



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ciencias Físicas

Escuela Profesional de Física

**Identificación de eventos meteorológicos asociados a la
ocurrencia de precipitación en patrones de vientos
horizontales en la tropósfera para el Altiplano peruano
boliviano en invierno**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Licenciado en Física

AUTOR

Melissa de Jesus MEDINA BURGA

ASESOR

Mg. Octavio FASHE RAYMUNDO

Lima, Perú

2022



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Medina, M. (2022). *Identificación de eventos meteorológicos asociados a la ocurrencia de precipitación en patrones de vientos horizontales en la tropósfera para el Altiplano peruano boliviano en invierno*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Escuela Profesional de Física]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Melissa de Jesús Medina Burga
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	43492003
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-8268-428X
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Octavio Fashé Raymundo
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	10351868
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-6743-7800
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Juan Neil Mendoza Nolorbe
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	25760992
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	David Pareja Quispe
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41273620
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Fernando Mestanza Hernández
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06585518
Datos de investigación	
Línea de investigación	A.2.4.2. Oceanografía Física y Física de la Atmósfera.

Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Lima Latitud: -12.05819215 Longitud: -77.0189181894387
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2017-2019
URL de disciplinas OCDE	Meteorología y ciencias atmosféricas https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.09 Investigación climática https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.10



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE FÍSICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN FÍSICA

Siendo las 16:00 horas del martes 24 de mayo del 2022, en la Sala de Sesión Virtual de la Facultad de Ciencias Físicas, bajo la Presidencia del Mg. Juan Neil Mendoza Nolorbe (presidente), Dr. David Pareja Quispe (Miembro), Mg. Octavio Fashe Raymundo (Asesor) y, el Ing. Fernando Mestanza Hernández (Suplente), se inició la Sesión Pública de Sustentación de Tesis para la Licenciatura en Física, mediante la Modalidad M1 - Por Sustentación y Aprobación de Tesis Profesional, de la Bachiller:

MELISSA DE JESUS MEDINA BURGA

El Presidente del Jurado en primer lugar dio lectura al documento formal que designa al Jurado y aprueba el acto de sustentación de la Tesis, así como el Resumen del Expediente e invitó a la Bachiller a realizar una exposición de Trabajo de Tesis titulada:

“Identificación de eventos meteorológicos asociados a la ocurrencia de precipitación en patrones de vientos horizontales en la tropósfera para el altiplano peruano boliviano en invierno”.

Concluida la exposición de la candidata y luego de las preguntas de rigor por parte del Jurado, el Presidente con el apoyo de la Unidad de Informática, invitó a la Bachiller y al público a abandonar momentáneamente la Sala de Sesión Virtual, para dar paso a la deliberación y calificación por parte del Jurado.

Al término de la deliberación del Jurado el Mg. Juan Neil Mendoza Nolorbe invitó a la candidata y al público a pasar a la Sala de Sesión Virtual, para dar lectura al Acta de Calificación, en cuyo contenido se ha registrado la nota obtenida por la bachiller, la misma que ha sido de:

HONROSA
(MENCIÓN)

17
(NÚMERO)

DIECISIETE
(LETRAS)

Habiendo concluido la Sustentación de la Tesis, el Presidente del Jurado, remitirá el Acta al Vicedecano Académico de la Facultad de Ciencias Físicas, quien la suscribirá dando fe de la realización del acto virtual de manera remota.

El Acta de Calificación será remitida al Director de la Escuela Profesional de Física quien a su vez solicitará la aprobación del Consejo de Facultad para el otorgamiento del Título Profesional de Licenciado en Física a la Bachiller Melissa de Jesús Medina Burga.



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE FÍSICA

Finalmente, el Presidente del Jurado, propone al consejo de la Facultad que se le declare Licenciada en Física a la Bachiller Melissa De Jesús Medina Burga. Siendo las 17:25 horas, se levanta la Sesión.

Ciudad Universitaria, 24 de mayo de 2022.

