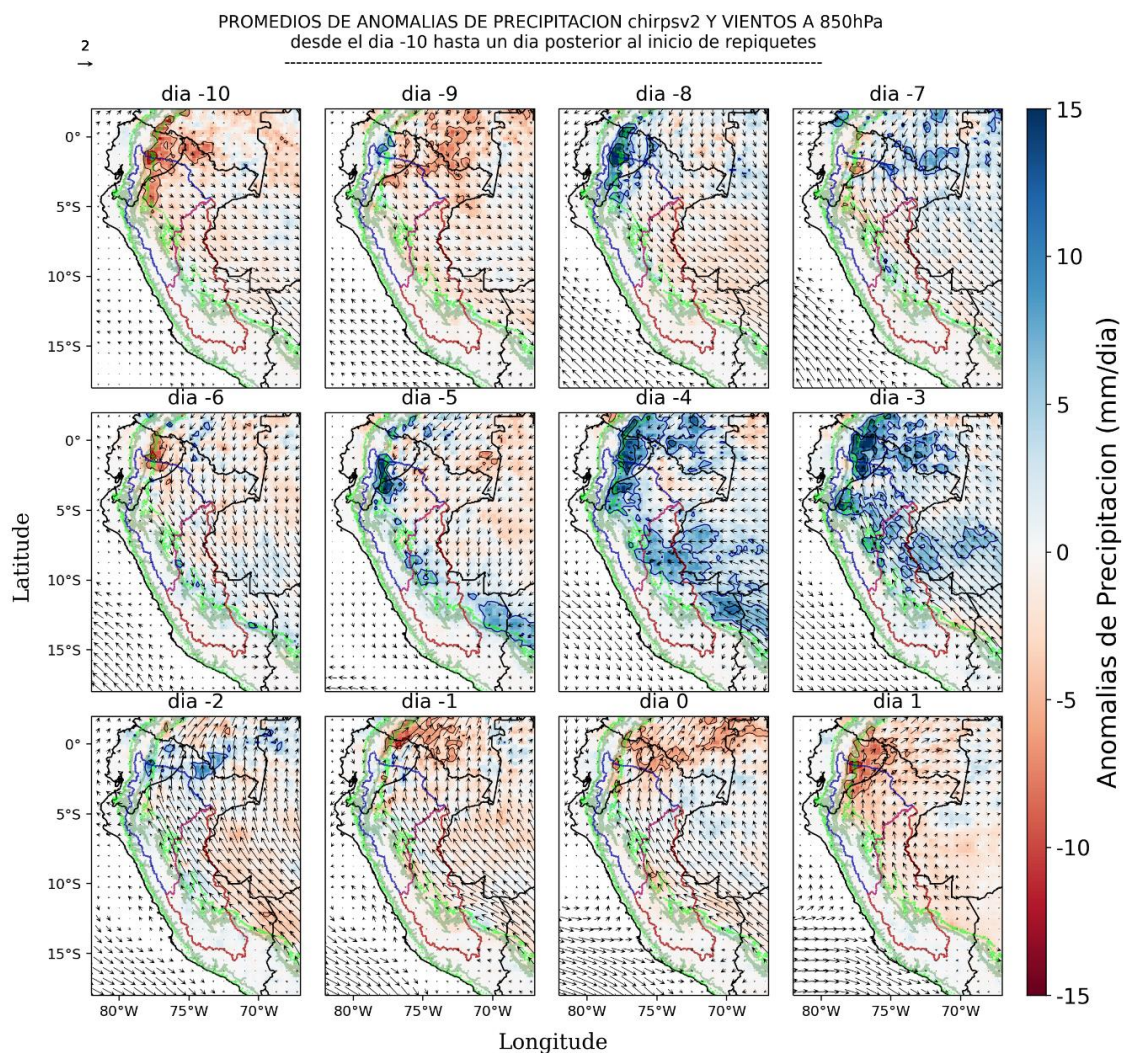


### **REPIQUETES TIPO T3**

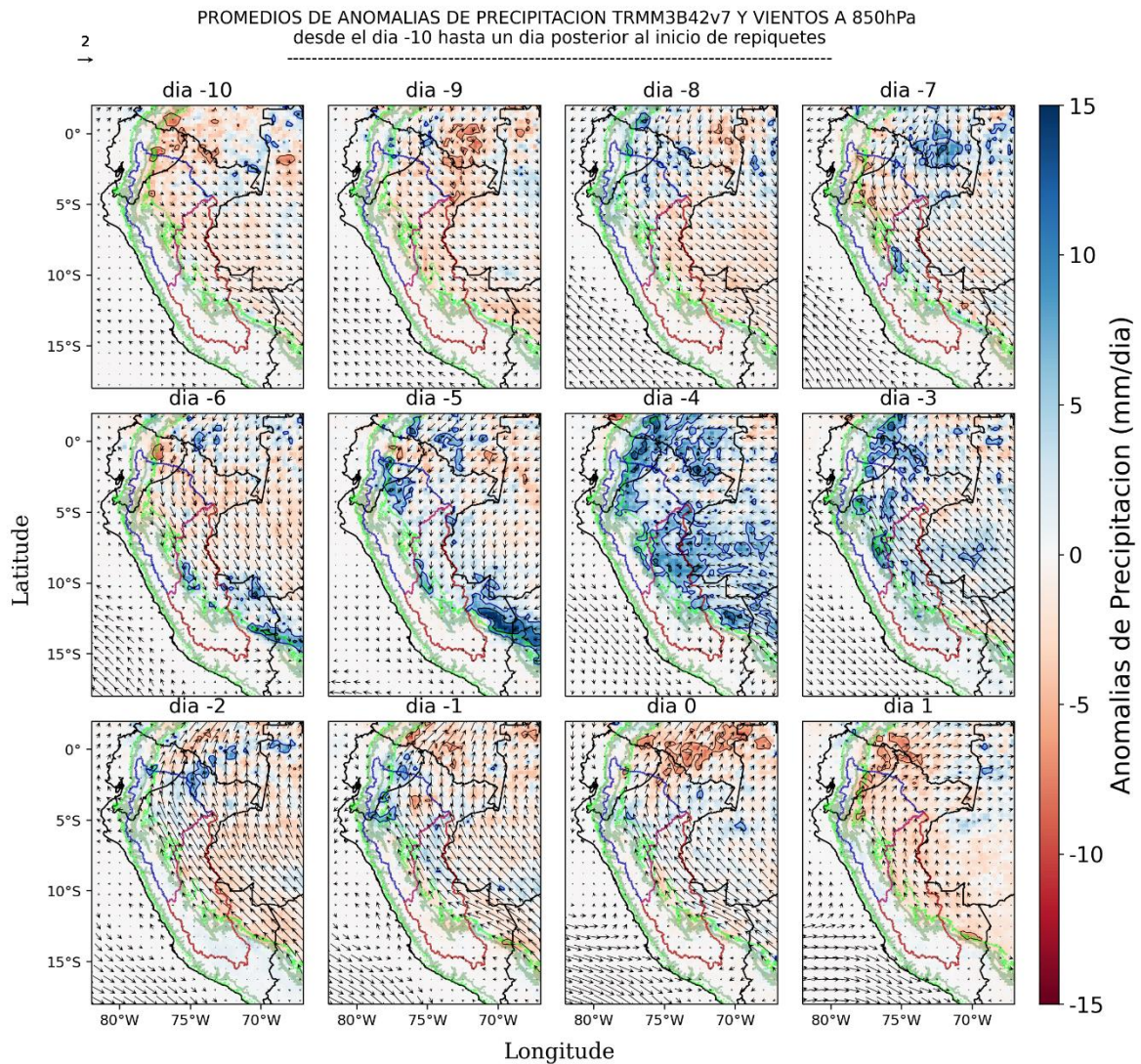
La distribución espacio-temporal de anomalías de precipitación días antes del inicio de repiquetes T3 muestra que los eventos lluviosos asociados a este tipo de repiquetes inician el día -8 al norte de la cuenca del Marañón, sobre la cuenca de Pastaza, con anomalías mayores a 10mm con un predominio de vientos anómalos del norte y noreste (Figura 37). Los siguientes días -7 y -6, los datos CHIRPS muestran dos núcleos aislados de precipitación (5-10mm) entre Huánuco y Ucayali, pero para estos mismos días, los datos TRMM (Figura 38) y PISCO (Figura 39) presentan anomalías positivas con núcleos mayores a 10mm y orientados en el sentido de los Andes NO-SE sobre la región de Huánuco, Ucayali y Pasco y por encima de los 500msnm. El d-5 presenta mayores discrepancias, por un lado, las anomalías positivas de precipitación CHIRPS son muy intensas (incluso mayores a 15mm) sobre la región de transición Andino-Amazónica entre Perú y Ecuador y todas estas se ubican dentro de la cuenca del Marañón a diferencia del día -8 que presentaba lluvias fuera de la región de estudio; además, registran anomalías positivas desde Ucayali y en sentido SE-NO hasta el departamento de Amazonas. Por otro lado, los datos TRMM y PISCO registran mayores anomalías sobre la región peruana a lo largo de los Andes centrales, principalmente sobre Huánuco y San Martín, y menores (escasas) anomalías positivas son observadas con los datos TRMM (PISCO) sobre la región norte de la cuenca del Marañón en comparación con los datos CHIRPS. Para los días -4 y -3 las anomalías positivas CHIRPS se presentan al norte del departamento de Amazonas y posteriormente entre Cajamarca y Amazonas extendiéndose hacia la cuenca baja del Marañón, asimismo, durante estos días las anomalías del sur incrementan sobre la cuenca media del Ucayali y la cuenca media y baja del Marañón. Para los mismos días las precipitaciones de TRMM Y PISCO son más intensas en comparación a CHIRPS sobre la cuenca media del Ucayali y sobre la región Andino-Amazónica al sur de la cuenca del Marañón. Es decir, estos conjuntos de datos exhiben un mismo patrón, pero mucho más intenso sobre la selva central de Perú si los comparamos con CHIRPS. El d-2 muestra anomalías de precipitación menores a 5mm en cuencas bajas y el d0 exhibe una pequeña anomalía de precipitación CHIRPS sobre la región de confluencia. En este caso, los datos TRMM muestran similitud con los datos CHIRPS en el día -2, pero el día -1 los datos TRMM presentan un núcleo de precipitación entre Cajamarca y Amazonas no registrado por otro conjunto de datos. Por el contrario, los datos PISCO muestran remanentes hasta el

día -1 por debajo de los 500m en la cuenca del Marañón y un núcleo aislado de anomalía positiva sobre Pacaya-Samiria.

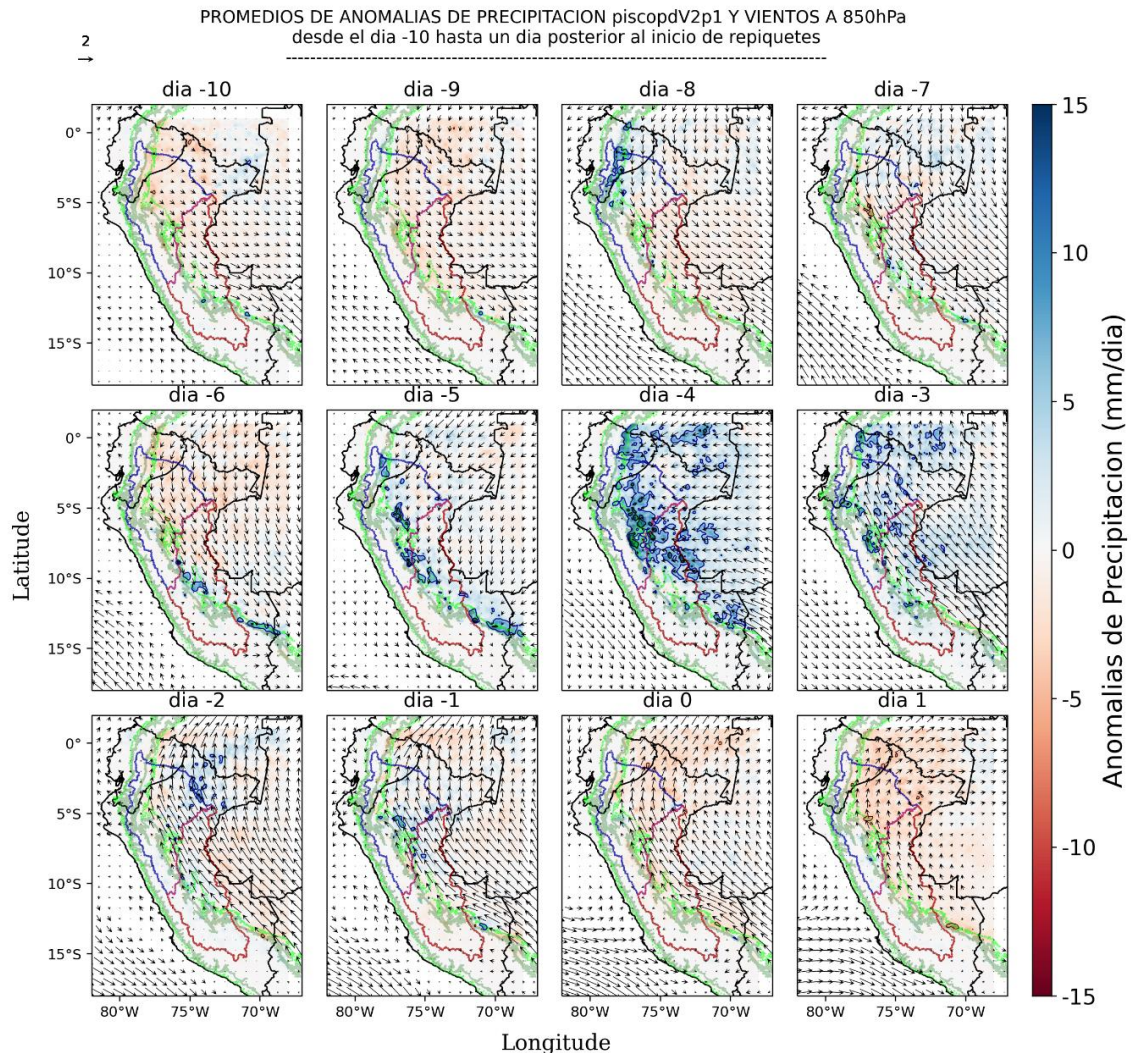
Con relación a los vientos anómalos al lado este de los Andes en niveles bajos (850 hPa) durante los días -9 a -5 estos se intensifican y son desviados de NE a NO alrededor de los 2.5°S por la presencia de los Andes y estos siguen su recorrido hacia la región sur-oriental de la cuenca de Tamshiyacu (Figura 37), muy similar a lo observado con los repiquetes T1 (Figura 29). Al igual que los eventos tipo T1, la incursión de anomalías del sureste se da a partir del d-5, llegando a la región norte de la selva peruana el día -3 permaneciendo así por un par de días.



**Figura 37:** Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos CHIRPSv2.0 (0.25°) y vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim (0.25°) para repiquetes tipo T3, con d0 igual al día de inicio del evento. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.



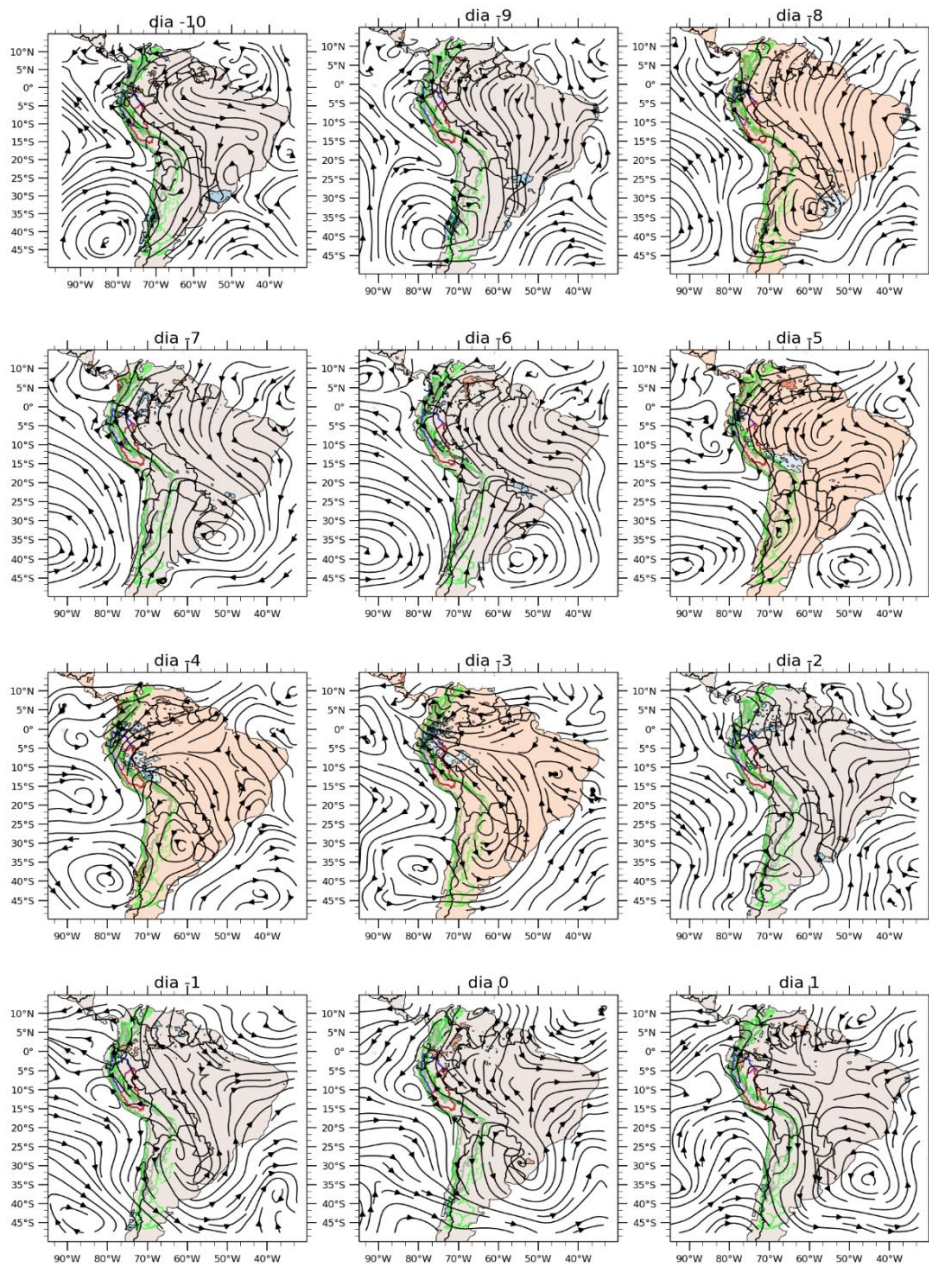
**Figura 38:** Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos TRMM3B42V7 ( $0.25^\circ$ ) y vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim ( $0.25^\circ$ ) para repiquetes tipo T3, con d0 igual al día de inicio del evento. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.



**Figura 39:** Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos PiscopdV2p1 ( $0.1^\circ$ ) y vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim ( $0.25^\circ$ ) para repiquetes tipo T3, con  $d_0$  igual al día de inicio del evento. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.

Las líneas de corriente de vientos anómalos (Figura 40) reflejan una circulación ciclónica anómala con núcleo en  $82^\circ\text{W}$  y  $42^\circ\text{S}$  el d-10 moviéndose al este y sobre los Andes los días -9, -8, -7. En los días -9 y -8, mientras la circulación anómala se ubica al oeste de Uruguay, las líneas de corriente del NE sobre Sudamérica occidental son dirigidas hacia Loreto, estos flujos pueden acarrear humedad para la formación de precipitación el d-8, pero tal precipitación no se explica solo con base en un cambio de dirección de vientos observado a gran escala, por lo que esta precipitación podría estar más ligada a cambios de circulación local o procesos de menor escala relacionados con la topografía y la convección que no pueden ser bien representados en modelos de circulación global. Durante los días -5, -4 y -

3 se produce el paso de una circulación anticiclónica anómala ( $30^{\circ}\text{S}$ - $62^{\circ}\text{W}$  el d-4), la cual promueve la incursión del sureste descrita anteriormente, además del ingreso de flujos del noreste en la región norte de Sudamérica que inician el d-5 se encuentra con los flujos del sur provocados por el paso del anticiclón formando una línea de convergencia desde el centro de Brasil hacia el este de los Andes.



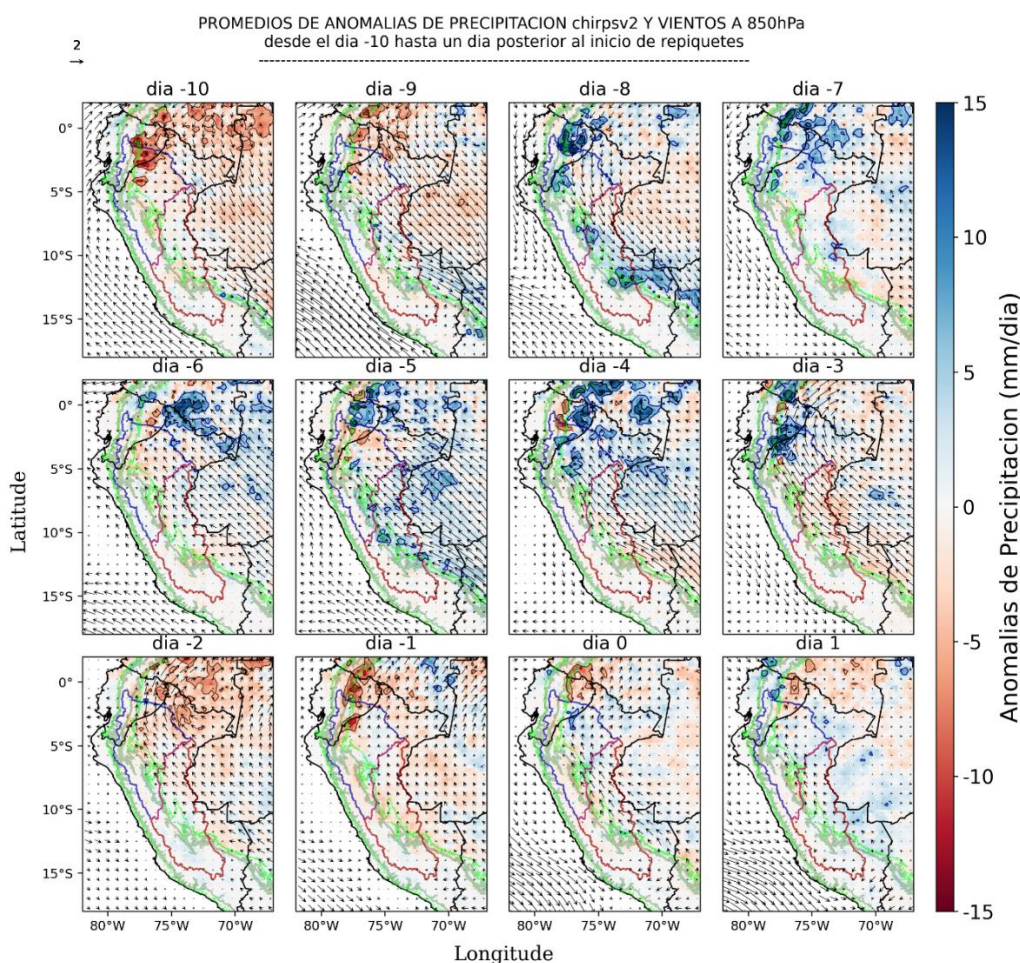
**Figura 40:** Líneas de corriente del compuesto de anomalías de vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim ( $0.25^{\circ}$ ) para repiquetes tipo T3, con d0 igual al día de inicio del evento en Tamshiyacu.

## REPIQUETES TIPO TAM

Este tipo de repiquetes agrupa los 7 eventos con magnitud mayor a 20 cm (Tabla 12) que solo son registrados en la estación Tamshiyacu del río Amazonas, es decir no tienen un precursor aguas arriba, ya sea en el río Marañón o Ucayali.

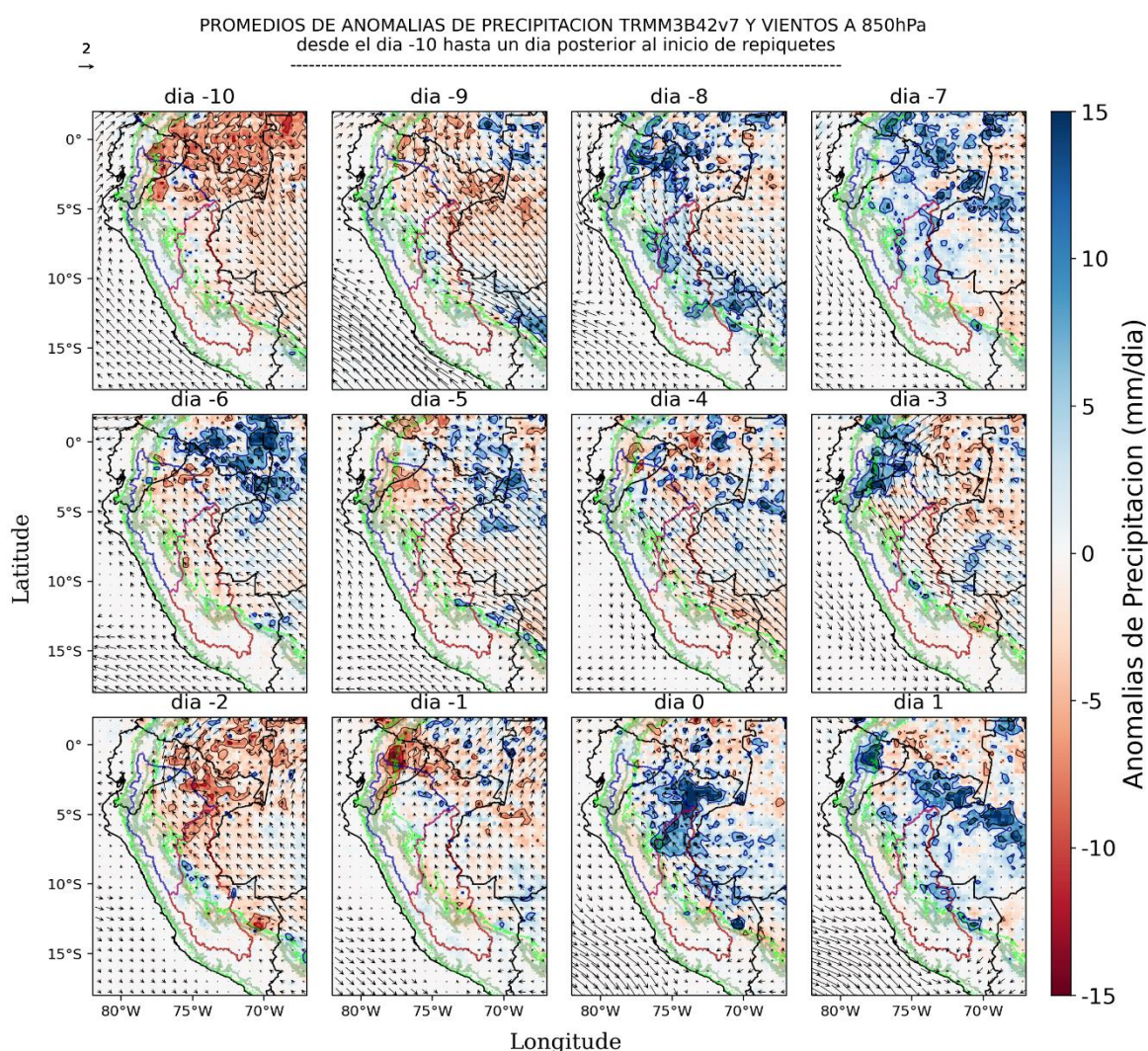
La distribución espacio-temporal de anomalías de precipitación CHIRPS (Figura 41) y PISCO (Figura 43) días antes del inicio de repiquetes tipo TAM, muestran precipitaciones los días -4 y -3 sobre la cuenca del Marañón, las cuales podrían estar relacionadas a un aumento del nivel del río Marañón pero por debajo del umbral utilizado de 10 cm.

Los datos PISCO muestran precipitaciones anómalas positivas y dispersas sobre la región de transición Andino-Amazónica los días -5 y -4; y el d0 anomalías positivas inferiores a 5mm sobre regiones bajas de la cuenca Tamshiyacu.



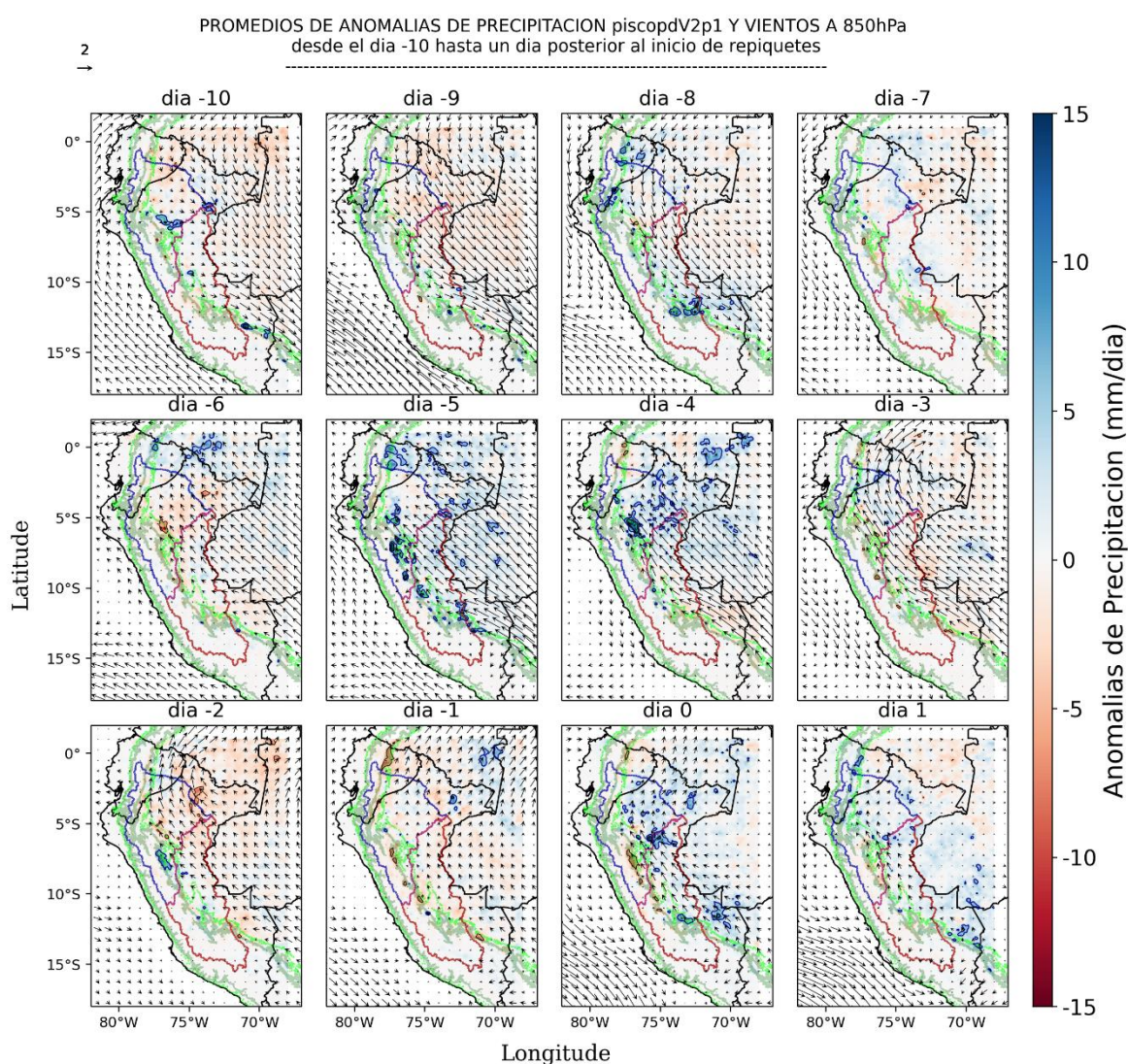
**Figura 41:** Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos CHIRPSv2.0 (0.25°) y de vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim (0.25°) para repiquetes tipo TAM, con d0 igual al día de inicio del evento. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.

Los datos CHIRPS presentan precipitaciones más intensas en la región norte el día -8, pero gran parte se da fuera de la cuenca; los días -4 y -3 sobre el departamento de Amazonas y al este de los Andes ecuatorianos por debajo de los 1500 msnm. Sin embargo, como se mencionó líneas arriba estas precipitaciones descritas no se reflejan en los ríos Marañón ni Ucayali. Por el contrario, el conjunto de datos que podría representar mejor este tipo de eventos sería TRMM (Figura 42), el cual presenta una distribución muy parecida a los datos CHIRPS, pero con la principal diferencia de que las mayores anomalías positivas ocurren el día 0 justo sobre la confluencia de los tres ríos extendiéndose hacia las cuencas bajas de ambos ríos.



**Figura 42:** Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos TRMM3B42V7 ( $0.25^\circ$ ) y de vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim ( $0.25^\circ$ ) para repiquetes tipo TAM, con día 0 igual al día de inicio del evento. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.

Con relación a los vientos anómalos del noreste (Figura 41) al lado este de los Andes en niveles bajos (850 hPa) durante los días -10 a -8 estos se intensifican y son desviados de NE a NO alrededor de los 2.5°S y siguen su recorrido atravesando toda la cuenca Tamshiyacu. A diferencia de los tipos T1 y T3 descritos anteriormente, la incursión de anomalías del sureste se da a partir del día -7 (2 días antes con respecto a los repiquetes T1 y T3), llegando a la región norte de la selva peruana el día -6 y permaneciendo hasta después del inicio del repiquete.



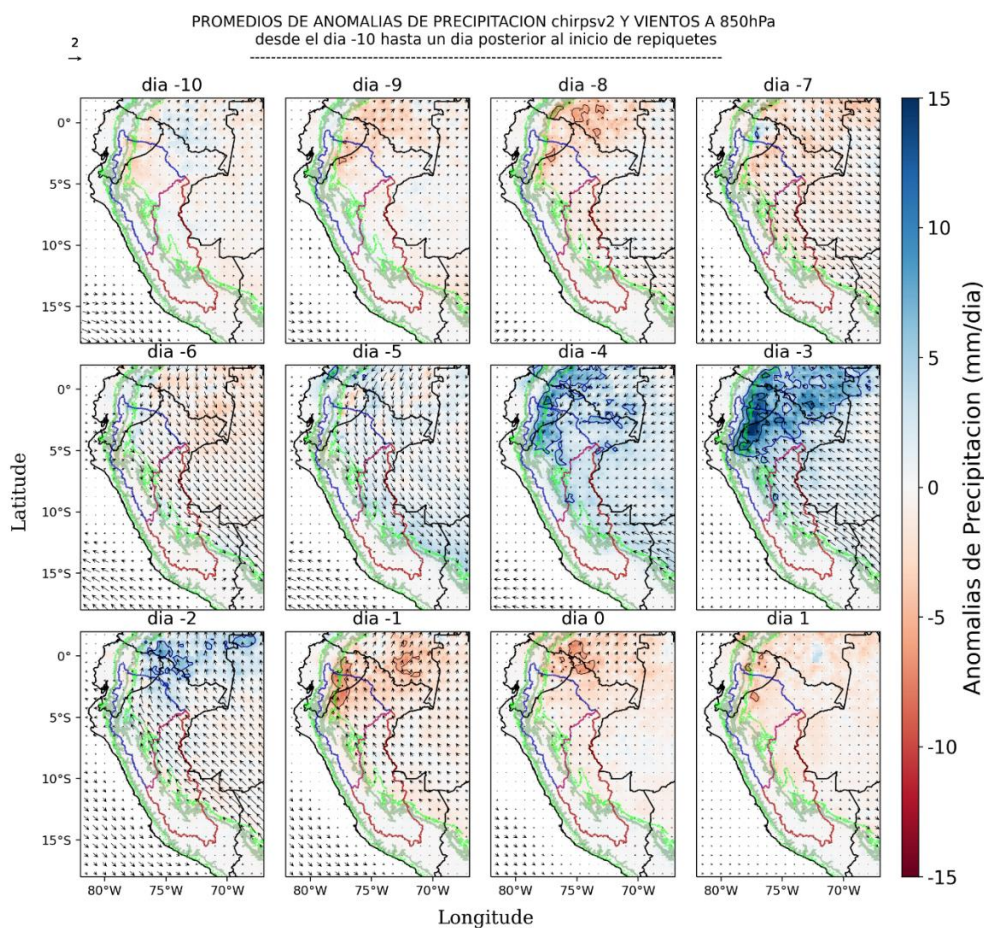
**Figura 43:** Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos PISCOPdV2.1 (0.1°) y de vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim (0.25°) para repiquetes tipo TAM, con d0 igual al día de inicio del evento. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.