Mg. Juan Neil Mendoza Nolorbe
PRESIDENTE

Dr. David Pareja Quispe
MIEMBRO



Mg. Octavio Fashe Raymundo Hernández
ASESOR

Ing. Fernando Mestanza
SUPLENTE



Firmado digitalmente por LOZANO
BARTRA Whualkuer Enrique FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 13.06.2022 20:03:15 -05:00

Dr. Whualkuer Lozano Bartra
VICEDECANO ACADÉMICO - FCF

Datos de la plataforma virtual institucional del acto de sustentación:

Enlace:

Unirse a la reunión Zoom

<https://us06web.zoom.us/j/83061036343?pwd=NThGalB1Uyt0NjBhOXhEQk96Vks3dz09>

ID de reunión: 830 6103 6343

Código de acceso: 271257

Grabación archivada en: <https://fb.watch/9XrV2WIWhg/>

DEDICATORIA

*A Dios y toda mi familia
por su apoyo en cada momento.*

AGRADECIMIENTOS

Al Mg. Octavio Fashe por su orientación y apoyo en este trabajo, por las expectativas desde el inicio de mi carrera profesional y sus consejos.

Al Dr. Jhan Carlo Espinoza, por las lecciones, consejos y enseñanzas dados, por permitirme ser parte de uno de los proyectos PNICP del CONCYTEC N° 397-PNICP-PIAP-2014 desarrollado en el Instituto de Investigación para el Desarrollo de Francia (IRD) y el Instituto Geofísico del Perú (IGP). Esto me dio mayores oportunidades de desarrollo en el ámbito de la investigación.

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice General	iv
Índice de Tablas	vii
Índice de Figuras	viii
Índice de Anexos	xi
Resumen	xiii
Abstract	xiv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	4
2.1. Componentes de la circulación atmosférica en América del Sur.....	4
2.2. Precipitaciones.....	6
2.3. Bajas segregadas o depresión aislada en niveles altos.....	6
2.4. Heladas.....	8
2.5. Friajes.....	8
2.6. Patrones de circulación.....	9
2.7. Eventos climáticos en el Altiplano.....	9

3. METODOLOGÍA Y MATERIALES.....	12
3.1. Área de estudio.....	12
3.1.1. Base de datos.....	12
3.1.2. Softwares usados en el procesamiento de datos.....	13
3.2. Métodos.....	14
3.2.1. Identificar patrones de circulación atmosféricos en invierno.....	14
3.2.2. Identificar el número de días del patrón o patrones de circulación en invierno asociado a eventos meteorológicos en la zona del Altiplano peruano boliviano.....	16
3.2.3. Determinar la influencia de los mecanismos identificados en los patrones de circulación asociados a la ocurrencia de precipitación.....	16
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
4.1. Identificar patrones de circulación en invierno asociado a eventos meteorológicos en la zona del Altiplano.....	18
4.2. Identificar el número de días del patrón o patrones de circulación en invierno asociado a eventos meteorológicos en la zona del Altiplano peruano boliviano.....	22
4.3. Determinar la influencia de los mecanismos identificados en los patrones de circulación asociados a la ocurrencia de precipitación.....	24
4.3.1. Análisis de la estructura vertical.....	24
4.3.2. Comparación de datos de precipitación para los mecanismo identificados.....	36
5. CONCLUSIONES.....	38
5.1. Recomendaciones y trabajos futuros.....	39

BIBLIOGRAFÍA.....40

ANEXOS.....46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de datos de reanálisis.....	13
Tabla 2: Porcentaje de días para los CPs en invierno.....	23
Tabla 3: Porcentaje de días que cumplen con el criterio de Bonner adaptado en el glaciar de El Zongo	23
Tabla 4: Número de días correspondientes a cada intervalo seleccionado basado en el criterio y correspondiente a cada patrón definido en Medina (2020).....	24