## REPIQUETES TIPO SRE

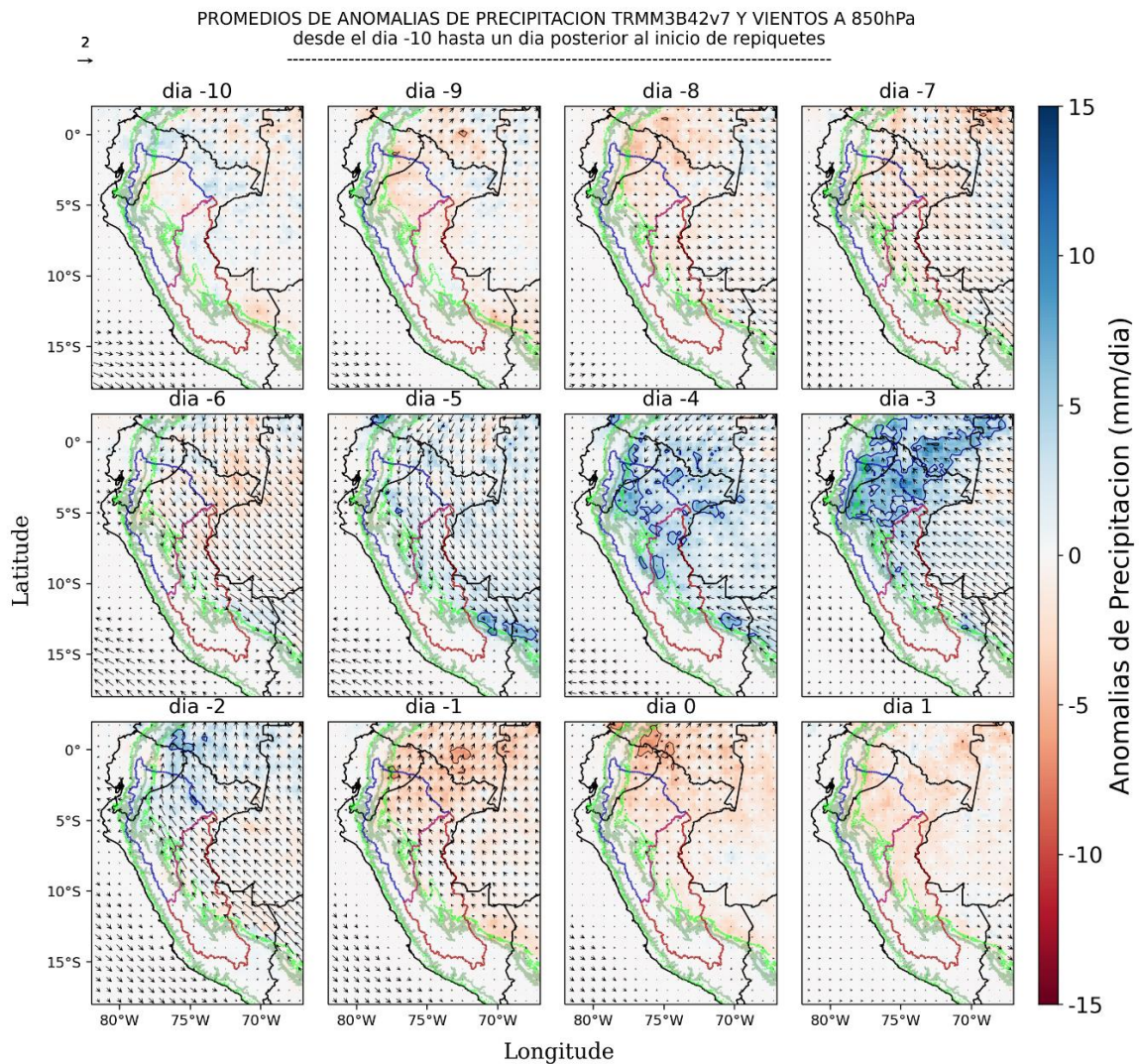
Este tipo de repiquetes agrupa los 55 eventos (Tabla 12) que solo son registrados en la estación San Regis del río Marañón, es decir, este tipo de eventos no se reflejan en un aumento del nivel del río aguas abajo (río Amazonas) y poseen una magnitud por encima de 10cm en el cambio del nivel del río.

Utilizando los datos de precipitación CHIRPS (Figura 44) se atribuye el origen de los eventos SRE a precipitaciones con intensidades altas entre cuatro y tres días antes del inicio del repiquete en la estación San Regis. En el resto de días no se observan anomalías superiores a 5 mm y por lo general se ven condiciones secas. Estos resultados concuerdan con los que se esperaban conociendo que el tiempo de propagación de la onda entre la estación San Regis y Tamshiyacu es de aproximadamente un día en comparación con los eventos T1 (Figura 28).



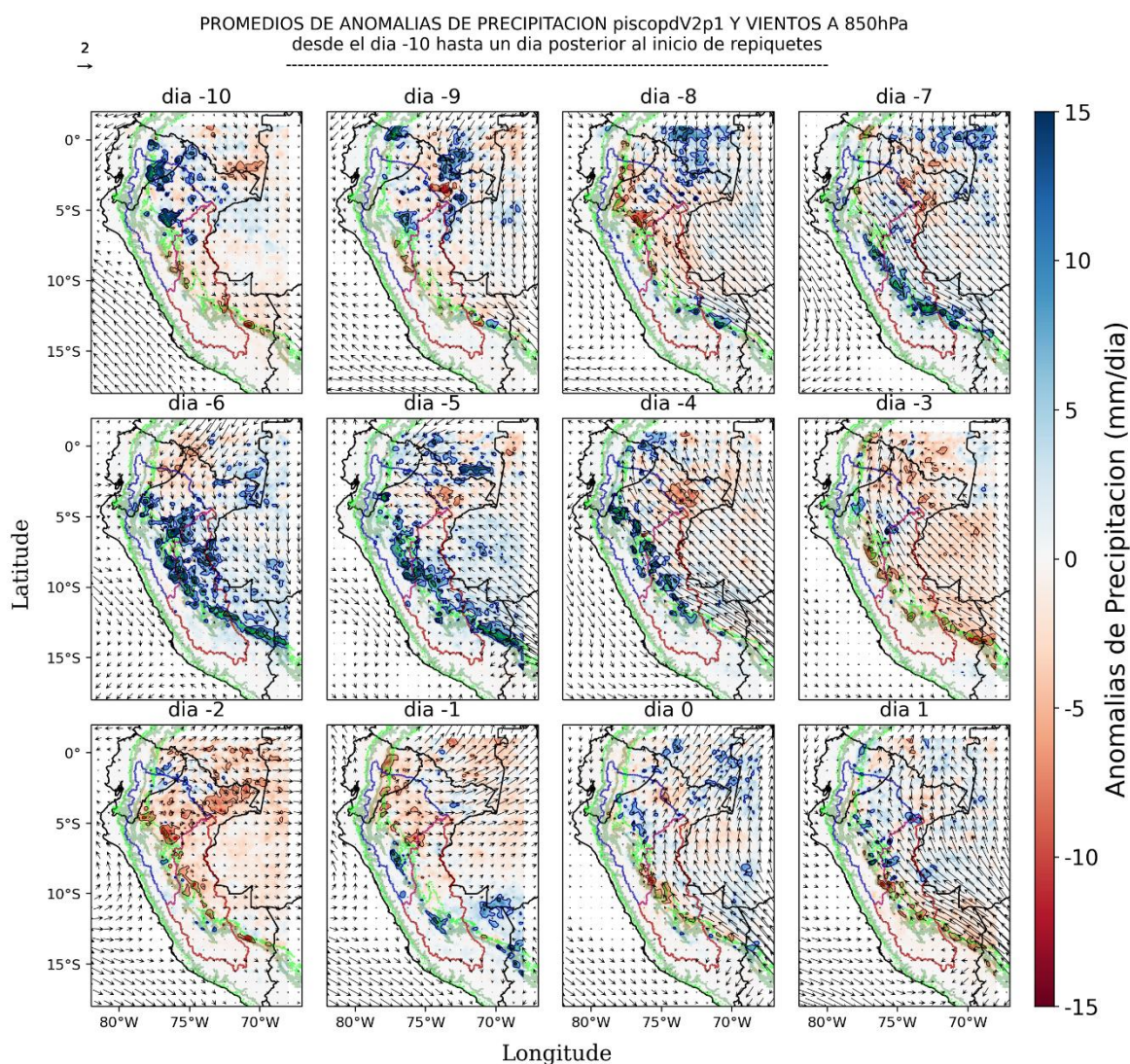
**Figura 44:** Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos CHIRPSv2.0 (0.25°) y de vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim (0.25°) para repiquetes tipo SRE, con d0 igual al día de inicio del evento. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.

Los datos TRMM (Figura 45) muestran anomalías de precipitación por encima de 5mm entre los días -5 y -3, similar a los datos CHIRPS. Durante dichos días es notorio el cambio de anomalías del noroeste a anomalías del sureste. El día -5 registra anomalías de precipitación por debajo de 5 mm aumentando en la región de transición andino-amazónica para el día -4. El día -3 es el día en el que las anomalías de vientos del sur llegan a la región norte provocando las precipitaciones máximas registradas sobre casi toda la parte norte de la cuenca del Marañón.



**Figura 45:** Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos TRMM3B42V7 ( $0.25^\circ$ ) y de vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim ( $0.25^\circ$ ) para repiquetes tipo SRE, con d0 igual al día de inicio del evento. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.

La metodología usada resalta precipitaciones de PISCO (Figura 46) en la región de transición Andino-Amazónica y hacia regiones más bajas los días -10 y -9; con aportes superiores 10 mm el d-6 sobre la región sur de Loreto y San Martín. Además para este conjunto de datos las precipitaciones al este de los Andes y sobre la región de transición Andes-Amazonía se mantienen a lo largo de la cuenca Tamshiyacu hasta los días -4 y -3 con núcleos entre Amazonas, San Martín y Loreto. Lo mencionado anteriormente podría estar muy relacionado a un aumento del nivel del río Huallaga que finalmente influyen sobre el río Marañón.

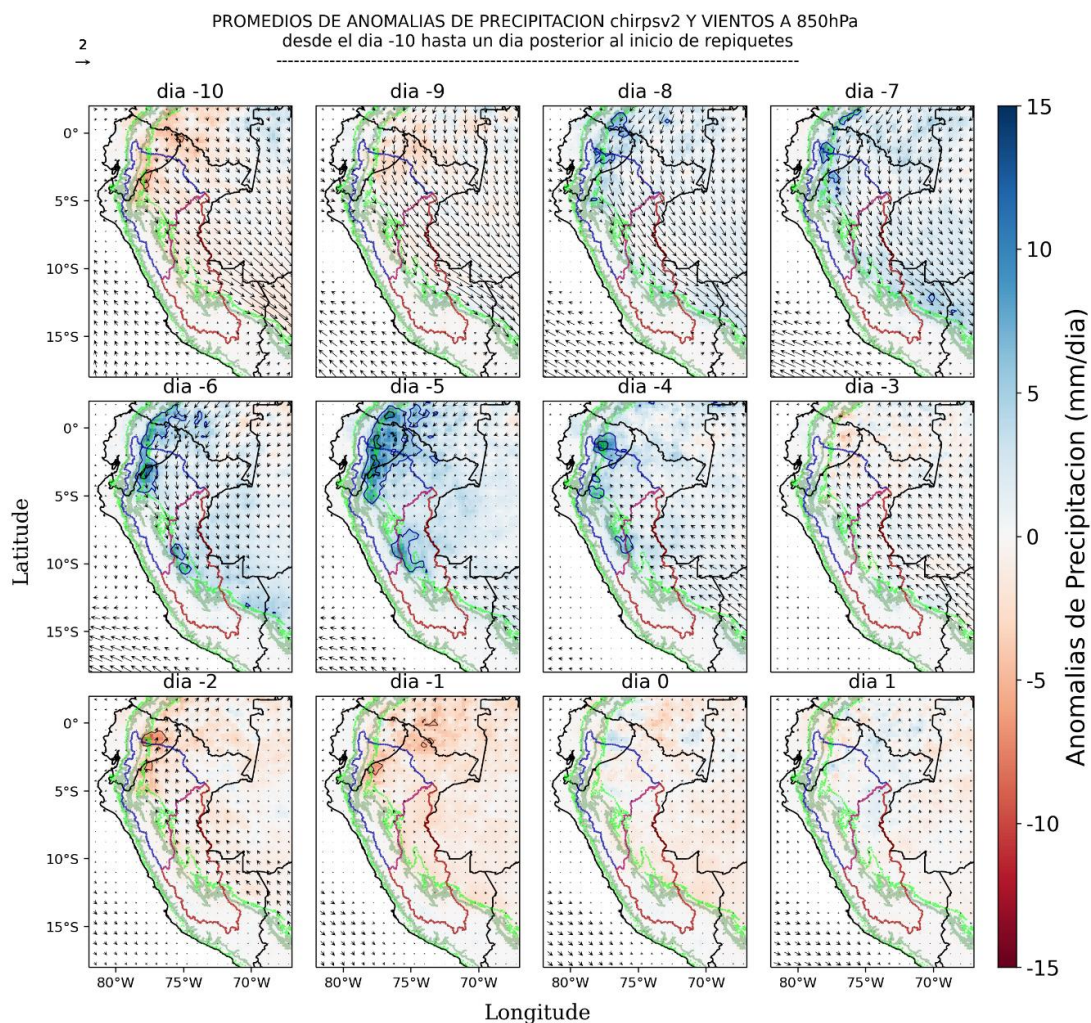


**Figura 46:** Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos PISCOpdV2.1 ( $0.1^\circ$ ) y de vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim ( $0.25^\circ$ ) para repiquetes tipo SRE, con d0 igual al día de inicio del evento. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.

## REPIQUETES TIPO REQ

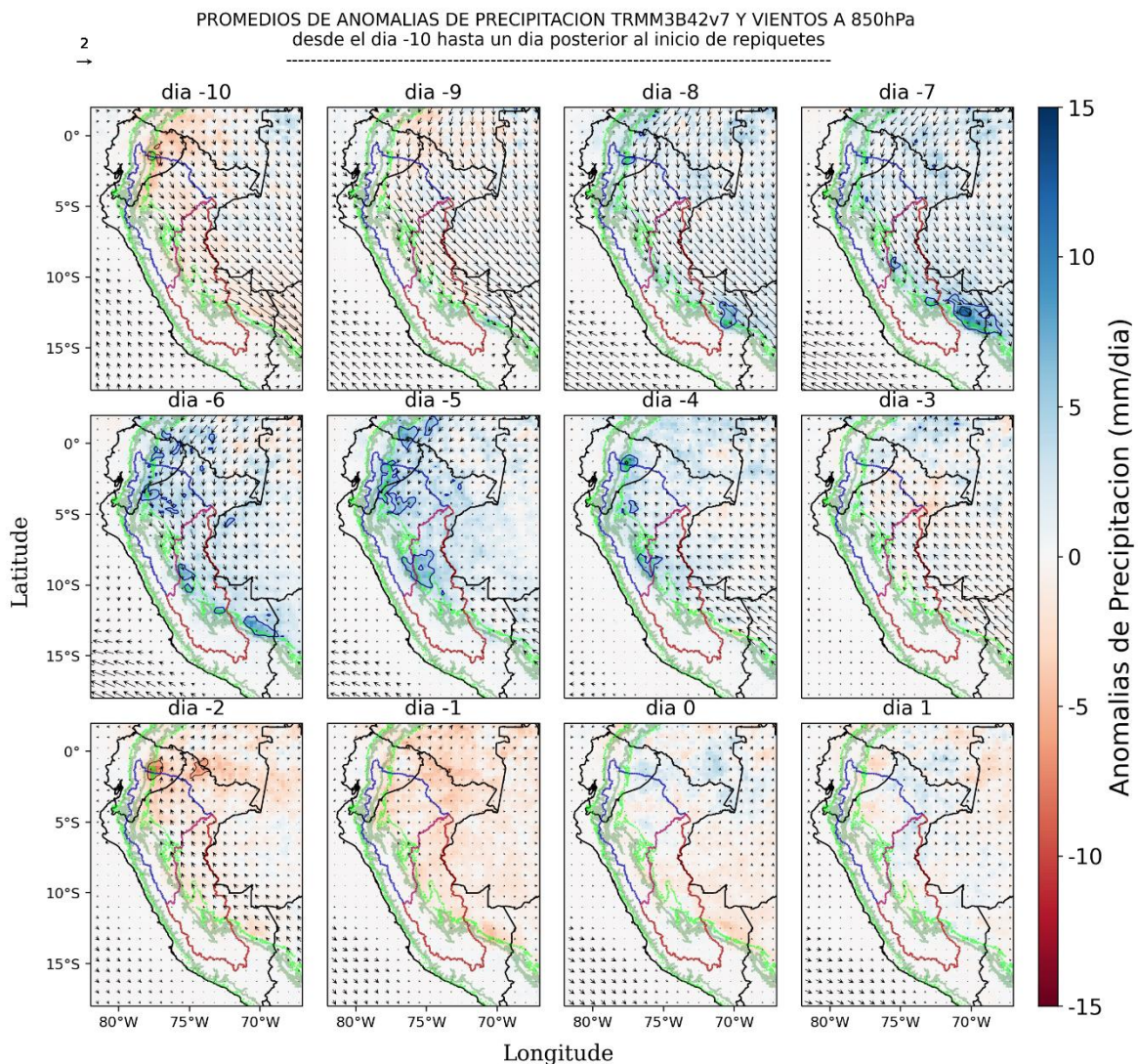
Este tipo de repiquetes agrupa los 67 eventos (Tabla 12) que solo son registrados en la estación Requena del río Ucayali, es decir, este tipo de eventos no se reflejan en un aumento del nivel del río aguas abajo (río Amazonas) y poseen una magnitud por encima de 10cm en el cambio del nivel del río Ucayali.

Las anomalías de vientos cambian de dirección noroeste a sureste entre los días -6 y -4, con una incursión del SE el d-5 y las precipitaciones se presentan antes y después de este cambio mencionado entre los días -7 y -4 (Figura 47). La cuenca baja del Ucayali presenta anomalías inferiores a 5mm durante estos 4 días, con máximos entre Huánuco y Ucayali los d-6 y -5 (8°S y 10°S).



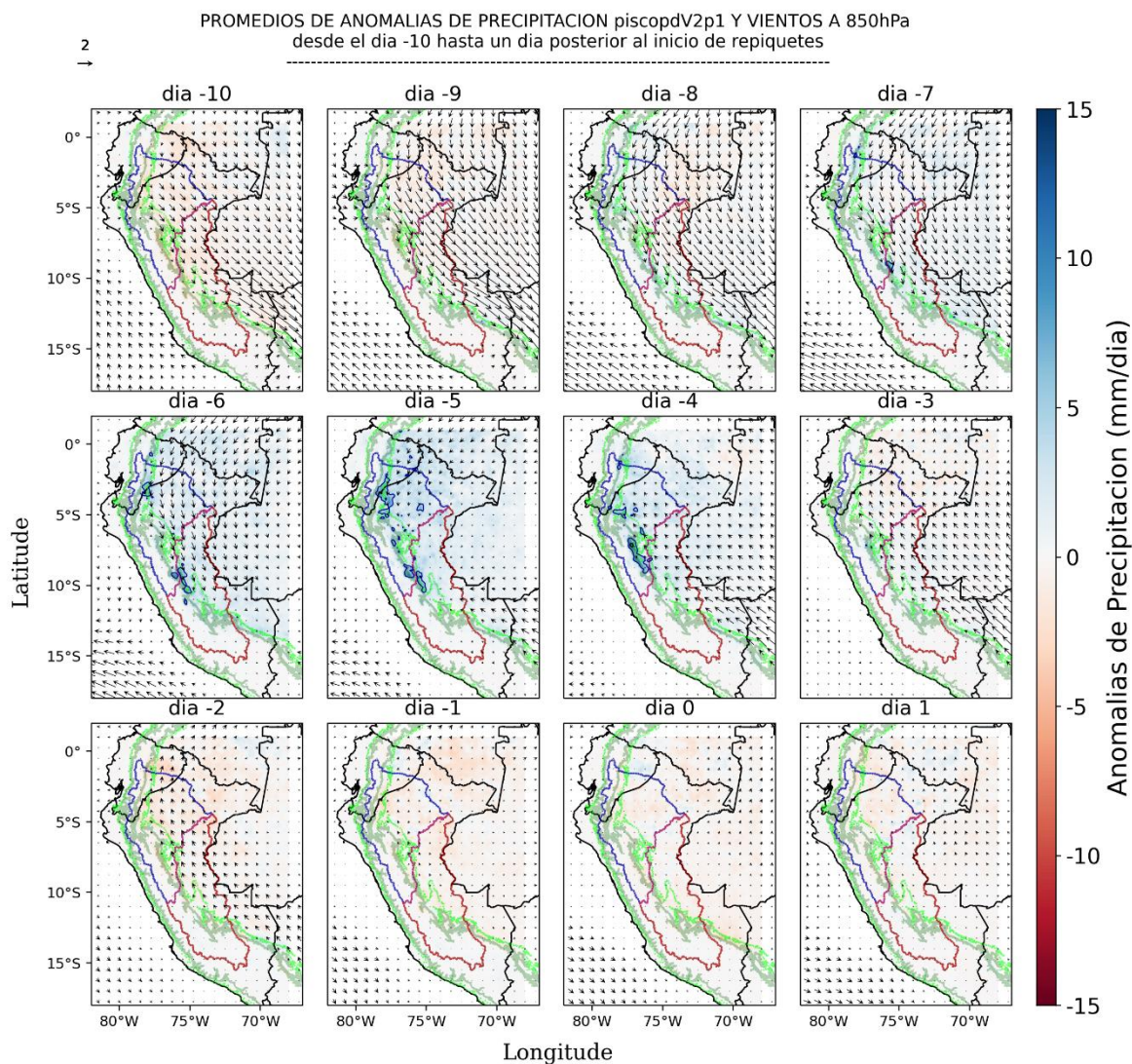
**Figura 47:** Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos CHIRPSv2.0 (0.25°) y de vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim (0.25°) para repiquetes tipo REQ, con d0 igual al día de inicio del evento. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.

Además, sobre la cuenca del Marañón los días -6 y -5 existen anomalías positivas de precipitación superiores a los 5mm solo entre la región de transición andino-amazónica, pero no por debajo de esta como se ha observado para los anteriores *composites* estudiados. Las regiones de precipitación observadas con los datos TRMM (Figura 48) son muy similares a los datos CHIRPS y ocurren entre los mismos días (d-7 y d-4). Pero los valores de precipitación sobre la cuenca del Ucayali (Marañón) se incrementan (reducen) lo que concuerda con el tipo de repiquete estudiado.



**Figura 48:** Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos TRMM3B42V7 ( $0.25^\circ$ ) y de vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim ( $0.25^\circ$ ) para repiquetes tipo REQ, con d0 igual al día de inicio del evento. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.

Los datos PISCO (Figura 49) muestran anomalías positivas sobre la cuenca Ucayali de d-7 a d-5 menores a 5mm sobre la cuenca baja y mayores sobre las regiones de Huánuco y Ucayali ya mencionadas y el d-4 las anomalías de precipitación se sitúan hacia el Alto Huallaga.



**Figura 49:** Promedio de anomalías de precipitación con el conjunto de datos PISCOpdV2.1 ( $0.1^\circ$ ) y de vientos a 850 hPa con datos de reanálisis del ERA-Interim ( $0.25^\circ$ ) para repiquetes tipo REQ, con d0 igual al día de inicio del evento. En líneas verdes y verdes oscuras se muestran la elevación de 500 msnm y 1500 msnm, respectivamente.

#### 4.2.2 Patrones de circulación relacionados a la ocurrencia de repiquetes

Los patrones de circulación definidos por Paccini et al. (2017) asocian cada día del periodo 1979-2014 a una circulación específica dada en la Figura 16. Considerando ello, es posible caracterizar los eventos de repiquetes en función a una secuencia o transición de determinados CP y sus variaciones. Además, el cálculo del porcentaje de ocurrencia de cada CP para un día dado entre el d-10 y d0 es un indicador de la variabilidad de los eventos resumidos en un mismo *composite* anteriormente realizados. El presente análisis se elabora para los tipos de repiquetes T1 y T3, no para T2 ni TAM debido a que presentan poca cantidad de eventos. Los demás tipos pueden ser inferidos al mostrar características comunes como se pudo observar en la sección 4.2.1.

#### **REPIQUETES TIPO T1**

Como se describió en el ítem 4.2.1, los *composites* de vientos a niveles bajos asociados al origen de este tipo de repiquetes se observa un cambio predominantemente meridional en la anomalía de vientos durante los d-5 y d-3 asociado con los eventos lluviosos días antes del inicio de repiquetes.

Para asociar los eventos T1 a la presencia de determinados estados meteorológicos se calculan los porcentajes de ocurrencia de un CP desde el d-10 hasta el d0 (Tabla 13). Durante los días -10 y -9 aproximadamente un tercio de los eventos presenta un cambio de régimen del sur a régimen del norte representados por el paso de CPs 6 a 8. Posteriormente, la predominancia de CPs 2 y 8 corroboran el dominio de vientos del norte sobre la región oeste de la CA desde el d-8 hasta el d-6. La secuencia de CPs descrita por Paccini et al. (2017) es precisa y válida para la descripción días previos al repiquete, pero no es posible aún asociar un determinado CP (CP 2,3,4,8) a los días más lluviosos (d-5 y d-4). El cambio de circulaciones del norte (CP 8 y CP 2) a circulaciones del sur (principalmente CP4) con un porcentaje de ocurrencia cercana al 30% resaltan la presencia frecuente de incursiones del sur durante el d-3 relacionadas al origen del repiquete. Además del cambio meridional, los CPs no parecen representar adecuadamente, o en su defecto atenúan, el flujo de componente este meramente zonal al norte de los 8°S, lo cual agrega variabilidad en los porcentajes de ocurrencia.

**Tabla 13:** Porcentaje de ocurrencia de patrones de circulación de gran escala (CPs, definidos por Paccini et al., 2017) desde d-10 a d0 durante los repiquetes T1 (repiquetes observados en Tamshiyacu con un precursor en el río Marañón - San Regis) de 37/47 eventos observados para el periodo 1997 – 2014. Valores mayores a 20% están en negrita y todos los valores mayores a 29% están subrayados.

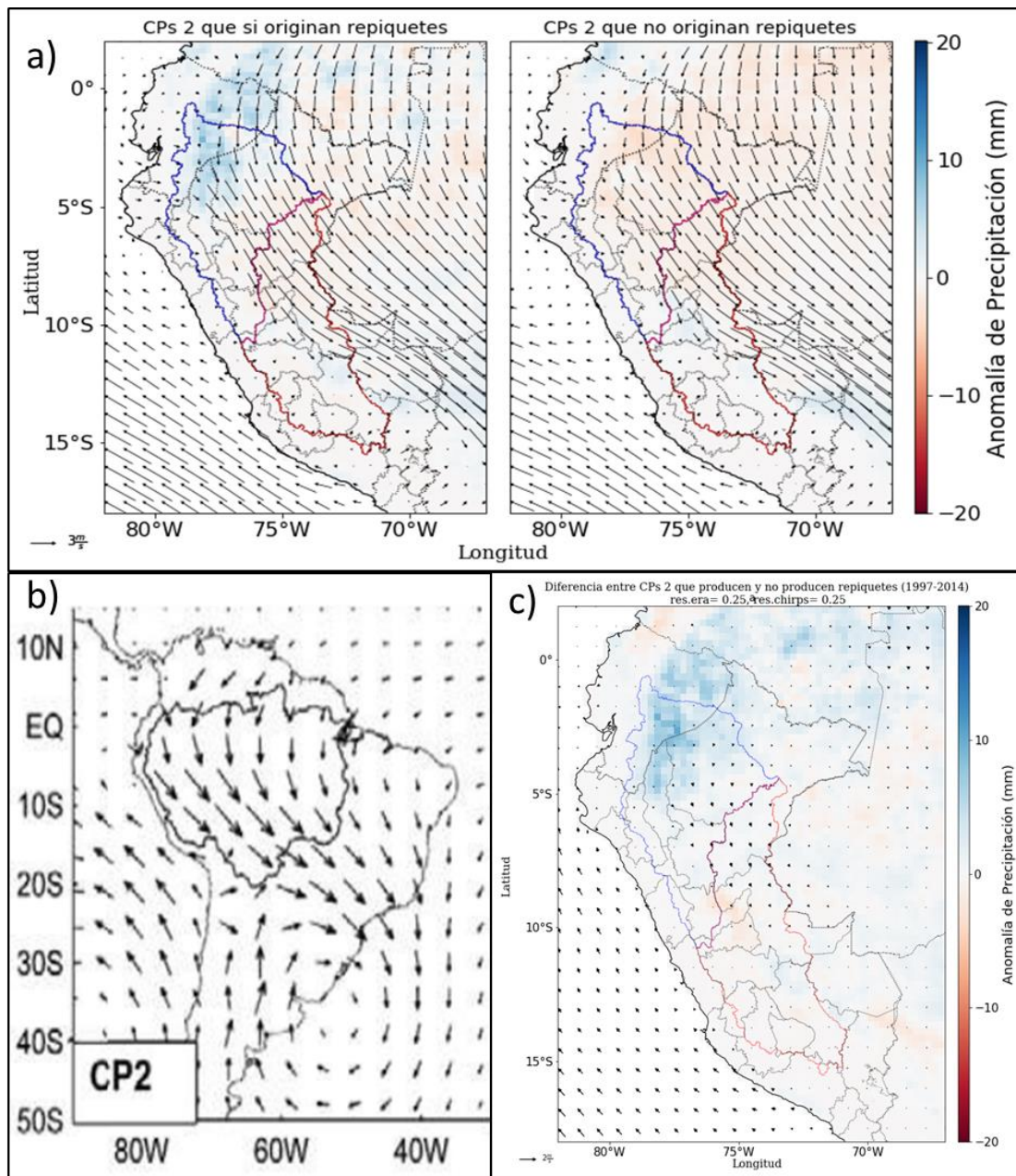
CP	-10d	-9d	-8d	-7d	-6d	-5d	-4d	-3d	-2d	-1d	0d
1	5.41	0.00	2.70	2.70	5.41	2.70	2.70	2.70	8.11	8.11	5.41
2	8.11	18.92	18.92	<b>21.62</b>	<b>37.84</b>	<b>21.62</b>	18.92	13.51	16.22	<b>21.62</b>	<b>29.73</b>
3	2.70	5.41	10.81	16.22	8.11	18.92	13.51	10.81	8.11	13.51	<b>21.62</b>
4	0.00	0.00	0.00	8.11	13.51	10.81	16.22	<b>29.73</b>	18.92	5.41	8.11
5	8.11	18.92	8.11	5.41	2.70	2.70	8.11	8.11	16.22	8.11	5.41
6	<b>32.43</b>	16.22	8.11	5.41	5.41	10.81	10.81	10.81	10.81	8.11	5.41
7	<b>24.32</b>	13.51	13.51	5.41	2.70	5.41	10.81	5.41	2.70	10.81	16.22
8	13.51	18.92	<b>29.73</b>	<b>32.43</b>	<b>24.32</b>	18.92	18.92	16.22	13.51	<b>21.62</b>	5.41
9	5.41	8.11	8.11	2.70	0.00	8.11	0.00	2.70	5.41	2.70	2.70

Los CPs 2, 3 y 4 con mayor porcentaje de ocurrencia durante los días de precipitación (del d-5 al d-3) para los repiquetes tipo T1 (Marañón-Amazonas) se estudiaron con mayor detalle y como se muestra más adelante coinciden con los CPs con mayores precipitaciones asociadas a repiquetes T3.

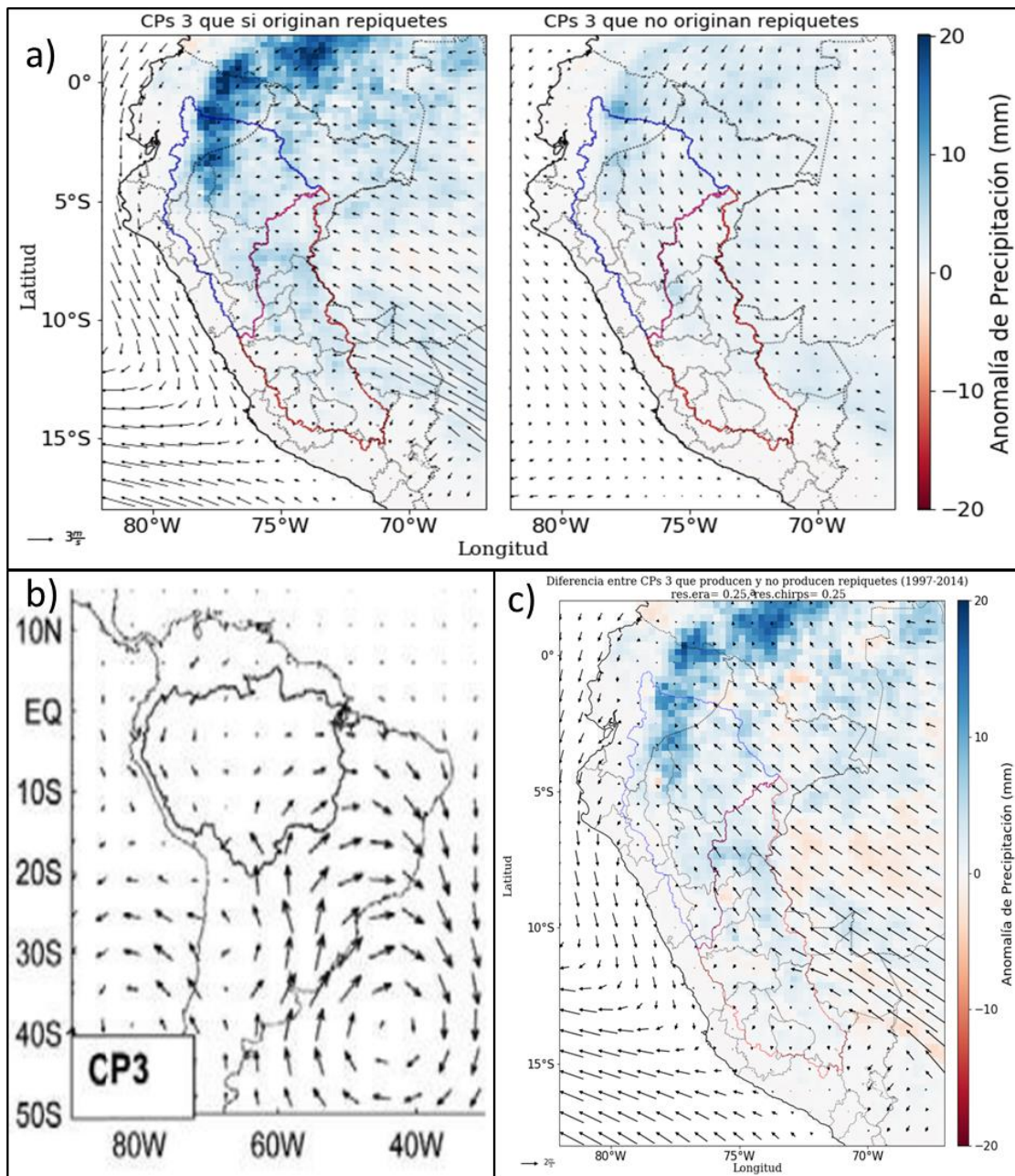
Al comparar los CPs 2 relacionados a repiquetes y los que no están relacionado a ellos durante los días -10 al -5 (Figura 50), se observa una leve intensificación de los vientos del NO sobre la cuenca baja de la CT y anomalías positivas de precipitación sobre la región de transición andino amazónica de la cuenca del Marañón. Esto último corrobora una mayor cantidad de precipitación sobre esta región, y la predominancia del régimen del norte se debe a que generalmente el CP 2 y CP 8 se presentan durante los días previos y posteriores a los días de máxima precipitación, es decir, antes y después de d-5, .4 y -3).

Al comparar los CPs 3 (CPs 4) relacionados a repiquetes y los que no están relacionados a ellos durante los días d-8 al d-4 (d-6 al d-2), resalta la presencia de anomalías del sureste sobre ambos CPs, los cuales se relacionan a las precipitaciones sobre el norte de Perú y sureste de Ecuador (Figura 51 y Figura 52).

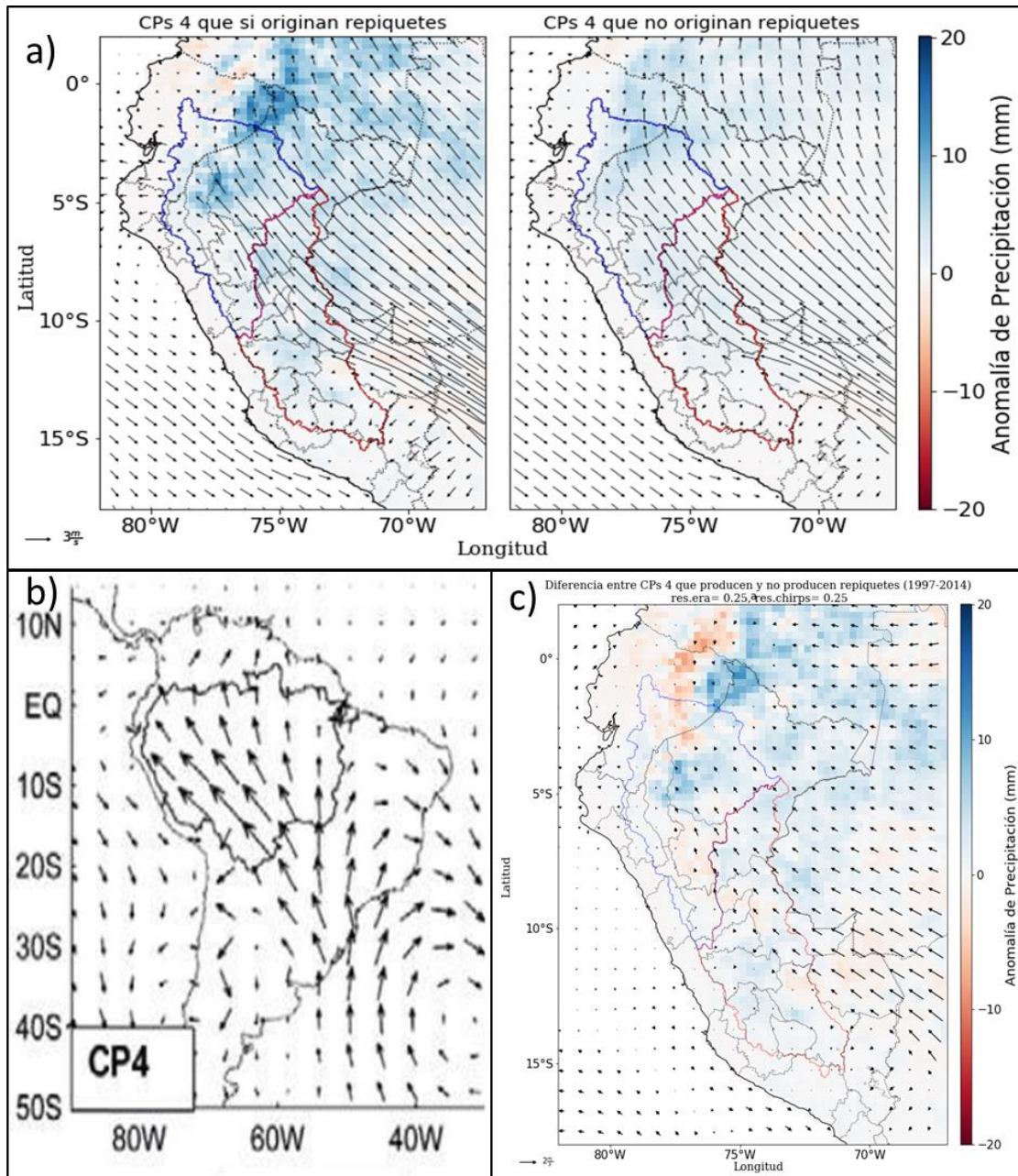




**Figura 50:** a) Promedio de CPs 2 que se asocian al origen de repiquetes (izq.) y promedio de CPs 2 que no se asocian al origen de los mismos (der.) donde el vector de referencia es igual a 3m/s, b) CP 2 característico, c) La diferencia entre CPs 2 asociados a repiquetes y los que no, donde el vector de referencia es igual a 2m/s.