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1:** Diagrama de circulación atmosférica en niveles bajos de la atmósfera para América del Sur en invierno, la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ) y las flechas representan los vientos (alisios, extratropicales y monzónicos).5
- Figura 2:** Esquema de las fases de la formación de una baja segregada7
- Figura 3:** Esquema de friajes en el Perú8
- Figura 4:** Esquema conceptual del jet de bajos niveles o *Low Level Jet* (LLJ) en el continente sudamericano. Los sistemas convectivos de mediana escala o MCS. *Northeast Trades* o vientos alisios provenientes del noreste y la evapotranspiración (ET).....10
- Figura 5:** Vientos a 850 hPa (m/s) y humedad regional hasta 500 hPa durante (A) los meses de noviembre a febrero y (B) para los meses de mayo a agosto ($m\ g\ s^{-1}\ kg^{-1}$). Mismas variables para del jet en Santa Cruz de la Sierra (C) para los meses de noviembre a febrero y (D) los meses de mayo a agosto.11
- Figura 6:** (a) Precipitación media anual (mm/año, 1998-2014) estimada usando datos de TRMM PR 2A25. (b) Ubicación geográfica de las estaciones.....13
- Figura 7:** Descripción del procesamiento de datos basados en Mapas Auto Organizados y clasificación Ascendente Jerárquica15

Figura 8: Patrones de vientos zonales a 200 hPa para invierno.....	19
Figura 9: Patrones de circulación para invierno a 200 hPa, representando anomalías estandarizadas de vientos como vectores y OLR, en colores sólidos.....	21
Figura 10 Patrones de circulación para invierno a 850 hPa, representando anomalías estandarizadas de altura geopotencial, como líneas de contorno con valores positivos (negativos) en rojo (azul); y vientos, como vector.....	26, 27
Figura 11: Carta de composición de circulación para invierno a 200 hPa, representando anomalías estandarizadas de altura geopotencial, como líneas de contorno con valores positivos (negativos) en rojo (azul), con intervalos de 40 hPa; y vientos, como vector. El recuadro en color negro es la ubicación del glaciar El Zongo.....	28
Figura 12: Carta de composición de circulación para invierno a 500 hPa, representando valores medios de altura geopotencial, como líneas e intervalos de 160 hPa; y vientos, como vectores. El recuadro en color negro es la ubicación del glaciar El Zongo.....	29
Figura 13: Carta de composición de circulación para invierno a 850 hPa. Representando anomalías estandarizadas de OLR, en colores sólidos, con valores positivos (negativos) en color rojo (azul); anomalías de altura geopotencial como líneas de contorno a intervalos de 5 hPa, las anomalías positivas (negativas) están en rojo (azul); y anomalías estandarizadas de vientos como vectores.	31
Figura 14: Carta de composición de circulación para invierno a 200 hPa. Representando valores medios de altura geopotencial, líneas de contorno a intervalos de 75 hPa; y vientos; como vectores. El recuadro en color negro es la ubicación del glaciar El Zongo	33
Figura 15: Carta de composición de circulación para invierno a 500 hPa. Representando valores medios de altura geopotencial, como líneas de contorno a	

intervalos de 80 hPa; y vientos, como vectores. El recuadro en color negro es la ubicación del glaciar El Zongo34

Figura 16: Carta de composición de circulación para invierno a 850 hPa. Representando valores de anomalía de altura geopotencial como líneas de contorno a intervalos de 10 hPa y con valores positivos (negativos) están en rojo (azul); anomalías estandarizadas de vientos como vectores; y OLR con valores positivos (negativos) en colores sólidos rojo (azul). El recuadro en color negro es la ubicación del glaciar El Zongo.....35

Figura 17: Porcentaje de anomalías de precipitación en las estaciones meteorológicas para invierno. En color azul (rojo) probabilidad de ocurrencia positiva (negativa).....37

Índice de anexos

Relación de estaciones meteorológicas.....	46, 47, 48, 49, 50, 51
--------------------------------------------	------------------------