**Figura 51:** a) Promedio de CPs 3 que se asocian al origen de repiquetes(izq.) y promedio de CPs 3 que no se asocian al origen de los mismos (der.) donde el vector de referencia es igual a 3m/s, b) CP 3 característico, c) La diferencia entre CPs 3 asociados a repiquetes y los que no, donde el vector de referencia es igual a 2m/s.



**Figura 52:** a) Promedio de CPs 4 que se asocian al origen de repiquetes(izq.) y promedio de CPs 4 que no se asocian al origen de los mismos (der.) donde el vector de referencia es igual a 3m/s, b) CP 4 característico, c) La diferencia entre CPs 4 asociados a repiquetes y los que no, donde el vector de referencia es igual a 2m/s.

### REPIQUETES TIPO T3

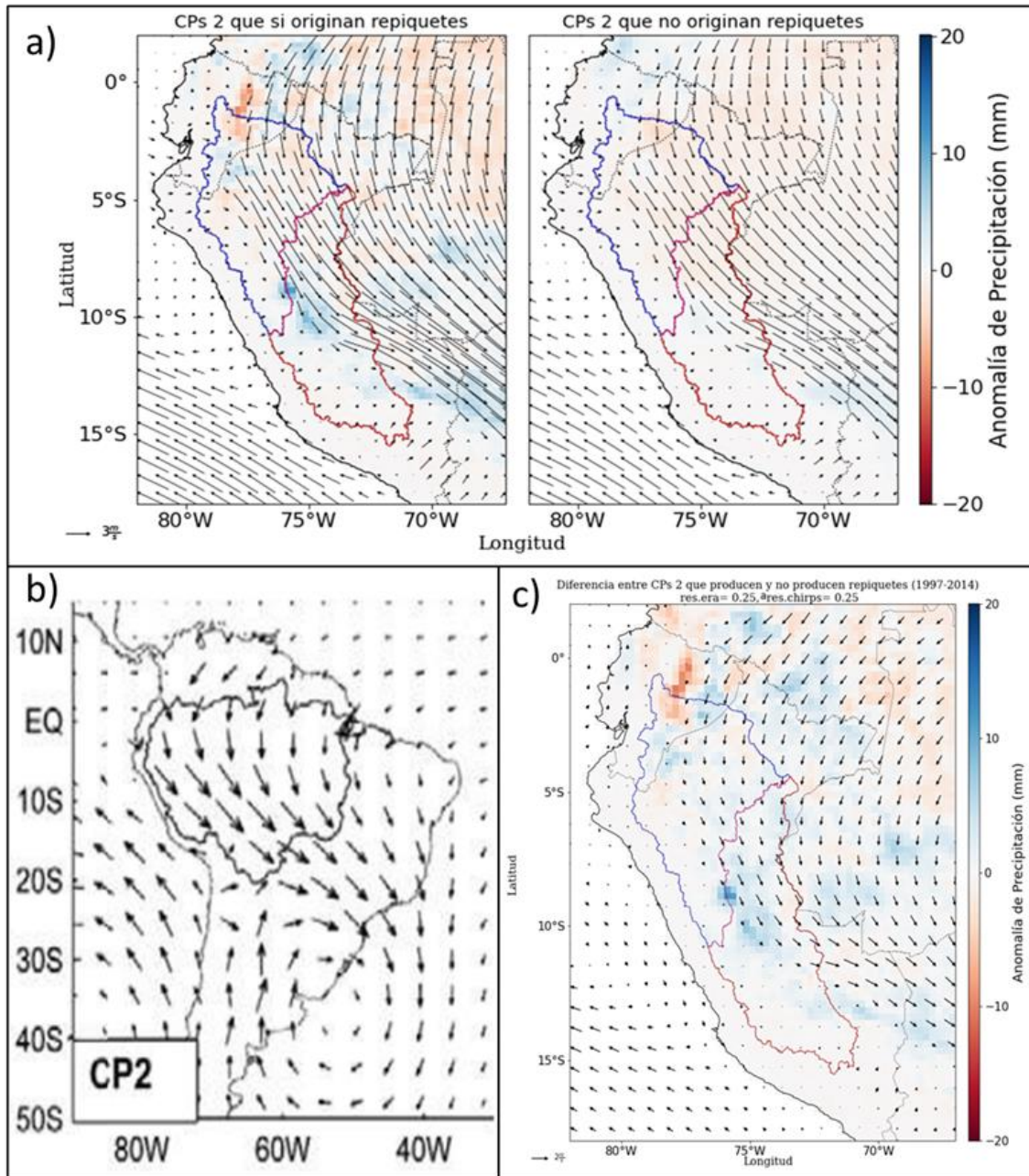
Como se describió en el ítem 4.2.1 con referencia a los *composites* de vientos y precipitación asociados a los repiquetes T3, se observa un cambio meridional en la anomalía de vientos entre los días -5 y -3 asociado a los eventos lluviosos días antes del inicio de repiquetes.

El cálculo de porcentaje de ocurrencia de CPs de los eventos T3 (Tabla 14) muestra la predominancia de circulación del norte (CP8 y CP2) entre los días -10 y -5 similar a los eventos T1. Para estos días es importante resaltar un marcado cambio entre CP8 y CP2 lo cual se interpreta como una intensificación de los vientos del este sobre la región norte del Perú que sumado a anomalías del sur observadas el d-9 (CP6) podrían estar relacionadas a la precipitación observada el d-8 en los *composites* T3. La transición de CP2, CP3 y CP4 entre los días -5 y -3 es más clara en comparación a los eventos T1 (Tabla 13) y se ajusta a la descripción secuencial realizada por Paccini et al. (2017).

**Tabla 14:** Porcentaje de ocurrencia de patrones de circulación de gran escala (CPs, definidos por Paccini et al., 2017) desde d-10 a d0 durante los repiquetes T3 (repiquetes observados en Tamshiyacu con precursores en los ríos Marañón y Ucayali) de 11/15 eventos observados para el periodo 1997 – 2014. Valores mayores a 20% están en negrita y todos los valores mayores a 29% están subrayados.

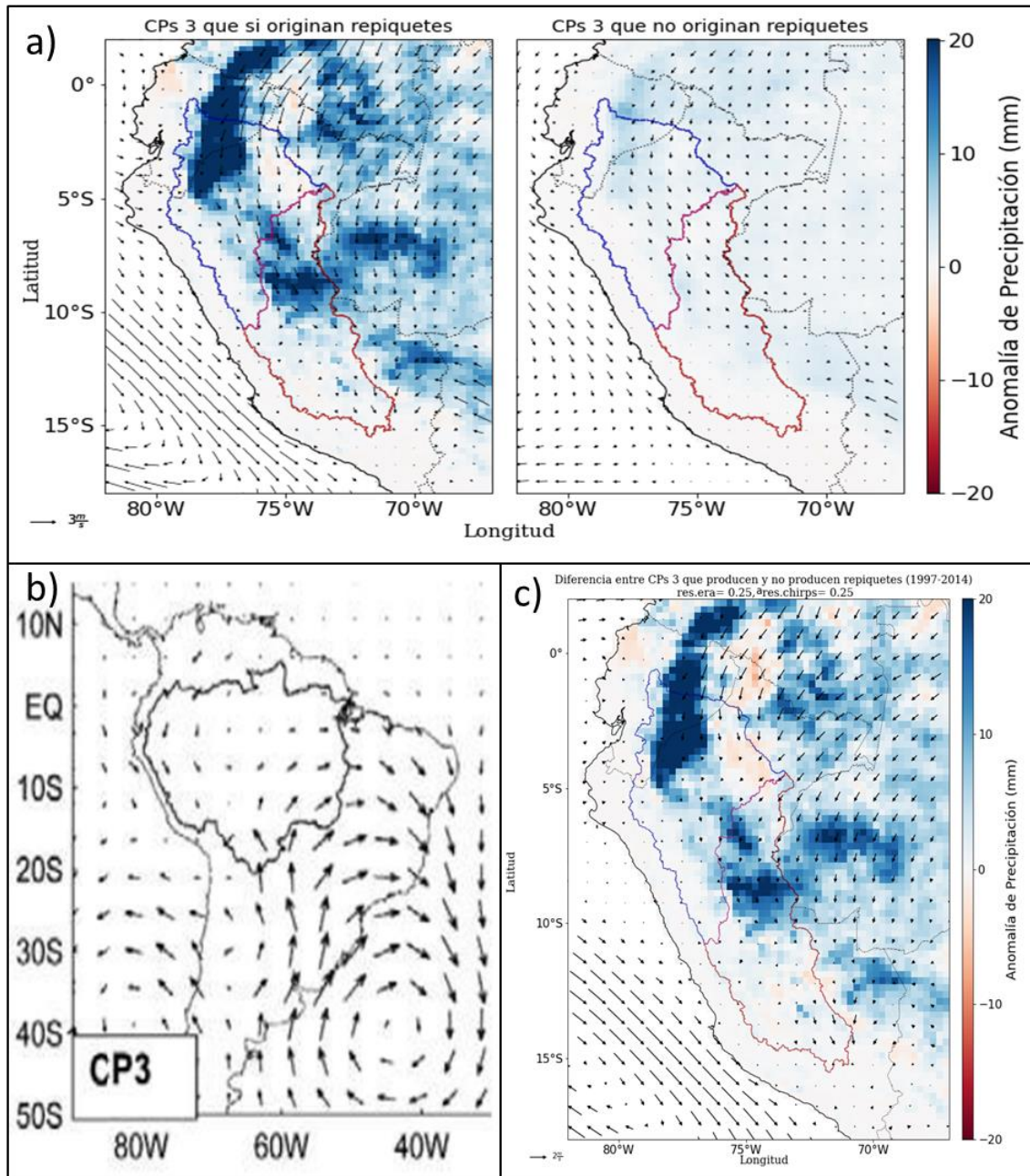
CP	-10d	-9d	-8d	-7d	-6d	-5d	-4d	-3d	-2d	-1d	0d
1	18.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	9.09	18.18	<u>45.45</u>	<u>45.45</u>	<u>63.64</u>	<b>27.27</b>	0.00	18.18	0.00	0.00	0.00
3	18.18	0.00	9.09	18.18	9.09	9.09	<b>27.27</b>	9.09	9.09	18.18	9.09
4	0.00	0.00	0.00	9.09	9.09	9.09	18.18	<b>27.27</b>	<u>36.36</u>	<b>27.27</b>	18.18
5	0.00	18.18	9.09	0.00	0.00	0.00	0.00	9.09	9.09	<u>36.36</u>	<u>36.36</u>
6	9.09	<b>27.27</b>	18.18	0.00	9.09	9.09	<b>27.27</b>	18.18	<b>27.27</b>	18.18	<b>27.27</b>
7	9.09	0.00	0.00	9.09	9.09	9.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	<u>36.36</u>	<u>36.36</u>	18.18	18.18	0.00	18.18	9.09	9.09	18.18	0.00	9.09
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.18	18.18	9.09	0.00	0.00	0.00

La principal diferencia entre los CPs 2 que se relacionan al origen de repiquetes y los que no se relacionan a ellos es una intensificación de los vientos del noreste al este de los Andes (Figura 53) con precipitaciones sobre las cuencas medias.



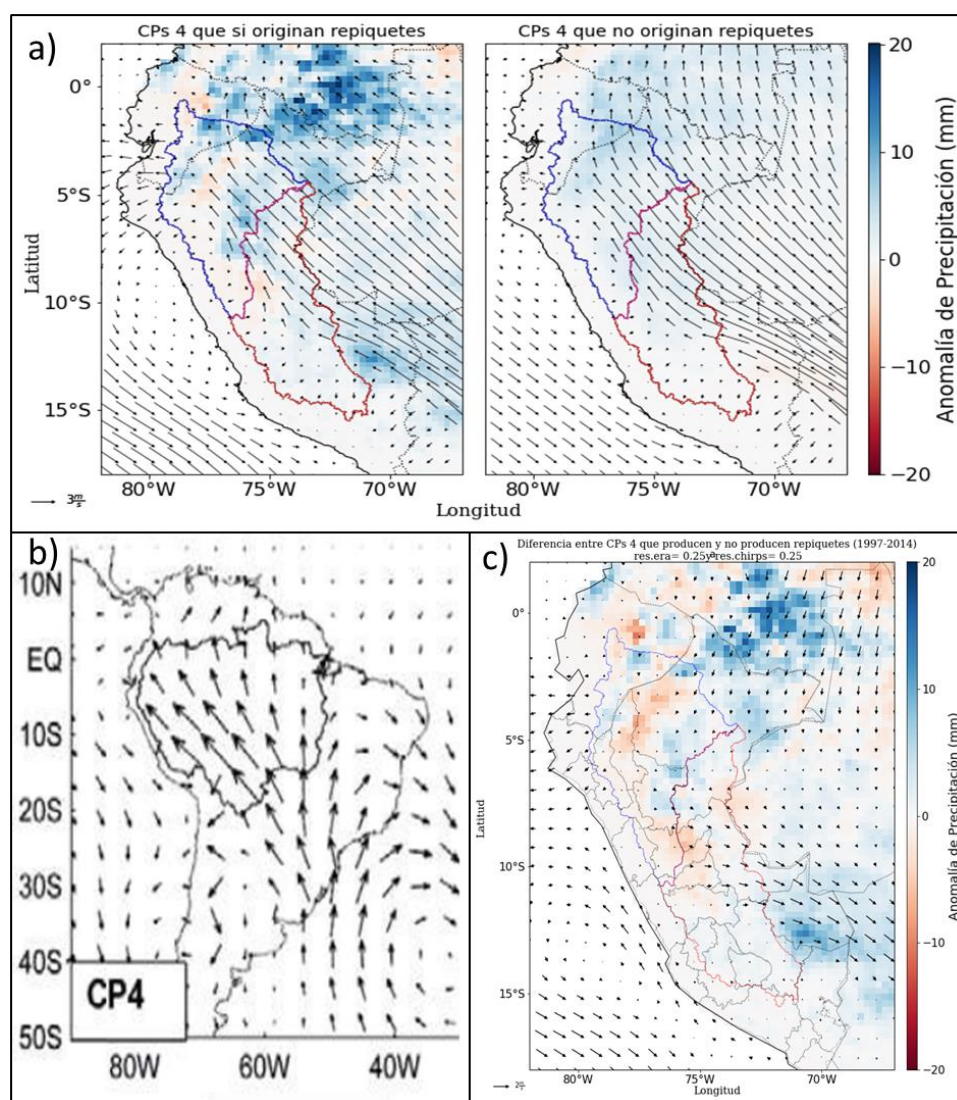
**Figura 53:** a) Promedio de CPs 2 que se asocian al origen de repiquetes(izq.) y promedio de CPs 2 que no se asocian al origen de los mismos (der.) donde el vector de referencia es igual a 3m/s, b) CP 2 característico, c) La diferencia entre CPs 2 asociados a repiquetes y los que no, donde el vector de referencia es igual a 2m/s.

La principal diferencia entre los CPs 3 que se relacionan al origen de repiquetes y los que no se relacionan a ellos es una intensificación de los vientos del noreste en niveles bajos sobre el norte y centro de Perú al este de los Andes (Figura 54). El CP 3 se asocia a las mayores precipitaciones sobre el área de estudio y la diferencia calculada muestra regiones similares a las encontradas en los *composites* T3 en ambas cuencas.



**Figura 54:** a) Promedio de CPs 3 que se asocian al origen de repiquetes(izq.) y promedio de CPs 3 que no se asocian al origen de los mismos (der.) donde el vector de referencia es igual a 3m/s, b) CP 3 característico, c) La diferencia entre CPs 3 asociados a repiquetes y los que no, donde el vector de referencia es igual a 2m/s.

La principal diferencia entre los CPs 4 que se relacionan al origen de repiquetes y los que no originan repiquetes es un debilitamiento de los vientos del sureste en niveles bajos sobre la región norte de Perú (Figura 55). El CP 4 es caracterizado como el más lluvioso por Paccini et al. (2017) para la región noroeste de la cuenca amazónica, pero para el caso de repiquetes T3, la precipitación durante días previos que estaría más relacionados al inicio del evento ocurre sobre en la cuenca baja y es más intensas al norte de Perú. Por lo tanto, el CP 3 tiene mayor importancia para el origen de repiquetes en la región de estudio, pues representa adecuadamente las regiones de precipitaciones intensas para la temporada de estudio.

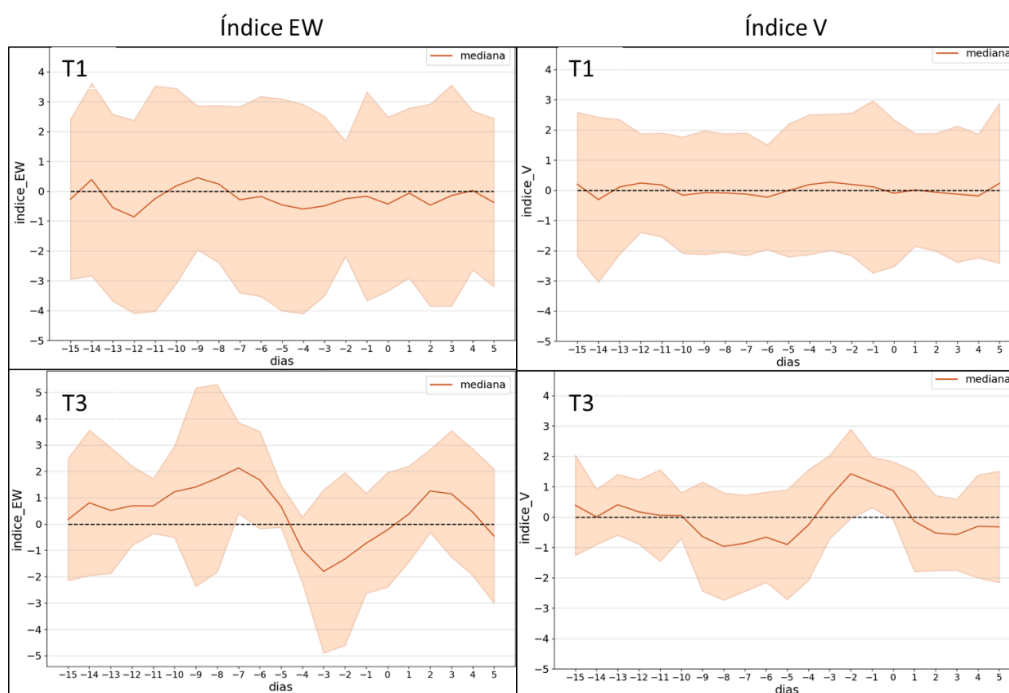


**Figura 55:** a) Promedio de CPs 4 que se asocian al origen de repiquetes(izq.) y promedio de CPs 4 que no se asocian al origen de los mismos (der.) donde el vector de referencia es igual a 3m/s, b) CP 4 característico, c) La diferencia entre CPs 4 asociados a repiquetes y los que no, donde el vector de referencia es igual a 2m/s.

### 4.2.3 Índices V y EW

Para los repiquetes T1 y T3 se calculó el índice V en 925hPa con la intención de evaluar la posible relación entre las precipitaciones ocurridas y los regímenes trans-ecuatoriales. Así mismo se calculó el índice EW para evaluar la predominancia de regímenes del este o del oeste en relación con las precipitaciones previas a la ocurrencia de repiquetes.

Regímenes del sur, es decir, valores positivos del índice V y regímenes del este, es decir, valores negativos del índice EW, son los valores que se esperaban encontrar para los tipos de repiquetes con precipitaciones máximas al noroeste de la cuenca amazónica. Sin embargo, la variabilidad de los eventos T1 no permite un monitoreo de las precipitaciones utilizando tales índices sobre la cuenca del Marañón (Figura 56). La mediana de los mismos cálculos realizados para los repiquetes T3 indican que regímenes del oeste se presentan antes del d-5 y cambian hacia regímenes del este; además, el índice V revela un cambio de regímenes del norte a regímenes del sur el d-4. Los repiquetes T3 resulta de las precipitaciones sobre ambas cuencas (de los ríos Marañón y Ucayali), no sobre una en específico como en el caso de T1 (río Marañón). Por lo tanto, una mejor representación de los eventos T3 con ambos índices en comparación con eventos T1 se traduce en cambios de gran escala asociados a la génesis de las precipitaciones que resultan en la ocurrencia de repiquetes T3.



**Figura 56:** La mediana y el rango intercuartil de los índices EW y V de repiquetes T1 y T3 desde el día -15 hasta el día +5.



### **4.3 Determinación de mecanismos físicos que favorecen la formación de los eventos de lluvia asociados a los repiquetes**

A continuación, se muestra y analizan la presión en superficie, vientos en distintos niveles verticales, la divergencia/convergencia y otras variables atmosféricas de los *composites* realizados días previos al inicio de los repiquetes T1 y T3 (Tabla 12). Los tipos T2 no son analizados por presentar muy poca cantidad de eventos (solo 4, Tabla 12) y las principales diferencias y características encontradas en los tipos TAM, SRE y REQ con respecto a los tipos T1 y T3 son resumidas al final.

#### **4.3.1 Repiquetes tipo T1**

Para los *composites* de repiquetes T1, el Anticiclón del Pacífico Sur Oriental (en adelante APSO) posee una configuración zonal situándose alrededor de los 30°S y su núcleo se extiende hacia el continente días previos al inicio del repiquete, observado por el ingreso de la isóbara de 1020hPa hacia el centro de Chile y Argentina el d-6 (Figura 57). El paso de esta alta presión sobre continente provoca un desplazamiento septentrional de la isóbara de 1014 hPa a partir del d-6 y propicia la desaparición de una baja presión observada del d-10 al d-8 (1011 hPa) sobre Bolivia y Paraguay (la baja del Chaco). Desde el d-6 hasta el d-3, el paso de la alta migratoria con un centro próximo a los 33°S atraviesa la región sur de Sudamérica hacia el este para luego ser embebida por el Anticiclón del Atlántico Sur (AAS en adelante), configuración similar a la transición de CPs de norte a sur asociados al paso de un tren de ondas descrito en investigaciones previas (Espinoza, et al., 2013; Paccini, 2016). Un retorno a la configuración de la baja presión de 1011hPa situada entre Bolivia, Paraguay y Argentina el d-9 se puede observar el d+5. El desplazamiento septentrional de la isóbara de 1014 hPa puede estar relacionada a una intensificación de flujos de este observados en la Figura 33 posterior al d-6. Además, al ya no estar presente la baja presión los vientos con dirección noroeste al sur de Perú se debilitan y la humedad traída del este debería concentrarse en las regiones del norte.

Las líneas de corriente en 1000 hPa reflejan los patrones observados en la presión a nivel del mar con circulaciones anticiclónicas en los días asociados a alta presión en continente alrededor de los 33°S (Figura 58). Además, vientos con una componente mayoritaria del este ingresan hasta el centro de Loreto para el d-5 relacionados al movimiento septentrional

de la isobara de 1014 hPa en continente provocado por paso de la circulación anticiclónica anteriormente descrita. También, se presenta un cambio en la dirección de vientos al este de los Andes entre d-6 y d-3, el cual se aprecia mejor en las posteriores figuras. En el nivel de 925hPa (Figura 59), el d-8 se forma una circulación anticiclónica cerrada sobre la cabecera de las cuencas Pastaza y Tigre ( $2.5^{\circ}\text{S} - 77^{\circ}\text{W}$ ), ubicadas en la región entre el departamento de Loreto y la parte suroriental de Ecuador. El d-5 presenta una configuración parecida al d-8 pero con mayores velocidades del viento del este y difluencia por dirección sobre la cuenca baja de Pastaza y a la vez convergencia por dirección sobre la cuenca media de Pastaza y alta del Tigre y sobre las cuencas bajas de Morona y Santiago, además, durante los d-4 y d-3 los flujos del sureste ingresan con mayor intensidad al norte de los  $8^{\circ}\text{S}$ . Los flujos del sureste están relacionados al paso de la circulación anticiclónica en niveles bajos (Figura 60) sobre Argentina y Uruguay que desconfigura el acople entre la proyección de la dorsal del AAS y la baja presión durante los días -9 a -6. El desplazamiento hacia el este de la alta migratoria y su encuentro con la AAS forma un collado al este de Paraguay el d-5 con una línea de confluencia de vientos que se extiende hacia el sur de Perú, lo cual podría estar relacionado a las anomalías del sur observadas en la Figura 33. En el nivel de 850 hPa, los flujos del este se intensifican sobre la región norte de la cuenca del Marañón desde el d-6 hasta el d-3 (Figura 61 y Figura 62). La región SE de Ecuador para casi todos los días presenta una onda, que refleja la circulación observada en el nivel de 925 hPa. La circulación mencionada anteriormente en el nivel de 925 hPa parece ser favorecida por vientos del norte en niveles bajos (Figura 58) y la presencia de vientos del sureste/sur al este de Loreto con dirección hacia el centro de Colombia en 925 hPa (Figura 60). Los niveles de 700hPa y 500hPa (Figura 63 y Figura 64), presentan flujos del este/este-noreste característicos para la temporada sobre la región norte de la cuenca del Marañón y un núcleo de circulación anticiclónica en niveles medios al este de Bolivia ( $15^{\circ}\text{S}-50^{\circ}\text{W}$ ) característica de condiciones de lluvia en la Amazonía (Santos et al., 2015). Finalmente, en el nivel de 200hPa (Figura 65) los vientos tienen componente del noroeste/oeste.

El análisis de divergencia/convergencia depende en gran medida del distanciamiento entre grillas, en este caso tal espaciado es de  $0.25^{\circ}$ . En el nivel de 850 hPa (Figura 66), para todos los días se observa convergencia sobre el extremo norte de la cuenca del Marañón y divergencia situada un poco más hacia el sureste, ambas regiones (alrededor de  $1^{\circ}\text{N}-2^{\circ}\text{S}$  y  $78^{\circ}\text{W}$ ) a esta escala están relacionadas a la presencia de los Andes y a los flujos que inciden

sobre estos. Por tal razón, en trabajos de investigación a veces se opta por usar máscaras, sin embargo, para el presente trabajo estas regiones solo se separan del análisis. Con respecto al *composite* para eventos T1, valores de convergencia entre  $-4 \cdot 10^{-6}$  y  $-8 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  se observan al este de Ecuador y al norte de Loreto del d-10 al d-6, posteriormente (del d-5 al d-3) una intensificación hacia valores de convergencia cercanos a  $-20 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  ocurre al este de la región máxima precipitación ( $3 - 4^\circ\text{S}$  y  $-76 - -77^\circ\text{W}$ ) extendiéndose hacia el centro oriente de Ecuador. Los valores bajos de convergencia a lo largo de estos días se corresponden con valores de precipitación promedio para este *composite* (Figura 32), a excepción zonas sobre los Andes.

Por último, se realizaron cortes longitudinales desde 1000hPa hasta niveles altos para ver la estructura vertical asociada a la ocurrencia de precipitaciones intensas. Se observó un incremento paulatino en la humedad específica (mayor a  $+2\text{g/kg}$  por debajo de los 925hPa) desde el d-8 hasta el d-5 y posteriormente un retorno a condiciones previas (Figura 67). Los días de máximos valores de humedad específica (d-5 y d-4) vienen acompañados además de fluctuaciones en la temperatura potencial equivalente (TPE) entre los  $78^\circ\text{W}$ - $73^\circ\text{W}$  e incrementos en la velocidad de los vientos verticales desde el d-5 hasta el d-3. Todos estos días previos al origen de repiquetes poseen dos características a resaltar respecto a la TPE:

- i) Una disminución de la TPE desde niveles bajos hasta el nivel de 500 hPa, la cual se relaciona a inestabilidad atmosférica en esta capa de aire. La inestabilidad presente durante estos días concuerda con la lluvia en la región Norte de la cuenca del Marañón (Figura 29).
- ii) Un núcleo frío menor a 332K situado alrededor del nivel de 600hPa, el cual se debilita sobre los  $78^\circ\text{W}$ - $75^\circ\text{W}$  los días más lluviosos. Así mismo, la humedad relativa (HR) exhibe un comportamiento parecido al de la humedad específica incrementando desde el d-7 hasta el d-3 (Figura 68). Los días de mayores valores de HR son los d-4 y d-3 es decir días posteriores a los valores de máxima precipitación debido a una mayor evaporación existente después de eventos intensos.

PRESION A NIVEL DEL MAR (hPa) / TIPO: T1  
Reanálisis promedio para los días -10, -8, -6, -5, -4, -3, -1, 0

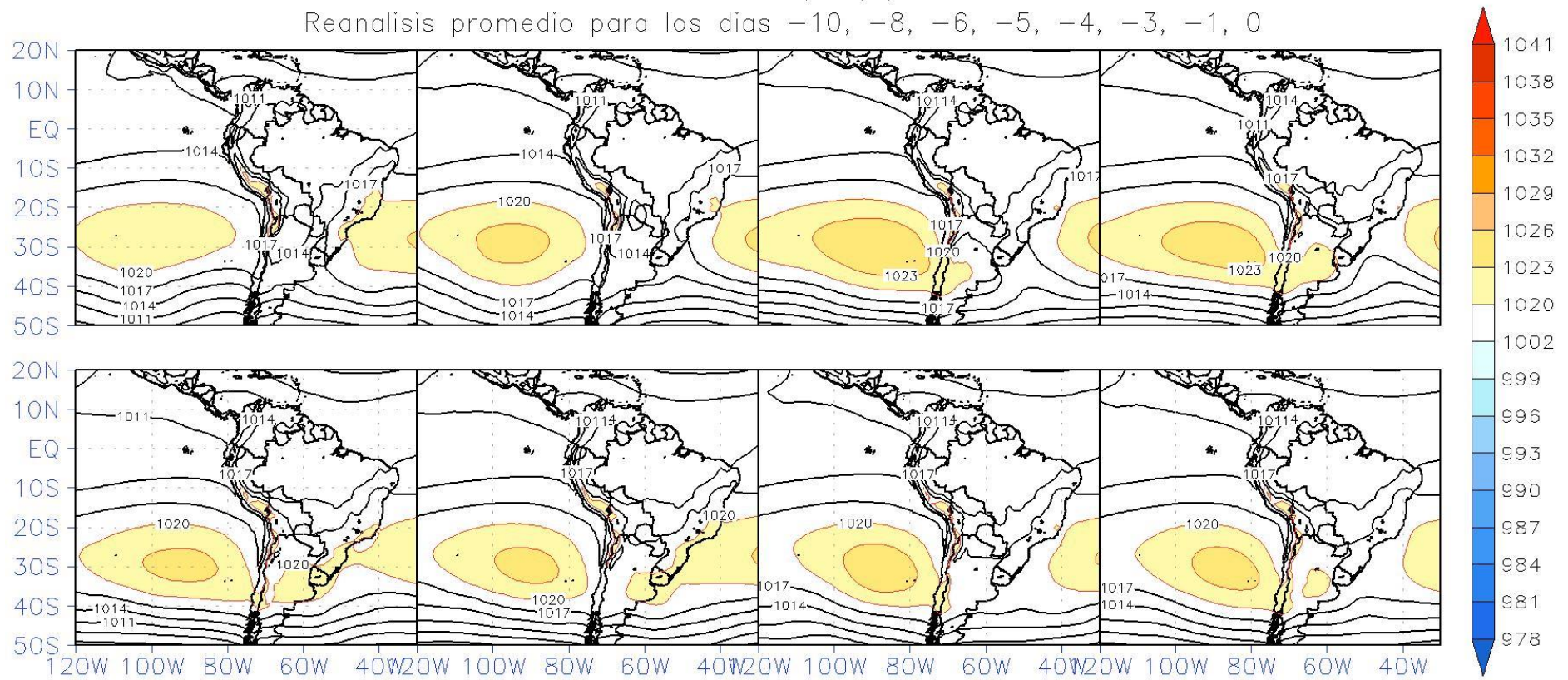
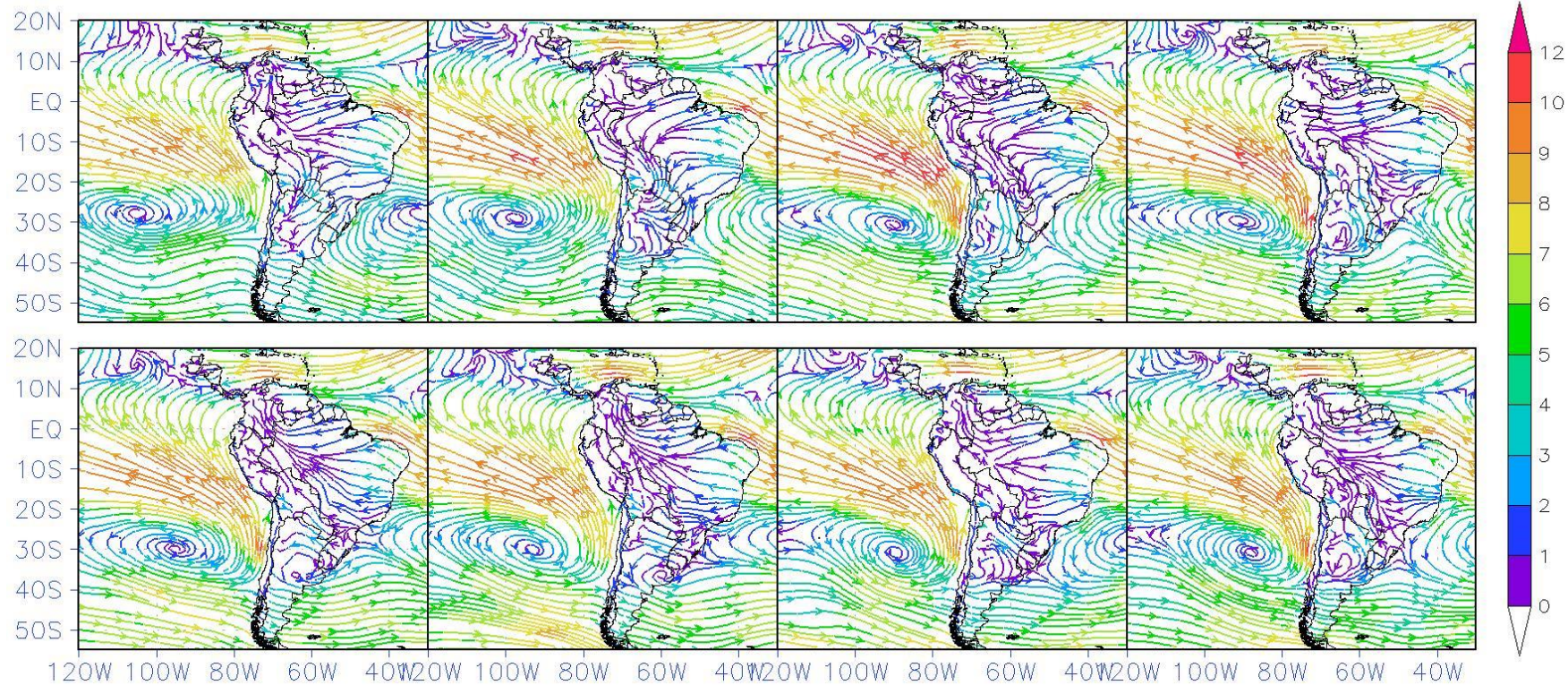


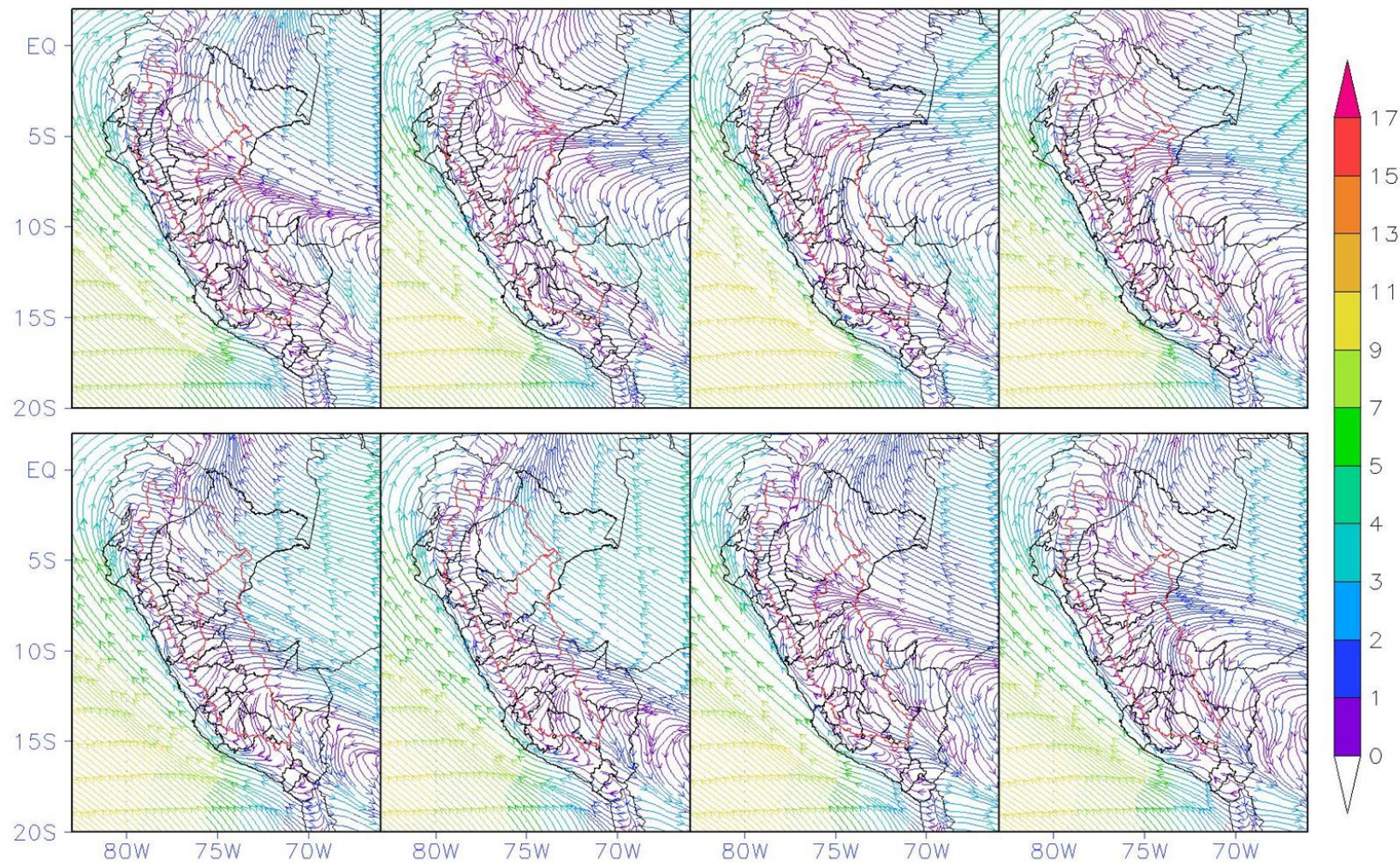
Figura 57: Presión a nivel medio del mar para el compuesto de repiquetes tipo T1.

LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 1000 hPa / TIPO: T1  
Reanálisis promedio para los días -10, -8, -6, -5, -4, -3, -1, 0



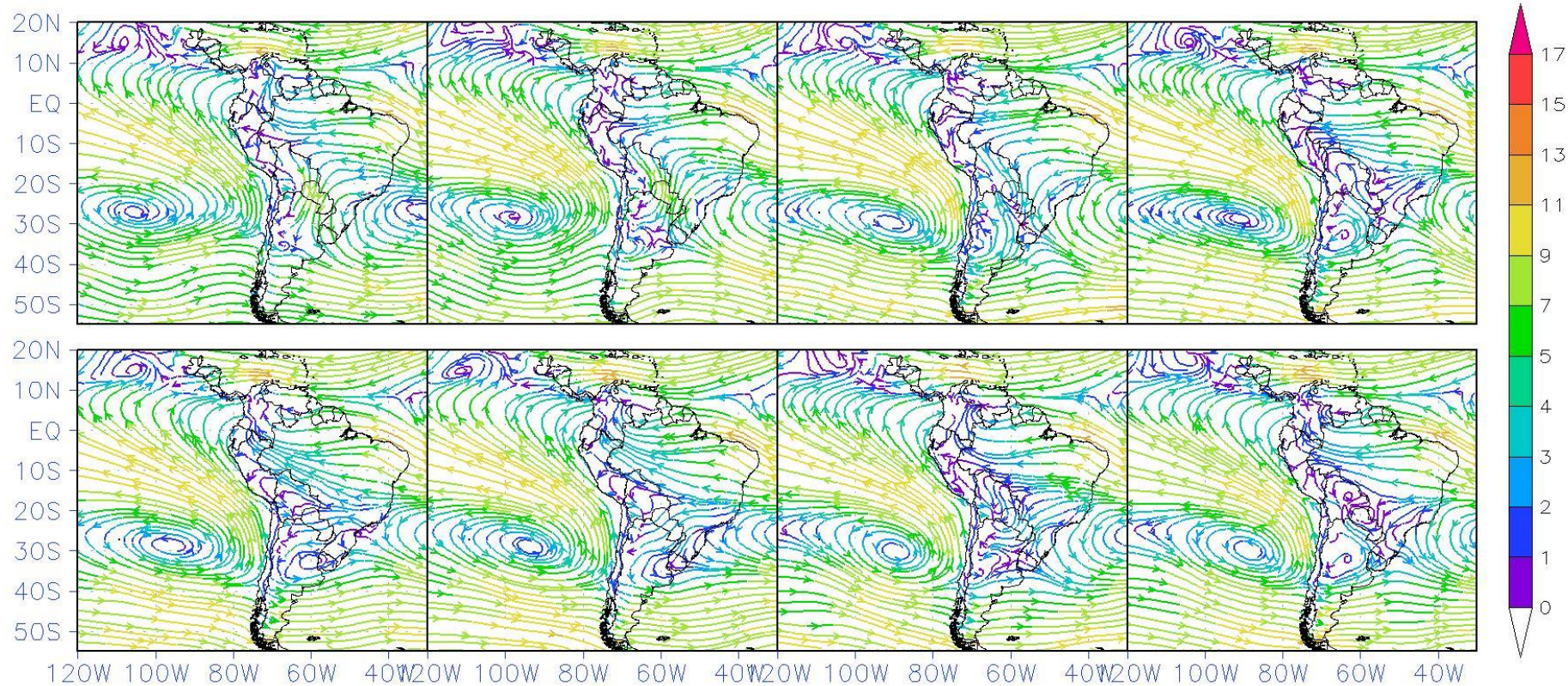
**Figura 58:** Líneas de corriente en el nivel de 1000hPa sobre Sudamérica para el compuesto de repiquetes tipo T1.

LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 925 hPa / TIPO: T1  
Reanálisis promedio para los días -10, -8, -6, -5, -4, -3, -1, 0



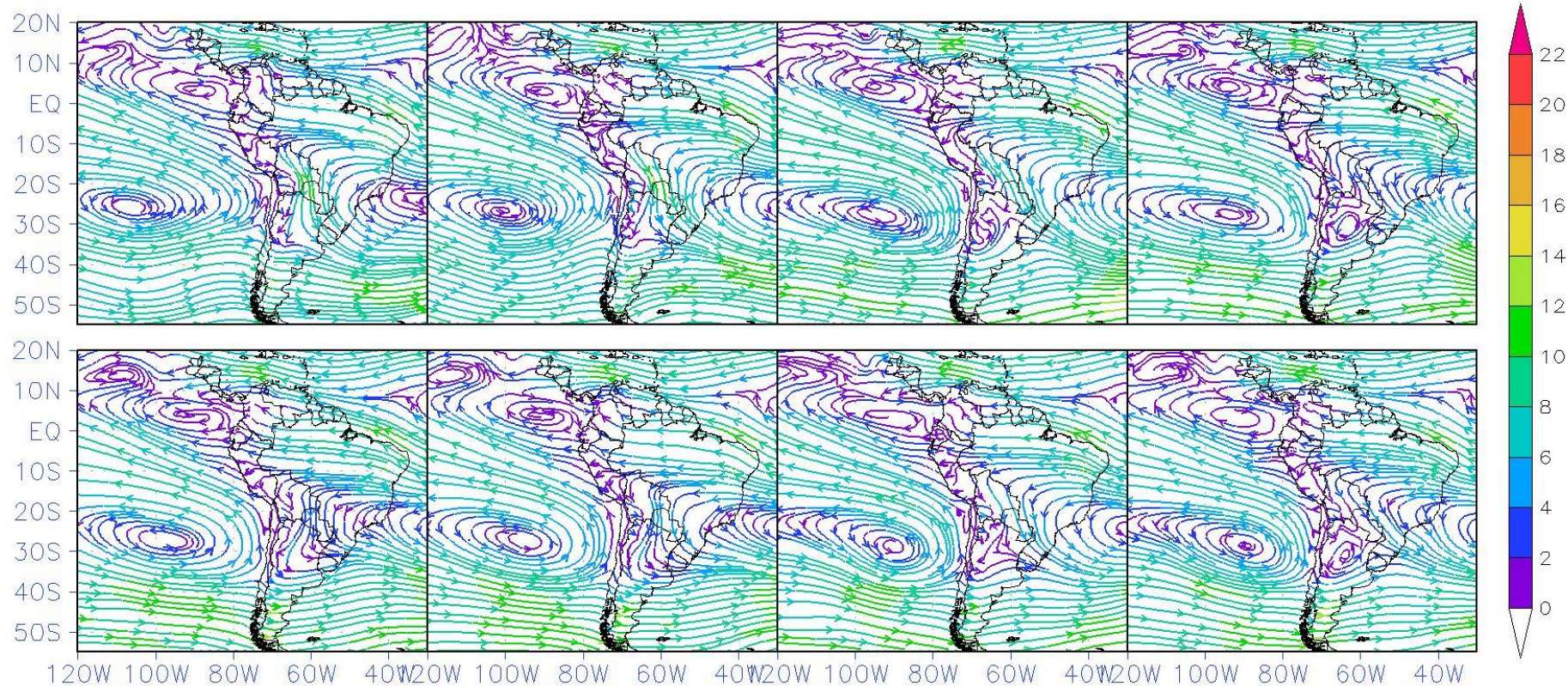
**Figura 59:** Líneas de corriente en el nivel de 925 hPa sobre Perú para el compuesto de repiquetes tipo T1.

LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 925 hPa / TIPO: T1  
Reanálisis promedio para los días -10, -8, -6, -5, -4, -3, -1, 0



**Figura 60:** Líneas de corriente en el nivel de 925 hPa sobre Sudamérica para el compuesto de repiquetes tipo T1.

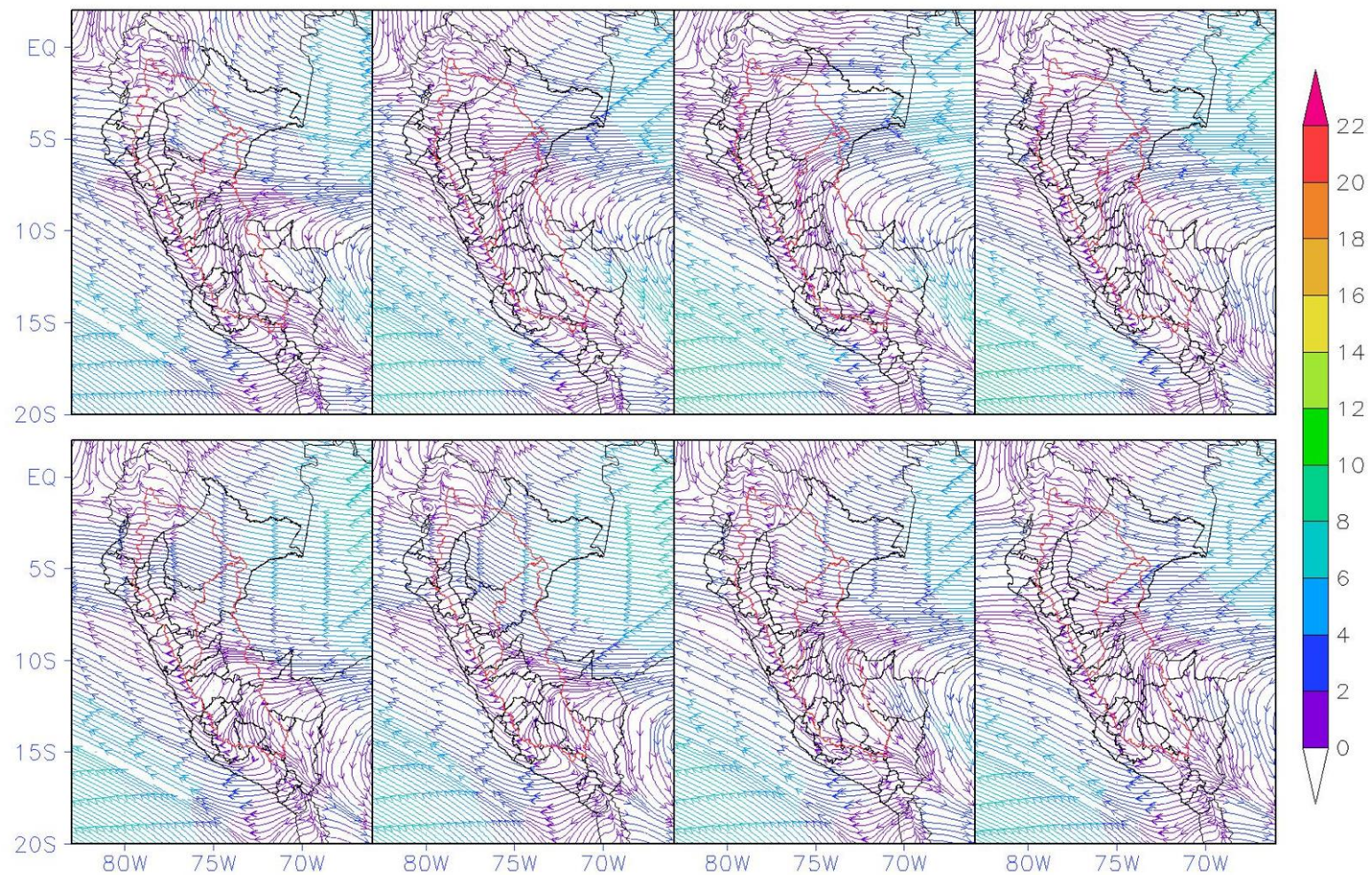
LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 850 hPa / TIPO: T1  
Reanálisis promedio para los días -10, -8, -6, -5, -4, -3, -1, 0



**Figura 61:** Líneas de corriente en el nivel de 850 hPa sobre Sudamérica para el compuesto de repiquetes tipo T1.

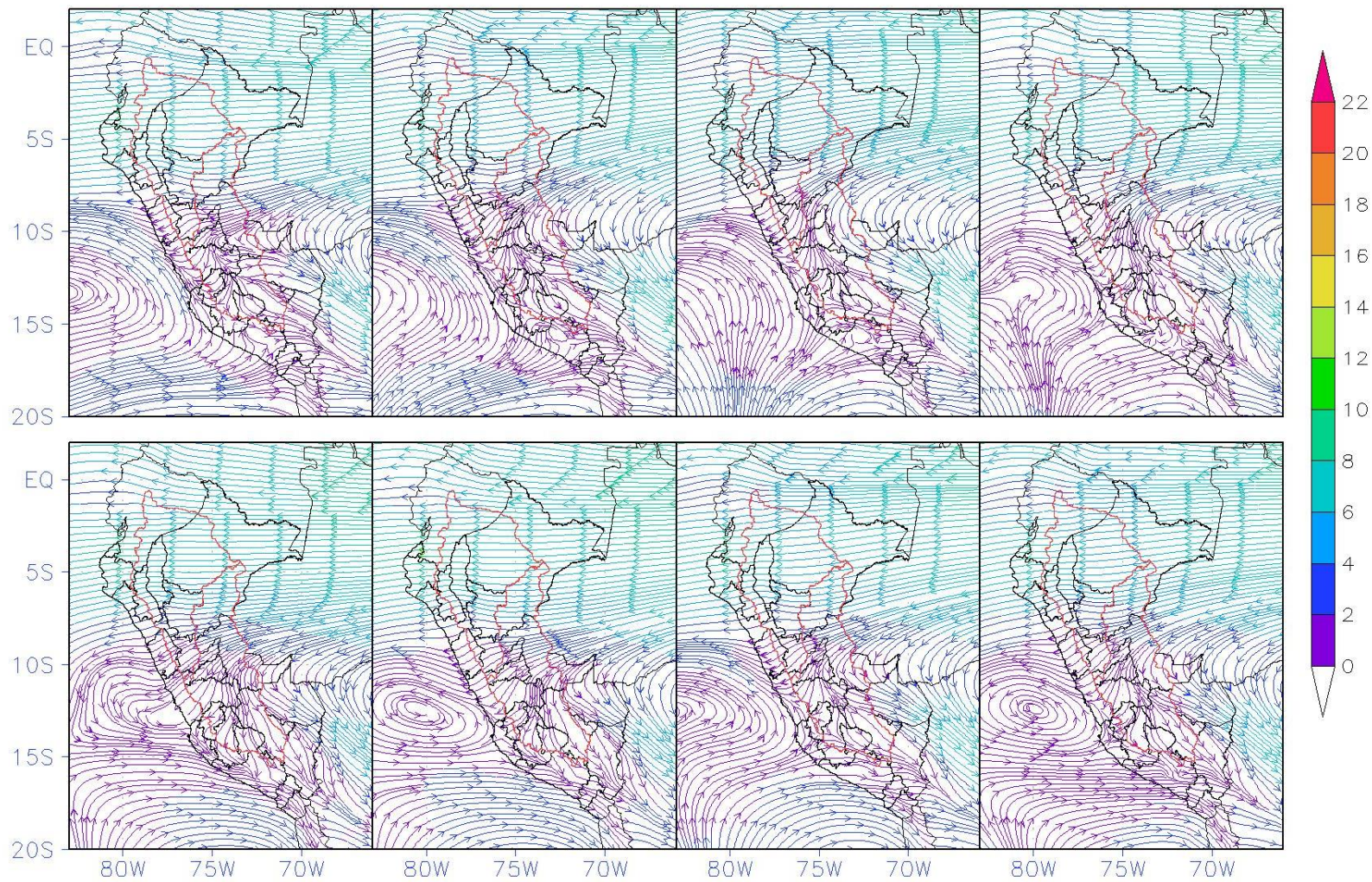


LÍNEAS DE CORRIENTE (m/s) 850 hPa / TIPO: T1  
Reanálisis promedio para los días -10, -8, -6, -5, -4, -3, -1, 0

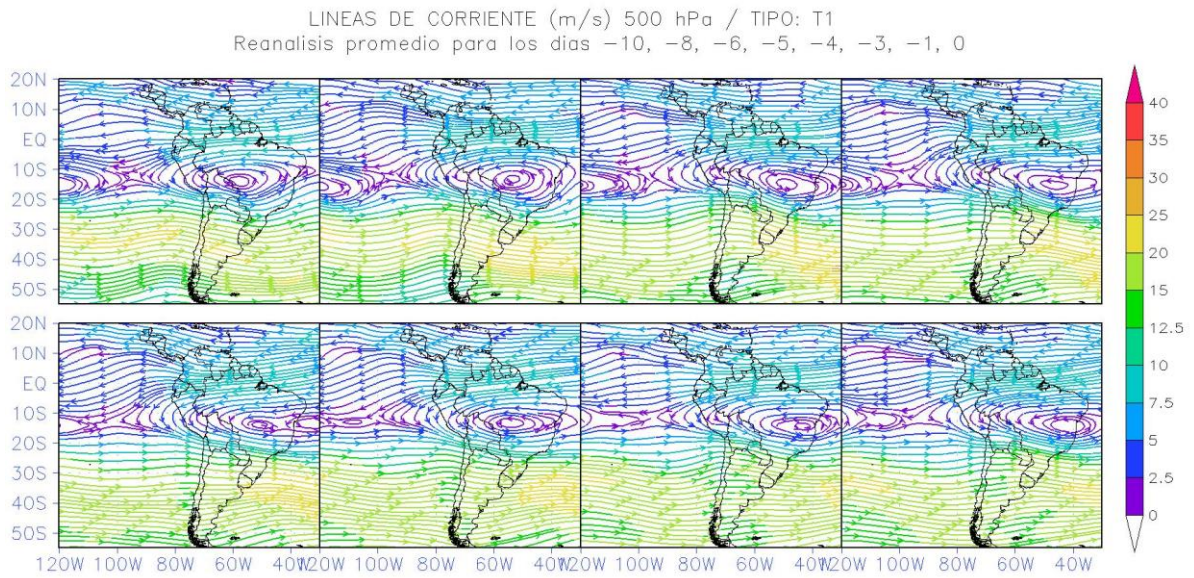


**Figura 62:** Líneas de corriente en el nivel de 850 hPa sobre Perú para el compuesto de repiquetes tipo T1.

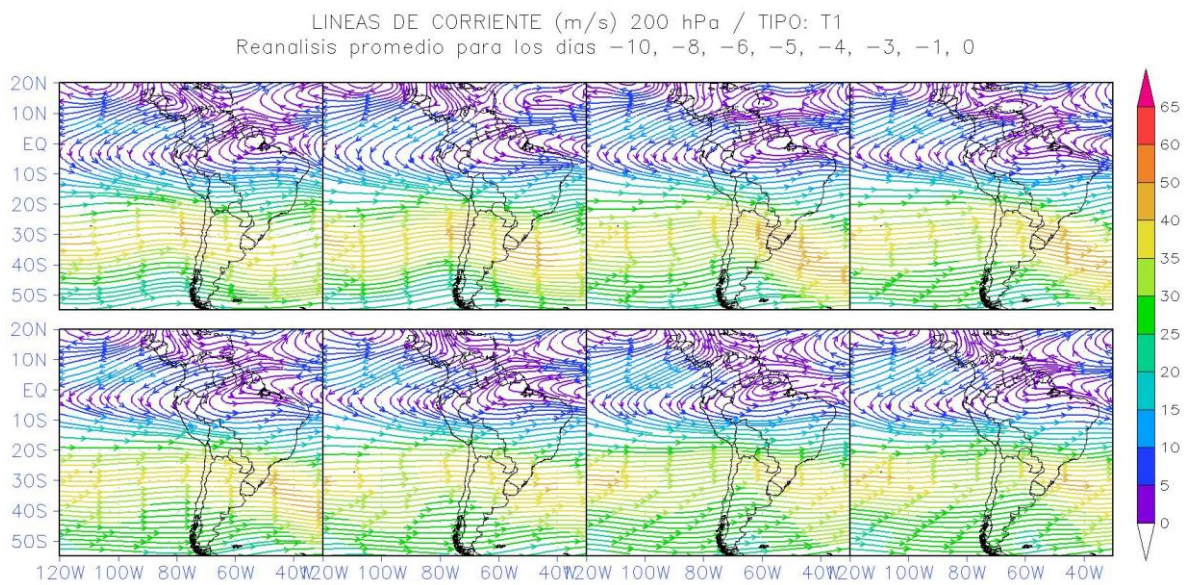
LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 700 hPa / TIPO: T1  
Reanálisis promedio para los días -10, -8, -6, -5, -4, -3, -1, 0



**Figura 63:** Líneas de corriente en el nivel de 700 hPa sobre Perú para el compuesto de repiquetes tipo T1.

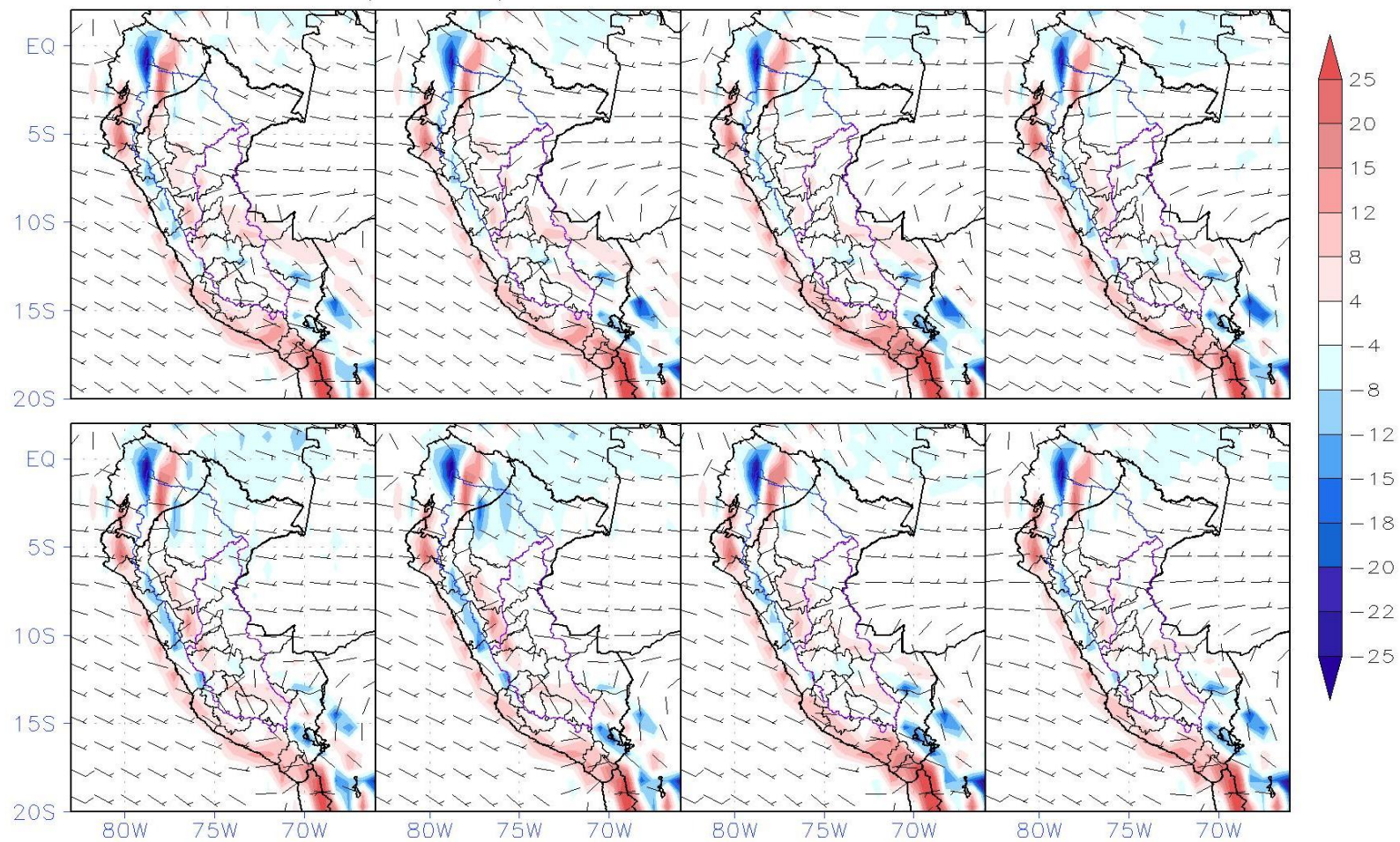


**Figura 64:** Líneas de corriente en el nivel de 500 hPa sobre Sudamérica para el compuesto de repiquetes tipo T1.

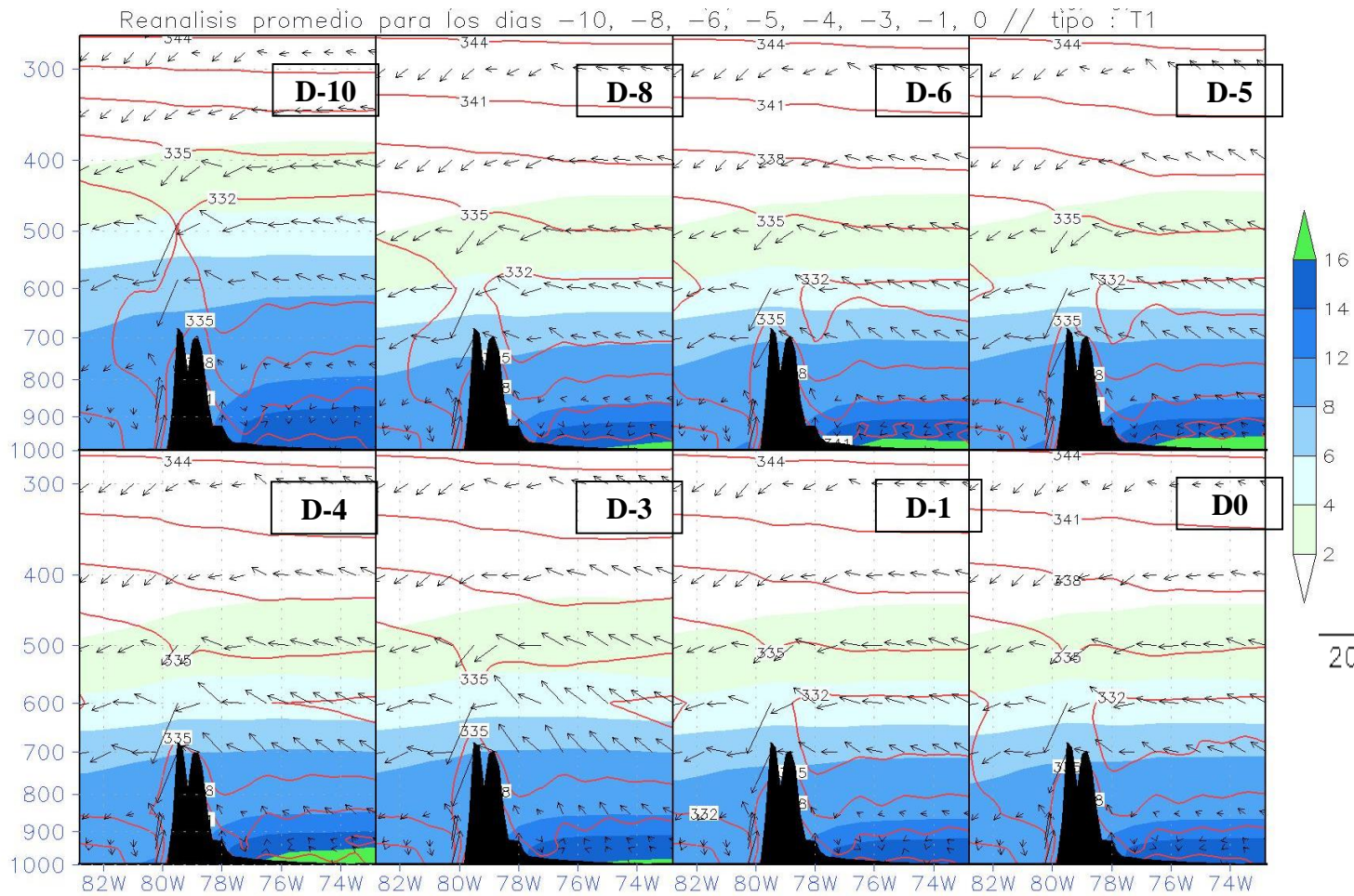


**Figura 65:** Líneas de corriente en el nivel de 200 hPa sobre Sudamérica para el compuesto de repiquetes tipo T1.

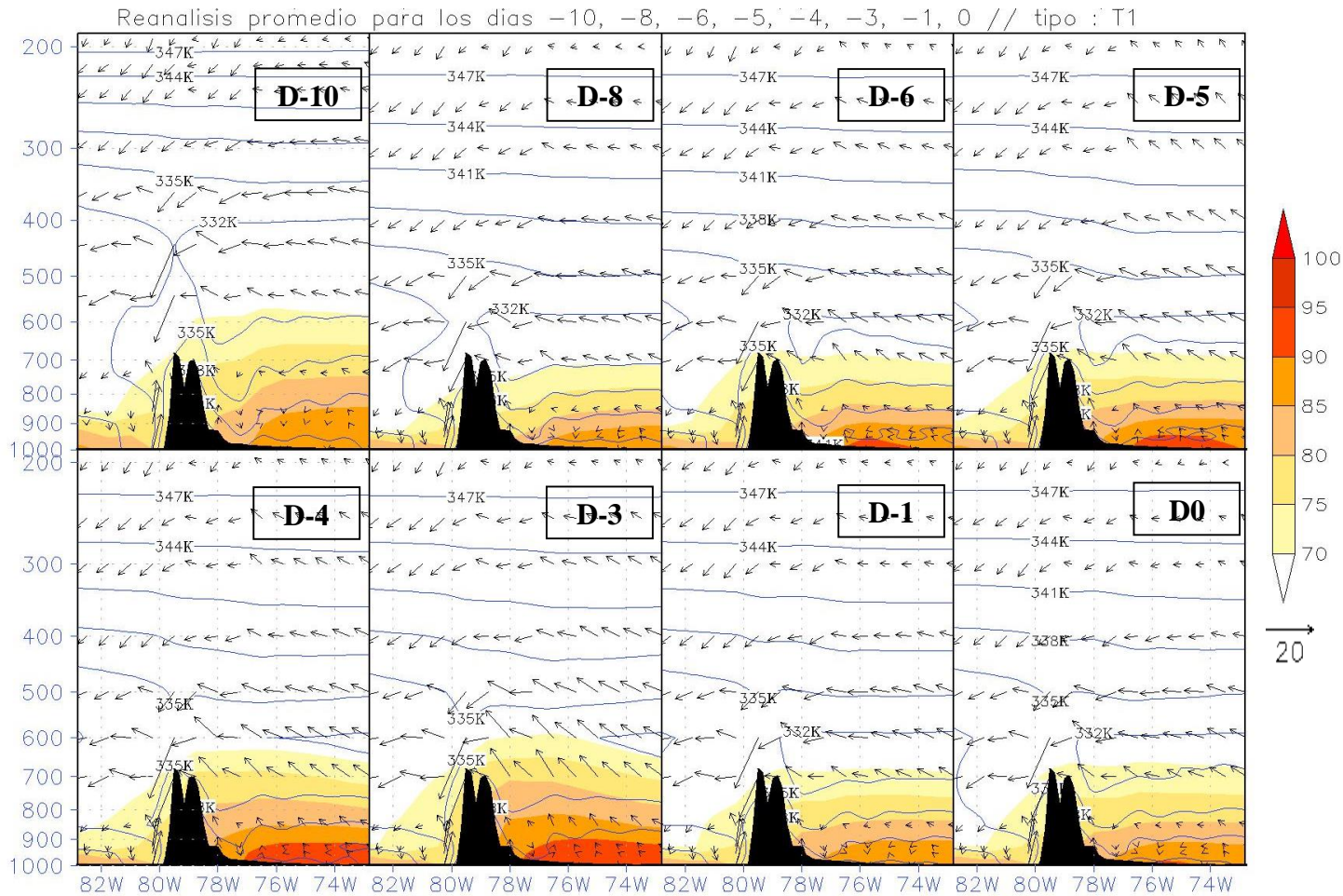
DIVERGENCIA (rojo) Y CONVERGENCIA (azul)  $\times 10^{-6}$  ( $s^{-1}$ ) 850 hPa / TIPO: T1  
Reanálisis promedio para los días -10, -8, -6, -5, -4, -3, -1, 0



**Figura 66:** Divergencia y convergencia en el nivel de 850 hPa para el compuesto de repiquetes tipo T1.



**Figura 67:** Variación longitudinal de la humedad específica (g/kg), de la temperatura potencial equiv. (K) y del vector resultante de la componente zonal y vertical del viento en la latitud de 3.25°S para el compuesto de repiquetes tipo T1. El valor de la velocidad vertical (cm/s) fue reescalado por cinco y el vector de referencia solo es válido para la componente zonal (m/s).



**Figura 68:** Variación longitudinal de la humedad relativa (%), de la temperatura potencial equiv. (K) y del vector resultante de la componente zonal y vertical del viento en la latitud de 3.25°S para el compuesto de repiquetes tipo T1. En sombreado los valores de humedad específica. El valor de la velocidad vertical (cm/s) fue reescalado por cinco y el vector de referencia solo es válido para la componente zonal (m/s).

#### 4.3.2 Repiquetes tipo T3

Para el *composite* de repiquetes T3, el APSO presenta una configuración zonal y se sitúa al sur de los 30°S y su núcleo se extiende hacia el continente días previos al inicio del repiquete con la isobara de 1020hPa ingresando por el centro de Chile y Argentina el día -6 (Figura 69). Desde el d-5 hasta el d-3, una alta migratoria con centro próximo a los 31°S atraviesa la región sur de Sudamérica para luego ser embebida por el AAS. Similarmente a lo que ocurre en los *composites* de T1, el paso de la alta migratoria produce el desplazamiento de la isóbara de 1014hPa y la desaparición de baja presión observada los d-10 y d-8 situada entre Bolivia, Paraguay y Argentina (la baja del Chaco), la cual se retorna el d+2.

Las líneas de corriente en 1000hPa (Figura 70) exhiben muchas similitudes con el *composite* de repiquetes T1 como una configuración ciclónica asociada a la presencia de la baja presión anteriormente descrita alrededor de los 25°S, entre Bolivia y Paraguay durante los días d-8 y d-6, hacia la cual confluyen los vientos de componente noroeste y los del sur. El d-5 la alta migratoria se localiza en continente (sobre Argentina) y sobre la región norte de Perú actúan vientos de componente este, los cuales llevan la humedad evaporada de la Amazonia.

También, se presenta un cambio en la dirección de vientos al este de los Andes entre d-4 y d-3 (observado más claro en la Figura 71) a los 925hPa. En este nivel, el d-10 una circulación anticiclónica puede ser la responsable de las fuertes anomalías negativas de precipitación observadas en la Figura 37 y similar a los *composites* T1 se forma dos días antes del inicio de las precipitaciones. El d-8, dentro del flujo del este-noreste se puede observar convergencia por velocidad y dirección anterior a una onda embebida en el flujo sobre el noreste de Ecuador que podría relacionarse a la precipitación observada, aunque son necesarios modelos regionales para una mejor representación de la dinámica sobre esta región. Para el d-5 al igual que los *composites* T1, hay una intensificación de flujos del este prácticamente zonal sobre la región norte de la cuenca del Marañón con la única diferencia que estos flujos se sitúan más al norte. El cambio de vientos del norte a vientos del sur es notorio en el d-4 donde la incursión del sur se encuentra con los vientos del norte sobre la región occidental de Loreto. Además, una diferencia encontrada con respecto a eventos T1 es que la circulación anticiclónica se encuentra más al norte resultando en una componente NE en lugar de E sobre la región de fuertes precipitaciones entre Huánuco y Ucayali al lado

oeste de la cuenca del Ucayali (Figura 59 y Figura 71). En el nivel de 850, el flujo del E predomina sobre los días -5, -4 y -3 en la región norte y sobre la cuenca media del Ucayali vientos del E/ESE (Figura 72 y Figura 73). Algo muy parecido al nivel de 850hPa se observa en niveles medios (500hPa, Figura 74) sobre el Ucayali donde los vientos cambian de vientos del N a vientos del NE. Y finalmente sobre niveles altos la presencia de una circulación anticiclónica domina este nivel (Figura 75).

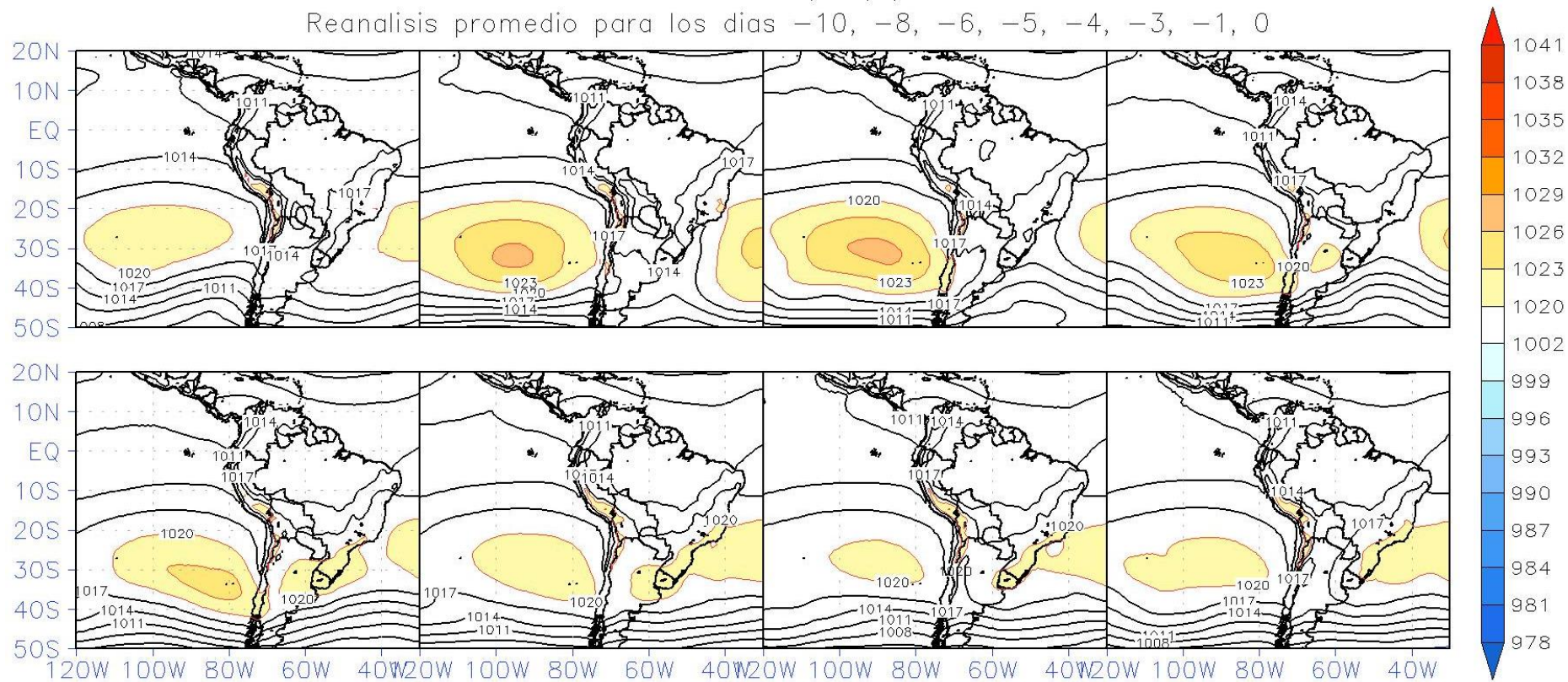
Se calculó la divergencia en 850hPa para comparar las zonas de divergencia negativa en niveles bajos con las zonas de precipitación observadas en la Figura 37. Estas zonas de convergencia se encuentran desplazadas al este con respecto a las regiones de máximas precipitaciones, es decir al este de la región de transición andino-amazónica, de la cuenca del Marañón, (Figura 76). De manera similar a los eventos T1, la convergencia presenta mayores valores sobre la región norte de Perú y este de Ecuador con valores más intensos para los días -5, -4 y -3. Sin embargo, el núcleo de divergencia por efecto de la orografía a esta escala predomina sobre la región más lluviosa. Es posible que para representar adecuadamente los procesos asociados de convergencia o divergencia asociados a la precipitación en ambas cuencas sea necesario utilizar modelos de mayor resolución con parametrizaciones físicas que se ajusten a cada región.

Una de las principales diferencias entre los productos CHIRPS y Pisco ocurre para este tipo de eventos (T3) donde la precipitación máxima de Pisco sobre la cuenca del Marañón se sitúa más al sur (entre  $5^{\circ}\text{S}$ – $8^{\circ}\text{S}$  y  $76.75^{\circ}\text{W}$ - $75.25^{\circ}\text{W}$ ) en comparación con CHIRPS (Figura 37 y Figura 39). El corte realizado a la latitud de  $-5.5$  (Figura 78) sugiere que a esta latitud se pueden observar aún situaciones parecidas a las que ocurren al norte, lo que le da sustento a las precipitaciones observadas por Pisco sobre esta región.

Sobre la región central de la cuenca del Ucayali se realizó un corte para la latitud de  $8.5^{\circ}\text{S}$ , por presentar precipitaciones relevantes en los días -5 y -4. En ese sentido, resulta difícil que a esta escala se puedan representar los procesos que dan formación a la precipitación entre  $76^{\circ}\text{W}$  y  $75^{\circ}\text{W}$  el d-5. En cambio, para el d-4 la precipitación sobre esta cuenca abarca un área más extensa con un centro próximo a  $74^{\circ}\text{W}$  (Figura 37), tal precipitación podría estar relacionada a una inversión en la TPE en niveles bajos y a una convección leve que causa un levantamiento en la isolínea de 332K.

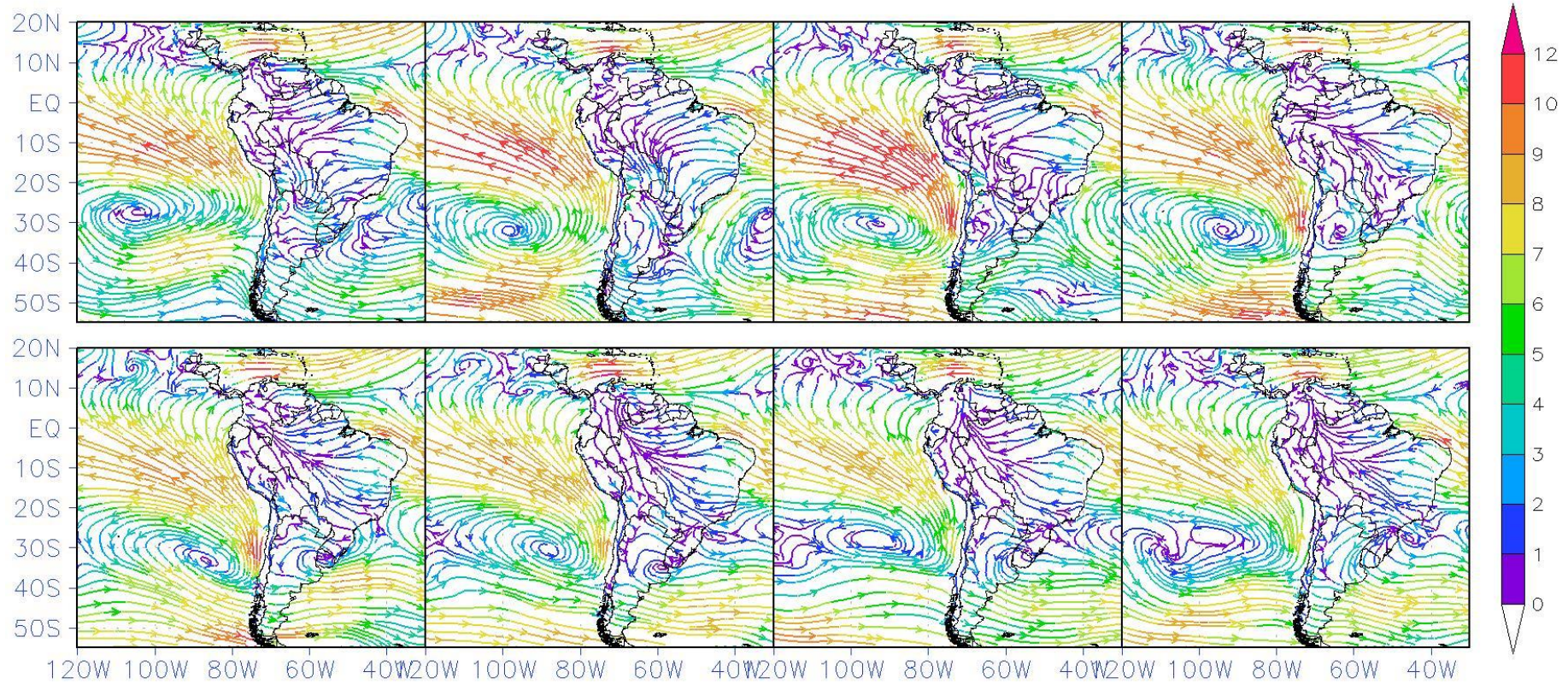


PRESION A NIVEL DEL MAR (hPa) / TIPO: T3  
Reanálisis promedio para los días -10, -8, -6, -5, -4, -3, -1, 0



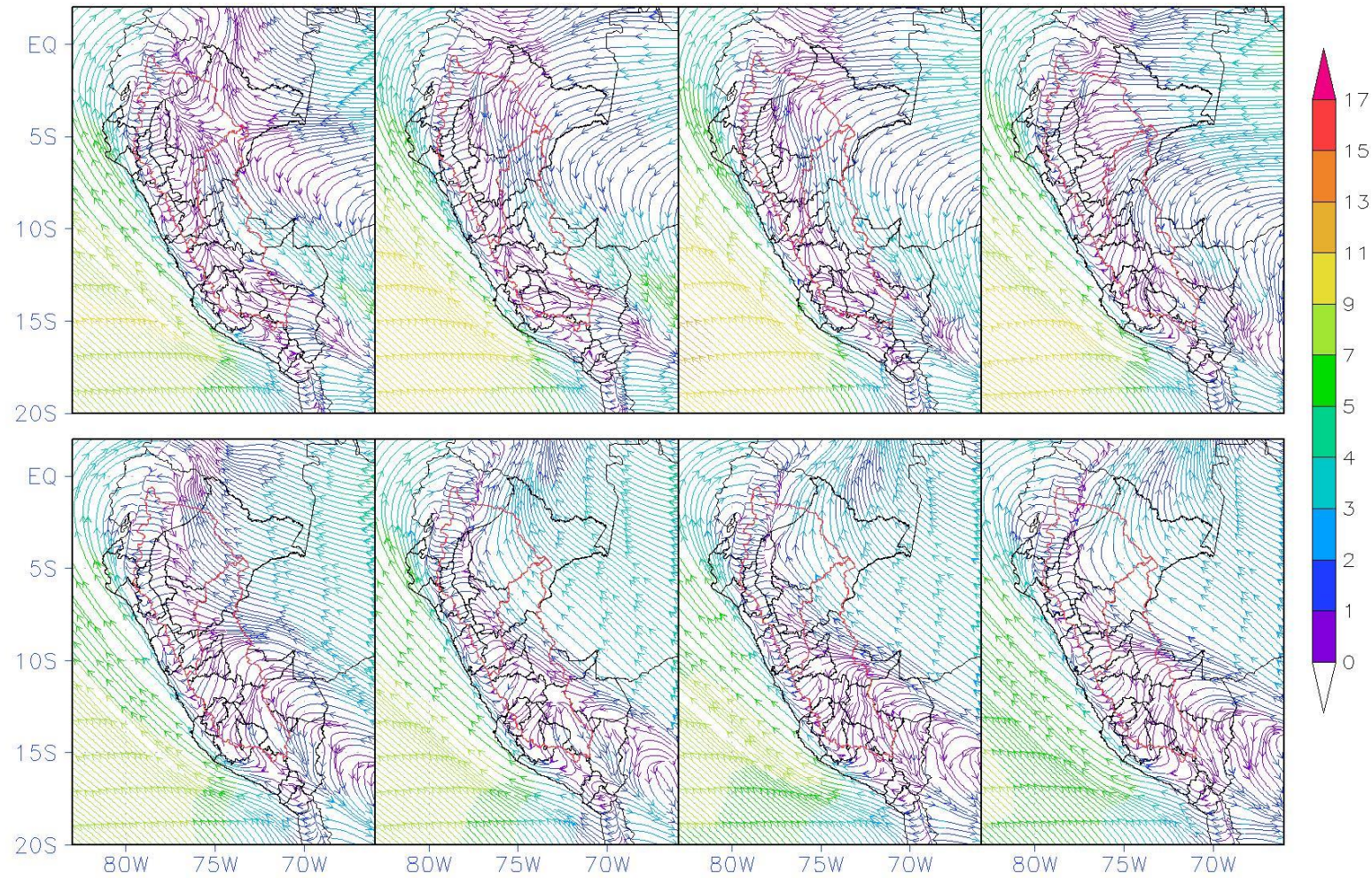
**Figura 69:** Presión a nivel del mar para el compuesto de repiquetes tipo T3.

LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 1000 hPa / TIPO: T3  
Reanálisis promedio para los días -10, -8, -6, -5, -4, -3, -1, 0



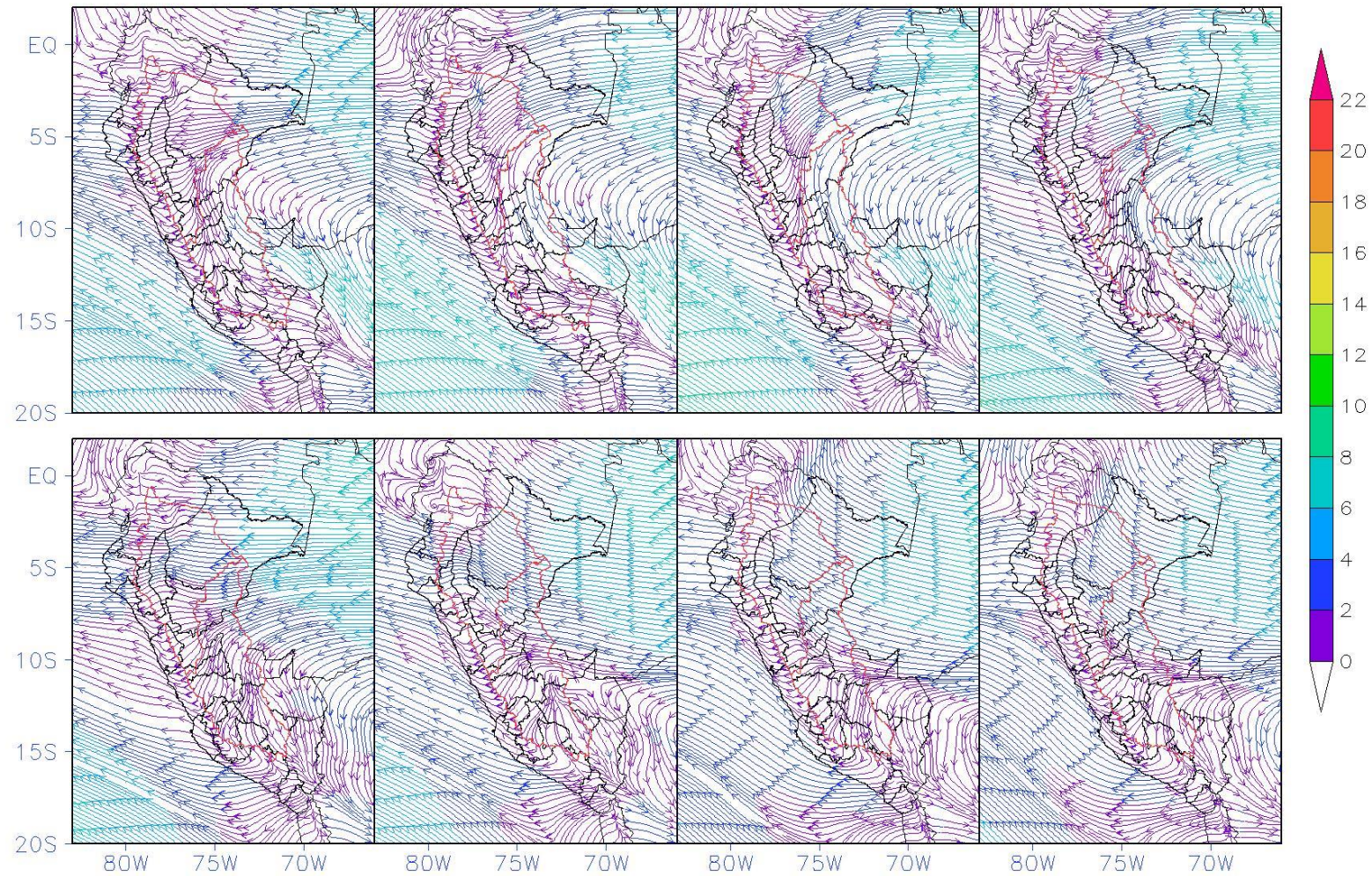
**Figura 70:** Líneas de corriente en el nivel de 1000hPa sobre Sudamérica para el compuesto de repiquetes tipo T3.

LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 925 hPa / TIPO: T3  
Reanálisis promedio para los días -10, -8, -6, -5, -4, -3, -1, 0



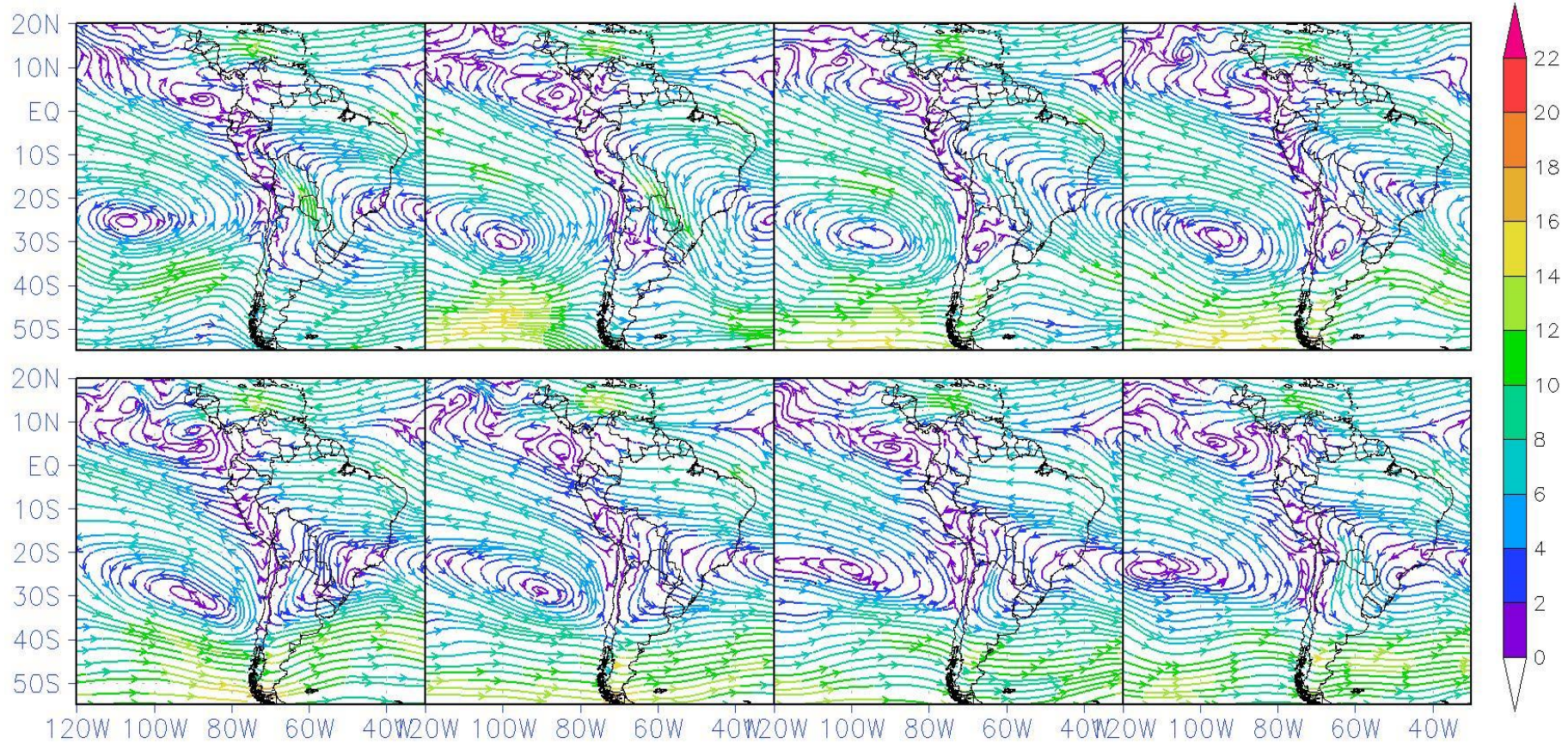
**Figura 71:** Líneas de corriente en el nivel de 925hPa sobre Perú para el compuesto de repiquetes tipo T3.

LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 850 hPa / TIPO: T3  
Reanálisis promedio para los días -10, -8, -6, -5, -4, -3, -1, 0

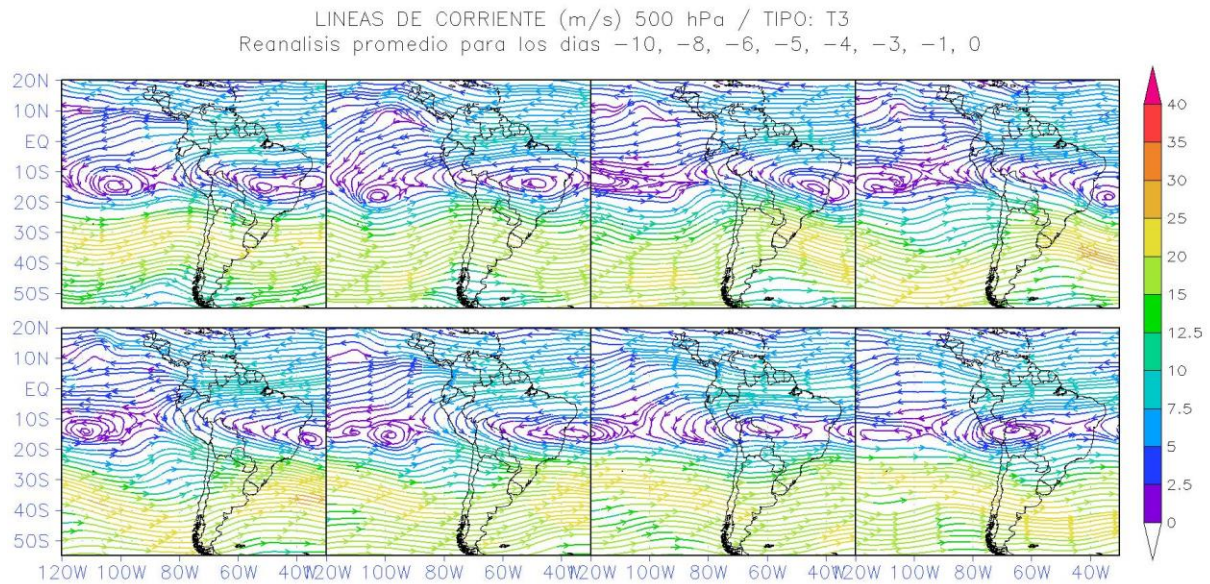


**Figura 72:** Líneas de corriente en el nivel de 850hPa sobre Perú para el compuesto de repiquetes tipo T3.

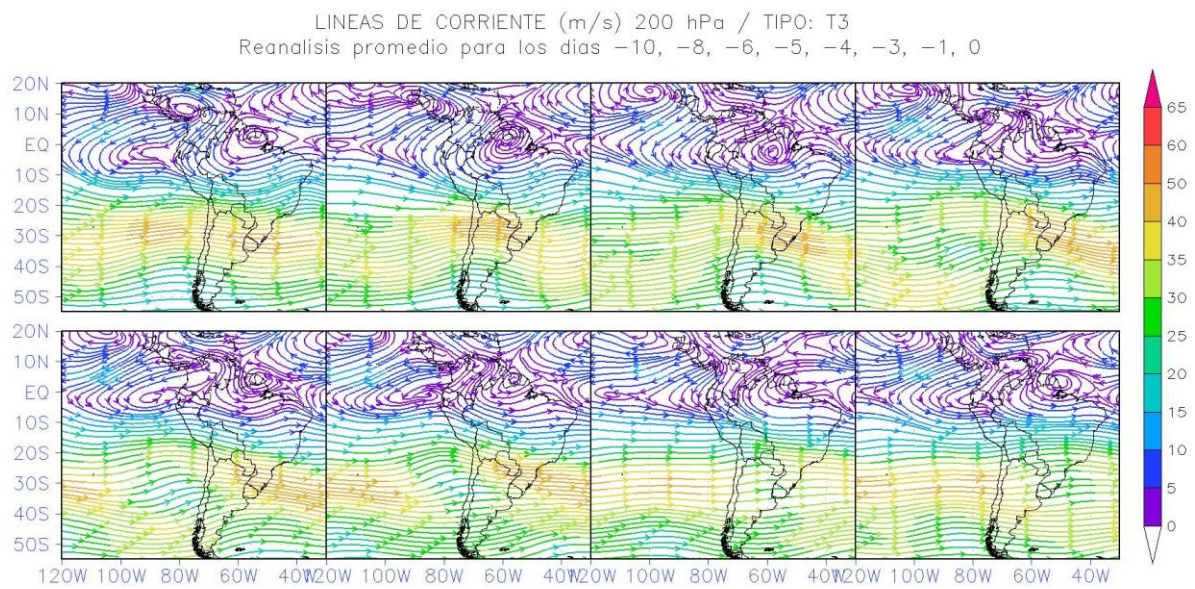
LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 850 hPa / TIPO: T3  
Reanálisis promedio para los días -10, -8, -6, -5, -4, -3, -1, 0



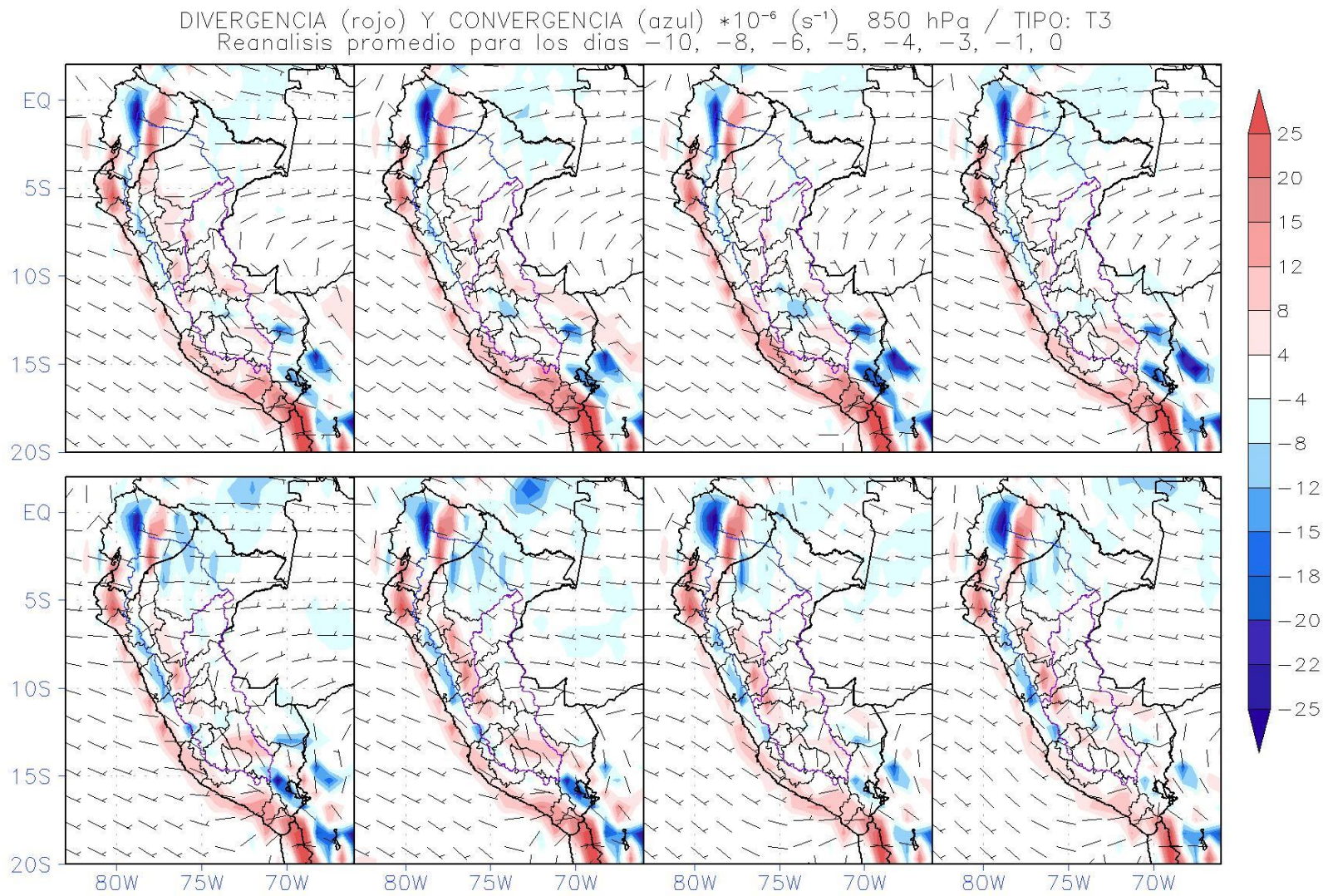
**Figura 73:** Líneas de corriente en el nivel de 850hPa sobre Sudamérica para el compuesto de repiquetes tipo T3.



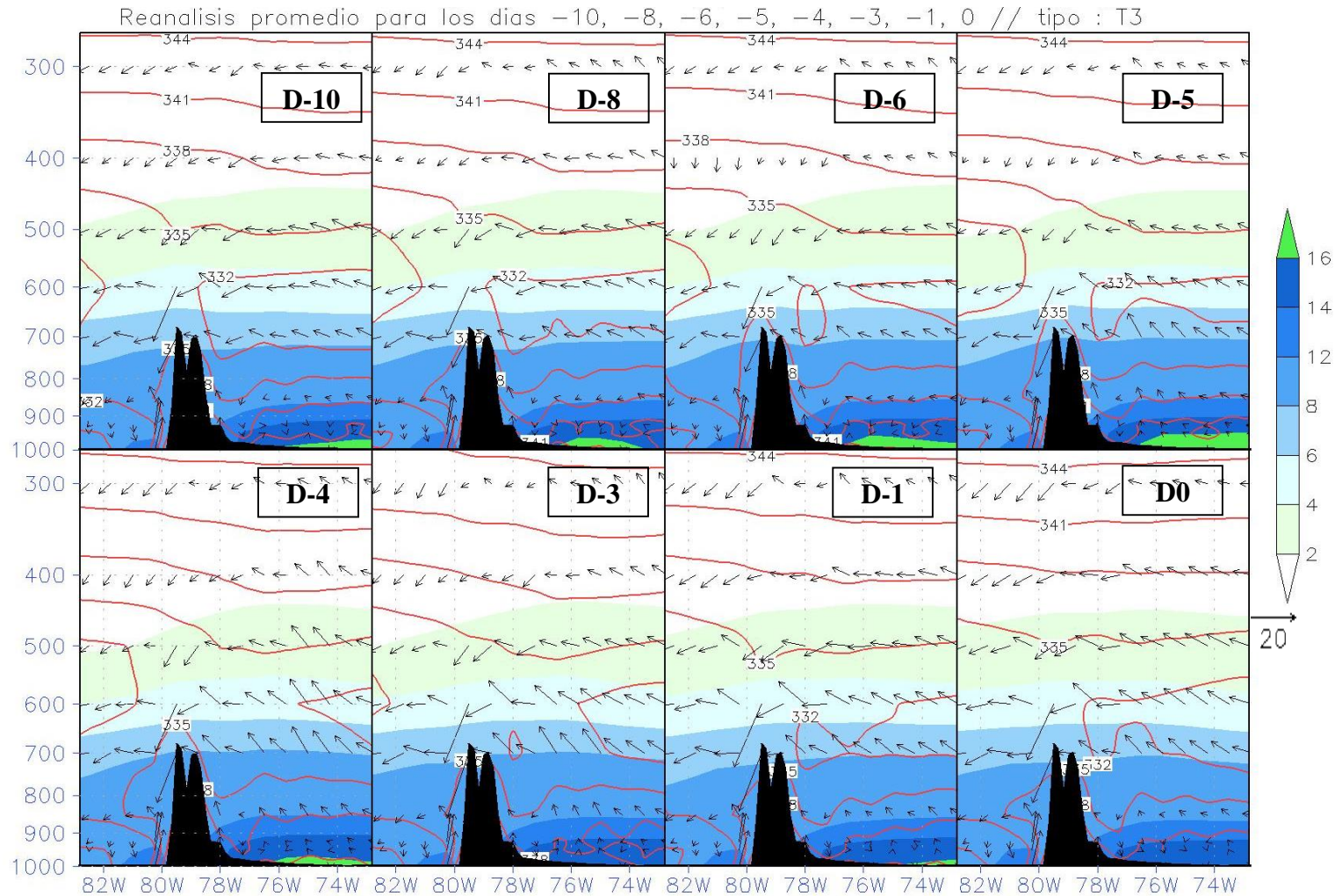
**Figura 74:** Líneas de corriente en el nivel de 500hPa sobre Sudamérica para el compuesto de repiquetes tipo T3.