RESUMEN

El estudio se centra en identificar los patrones de circulación (CPs) en la estación de invierno que están relacionados con la ocurrencia de precipitaciones en el Altiplano peruano boliviano y parte de la Amazonía boliviana. Se usaron los patrones circulación atmosféricos determinados por Medina (2020) para el invierno austral, se hallaron los 7 CPs se usaron diversos métodos estadísticos como la clasificación ascendente jerárquica y redes neuronales SOM. Estos patrones fueron determinados a un nivel atmosférico de 200 hPa datos de vientos ERA – Interim, correspondientes de 1976 - 2016 y se relacionó la precipitación de 173 estaciones meteorológicas con cada patrón. Estas estaciones se encuentran en la región de 15° S – 25° S, 80° W – 60° W. Adicional a ello, se usó datos de radiación de onda larga (OLR por sus siglas en inglés) de la NCAR/NOAA con una resolución de 2.5° x 2.5° de 1979 al 2016. El comportamiento de las precipitaciones asociadas a los patrones identificados describe ciclos temporales bien definidos. Estos comportamientos están vinculados a eventos meteorológicos, como las bajas segregadas, para ello se usó el criterio de Bonner modificado y definido en el glaciar de El Zongo (16 ° 12’ 0” S y 68° 6’ 0” W). Los resultados se compararon con datos de las estaciones del SENAMHI y OLR, sustentando que uno de los mecanismos asociados a la probabilidad de precipitaciones son las DANAs en altos niveles e incursiones de vientos en bajos niveles dirigidos.

Palabras claves: Patrones de Circulación, Bajas segregadas, Altiplano peruano-boliviano., Precipitaciones.

ABSTRACT

The study focuses on identifying the circulation patterns (CPs) in the winter season that are related to the occurrence of rainfall in the Bolivian Peruvian Altiplano and part of the Bolivian Amazon. The atmospheric circulation patterns determined by Medina (2020) for the austral winter were used, the 7 CPs were found, various statistical methods were used such as ascending hierarchical classification and SOM neural networks. These patterns were determined at an atmospheric level of 200 hPa, ERA - Interim wind data, corresponding to 1976 - 2016, and the precipitation of 173 meteorological stations was related to each pattern. These stations are located in the region of 15° S – 25° S, 80° W – 60° W. In addition, long-wave radiation (OLR) data from NCAR/NOAA with a resolution of 2.5° x 2.5° from 1979 to 2016. The behavior of precipitation associated with the identified patterns describes well-defined temporal cycles. These behaviors are linked to meteorological events, such as segregated casualties, for which the modified Bonner criterion was used and defined in the El Zongo glacier (16° 12' 0" S and 68° 6' 0" W). The results were compared with data from the SENAMHI and OLR stations, sustaining that one of the mechanisms associated with the probability of precipitation is high-level DANAs and directed low-level wind incursions.

Keywords: Circulation Patterns, Segregated Lows, Peruvian-Bolivian Altiplano., Precipitation.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

La zona del Altiplano se caracteriza por tener un clima semiárido, la precipitación registrada anualmente oscila entre unos 200 mm al suroeste y 600 mm al noreste (Aceituno & Montesinos, 1993; Aceituno, 1988). En las estaciones del año, como en invierno, en esta zona predomina un flujo vientos provenientes del oeste en altos niveles de la atmósfera, trayendo aire más seco del Pacífico y las precipitaciones son muy escasas (Vuille & Ammann, 1997). El efecto de barrera natural debido a los Andes y las incursiones de vientos de bajos niveles del sur, generan eventos de nevadas en los Andes subtropicales y precipitaciones en el sur de Chile, de acuerdo con Garreaud y Rutland (1996). Esta influencia es predominante debido al flujo de humedad zonal o *cross mountain* que explica hasta un 60 por ciento de la precipitación que se registra en las estaciones ubicadas en la cordillera de los Andes, parte sur (Falvey & Garreaud, 2007).

Para bajos niveles atmosféricos, las incursiones de vientos tienen dirección de sur a norte y generan grandes cambios en la dinámica atmosférica y la liberación de calor a lo largo del continente (Alvarez et al., 2014; Marengo & Wagner, 2004). Estas incursiones han sido asociados a diversos sistemas de circulación atmosférica, como el Sistema del Monzón de Asia (Lu & Chan, 1999; Wu & Chan, 1995) y diversas áreas geográficas, por ejemplo en las Montañas Rocosas ubicadas en Estados Unidos (Colle & Mass, 1995), en dicho lugar, decrece abruptamente la temperatura debido al flujo de vientos con mayor velocidad en la relieve de las montañas Rocosas, con valores de

hasta 22 m/s y en la cual predomina el viento meridional, que al incrementarse progresivamente, genera una advección de aire frío.