**Figura 75:** Líneas de corriente en el nivel de 200hPa sobre Sudamérica para el compuesto de repiquetes tipo T3.

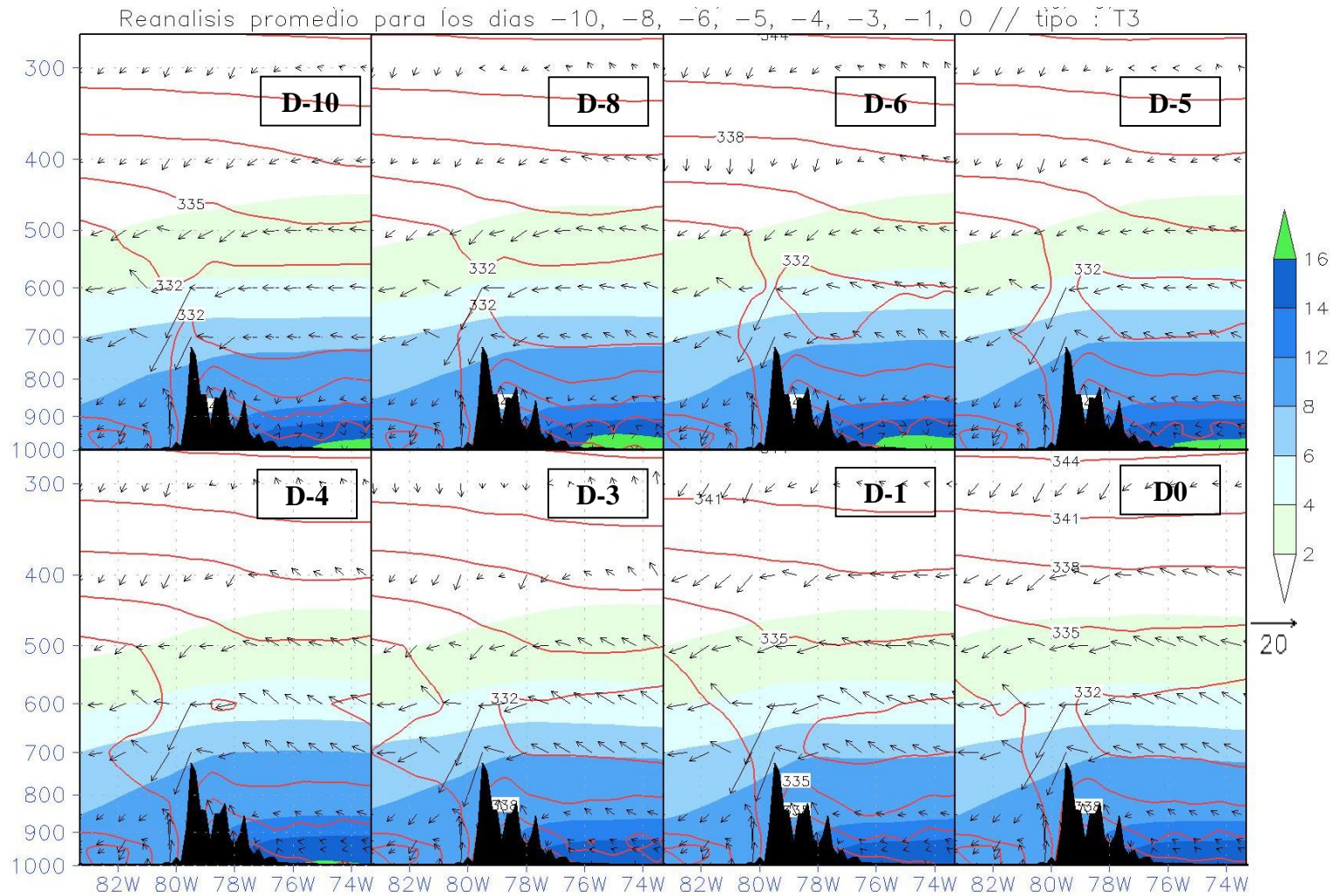


**Figura 76:** Divergencia y convergencia en el nivel de 850 hPa para el compuesto de repiquetes tipo T3.

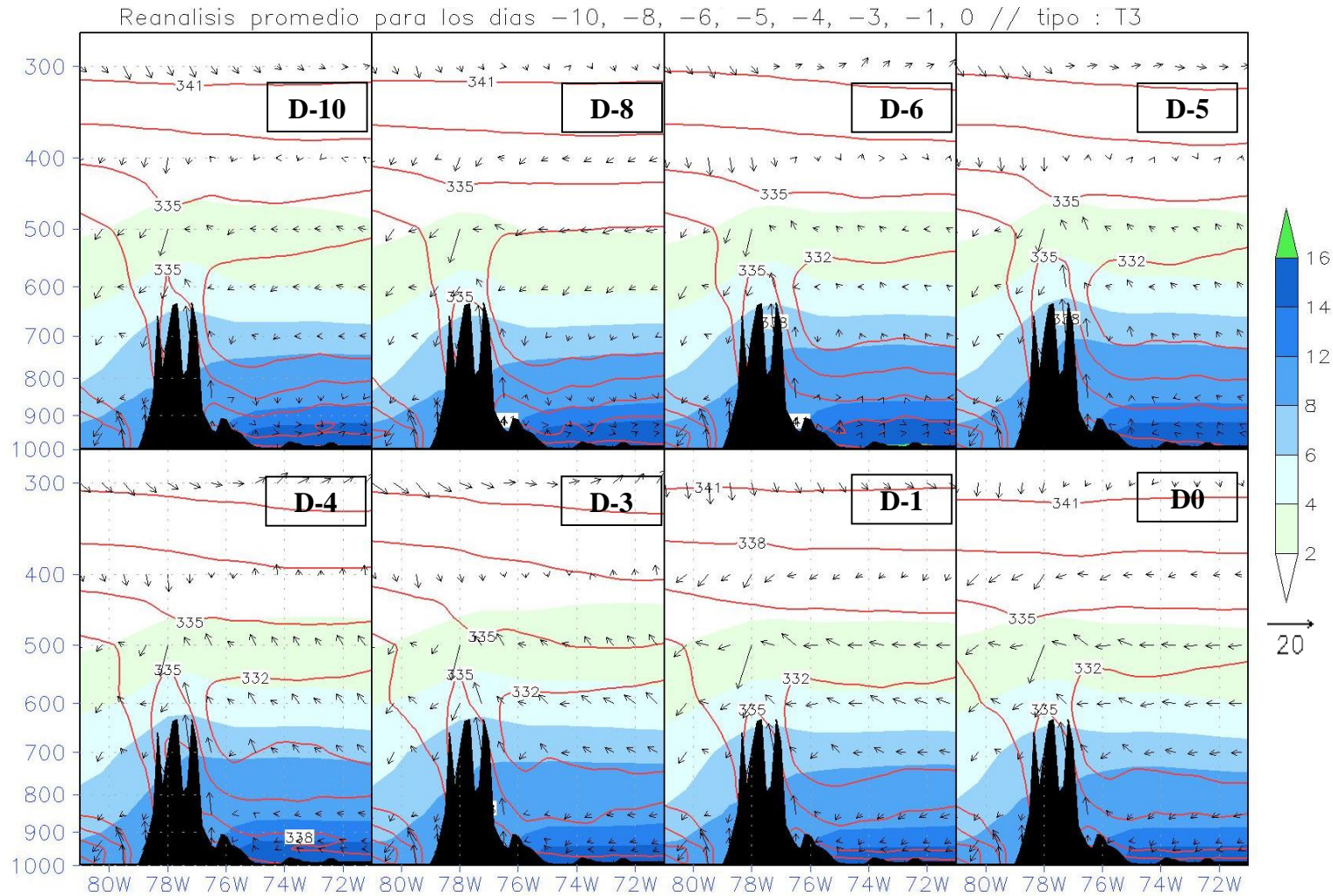


**Figura 77:** Variación longitudinal de la humedad específica (g/kg), de la temperatura potencial equiv. (K) y del vector resultante de la componente zonal y vertical del viento en la latitud de 3.25°S para el compuesto de repiquetes tipo T3. En sombreado los valores de humedad específica. El valor de la velocidad vertical (cm/s) fue reescalado por cinco y el vector de referencia solo es válido para la componente zonal (m/s).





**Figura 78:** Variación longitudinal de la humedad específica (g/kg), de la temperatura potencial equiv. (K) y del vector resultante de la componente zonal y vertical del viento en la latitud de 5.5°S para el compuesto de repiquetes tipo T3. En sombreado los valores de humedad específica. El valor de la velocidad vertical (cm/s) fue reescalado por cinco y el vector de referencia solo es válido para la componente zonal (m/s).



**Figura 79:** Variación longitudinal de la humedad específica (g/kg), de la temperatura potencial equiv. (K) y del vector resultante de la componente zonal y vertical del viento en la latitud de 8.5°S para el compuesto de repiquetes tipo T3. En sombreado los valores de humedad específica. El valor de la velocidad vertical (cm/s) fue reescalado por cinco y el vector de referencia solo es válido para la componente zonal (m/s).

Aparte de los resultados mostrados con los tipos de repiquetes agrupados, también se analizaron los tipos SRE, REQ y TAM que resumen la información de las condiciones atmosféricas que pueden dar origen a los repiquetes que se registraron solamente en su respectiva estación. Los cuales exhiben características muy similares a las ya descritas.

Los eventos TAM como se puede apreciar en las Figura 41, Figura 42 y Figura 43 pueden ser ocasionados el mismo día del evento con precipitaciones levemente superiores al promedio sobre ambas cuencas bajas (CHIRPS y Pisco) o por precipitaciones sumamente intensas (con anomalías superiores a 5 mm) durante este mismo día como se observa con los datos TRMM. Estos eventos TAM (*composite* de solo 7 eventos, Tabla 12) se caracterizan por la convección intensa sobre el sureste de Colombia además de presentar también convección sobre la región norte de marañón desde d-6 hasta d-3; un cambio en los vientos del norte a vientos del sur (días -8 y -6) también se relaciona al paso de una alta presión sobre el sur de Sudamérica entre los días -8 y -5.

Los eventos SRE presentan flujos muy parecidos a los del tipo T1, la convección más importante se da el d-3 y no el d-4, lo que concuerda con la precipitación observada (Figura 44). Además, esto apoya y soporta la idea de un retraso de aproximadamente un día entre la estación San Regis y Tamshiyacu (Tabla 11) si se considera una respuesta rápida de la cuenca.

Los eventos REQ en términos de regiones precipitación asociadas son los que mejor concuerdan al comparar los tres conjuntos de datos, aunque estos presenten leves variaciones en cuanto a su extensión siendo Pisco el producto con regiones más localizadas, TRMM y CHIRPS prácticamente determinan regiones idénticas. Presenta convergencia entre los d-6 y d-3, niveles de presión por encima de 925 hPa pueden ser adecuados para ver la convergencia entre Huánuco y Ucayali. El cambio de vientos del norte a vientos del sur se relaciona al paso de una alta sobre el centro de Argentina y Uruguay, la cual desplaza a la baja presión de 1011hPa comúnmente situada entre Bolivia, Paraguay y el norte de Argentina. De esta manera el predominio de la isóbara de 1014hPa en superficie sobre estas regiones mantiene los vientos del sur.

#### 4.4 Determinación de la dinámica atmosférica asociada a la ocurrencia de un caso relevante

##### 4.4.1 Repiquetes relevantes

Los repiquetes tipo 1 (Marañón – Amazonas, Tabla 12) y los repiquetes tipo 3 (Marañón y Ucayali – Amazonas) poseen la mayor cantidad de eventos y son los tipos de repiquetes utilizados en el presente ítem. Para ambos tipos se realiza el cálculo del percentil 90 sobre los registros en la estación Tamshiyacu (231.4 y 160.4, respectivamente), y los eventos sobre el río Amazonas con magnitudes superiores se colocan en la Tabla 15

**Tabla 15:** Repiquetes tipo 1 y 3 en el río Amazonas que superan el percentil 90 en magnitud de la estación Tamshiyacu.

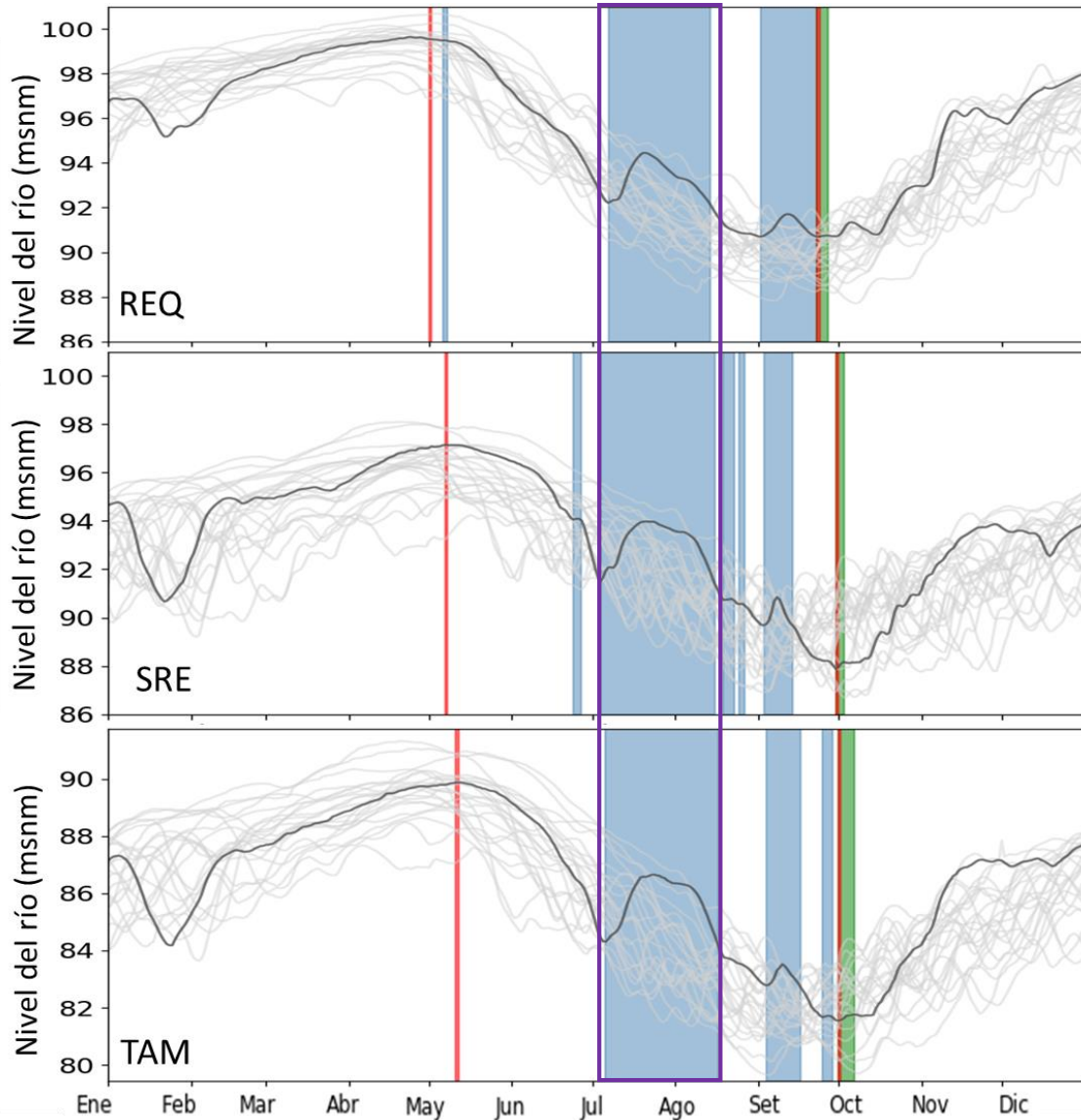
Tipo	Fecha Inicial	Fecha Pico	Fecha Final	Magnitud (cm)	Duración (días)	Suma de magnitudes diarias (cm)	Magnitud /Duración (cm/día)	Cota Inicial (msnm)	id
T1	7-Aug-1997	16-Aug-1997	9-Sep-1997	244	33	2863	86.8	8135	in
T1	17-Sep-2000	4-Oct-2000	4-Oct-2000	241	17	1923	113.1	8201	out
T1	6-Jul-2002	24-Jul-2002	17-Aug-2002	234	42	6429	153.1	8431	in
T1	6-Sep-2008	23-Sep-2008	23-Sep-2008	232	17	2261	133	8105	out
T1	3-Oct-2018	22-Oct-2018	22-Oct-2018	245	19	2827	148.8	8084	out
T3	21-Aug-2017	29-Aug-2017	29-Aug-2017	193	8	723	90.4	8097	out
T3	15-Jul-2018	28-Aug-2018	14-Sep-2018	180	61	5343	87.6	8241	in

Tomando como base los criterios mencionados en la metodología 3.3.4.a se escoge el repiquete ocurrido el 6-Julio del 2002 (T1) de la Tabla 15 para ser estudiado a mayor detalle.

#### 4.4.2 Estudio de caso

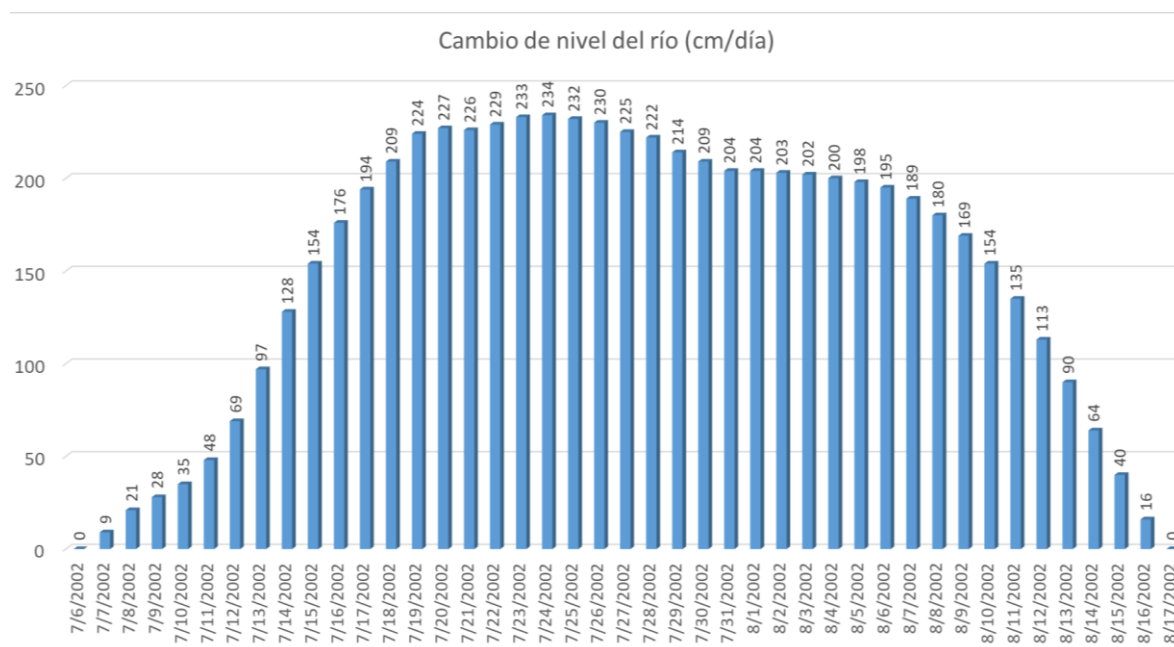
##### **Caso Estudio 06-07-2002 al 17-08-2002 con una magnitud máxima el día 24 de julio**

El presente caso (Figura 80) es caracterizado como tipo T1 debido a que su génesis se vincula más al río Marañón que al río Ucayali y destaca sobre el resto por la alta magnitud y duración del evento sobre la estación Tamshiyacu – río Amazonas.



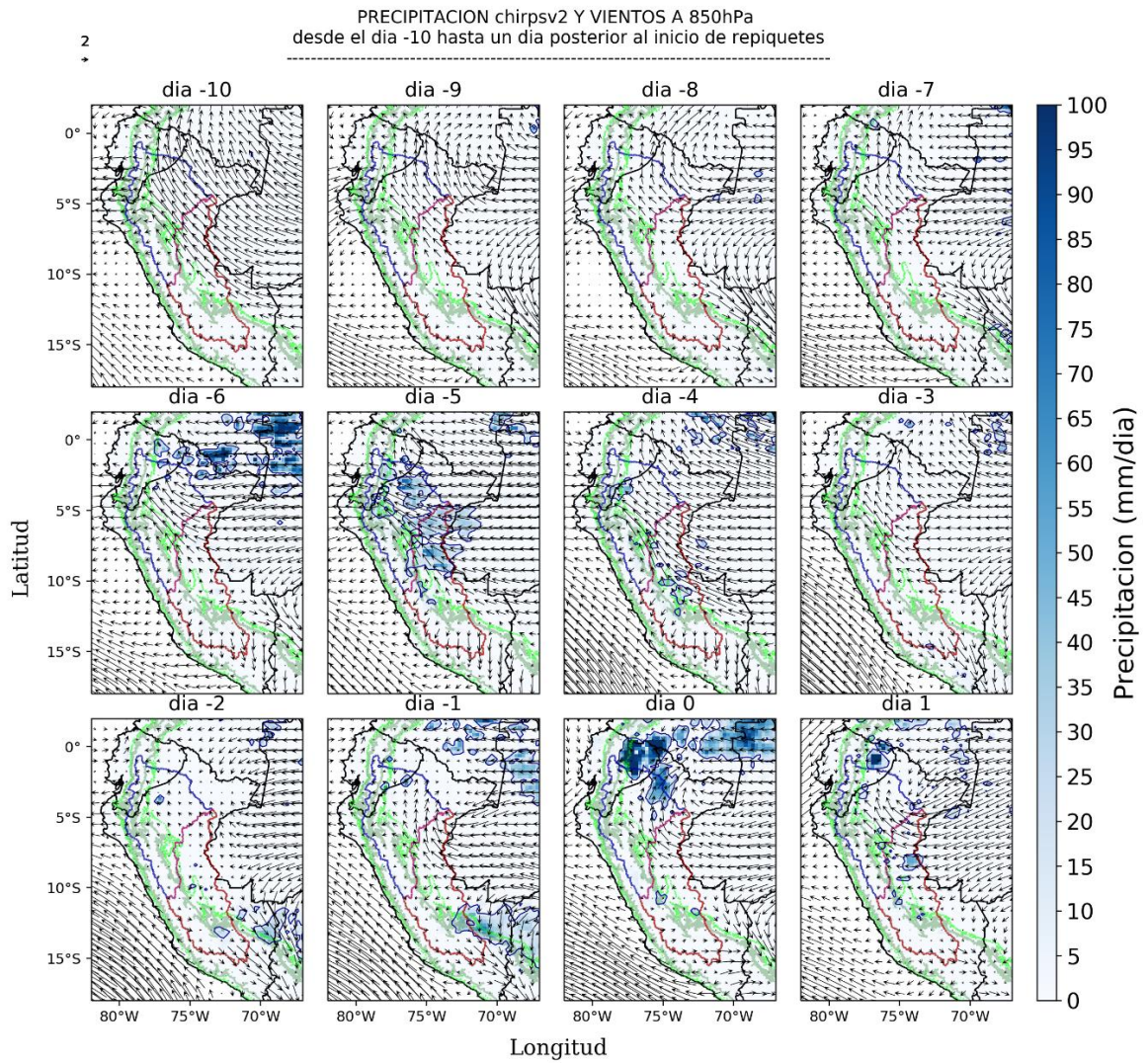
**Figura 80:** Repiquetes registrados en las estaciones Requena, San Regis y Tamshiyacu para el año 2002. Caso 06/07/2002 (d0 en Tamshiyacu) enmarcado por un rectángulo morado. En líneas grises se muestran el nivel del río diario en cada estación para el periodo 1996-2018. Las líneas negras corresponden al nivel del río diario durante el año 2002. Las líneas verticales rojas representan los máximos y mínimos del nivel del río definidos en el año 2002.

Este evento registra un cambio de nivel en el agua mayor a 2 metros (Tabla 15 y Figura 81) y sumergió aproximadamente 19ha y 29ha de las barras de limo en las comunidades de Dos de Mayo y Augusto Freyre (ubicadas alrededor del archipiélago de Muyuy, Figura 3) hasta por 20 días (List & Coomes, 2017).

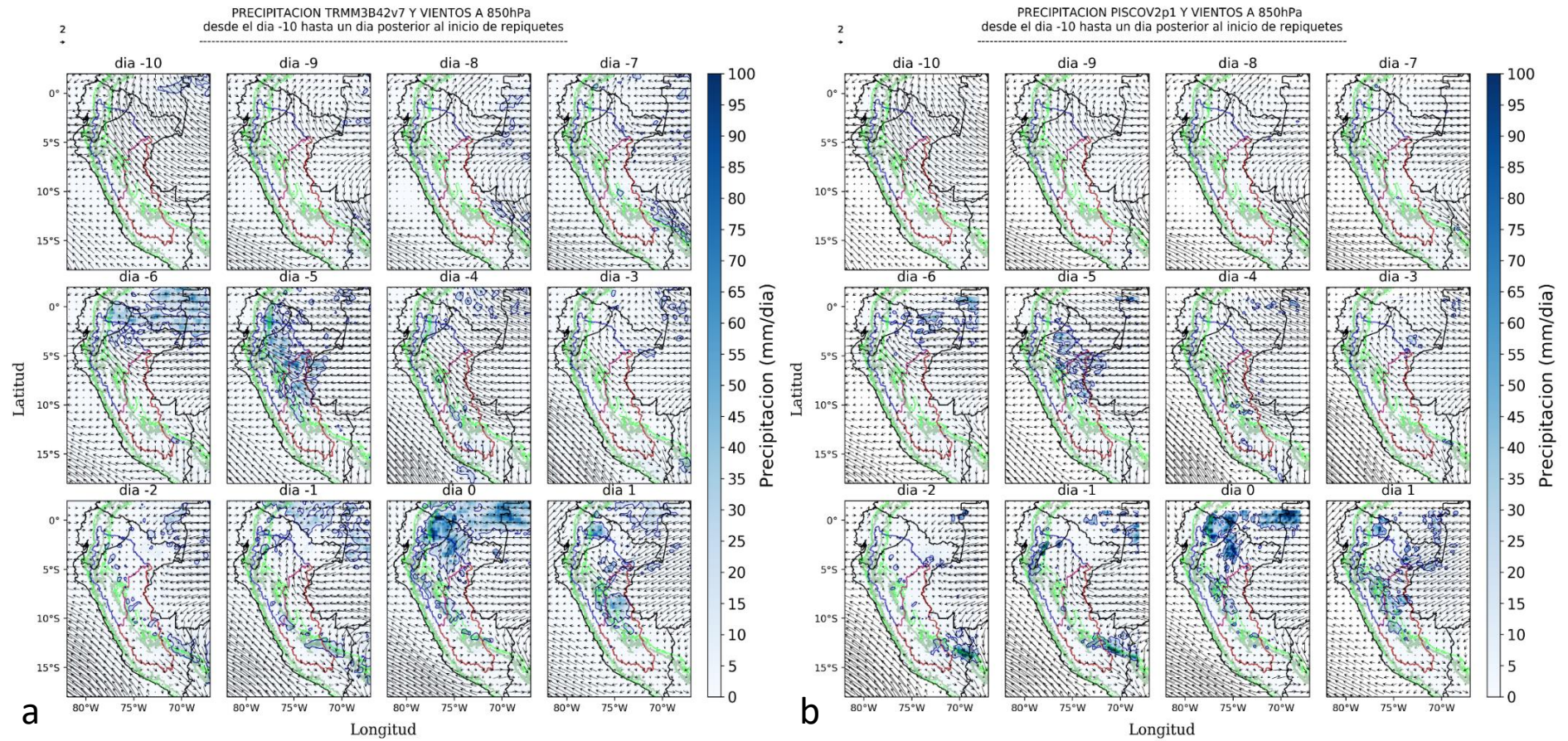


**Figura 81:** Cambio del nivel del río por día para el repiquete del 06/07/2002 al 17/08/2002.

La precipitación días antes y durante el evento se analiza con los tres conjuntos de datos. El d-5 resalta con precipitaciones sobre la zona media y baja de ambas cuencas con núcleos incluso por encima de 60 mm de precipitación con CHIRPS (Figura 82) y TRMM (Figura 83a). Pero al igual que ocurría con los tipos definidos anteriormente, cuando la precipitación es intensa sobre la cuenca del Ucayali en los conjuntos de datos TRMM y PISCO (Figura 83 a y b) usualmente CHIRPS tiende a presentar menores valores sobre esta región. Además, el mismo día 06 de julio (d0) ocurre una intensa precipitación sobre la región noreste de la cuenca Marañón con valores superiores a 60 mm.



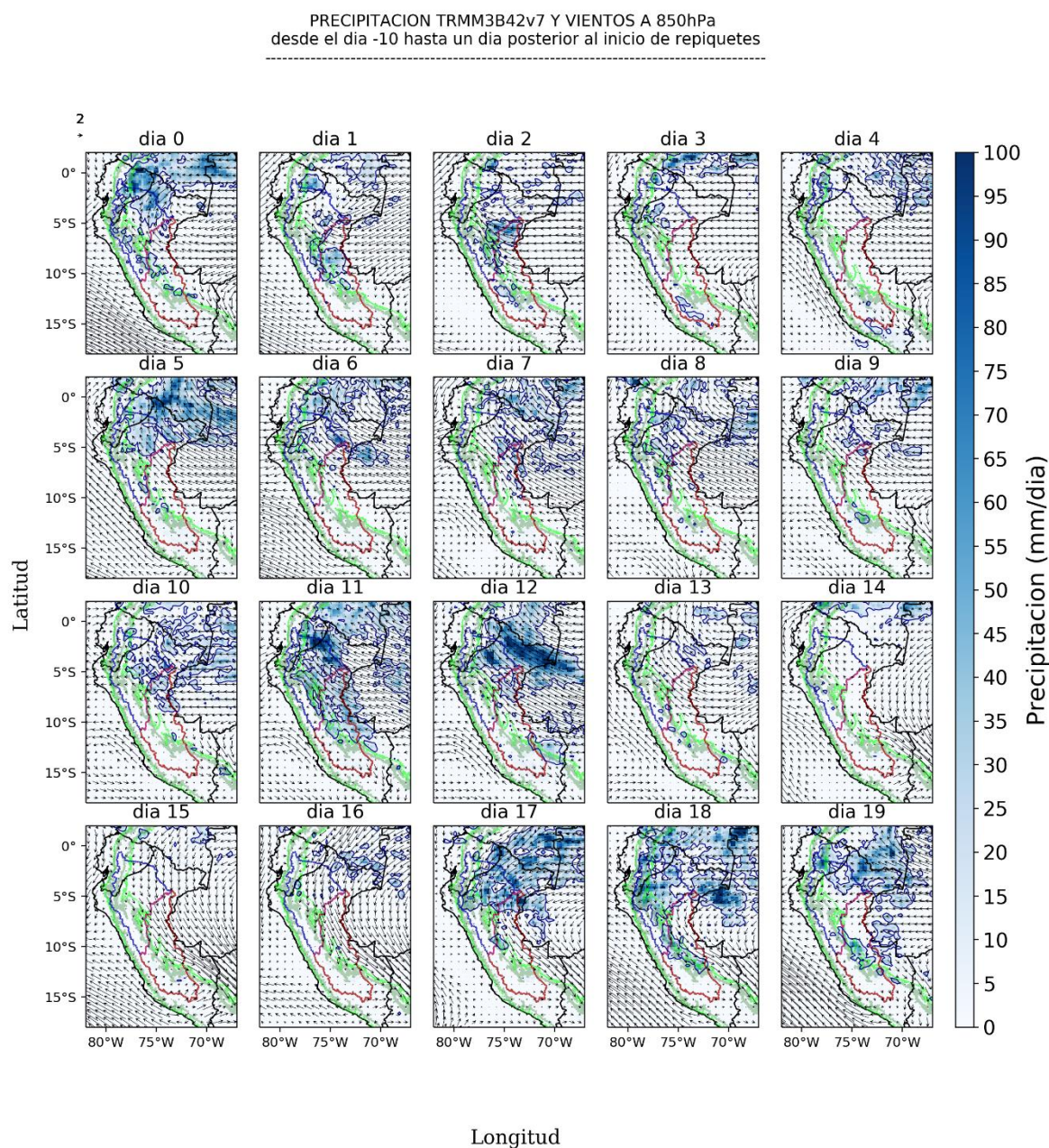
**Figura 82:** Precipitación CHIRPS desde el día -10 hasta el d+1 para el caso 06-07-2002 (d0). El área en contorno supera la precipitación de 10 mm.



**Figura 83:** Precipitación desde el día -10 hasta el d+1 para el caso 06-07-002 para los datos a) TRMM y b) PISCO. El área en contorno supera la precipitación de 10 mm.

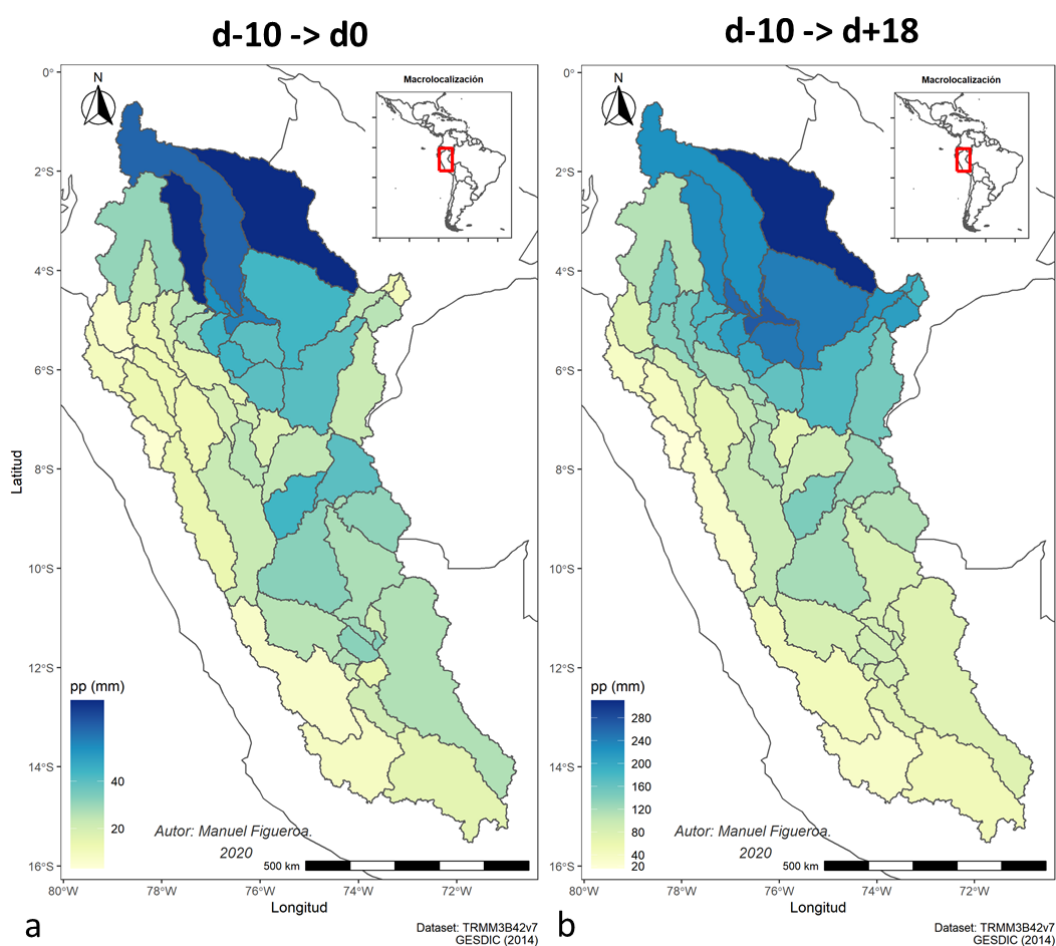


Durante el evento, la distribución espacial de la precipitación TRMM muestra precipitaciones mucho más intensas sobre la cuenca baja y la cuenca del Marañón los días con acumulados importantes son los días 6, 8, 11, 17, 18, 23 y 24 de julio (d0, d+2, d+5, d+11, d+12, d+17 y d+18) siendo este último día el que presenta la máxima magnitud alcanzada durante el evento (Figura 84).



**Figura 84:** Precipitación TRMM desde el d0 hasta el d+19 para el caso 06-07-2002 (d0). El área en contorno supera la precipitación de 10 mm.

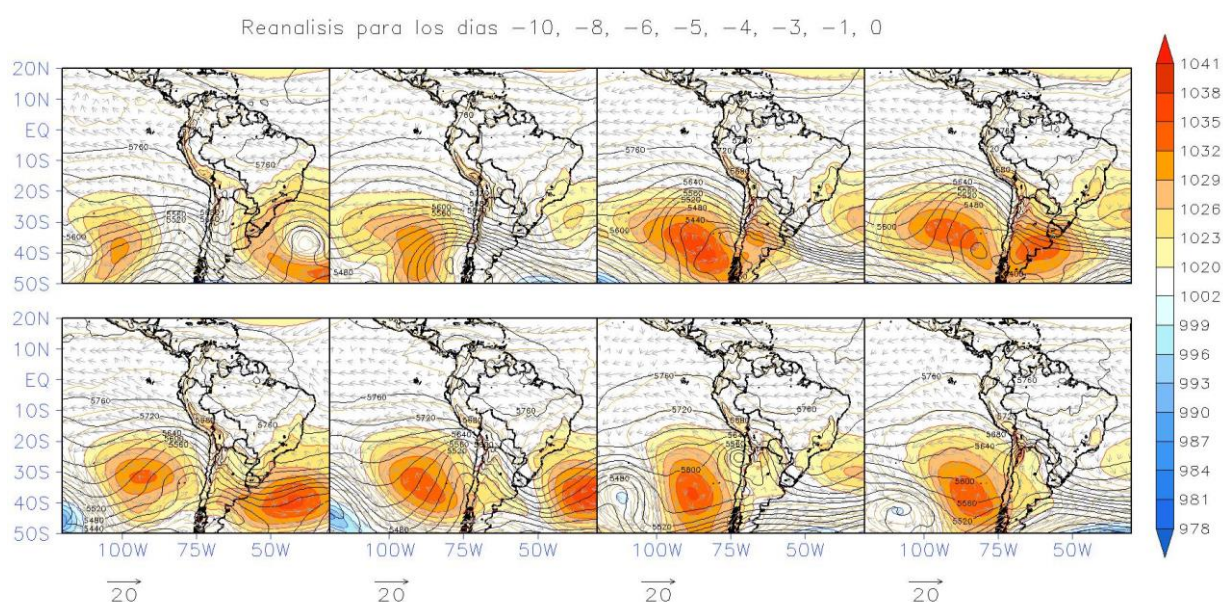
El aporte de la precipitación de las subcuencas transnacionales del Maraón es evidentemente mayor si totalizamos las precipitaciones medias ponderadas calculadas para cada día desde el d-10 hasta el d0 o d+18 (Figura 85). Para el inicio del evento las subcuencas Tigre, Morona, Pastaza y las Intercuencas Medio Maraón y Medio Bajo Maraón (todas del Maraón) resaltan con mayores acumulados, seguidos por las Intercuencas 499873, 49871, las cuencas Carhuapanas, Parapapura del Maraón y las Intercuencas 49913, 49917 y la cuenca Aguaytía del Ucayali.



**Figura 85:** Precipitación media ponderada (TRMM3B42v7) por subcuenca totalizada desde a) d-10 hasta d0 (26jun al 06jul del 2002) b) d-10 hasta el día+18 (26jun al 24jul del 2002).

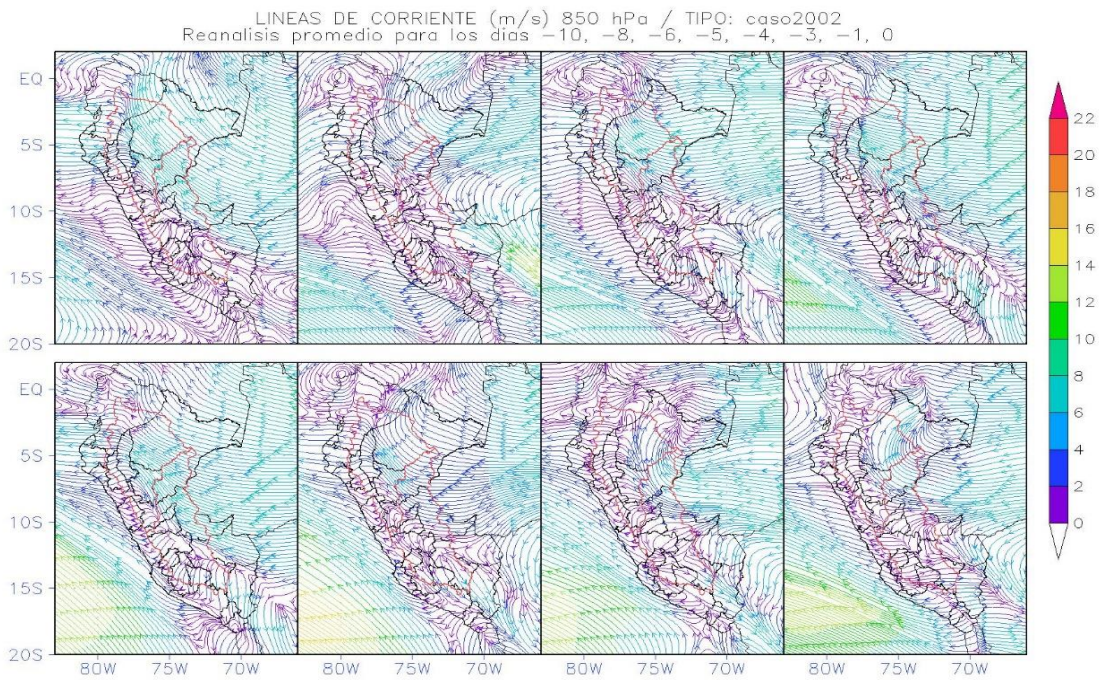
Las precipitaciones de la cuenca baja del Ucayali muestran mayores acumulados antes de que el repiquete alcance su máximo nivel del río sobretodo en la Intercuenca 49911 y posteriormente en la Intercuenca 49913 y la cuenca Tapiche. Sin embargo, durante todo este periodo los máximos se mantienen sobre la cuenca baja del Maraón.

Durante los d-5 y d-1 se produce el paso de anticiclones invernales, el primero con valores superiores a 1029hPa sobre los 35°S y en el segundo caso la dorsal del APSO permite el paso de una alta con un núcleo de 1023hPa pero este se ubica en torno a los 22°S (Figura 86). El paso de estas altas migratorias propicia una incursión meridional del sur hacia latitudes tropicales (Espinoza et al., 2013; Marzano, 2018; Paccini, 2016). Y el d-1 presenta un núcleo frío atrapado en la tropósfera media a baja con una circulación ciclónica en niveles medios (la cual se reafirma posteriormente en la Figura 88). Tal configuración se relaciona a eventos de nevadas y precipitaciones sobre la región sur oriental del Perú (Quispe, 2019).

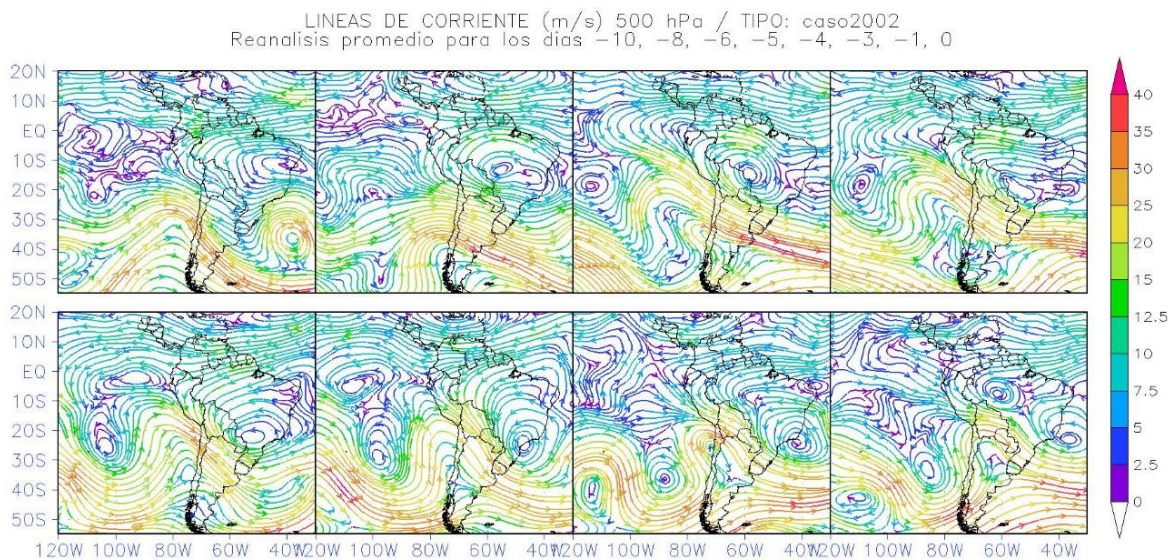


**Figura 86:** Espesor 500/1000hPa (contornos), viento en 850 hPa (m/s) y presión en superficie (colores) días previos al evento del 06 de julio del 20002 (d0).

En niveles bajos, el viento del este predomina sobre la región de estudio a excepción de los d-1 y d0 donde el viento presenta componente del sur sobre la región de Loreto (Figura 87). Además, tanto el d-6 como d-1 son favorecidos por la presencia de una circulación anticiclónica en niveles medios situada al NE de Bolivia (Figura 88).



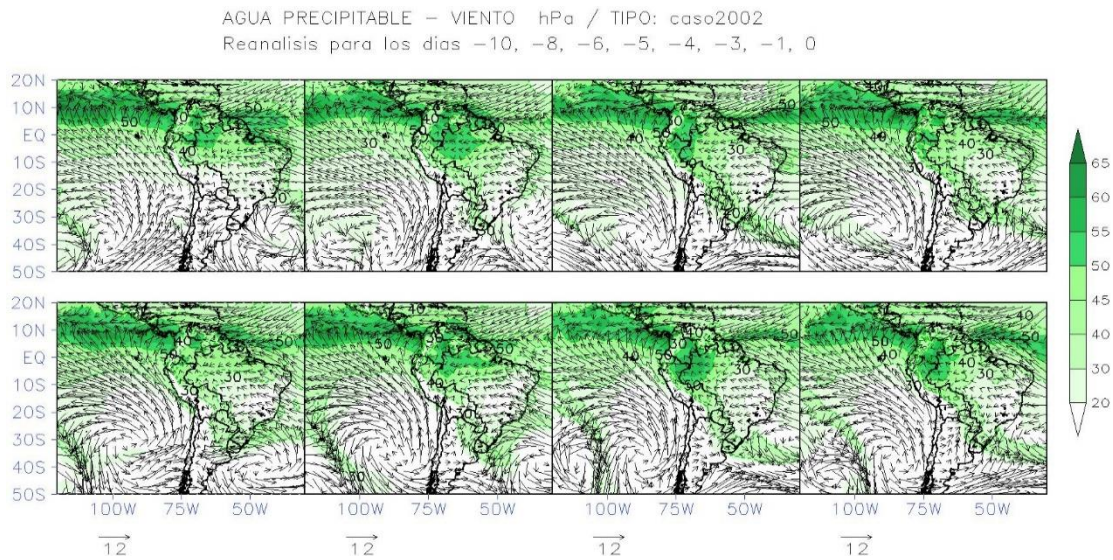
**Figura 87:** Vientos en niveles bajos (850hPa) días previos al evento del 06 de julio del 2002.



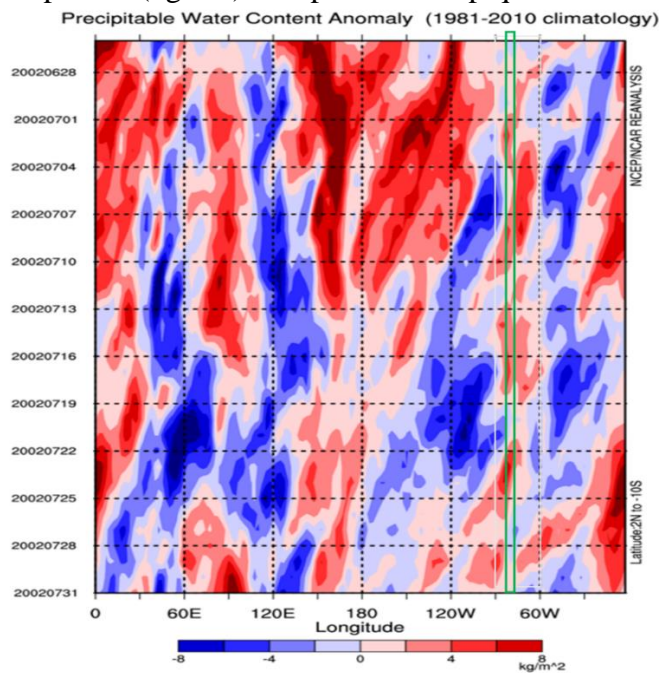
**Figura 88:** Vientos en niveles medios (500hPa) días previos al evento del 06 de julio del 2002.

El agua precipitable exhibe valores superiores a 65mm sobre la región norte del Perú para el d-6 y para el d-1 (Figura 89), un día antes de la ocurrencia de las máximas precipitaciones observadas en las figuras anteriores. Además, las anomalías de agua precipitable son positivas para los siguientes días del mes de julio: 4-6, 8-10, 14-17 y del 22-25 (d-2 al d0, d+2 al d+4, d+8 al d+11 y del d+16 al d+19, Figura 90) lo cual coincide con los días previos y los mismos días de máximas precipitaciones sobre la cuenca norte mencionados en la

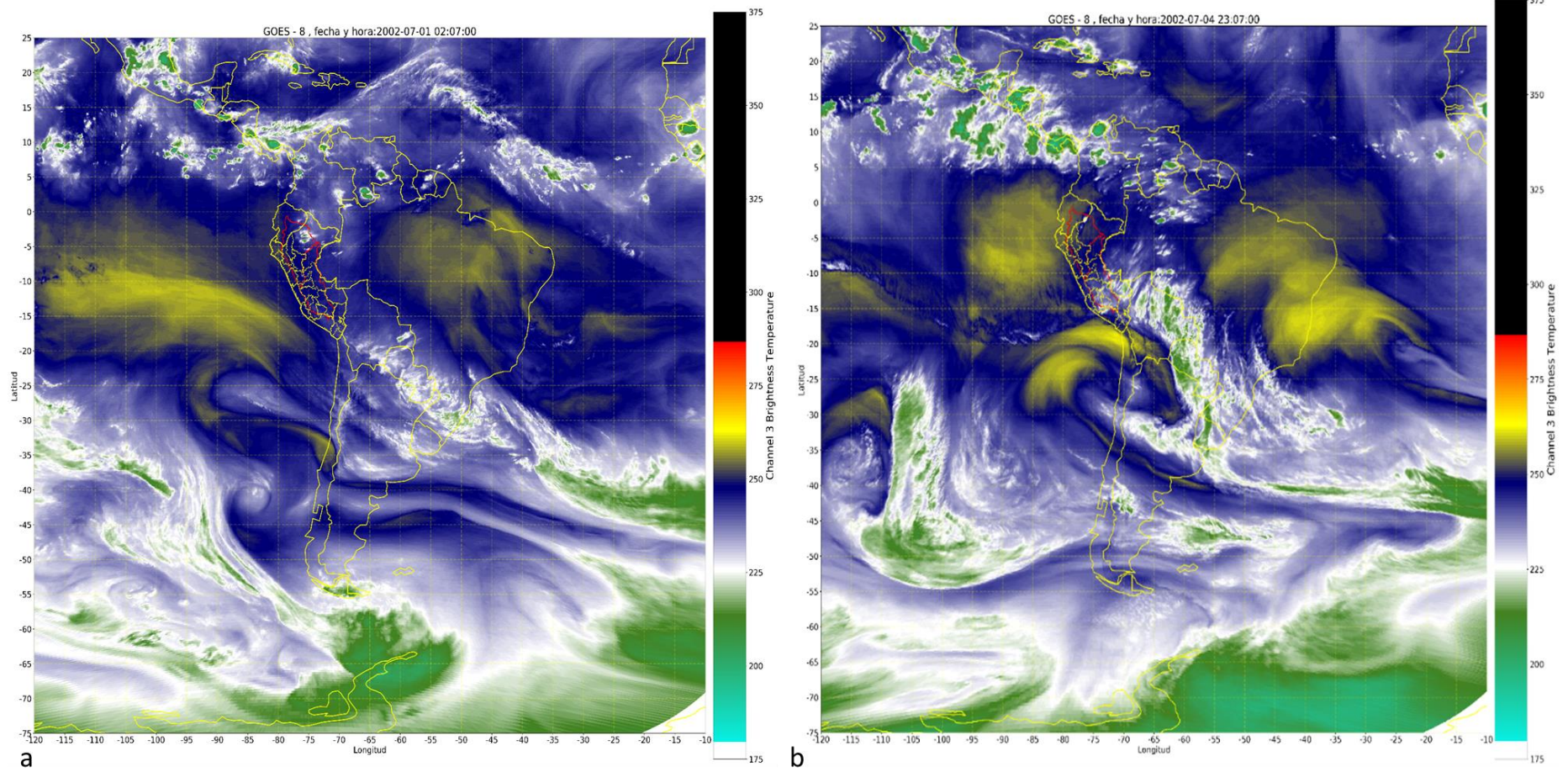
descripción de la Figura 84. Estos máximos de agua precipitable concuerdan con lo observado en la Figura 91 a y b donde para la misma región la escala de color se torna azul debido a una menor temperatura de brillo dado por la absorción en este espectro por una mayor cantidad de humedad (Knapp & Wilkins, 2018). Además, se corrobora la presencia de humedad observada con el canal 3 del GOES debido a que la región enmarcada por el agua precipitable no presenta topes nubosos que podrían interferir con la observación a excepción de una pequeña nubosidad sobre cuenca baja moviéndose hacia el sur (Figura 92 a y b).



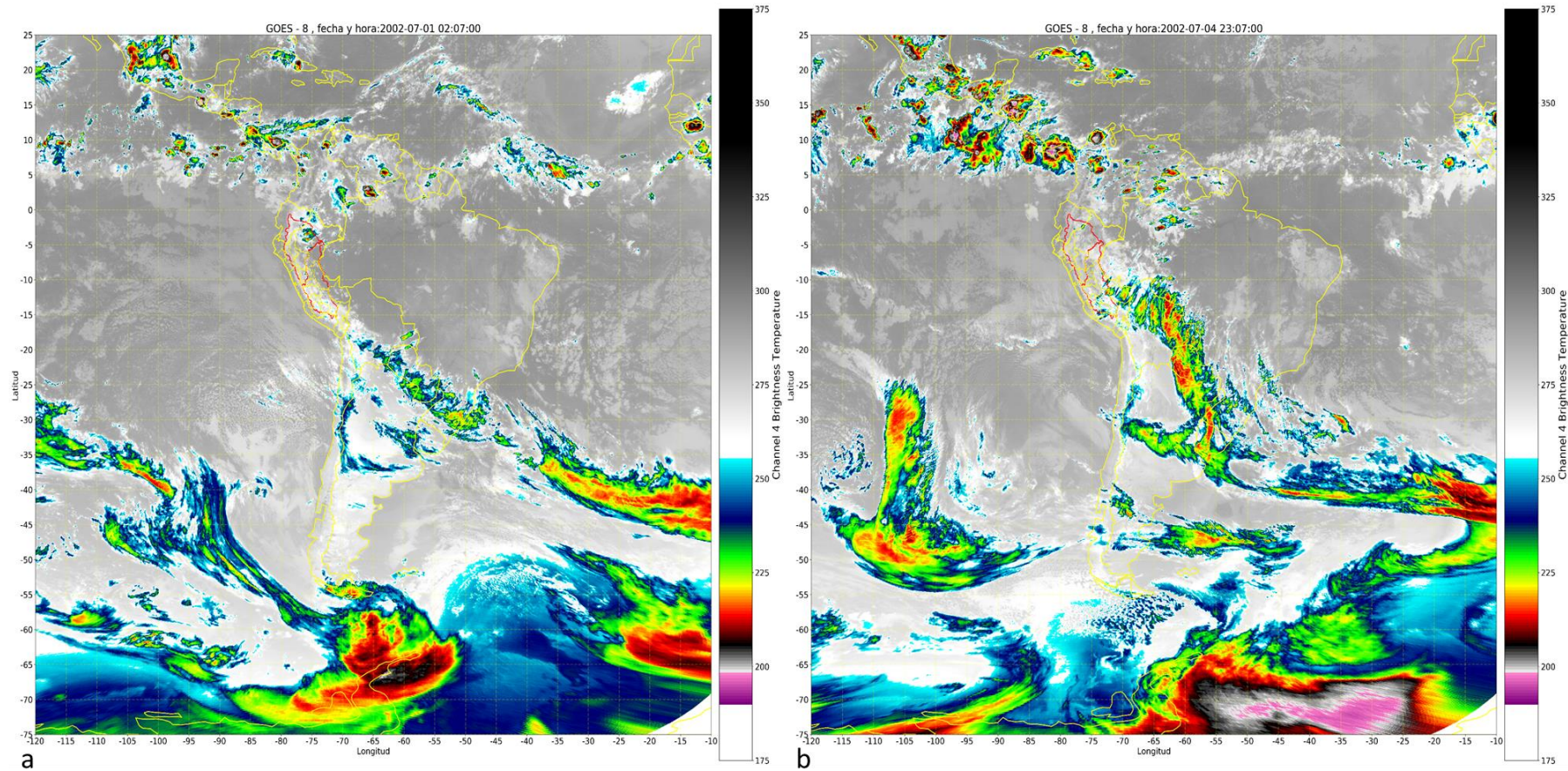
**Figura 89:** Agua precipitable ( $\text{kg m}^{-2}$ ) días previos al repiquete del 06 de julio del 2002.



**Figura 90:** Anomalías de agua precipitable promediada desde los  $10^{\circ}\text{S}$  hasta los  $2^{\circ}\text{N}$  desde el 26 de junio al 31 de julio del 2002.

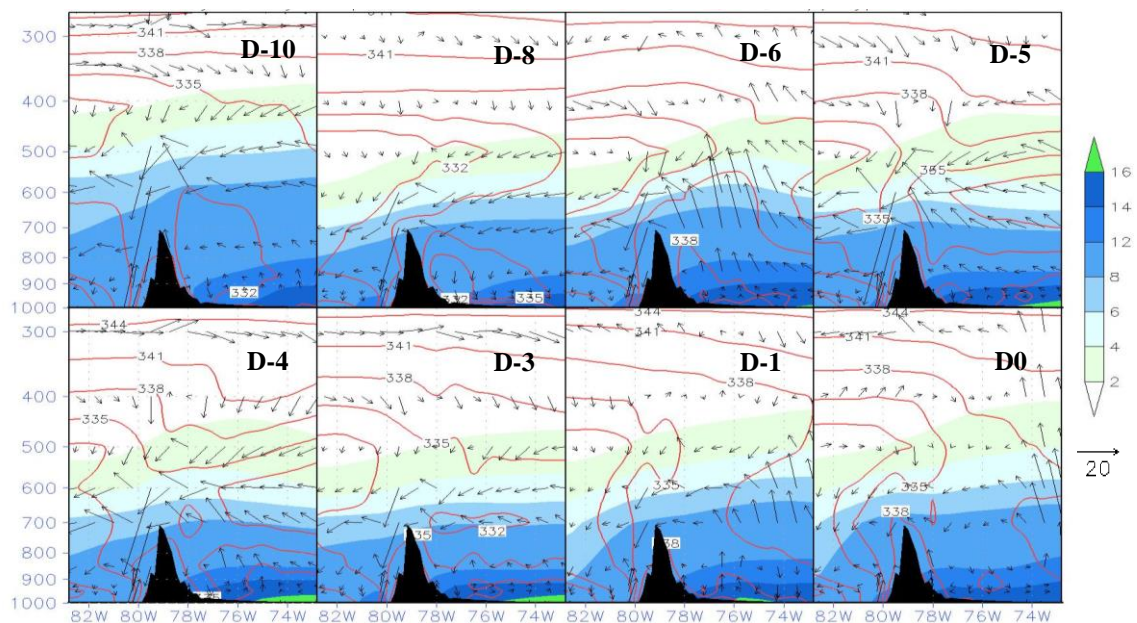


**Figura 91:** Imagen GOES 8 Temperatura de brillo del canal 3 / vapor de agua en niveles medios próximos al a) d-5 (01-07-2002) hora UTC y b) d-1 (05-07-2002) hora UTC.



**Figura 92:** Imágenes GOES 8 Temperatura de brillo del canal 4 / temperatura de superficie o topos de nube próximos al a) d-5 (01-07-2002) hora UTC y b) d-1 (05-07-2002) hora UTC.

Además de la humedad presente en la cuenca norte días antes y durante el evento de repiquete. El origen de las precipitaciones se relaciona a fuertes movimientos verticales principalmente el d-6 como ya se había mencionado al estudiar el *composites* de los repiquetes T1 sobre la región norte de la CT pero esta convección es mucho más intensa para este caso (ver la componente vertical de los vectores de viento en la Figura 93). Además, el d-1 también presenta fuertes movimientos verticales al este sobre los 73°W. Ambos resultados concuerdan con la precipitación observada un día después con los datos CHIRPS, TRMM y PISCO.



**Figura 93:** Variación longitudinal de la humedad específica (g/kg), de la temperatura potencial equiv. (K) y del vector resultante de la componente zonal y vertical del viento en la latitud de 3.25°S para d-10 hasta d0 del caso estudiado. En sombreado los valores de humedad específica. El valor de la velocidad vertical (cm/s) fue reescalado por cinco y el vector de referencia solo es válido para la componente zonal (m/s).



## V. CONCLUSIONES

Las conclusiones fueron abordadas según los objetivos específicos planteados:

1. El río Marañón presenta la mayor cantidad de repiquetes y sus magnitudes son mayores 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 repiquetes del río Ucayali registran las magnitudes más altas observadas durante el mes de octubre.

Ambos ríos confieren variabilidad a la duración de los repiquetes en el río Amazonas (2 a 62 días), además, por lo general el río Marañón es el precursor de los repiquetes en el río Amazonas con un día de retraso. Sin embargo, el aporte del río Ucayali a la magnitud de un evento aguas abajo después de iniciado el mismo es importante.

2. Las precipitaciones relacionadas a la ocurrencia de los repiquetes (T1 y T3) se presentan entre los 3 y 5 días antes del evento para los tres conjuntos de datos. A pesar que los datos de precipitación CHIRPS y TRMM muestran mayor similitud, el primero resalta mucho más la intensidad de las precipitaciones entre Perú y Ecuador y registra menores precipitaciones en la región sur en comparación con los datos PISCO y TRMM. Solo los datos de precipitación TRMM que ocurren el día 0, es decir, el mismo día del evento y sobre la cuenca baja pueden explicar la génesis de los repiquetes tipo TAM.

Un cambio de vientos meridionales en niveles bajos registrados días previos a la ocurrencia de repiquetes es asociado al ingreso de una circulación anticiclónica anómala al sur de Sudamérica sumado al ingreso de vientos húmedos del este sobre la región oriental de los Andes que favorecen las condiciones para la ocurrencia de precipitaciones al este de los Andes. Este cambio de vientos anómalos asociados a los días de mayor precipitación ocurre durante los días -5 a -3 para los tipos T1, T3 y SRE y durante los días -6 y -5 para los tipos T2 y REQ. Para el tipo TAM máxima precipitación registrada por TRMM no se asocia a cambios de vientos en bajos niveles pues estos se dan entre el día -8 y -6.

A un patrón de circulación similar al CP 3 donde se evidencia una incursión del sureste se le añaden flujos del noreste anormalmente más intensos durante los días donde la incursión ingresa a la cuenca Tamshiyacu se relaciona a la génesis de los repiquetes T3. Además, los índices V y EW podrían ser utilizados para el monitoreo de eventos T3, pero no representan adecuadamente eventos de repiquetes T1.

3. La incursión de vientos del sur entre los días -5 y -3 se asocia al paso de una alta presión en superficie alrededor de 30°S-60°O sobre el Sur de Sudamérica desde el día -6. Los días -6 y -5 reciben vientos húmedos del este en niveles bajos y estos flujos se mantienen hasta niveles medios debido a la presencia de una circulación anticiclónica. Además, los días de máxima convergencia en niveles bajos (próxima a  $-20 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ) concuerda con los días de máxima precipitación sobre la cuenca del Marañón, pero estas se encuentran desplazadas al este por la orografía y la resolución de los datos globales.
  
4. El repiquete tipo T1 (06 de julio del 2002) posee una magnitud superior a 2 metros y duración de 42 días. Los días de intensas precipitaciones TRMM dentro de la cuenca Tamshiyacu exhiben un ciclo de aproximadamente 5 días de máxima precipitación con flujos más intensos del sureste desde la selva centro hacia el norte y del este sobre el norte de la cuenca del Marañón. En niveles bajos el paso de una circulación anticiclónica sobre el sur de Sudamérica durante los días -6 y -1 es asociado con cambios en la circulación de gran escala sobre el centro y norte de Sudamérica propiciando la entrada de flujos del este sobre la región oriental de los Andes. Además, alrededor de 25°S la aparición de un vórtice ciclónico en niveles medios y altos con un espesor de 5500m<sub>g</sub>p que se relaciona a la ocurrencia de precipitaciones sobre la región sur de la cuenca del Ucayali en los días subsiguientes. Durante el evento se observan anomalías positivas de humedad en la región norte, antes y durante los días de máximas precipitaciones. Las subcuencas de mayor relevancia pertenecen a la cuenca baja del Marañón principalmente las cuencas del Tigre, Pastaza, Morona hacia aguas abajo y en la cuenca del Ucayali resaltan las intercuencas antes de la confluencia.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- El quiebre en el nivel del río registrado en el año 2011, también se puede observar en los caudales y a una escala mensual con mayor significancia en la estación San Regis en comparación con Tamshiyacu debido a la influencia que esta última posee de las regiones sur. Por lo tanto, sería posible buscar algún cambio asociado en la circulación atmosférica o mayores flujos de humedad sobre la región norte dado para la misma época.
- Utilizar estaciones aguas arriba de la estación San Regis (río Marañón) para analizar cómo es que la variación de estos afectan a los repiquetes originados en este río y de ser posible utilizar altimetría satelital donde se carece de información.
- Indagar en el estudio de casos con datos de TRMM de nivel 2 que visualizan la estructura de la precipitación. Ello podría ayudar a comprender cuál es la razón de que los datos TRMM podrían representar mejor la precipitación asociada a los tipos TAM.
- Probablemente sea necesario definir un mayor umbral para la cuenca del Ucayali si se desea obtener mejores relaciones entre el nivel del río y las condiciones atmosféricas días previos.
- El uso de información batimétrica y topografía de las zonas de cultivo en combinación con softwares de modelamiento hidráulico podría utilizarse para identificar áreas de inundación de zonas específicas de los ríos amazónicos.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Abad, J. D., Vizcarra, J., Paredes, J., Montoro, H., Frias, C., & Holguin, C. (2013). Morphodynamics of the upper Peruvian Amazonian rivers , implications into fluvial transportation. *International Conference IDS2013 - Amazonia, July*, 1–10.
- Alexandersson, H. (1986). A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology*, 6(6), 661–675. <https://doi.org/10.1002/joc.3370060607>
- ANA. (2012). Delimitacion y codificacion de unidades hidrograficas del Perú. In *Dirección De Conservación Y Planeamiento De Los Recurso Hídricos*.
- Aragão, L. E. O. C. (2012). Environmental science: The rainforest's water pump. *Nature*, 489(7415), 217–218. <https://doi.org/10.1038/nature11485>
- Arias, P. A., Fu, R., Vera, C. S., & Rojas, M. (2015). A correlated shortening of the North and South American monsoon seasons in the past few decades. *Climate Dynamics*, 45(11–12), 3183–3203. <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2533-1>
- Armijos, E. (2010). *Cuantificación de flujos sedimentarios de las cuencas Amazónicas de Perú*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Aybar, C., Fernández, C., Huerta, A., Lavado, W., Vega, F., & Felipe-Obando, O. (2019). Construction of a high-resolution gridded rainfall dataset for Peru from 1981 to the present day. *Hydrological Sciences Journal*, 0(0), 1. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1649411>
- Buishand, T. A. (1984). Tests for detecting a shift in the mean of hydrological time series. *Ojs-2*, 73, 173–176.
- Carvalho, L., & Cavalcanti, I. F. A. (2016). The South American Monsoon System (SAMS). In *The Monsoons and Climate Change* (Springer C, pp. 121–148). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-21650-8\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-21650-8_6)

- Carvalho, L. M. V., Jones, C., & Liebmann, B. (2002). Extreme precipitation events in southeastern South America and large-scale convective patterns in the South Atlantic convergence zone. *Journal of Climate*, 15(17), 2377–2394. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<2377:EPEISS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<2377:EPEISS>2.0.CO;2)
- Chow, V. Te, Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada*. McGraw-Hill.
- Cohen, J. C. P., & Gandu, A. W. (2012). Linha de instabilidade continental na Amazônia. *XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, September*, 3745–3751.
- Cohen, J. C. P., Silva Dias, M. A. F., & Nobre, C. A. (1995). *Environmental Conditions Associated with Amazonian Squall Lines: A Case Study*. 93.
- 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>
- Duchon, C. E. (1979). Lanczos Filtering in One and Two Dimensions. In *Journal of applied meteorology* (Vol. 18, Issue 8, pp. 1016–1022). [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1979\)018<1016:LFIOAT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1979)018<1016:LFIOAT>2.0.CO;2)
- Espinoza, J. C., Chavez, S., Ronchail, J., Junquas, C., Takahashi, K., & Lavado, W. (2015). Rainfall hotspots over the southern tropical Andes: Spatial distribution, rainfall intensity, and relations with large-scale atmospheric circulation. *Water Resources Research*, 2498–2514. <https://doi.org/10.1002/2015WR017200.A>
- Espinoza, J. C., Guyot, J. L., Ronchail, J., Cochonneau, G., Filizola, N., Fraizy, P., Labat, D., de Oliveira, E., Ordoñez, J. J., & Vauchel, P. (2009). Contrasting regional discharge evolutions in the Amazon basin (1974-2004). *Journal of Hydrology*, 375(3–4), 297–311. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.03.004>
- Espinoza, J. C., Lengaigne, M., Ronchail, J., & Janicot, S. (2012). Large-scale circulation patterns and related rainfall in the Amazon Basin: A neuronal networks approach. *Climate Dynamics*, 38(1–2), 121–140. <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1010-8>
- Espinoza, J. C., Ronchail, J., Frappart, F., Lavado, W., Santini, W., & Guyot, J. L. (2013).

The Major Floods in the Amazonas River and Tributaries (Western Amazon Basin) during the 1970-2012 Period: A Focus on the 2012 Flood. *Journal of Hydrometeorology*, 14(3), 1000–1008. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-12-0100.1>

Espinoza, J. C., Ronchail, J., Guyot, J. L., Cochonneau, G., Naziano, F., Lavado, W., de Oliveira, E., Pombosa, R., & Vauchel, P. (2009). Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador). *International Journal of Climatology*, 29(11), 1574–1594. <https://doi.org/10.1002/joc.1791>

Espinoza, J. C., Ronchail, J., Guyot, J. L., Junquas, C., Vauchel, P., Lavado, W., Drapeau, G., & Pombosa, R. (2011). Climate variability and extreme drought in the upper Solimões River (western Amazon Basin): Understanding the exceptional 2010 drought. *Geophysical Research Letters*, 38(13), 1–6. <https://doi.org/10.1029/2011GL047862>

Espinoza, J. C., Ronchail, J., Lengaigne, M., Quispe, N., Silva, Y., Bettolli, M. L., Avalos, G., & 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>

Espinoza, J. C., Ronchail, J., Marengo, J. A., & Segura, H. (2018). Contrasting North–South changes in Amazon wet-day and dry-day frequency and related atmospheric features (1981–2017). *Climate Dynamics*. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4462-2>

Espinoza, J. C., Segura, H., Ronchail, J., Drapeau, G., & Gutierrez-Cori, O. (2016). Evolution of wet-day and dry-day frequency in the western Amazon basin: Relationship with atmospheric circulation and impacts on vegetation. *Water Resources Research*, 52(11), 8546–8560. <https://doi.org/10.1002/2016WR019305>

Figuerola, S. N., & Nobre, C. A. (1990). *PRECIPITATION DISTRIBUTION OVER CENTRAL AND WESTERN TROPICAL SOUTH AMERICA*. 5, 36–45.

Flores-Rojas, J. L., Moya-Alvarez, A. S., Kumar, S., Martinez-Castro, D., Villalobos-Puma, E., & Silva-Vidal, Y. (2019). Analysis of possible triggering mechanisms of severe thunderstorms in the tropical central Andes of Peru, Mantaro Valley. *Atmosphere*,

10(6). <https://doi.org/10.3390/atmos10060301>

- Frappart, F., Papa, F., Güntner, A., Tomasella, J., Pfeffer, J., Ramillien, G., Emilio, T., Schietti, J., Seoane, L., da Silva Carvalho, J., Medeiros Moreira, D., Bonnet, M. P., & Seyler, F. (2019). The spatio-temporal variability of groundwater storage in the Amazon River Basin. *Advances in Water Resources*, 124(December 2018), 41–52. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2018.12.005>
- 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>
- García 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\\_natali\\_a1.pdf](https://cienciagora.universia.net.co/imgs2011/imagenes/tesis_tortugas_charapa_natali_a1.pdf)
- Garreaud, R., Vuille, M., Compagnucci, R., & Marengo, J. A. (2009). Present-day South American climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 281(3–4), 180–195. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.10.032>
- Holton, J. R. (2004). An introduction to dynamic meteorology: Fifth edition. In *An Introduction to Dynamic Meteorology: Fifth Edition* (Vol. 9780123848). <https://doi.org/10.1016/C2009-0-63394-8>
- 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>
- Jones, C., & Carvalho, L. M. V. (2002). Active and break phases in the South American monsoon system. *Journal of Climate*, 15(8), 905–914. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<0905:AABPIT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<0905:AABPIT>2.0.CO;2)

- Junk, W. J. (2001). *Sustainable use of the Amazon River floodplain: Problems and possibilities*, *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 4:3, 225-233. 768372013, 37–41. <https://doi.org/10.1080/146349801753509122>
- Kiladis, G. N., Wheeler, M. C., Haertel, P. T., Straub, K. H., & Roundy, P. E. (2009). *Convectively Coupled Equatorial Waves in Reanalysis Data*. 2008, 1–22. <https://doi.org/10.1029/2008RG000266.1.HISTORICAL>
- Knapp, K. R., & Wilkins, S. L. (2018). Gridded Satellite (GridSat) GOES and CONUS data. *Earth System Science Data*, 10(3), 1417–1425. <https://doi.org/10.5194/essd-10-1417-2018>
- 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>
- Laraque, A., Ronchail, J., Cochonneau, G., Pombosa, R., & Guyot, J. L. (2007). Heterogeneous distribution of rainfall and discharge regimes in the Ecuadorian Amazon basin. *Journal of Hydrometeorology*, 8(6), 1364–1381. <https://doi.org/10.1175/2007JHM784.1>
- Lee, L. J. E., Lawrence, D. S. L., & Price, M. (2006). Analysis of water-level response to rainfall and implications for recharge pathways in the Chalk aquifer, SE England. *Journal of Hydrology*, 330(3–4), 604–620. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.04.025>
- Lichtenstein, E. R. (1980). *La depresión del Noroeste argentino*. Universidad de Buenos Aires.
- 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 en la llanura inundable del río Amazonas cerca de Iquitos, Perú*. 28(1), 19–32.
- Liu, W. T., & Xie, X. (2002). Double intertropical convergence zones-a new look using scatterometer. *Geophysical Research Letters*, 29(22), 29-1-29-4. <https://doi.org/10.1029/2002gl015431>
- Marengo, J. A. (1983). Estudio Sinoptico-Climatico De Los Friajes (Friagem) En La Amazonia Peruana. *Revista Forestal Del Perú*, 12(1-2), 1–26. [http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos\\_RFP/Vol12\\_no1-2\\_84\\_\(16\)/vol12\\_art5.pdf](http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol12_no1-2_84_(16)/vol12_art5.pdf)
- Marengo, J. A., Soares, W. R., Saulo, C., & Nicolini, M. (2004). Climatology of the low-level jet east of the Andes as derived from the NCEP-NCAR reanalyses: Characteristics and temporal variability. *Journal of Climate*, 17(12), 2261–2280. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<2261:COTLJE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<2261:COTLJE>2.0.CO;2)
- Marzano, E. M. V. (2018). *Comportamiento del caudal y la precipitación en la cuenca de los ríos Tarma y Tulumayo por efecto de la incursión de frentes fríos - friajes*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Mayta, V. C., Ambrizzi, T., Espinoza, J. C., & Silva Dias, P. L. (2018). The role of the Madden–Julian oscillation on the Amazon Basin intraseasonal rainfall variability. *International Journal of Climatology*, 39(1), 343–360. <https://doi.org/10.1002/joc.5810>
- Mayta, V. C., Silva, N. P., Ambrizzi, T., Silva, P. L., Jhan, D., & Espinoza, J. C. (2020). Assessing the skill of all - season diverse Madden – Julian oscillation indices for the intraseasonal Amazon precipitation. *Climate Dynamics*. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05202-9>
- 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>
- Mialocq, L., Acuna, M., Seyler, F., Yerren, J., & Guyot, J. (2010). Extraction of the topographic limits of the Andean and Amazonian river basins by SRTM. *Isotope Tracers and Remote Sensing Techniques for Assessing Water Cycle Variability, VII Th.*

- IAHS Scientific Assembly, Foz Do Igua,Cu, 3-9 April.  
[https://www.researchgate.net/publication/271964792\\_Extraction\\_of\\_the\\_topographic\\_limits\\_of\\_the\\_Andean\\_and\\_Amazonian\\_river\\_basins\\_by\\_SRTM](https://www.researchgate.net/publication/271964792_Extraction_of_the_topographic_limits_of_the_Andean_and_Amazonian_river_basins_by_SRTM)
- MINAGRI. (2012). *El arroz. Principales Aspectos de la Cadena Productiva*.  
[http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/agroeconomia/agroeconomia\\_arroz3.pdf](http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/agroeconomia/agroeconomia_arroz3.pdf)
- Paccini, L. (2016). *Patrones de circulación atmosférica intraestacionales de macroescala en bajos niveles asociados a lluvias en la Cuenca Amazónica*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Paccini, L., Espinoza, J. C., Ronchail, J., & Segura, H. (2017). Intra-seasonal rainfall variability in the Amazon basin related to large-scale circulation patterns: a focus on western Amazon–Andes transition region. *International Journal of Climatology*, 38(5), 2386–2399. <https://doi.org/10.1002/joc.5341>
- Pettitt. (1979). A Non-parametric to the Approach Problem. *Applied Statistics*, 28(2), 126–135.
- Quispe, K. (2019). *Patrones sinópticos de una DANA asociados a la ocurrencia de nevadas en la sierra central y sur del Perú*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Rhett A. Butler (2012). Amazon deforestation could trigger drop in rainfall across South America: Mongabay. Recuperado de <https://news.mongabay.com/2012/09/amazon-deforestation-could-trigger-drop-in-rainfall-across-south-america/>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.11.008>
- Sampaio, G., Nobre, C., Costa, M. H., Satyamurty, P., Soares-Filho, B. S., & Cardoso, M. (2007). Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. *Geophysical Research Letters*, 34(17). <https://doi.org/10.1029/2007GL030612>

- Santos, E. B., Lucio, P. S., & Santos e Silva, C. M. (2015). Synoptic patterns of atmospheric circulation associated with intense precipitation events over the Brazilian Amazon. *Theoretical and Applied Climatology*, 128(1–2), 343–358. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1712-7>
- Satyamurty, P., Nobre, C. A., & Silva Dias, P. L. (1998). South America. In *Meteorology of the Southern Hemisphere*. D. Karoly, D. Vincent. Eds., *Meteorological Monographs, American Meteorological Society* (Vol. 49, pp. 119–139). American Meteorological Society. <https://doi.org/10.1175/0065-9401-27.49.1>
- Saulo, C., Ferreira, L., J., M., & M., S. (2004). Description of the Chaco Low characteristics using SALLJEX special observations. *CLIVAR Exchanges - SALLJEX*, 9 No.1(29), 9–10. [http://eprints.soton.ac.uk/19310/1/ex\\_29.pdf](http://eprints.soton.ac.uk/19310/1/ex_29.pdf)
- 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>
- Silva Dias, P. L., Schubert, W. H., & Demaria, M. (1983). Large-scale response of the tropical atmosphere to transient convection. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 40(11), 2689–2707. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1983\)040<2689:LSROTT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1983)040<2689:LSROTT>2.0.CO;2)
- Spracklen, D. V., Arnold, S. R., & Taylor, C. M. (2012). Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests. *Nature*, 489(7415), 282–285. <https://doi.org/10.1038/nature11390>
- Tetens, O. 1930. Uber einige meteorologische Begriffe. *Z. Geophys.* 6. 297–309.
- Tsonis, A. A. (2007). An Introduction to Atmospheric Thermodynamics. In *Cambridge University Press* (Vol. 111, Issue 479).
- Velasco, I., & Fritsch, J. M. (1987). Mesoscale convective complexes in the Americas. *Journal of Geophysical Research*, 92(D8), 9591–9613. <https://doi.org/10.1029/JD092iD08p09591>

- Vera, C. S., Higgins, W., Amador, J., Ambrizzi, T., Garreaud, R., Gochis, D., Gutzler, D., Lettenmaier, D., Marengo, J. A., Mechoso, C. R., Nogues-Paegle, J., Silva Dias, P. L., & Zhang, C. (2006). Toward a unified view of the American monsoon systems. *Journal of Climate*, *19*(20), 4977–5000. <https://doi.org/10.1175/JCLI3896.1>
- Wang, H., & Fu, R. (2002). Cross-equatorial flow and seasonal cycle of precipitation over South America. *Journal of Climate*, *15*(13), 1591–1608. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<1591:CEFASC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<1591:CEFASC>2.0.CO;2)
- Zubieta, R., Getirana, A., Espinoza, J. C., & Lavado, W. (2015). Impacts of satellite-based precipitation datasets on rainfall-runoff modeling of the Western Amazon basin of Peru and Ecuador. *Journal of Hydrology*, *528*, 599–612. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.06.064>
- Zulkafli, Z., Buytaert, W., Onof, C., Manz, B., Tarnavsky, E., Lavado, W., & Guyot, J. L. (2014). A comparative performance analysis of TRMM 3B42 (TMPA) versions 6 and 7 for hydrological applications over Andean-Amazon river basins. *Journal of Hydrometeorology*, *15*(2), 581–592. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-13-094.1>

## VIII. ANEXOS

Anexo 1: Repiquetes en el río Amazonas - Estación Tamshiyacu

<b>N</b>	<b>fecha (inicio)</b>	<b>fecha (pico)</b>	<b>fecha (fin)</b>	<b>magnitud</b>	<b>duración</b>	<b>cota (inicio)</b>	<b>id</b>
1	5/15/1996	5/17/1996	5/23/1996	8	8	8901	in
2	6/28/1996	7/5/1996	7/9/1996	25	11	8388	in
3	7/15/1996	7/18/1996	7/21/1996	15	6	8247	in
4	7/22/1996	8/15/1996	8/30/1996	109	39	8230	in
5	9/3/1996	9/5/1996	9/7/1996	17	4	8203	in
6	9/7/1996	9/9/1996	9/11/1996	14	4	8195	in
7	9/14/1996	9/18/1996	9/18/1996	35	4	8179	out
8	5/12/1997	5/13/1997	5/14/1997	1	2	8949	in
9	7/27/1997	8/1/1997	8/5/1997	51	9	8150	in
10	8/7/1997	8/16/1997	9/9/1997	244	33	8135	in
11	9/16/1997	9/24/1997	9/24/1997	146	8	8063	out
12	6/24/1998	7/3/1998	7/11/1998	128	17	8465	in
13	7/16/1998	7/18/1998	7/20/1998	7	4	8345	in
14	8/27/1998	9/7/1998	9/15/1998	52	19	8089	in
15	9/16/1998	9/22/1998	9/25/1998	18	9	8082	in
16	9/27/1998	9/29/1998	10/1/1998	6	4	8065	in
17	10/7/1998	10/18/1998	10/18/1998	87	11	8009	out
18	7/27/1999	7/31/1999	8/6/1999	18	10	8475	in
19	8/13/1999	8/22/1999	8/25/1999	60	12	8315	in
20	9/15/1999	10/5/1999	10/5/1999	231	20	8065	out
21	6/16/2000	6/24/2000	6/29/2000	4	13	8848	in
22	7/30/2000	7/31/2000	8/1/2000	1	2	8677	in
23	8/13/2000	8/15/2000	8/17/2000	4	4	8547	in
24	9/17/2000	10/4/2000	10/4/2000	241	17	8201	out
25	5/3/2001	5/4/2001	5/5/2001	1	2	8960	in
26	7/12/2001	7/27/2001	7/31/2001	29	19	8504	in
27	8/13/2001	8/14/2001	8/15/2001	1	2	8301	in
28	8/24/2001	8/28/2001	9/8/2001	71	15	8177	in
29	9/9/2001	9/20/2001	9/20/2001	169	11	8175	out
30	7/6/2002	7/24/2002	8/17/2002	234	42	8431	in
31	9/4/2002	9/10/2002	9/17/2002	74	13	8278	in
32	9/25/2002	9/27/2002	9/29/2002	5	4	8167	in
33	10/1/2002	10/7/2002	10/7/2002	21	6	8155	out
34	6/4/2003	6/10/2003	6/16/2003	11	12	8886	in
35	6/27/2003	7/1/2003	7/5/2003	7	8	8813	in
36	8/12/2003	8/18/2003	8/27/2003	86	15	8346	in

Continuación del Anexo 1

37	8/29/2003	9/1/2003	9/4/2003	23	6	8326	in
38	9/13/2003	9/18/2003	9/18/2003	148	5	8163	out
39	5/31/2004	6/3/2004	6/8/2004	8	8	8695	in
40	6/17/2004	6/23/2004	7/1/2004	24	14	8676	in
41	7/11/2004	7/13/2004	7/17/2004	4	6	8623	in
42	8/23/2004	9/5/2004	9/30/2004	175	38	8192	in
43	10/5/2004	10/16/2004	10/17/2004	235	12	8171	out
44	6/2/2005	6/15/2005	7/7/2005	106	35	8513	in
45	7/11/2005	7/13/2005	7/15/2005	7	4	8435	in
46	7/22/2005	7/27/2005	8/5/2005	64	14	8286	in
47	8/14/2005	8/16/2005	8/17/2005	18	3	8154	in
48	8/24/2005	8/25/2005	8/27/2005	9	3	8056	in
49	8/30/2005	9/2/2005	9/4/2005	8	5	8027	in
50	9/6/2005	9/17/2005	9/17/2005	89	11	8011	out
51	6/4/2006	6/8/2006	7/2/2006	46	28	8465	in
52	7/7/2006	7/8/2006	7/10/2006	1	3	8433	in
53	7/18/2006	7/22/2006	7/26/2006	40	8	8296	in
54	8/5/2006	8/29/2006	9/7/2006	72	33	8151	in
55	9/11/2006	9/18/2006	9/21/2006	22	10	8123	in
56	9/22/2006	9/26/2006	9/29/2006	17	7	8116	in
57	9/29/2006	10/6/2006	10/6/2006	135	7	8113	out
58	6/15/2007	6/19/2007	6/24/2007	18	9	8586	in
59	6/26/2007	6/28/2007	7/1/2007	7	5	8569	in
60	7/17/2007	7/22/2007	8/8/2007	93	22	8282	in
61	8/15/2007	8/19/2007	8/28/2007	70	13	8149	in
62	9/1/2007	9/8/2007	9/8/2007	108	7	8082	out
63	6/3/2008	6/7/2008	6/11/2008	19	8	8652	in
64	6/17/2008	7/2/2008	7/10/2008	129	23	8502	in
65	7/14/2008	7/17/2008	7/24/2008	19	10	8421	in
66	8/10/2008	8/16/2008	8/19/2008	23	9	8284	in
67	8/27/2008	8/30/2008	9/2/2008	4	6	8128	in
68	9/6/2008	9/23/2008	9/23/2008	232	17	8105	out
69	5/9/2009	5/10/2009	5/11/2009	1	2	9006	in
70	5/17/2009	5/18/2009	5/20/2009	2	3	9001	in
71	7/1/2009	7/5/2009	7/7/2009	8	6	8696	in
72	7/14/2009	7/15/2009	7/16/2009	2	2	8665	in
73	7/29/2009	7/31/2009	8/3/2009	8	5	8522	in
74	8/14/2009	8/18/2009	8/21/2009	38	7	8350	in
75	8/26/2009	9/2/2009	9/10/2009	81	15	8265	in
76	9/15/2009	9/17/2009	9/20/2009	22	5	8182	in
77	9/21/2009	10/7/2009	10/7/2009	137	16	8166	out
78	6/1/2010	6/2/2010	6/3/2010	1	2	8737	in

Continuación del Anexo 1

79	6/30/2010	7/2/2010	7/5/2010	14	5	8404	in
80	7/12/2010	7/23/2010	7/29/2010	135	17	8331	in
81	8/1/2010	8/4/2010	8/13/2010	40	12	8275	in
82	9/5/2010	9/15/2010	9/15/2010	130	10	7964	out
83	6/15/2011	6/18/2011	6/20/2011	8	5	8695	in
84	6/29/2011	7/13/2011	7/23/2011	104	24	8568	in
85	8/9/2011	8/10/2011	8/12/2011	2	3	8335	in
86	8/28/2011	8/30/2011	9/2/2011	11	5	8107	in
87	9/4/2011	9/8/2011	9/9/2011	59	5	8097	out
88	6/27/2012	7/7/2012	7/19/2012	112	22	8462	in
89	7/21/2012	7/25/2012	7/28/2012	47	7	8436	in
90	8/18/2012	8/22/2012	8/27/2012	32	9	8163	in
91	8/30/2012	9/5/2012	9/18/2012	131	19	8138	in
92	9/26/2012	10/4/2012	10/4/2012	131	8	8067	out
93	5/25/2013	5/27/2013	5/31/2013	6	6	8792	in
94	6/12/2013	6/19/2013	6/24/2013	23	12	8735	in
95	7/11/2013	7/16/2013	7/25/2013	62	14	8541	in
96	7/29/2013	7/31/2013	8/2/2013	13	4	8482	in
97	8/10/2013	8/22/2013	8/30/2013	88	20	8391	in
98	8/31/2013	9/4/2013	9/8/2013	56	8	8390	in
99	9/18/2013	9/26/2013	9/26/2013	125	8	8230	out
100	5/7/2014	5/8/2014	5/9/2014	2	2	8997	in
101	5/17/2014	5/18/2014	5/19/2014	1	2	8988	in
102	6/20/2014	6/23/2014	6/27/2014	7	7	8785	in
103	7/11/2014	7/15/2014	7/17/2014	17	6	8590	in
104	7/23/2014	7/27/2014	7/31/2014	28	8	8464	in
105	8/2/2014	8/3/2014	8/4/2014	3	2	8455	in
106	8/11/2014	8/19/2014	8/25/2014	85	14	8359	in
107	9/2/2014	9/6/2014	9/13/2014	42	11	8256	in
108	9/16/2014	9/30/2014	9/30/2014	110	14	8223	out
109	5/11/2015	5/14/2015	5/19/2015	8	8	9088	in
110	5/30/2015	5/31/2015	6/1/2015	1	2	9064	in
111	8/3/2015	8/5/2015	8/6/2015	5	3	8599	in
112	8/15/2015	8/20/2015	8/23/2015	48	8	8420	in
113	9/1/2015	9/10/2015	9/16/2015	61	15	8249	in
114	9/23/2015	9/26/2015	10/1/2015	9	8	8141	in
115	10/3/2015	10/11/2015	10/11/2015	136	8	8125	out
116	5/23/2016	6/3/2016	6/9/2016	40	17	8775	in
117	6/27/2016	6/29/2016	7/1/2016	2	4	8593	in
118	7/3/2016	7/5/2016	7/7/2016	6	4	8589	in
119	7/12/2016	7/15/2016	7/18/2016	20	6	8500	in
120	8/1/2016	8/5/2016	8/10/2016	50	9	8284	in

Continuación del Anexo 1

121	8/12/2016	8/18/2016	8/22/2016	44	10	8264	in
122	9/4/2016	9/12/2016	9/12/2016	97	8	8129	out
123	5/3/2017	5/4/2017	5/6/2017	1	3	8982	in
124	5/10/2017	5/11/2017	5/15/2017	5	5	8976	in
125	6/20/2017	6/22/2017	6/23/2017	6	3	8761	in
126	7/22/2017	7/25/2017	7/28/2017	45	6	8333	in
127	7/30/2017	8/1/2017	8/3/2017	15	4	8290	in
128	8/21/2017	8/29/2017	8/29/2017	193	8	8097	out
129	5/15/2018	5/17/2018	5/19/2018	2	4	8870	in
130	5/19/2018	5/22/2018	5/29/2018	11	10	8869	in
131	6/9/2018	6/13/2018	6/17/2018	13	8	8817	in
132	7/15/2018	8/28/2018	9/14/2018	180	61	8241	in
133	9/27/2018	9/28/2018	9/29/2018	1	2	8100	in
134	10/3/2018	10/22/2018	10/22/2018	245	19	8084	out



Anexo 2: Repiquetes en el río Marañón - Estación San Regis

<b>N</b>	<b>fecha (inicio)</b>	<b>fecha (pico)</b>	<b>fecha (fin)</b>	<b>magnitud</b>	<b>duración</b>	<b>cota (inicio)</b>	<b>id</b>
1	5/18/1996	5/19/1996	5/20/1996	1	2	9570	in
2	6/5/1996	6/8/1996	6/10/1996	8	5	9434	in
3	6/26/1996	7/4/1996	7/8/1996	58	12	9117	in
4	7/14/1996	7/17/1996	7/21/1996	44	7	8963	in
5	7/21/1996	8/5/1996	9/1/1996	181	42	8955	in
6	9/1/1996	9/4/1996	9/9/1996	61	8	8954	in
7	9/11/1996	9/17/1996	9/17/1996	45	6	8925	out
8	5/9/1997	5/11/1997	5/14/1997	2	5	9582	in
9	5/18/1997	5/20/1997	5/25/1997	4	7	9579	in
10	5/31/1997	6/2/1997	6/4/1997	3	4	9575	in
11	7/5/1997	7/6/1997	7/8/1997	5	3	9202	in
12	7/26/1997	7/31/1997	8/4/1997	62	9	8878	in
13	8/6/1997	8/14/1997	9/8/1997	302	33	8843	in
14	9/11/1997	10/2/1997	10/17/1997	309	36	8819	in
15	10/18/1997	10/23/1997	10/23/1997	69	5	8808	out
16	6/5/1998	6/7/1998	6/9/1998	6	4	9378	in
17	6/16/1998	6/19/1998	6/21/1998	44	5	9197	in
18	6/22/1998	7/1/1998	7/11/1998	200	19	9178	in
19	7/14/1998	7/17/1998	7/19/1998	32	5	9080	in
20	7/26/1998	7/29/1998	8/1/1998	15	6	9000	in
21	8/14/1998	8/15/1998	8/16/1998	2	2	8889	in
22	8/24/1998	8/29/1998	8/31/1998	41	7	8810	in
23	9/1/1998	9/5/1998	9/10/1998	60	9	8781	in
24	9/13/1998	9/16/1998	9/22/1998	46	9	8759	in
25	9/24/1998	9/27/1998	10/1/1998	35	7	8715	in
26	10/3/1998	10/7/1998	10/8/1998	33	5	8669	out
27	7/24/1999	7/30/1999	8/4/1999	16	11	9188	in
28	8/11/1999	8/21/1999	8/25/1999	107	14	9015	in
29	9/14/1999	9/17/1999	9/17/1999	26	3	8754	out
30	6/16/2000	6/17/2000	6/19/2000	2	3	9560	in
31	6/20/2000	6/28/2000	7/2/2000	6	12	9558	in
32	7/26/2000	7/30/2000	8/1/2000	10	6	9440	in
33	8/7/2000	8/9/2000	8/17/2000	18	10	9314	in
34	8/23/2000	8/25/2000	8/26/2000	10	3	9190	in
35	9/7/2000	9/10/2000	9/12/2000	11	5	8983	in
36	9/16/2000	10/2/2000	10/2/2000	298	16	8956	out
37	6/14/2001	6/19/2001	6/23/2001	7	9	9476	in
38	7/7/2001	7/25/2001	7/30/2001	51	23	9261	in
39	7/31/2001	8/2/2001	8/4/2001	14	4	9247	in
40	8/12/2001	8/14/2001	8/16/2001	34	4	9047	in
41	8/23/2001	8/27/2001	8/27/2001	139	4	8935	out

Continuación del Anexo 2

42	6/24/2002	6/25/2002	6/27/2002	3	3	9406	in
43	7/4/2002	7/21/2002	8/16/2002	248	43	9150	in
44	8/19/2002	8/22/2002	8/23/2002	5	4	9073	in
45	8/25/2002	8/26/2002	8/27/2002	2	2	9056	in
46	9/3/2002	9/8/2002	9/14/2002	116	11	8968	in
47	9/30/2002	10/3/2002	10/3/2002	28	3	8788	out
48	6/3/2003	6/9/2003	6/18/2003	20	15	9510	in
49	6/28/2003	7/1/2003	7/8/2003	7	10	9453	in
50	8/10/2003	8/16/2003	8/25/2003	111	15	9027	in
51	8/28/2003	9/1/2003	9/4/2003	67	7	9014	in
52	9/12/2003	9/17/2003	9/17/2003	246	5	8848	out
53	5/19/2004	5/22/2004	5/26/2004	7	7	9409	in
54	5/29/2004	6/20/2004	6/30/2004	38	32	9379	in
55	7/2/2004	7/3/2004	7/4/2004	1	2	9375	in
56	7/8/2004	7/11/2004	7/13/2004	8	5	9355	in
57	7/19/2004	7/21/2004	7/23/2004	3	4	9326	in
58	7/29/2004	7/31/2004	8/1/2004	4	3	9280	in
59	8/4/2004	8/5/2004	8/6/2004	2	2	9260	in
60	8/21/2004	8/26/2004	8/26/2004	115	5	8878	out
61	6/1/2005	6/21/2005	7/16/2005	193	45	9164	in
62	7/21/2005	7/26/2005	8/5/2005	140	15	8999	in
63	8/12/2005	8/14/2005	8/16/2005	19	4	8868	in
64	8/29/2005	9/1/2005	9/4/2005	26	6	8704	in
65	9/5/2005	9/21/2005	9/29/2005	185	24	8698	in
66	9/30/2005	10/4/2005	10/4/2005	51	4	8693	out
67	6/3/2006	6/7/2006	7/12/2006	138	39	9150	in
68	7/17/2006	7/21/2006	7/25/2006	107	8	9039	in
69	8/4/2006	8/7/2006	8/12/2006	95	8	8886	in
70	8/13/2006	8/26/2006	9/8/2006	126	26	8865	in
71	9/10/2006	9/12/2006	9/13/2006	8	3	8844	in
72	9/14/2006	9/17/2006	9/19/2006	17	5	8840	in
73	9/21/2006	9/24/2006	9/24/2006	77	3	8815	out
74	5/9/2007	5/10/2007	5/13/2007	2	4	9494	in
75	5/14/2007	5/16/2007	5/18/2007	2	4	9494	in
76	6/11/2007	6/19/2007	7/3/2007	67	22	9241	in
77	7/16/2007	7/21/2007	7/28/2007	164	12	8948	in
78	7/29/2007	8/1/2007	8/6/2007	129	8	8942	in
79	8/14/2007	8/18/2007	8/28/2007	147	14	8812	in
80	8/31/2007	9/6/2007	9/6/2007	186	6	8748	out
81	6/1/2008	6/6/2008	6/9/2008	18	8	9393	in
82	6/16/2008	7/1/2008	7/11/2008	213	25	9186	in
83	7/12/2008	7/16/2008	7/27/2008	51	15	9164	in

Continuación del Anexo 2

84	8/9/2008	8/15/2008	8/18/2008	45	9	9027	in
85	8/26/2008	8/29/2008	9/1/2008	18	6	8813	in
86	9/3/2008	9/15/2008	9/15/2008	293	12	8775	out
87	6/29/2009	7/4/2009	7/10/2009	29	11	9453	in
88	7/11/2009	7/14/2009	7/16/2009	10	5	9449	in
89	7/27/2009	7/31/2009	8/3/2009	46	7	9271	in
90	8/7/2009	8/17/2009	8/21/2009	84	14	9151	in
91	8/25/2009	9/1/2009	9/9/2009	126	15	9054	in
92	9/13/2009	9/16/2009	9/19/2009	53	6	8960	in
93	9/21/2009	10/1/2009	10/1/2009	107	10	8896	out
94	6/28/2010	7/1/2010	7/6/2010	45	8	9157	in
95	7/10/2010	7/22/2010	7/27/2010	190	17	9080	in
96	7/30/2010	8/10/2010	8/14/2010	139	15	8994	in
97	9/3/2010	9/12/2010	10/5/2010	188	32	8692	in
98	10/7/2010	10/18/2010	10/18/2010	190	11	8671	out
99	5/30/2011	6/3/2011	6/6/2011	29	7	9460	in
100	6/13/2011	6/18/2011	6/23/2011	59	10	9350	in
101	6/26/2011	7/12/2011	7/26/2011	163	30	9258	in
102	8/8/2011	8/10/2011	8/12/2011	18	4	9073	in
103	8/25/2011	8/28/2011	8/31/2011	27	6	8781	in
104	9/2/2011	9/7/2011	9/7/2011	141	5	8759	out
105	6/26/2012	7/6/2012	7/29/2012	203	33	9154	in
106	8/17/2012	8/21/2012	8/29/2012	90	12	8878	in
107	8/29/2012	9/3/2012	9/18/2012	221	20	8872	in
108	9/25/2012	10/2/2012	10/3/2012	218	8	8756	out
109	5/17/2013	5/27/2013	6/9/2013	53	23	9470	in
110	6/11/2013	6/18/2013	6/27/2013	44	16	9458	in
111	7/4/2013	7/5/2013	7/6/2013	1	2	9346	in
112	7/9/2013	7/15/2013	7/26/2013	98	17	9279	in
113	7/27/2013	7/30/2013	8/2/2013	47	6	9248	in
114	8/10/2013	8/20/2013	8/28/2013	104	18	9172	in
115	8/29/2013	9/2/2013	9/5/2013	58	7	9159	in
116	9/13/2013	9/15/2013	9/16/2013	5	3	8964	in
117	9/17/2013	9/25/2013	9/25/2013	225	8	8953	out
118	6/16/2014	6/23/2014	6/27/2014	36	11	9471	in
119	7/9/2014	7/14/2014	7/18/2014	76	9	9267	in
120	7/22/2014	7/25/2014	8/5/2014	58	14	9185	in
121	8/9/2014	8/18/2014	8/25/2014	135	16	9079	in
122	9/1/2014	9/5/2014	9/13/2014	82	12	8960	in
123	9/15/2014	9/22/2014	9/22/2014	116	7	8908	out
124	5/12/2015	5/14/2015	5/20/2015	7	8	9782	in
125	7/15/2015	7/17/2015	7/19/2015	7	4	9439	in

Continuación del Anexo 2

126	7/26/2015	7/27/2015	7/29/2015	4	3	9365	in
127	8/1/2015	8/4/2015	8/6/2015	23	5	9339	in
128	8/14/2015	8/18/2015	8/23/2015	90	9	9133	in
129	8/31/2015	9/10/2015	9/17/2015	141	17	8921	in
130	9/23/2015	9/26/2015	9/28/2015	30	5	8778	out
131	5/23/2016	6/2/2016	6/9/2016	35	17	9474	in
132	6/16/2016	6/17/2016	6/19/2016	2	3	9425	in
133	6/24/2016	7/4/2016	7/6/2016	16	12	9344	in
134	7/9/2016	7/10/2016	7/11/2016	14	2	9261	in
135	7/11/2016	7/14/2016	7/17/2016	29	6	9245	in
136	7/23/2016	7/24/2016	7/26/2016	1	3	9084	in
137	7/30/2016	8/4/2016	8/10/2016	88	11	9012	in
138	8/11/2016	8/16/2016	8/21/2016	82	10	8999	in
139	8/26/2016	8/27/2016	8/29/2016	10	3	8929	in
140	9/3/2016	9/7/2016	9/7/2016	168	4	8805	out
141	5/6/2017	5/7/2017	5/8/2017	1	2	9663	in
142	5/10/2017	5/11/2017	5/13/2017	1	3	9659	in
143	6/6/2017	6/11/2017	6/24/2017	20	18	9493	in
144	7/5/2017	7/7/2017	7/8/2017	2	3	9406	in
145	7/21/2017	7/24/2017	7/28/2017	115	7	9047	in
146	7/29/2017	7/31/2017	8/3/2017	52	5	9022	in
147	8/12/2017	8/13/2017	8/15/2017	2	3	8866	in
148	8/21/2017	8/27/2017	8/27/2017	279	6	8808	out
149	6/2/2018	6/3/2018	6/4/2018	7	2	9537	in
150	6/9/2018	6/12/2018	6/15/2018	7	6	9526	in
151	6/29/2018	7/1/2018	7/2/2018	10	3	9230	in
152	7/13/2018	7/28/2018	9/13/2018	211	62	8994	in
153	9/20/2018	9/27/2018	9/30/2018	17	10	8841	in
154	10/3/2018	10/14/2018	10/15/2018	290	12	8804	out

Anexo 3: Repiquetes en el río Ucayali - Estación Requena

<b>N</b>	<b>fecha (inicio)</b>	<b>fecha (pico)</b>	<b>fecha (fin)</b>	<b>magnitud</b>	<b>duración</b>	<b>cota (inicio)</b>	<b>id</b>
1	8/3/1996	8/7/1996	8/13/1996	11	10	9066	in
2	8/21/1996	8/29/1996	8/29/1996	28	8	9028	out
3	5/24/1997	5/27/1997	6/1/1997	9	8	9771	in
4	7/27/1997	8/1/1997	8/5/1997	30	9	9066	in
5	8/8/1997	8/18/1997	9/12/1997	138	35	9040	in
6	9/17/1997	10/8/1997	10/9/1997	254	22	8993	out
7	6/5/1998	6/8/1998	6/11/1998	33	6	9573	in
8	6/26/1998	7/3/1998	7/7/1998	21	11	9319	in
9	7/30/1998	8/1/1998	8/7/1998	5	8	9023	in
10	8/14/1998	8/20/1998	8/27/1998	68	13	8984	in
11	8/28/1998	9/1/1998	9/1/1998	25	4	8976	out
12	5/11/1999	5/12/1999	5/13/1999	2	2	10055	in
13	6/26/1999	6/27/1999	6/29/1999	1	3	9606	in
14	7/12/1999	7/14/1999	7/16/1999	17	4	9472	in
15	7/30/1999	7/31/1999	8/2/1999	1	3	9253	in
16	8/14/1999	8/20/1999	8/23/1999	4	9	9111	in
17	9/9/1999	9/11/1999	9/13/1999	3	4	8954	in
18	9/15/1999	9/16/1999	9/18/1999	2	3	8943	in
19	9/18/1999	10/2/1999	10/2/1999	248	14	8942	out
20	6/12/2000	6/24/2000	7/3/2000	88	21	9621	in
21	7/9/2000	7/11/2000	7/12/2000	2	3	9523	in
22	7/17/2000	7/20/2000	7/23/2000	9	6	9481	in
23	7/28/2000	7/31/2000	8/3/2000	17	6	9425	in
24	8/9/2000	8/18/2000	8/23/2000	21	14	9328	in
25	9/12/2000	9/13/2000	9/15/2000	3	3	9110	in
26	9/19/2000	10/4/2000	10/4/2000	130	15	9096	out
27	7/12/2001	7/25/2001	8/3/2001	53	22	9257	in
28	8/26/2001	9/1/2001	9/8/2001	34	13	9012	in
29	9/10/2001	9/28/2001	9/28/2001	132	18	8997	out
30	5/6/2002	5/7/2002	5/8/2002	1	2	9949	in
31	7/7/2002	7/20/2002	8/14/2002	224	38	9221	in
32	9/2/2002	9/12/2002	9/23/2002	101	21	9070	in
33	9/23/2002	9/27/2002	9/27/2002	6	4	9069	out
34	6/2/2003	6/7/2003	6/13/2003	21	11	9704	in
35	6/24/2003	6/29/2003	7/4/2003	61	10	9596	in
36	8/11/2003	8/18/2003	8/28/2003	138	17	9117	in
37	9/14/2003	9/20/2003	9/20/2003	96	6	8986	out
38	5/10/2004	5/15/2004	5/18/2004	33	8	9667	in
39	5/30/2004	6/2/2004	6/5/2004	11	6	9477	in
40	6/16/2004	6/21/2004	6/25/2004	29	9	9361	in
41	7/5/2004	7/6/2004	7/7/2004	1	2	9308	in

Continuación del Anexo 3

42	7/9/2004	7/17/2004	7/29/2004	88	20	9303	in
43	8/6/2004	8/8/2004	8/10/2004	3	4	9205	in
44	8/25/2004	9/20/2004	10/2/2004	167	38	9027	in
45	10/4/2004	10/15/2004	10/15/2004	224	11	9026	out
46	5/25/2005	5/27/2005	5/30/2005	21	5	9462	in
47	6/19/2005	6/22/2005	6/24/2005	6	5	9334	in
48	6/28/2005	6/29/2005	7/1/2005	2	3	9305	in
49	7/30/2005	8/2/2005	8/4/2005	9	5	8961	in
50	8/8/2005	8/13/2005	8/25/2005	43	17	8908	in
51	9/10/2005	9/26/2005	10/3/2005	49	23	8866	in
52	10/4/2005	10/29/2005	10/29/2005	524	25	8861	out
53	5/28/2006	5/29/2006	6/1/2006	7	4	9413	in
54	6/12/2006	6/21/2006	7/3/2006	135	21	9304	in
55	7/21/2006	7/22/2006	7/23/2006	1	2	9089	in
56	8/4/2006	8/11/2006	8/16/2006	49	12	9000	in
57	8/21/2006	8/31/2006	9/20/2006	72	30	8973	in
58	9/24/2006	10/5/2006	10/5/2006	226	11	8934	out
59	5/29/2007	5/31/2007	6/2/2007	4	4	9771	in
60	7/19/2007	8/3/2007	8/11/2007	200	23	9126	in
61	8/17/2007	8/19/2007	8/21/2007	7	4	9033	in
62	9/3/2007	9/11/2007	9/26/2007	90	23	8948	in
63	9/28/2007	10/6/2007	10/6/2007	174	8	8937	out
64	5/31/2008	6/8/2008	6/13/2008	100	13	9442	in
65	6/17/2008	6/23/2008	7/4/2008	54	17	9379	in
66	7/15/2008	7/20/2008	7/25/2008	20	10	9198	in
67	8/6/2008	8/7/2008	8/8/2008	1	2	9105	in
68	8/10/2008	8/14/2008	8/18/2008	14	8	9099	in
69	8/27/2008	9/1/2008	9/5/2008	36	9	9029	in
70	9/12/2008	9/19/2008	9/19/2008	125	7	8974	out
71	6/29/2009	7/4/2009	7/7/2009	16	8	9407	in
72	7/12/2009	7/16/2009	7/20/2009	29	8	9331	in
73	7/31/2009	8/3/2009	8/6/2009	21	6	9187	in
74	8/28/2009	9/4/2009	9/9/2009	61	12	8998	in
75	9/12/2009	9/22/2009	9/22/2009	81	10	8967	out
76	5/30/2010	6/2/2010	6/6/2010	25	7	9468	in
77	7/15/2010	7/23/2010	8/2/2010	199	18	9033	in
78	9/7/2010	9/16/2010	10/5/2010	170	28	8783	in
79	10/7/2010	10/17/2010	10/17/2010	112	10	8771	out
80	6/30/2011	7/1/2011	7/2/2011	5	2	9308	in
81	7/6/2011	7/14/2011	7/18/2011	26	12	9284	in
82	8/4/2011	8/14/2011	8/18/2011	73	14	9091	in
83	8/27/2011	8/31/2011	9/4/2011	23	8	8934	in

Continuación del Anexo 3

84	9/10/2011	9/12/2011	9/14/2011	4	4	8886	in
85	9/15/2011	10/4/2011	10/4/2011	239	19	8880	out
86	6/26/2012	7/3/2012	7/9/2012	44	13	9248	in
87	8/26/2012	8/27/2012	8/28/2012	1	2	8870	in
88	8/31/2012	9/7/2012	9/13/2012	68	13	8864	in
89	9/21/2012	9/24/2012	9/27/2012	13	6	8822	in
90	9/28/2012	10/7/2012	10/7/2012	111	9	8817	out
91	6/5/2013	6/8/2013	6/11/2013	13	6	9553	in
92	6/12/2013	6/15/2013	6/17/2013	7	5	9541	in
93	7/7/2013	7/13/2013	7/16/2013	20	9	9319	in
94	8/14/2013	9/4/2013	9/15/2013	213	32	8996	in
95	9/21/2013	10/1/2013	10/1/2013	66	10	8941	out
96	6/20/2014	6/22/2014	6/25/2014	9	5	9516	in
97	7/4/2014	7/8/2014	7/10/2014	17	6	9333	in
98	7/15/2014	7/17/2014	7/19/2014	8	4	9248	in
99	8/13/2014	8/20/2014	8/25/2014	37	12	9087	in
100	9/3/2014	9/6/2014	9/9/2014	14	6	8984	in
101	9/11/2014	9/15/2014	9/16/2014	28	5	8975	out
102	7/11/2015	7/14/2015	7/15/2015	5	4	9358	in
103	8/15/2015	8/21/2015	8/28/2015	118	13	9074	in
104	9/3/2015	9/7/2015	9/10/2015	8	7	8999	in
105	9/18/2015	9/24/2015	9/29/2015	26	11	8957	in
106	10/4/2015	10/23/2015	10/23/2015	271	19	8917	out
107	5/24/2016	5/31/2016	6/6/2016	77	13	9563	in
108	6/15/2016	6/18/2016	6/21/2016	19	6	9430	in
109	7/13/2016	7/16/2016	7/19/2016	15	6	9017	in
110	8/8/2016	8/10/2016	8/10/2016	62	2	8817	out
111	5/11/2017	5/12/2017	5/13/2017	1	2	9879	in
112	6/28/2017	6/30/2017	7/2/2017	16	4	9432	in
113	7/6/2017	7/10/2017	7/14/2017	49	8	9362	in
114	8/21/2017	8/30/2017	8/30/2017	186	9	8902	out
115	5/20/2018	5/23/2018	5/25/2018	7	5	9674	in
116	6/8/2018	6/13/2018	6/16/2018	34	8	9567	in
117	7/15/2018	7/19/2018	7/23/2018	11	8	9037	in
118	7/28/2018	8/25/2018	9/15/2018	169	49	8998	in
119	9/25/2018	9/30/2018	10/2/2018	65	7	8872	out