En la estación de invierno, la presencia de nevadas es asociadas a diferentes mecanismos como friajes, bajas segregadas, o en algunos casos, ambos, afectan tanto, la intensidad de las precipitaciones como su distribución espacial (Sicart et al., 2016; Vuille & Ammann, 1997). Estudios realizados sobre el comportamiento de las bajas segregadas en el hemisferio norte, determinando la influencia de estos sistemas en las precipitaciones en esta estación; este comportamiento atmosférico se da en la tropósfera media y alta debido a la presencia del *jet streak* o celda de aire frío que se desplaza con una alta velocidad del *jet stream* o corriente de chorro (Hoskins et al., 1985; Hoskins & Ambrizzi, 1993; Bell & Bosart, 1993).

Garreud y Rutllant (1996), estudiaron la formación de estos mecanismos en las costas de Chile y su influencia en los sistemas asociados a la precipitación, donde estos sistemas incrementan el gradiente zonal de presión que, a su vez, aumenta el flujo de vientos con dirección norte proveniente del Amazonas (Ferreira et al., 2005) e intensificándolos en el sur de Latinoamérica, entre Argentina, Bolivia y sureste de Brasil por la presencia del viento polar (Godoy et al., 2011; Marengo et al., 1997). Al presentarse las bajas segregadas cercana al suroeste de Perú y parte de Bolivia, se dan condiciones necesarias de cantidad de humedad, procesos termodinámicos y dinámicos que generan las nevadas en invierno (Quispe, 2005), que es el periodo que permite la recarga de los glaciares. El glaciar de El Zongo es uno de los pocos glaciares en América del Sur, ubicado en Bolivia; Sicart et al. (2016) centran su estudio en entender qué factores mitigan o contribuyen con la disminución del deshielo de los glaciares tropicales. Así como Garreud (2009), que proponen que el decaimiento de las bajas segregadas es retardado por el bloqueo que presentan los Andes al paso del flujo húmedo y cálido de la Amazonía; sin embargo, sí influyen en su estructura y duración (Godoy et al., 2011).

En Latinoamérica, otras investigaciones indican el vínculo entre los patrones atmosféricos y los vientos del sur, cuyos valores de temperatura pueden descender hasta en 10° C a diario (Espinoza et al., 2012; Satyamurty et al., 1998), analizando el desarrollo de los sistemas atmosféricos y la variación de la temperatura en el flanco

oriente de la cordillera al ingresar un frente frío hacia el continente con dirección norte, y que en ocasiones llega hasta la Amazonía peruana. A escala interanual, se observa una menor (mayor) cantidad de precipitación en casi toda la cuenca Amazónica en eventos de El Niño (La Niña), usualmente debido al incremento de los vientos zonales en niveles altos de la atmósfera, así como a escala decadal (Garreaud & Aceituno, 2001; Segura et al., 2016; Vuille et al., 2000). Así como estudios que analizan este mecanismo en el continente Sudamericano (Boers et al., 2014; Espinoza et al., 2012, 2013; Marengo et al., 1997; Sicart et al., 2016; Vera & Vighiarolo, 2000; Wang & Fu, 2002).

Para el Perú, el monitoreo y pronóstico de estos mecanismos, aún es una de las limitaciones que se presenta en investigación, así como la falta de información meteorológica en el Altiplano peruano boliviano, debido a la presencia de estaciones meteorológicas con información incompleta y su topografía abrupta hacen que la caracterización sea más difícil e inadecuada. Es por eso por lo que los resultados de este trabajo de investigación servirán para poder entender la circulación atmosférica y el comportamiento físico que generan estos eventos.

El objetivo general es identificar las incursiones de vientos del sur que contribuyen con los patrones húmedos en invierno asociados a eventos meteorológicos en el Altiplano, mediante de los siguientes objetivos específicos:

1. Identificar el número de días del patrón o patrones de circulación en invierno asociado a eventos meteorológicos en la zona del altiplano peruano boliviano.
2. Determinar la influencia de los patrones de circulación en las precipitaciones utilizando información de OLR (Radiación de onda larga) y precipitación de estaciones meteorológicas.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Componentes de la circulación atmosférica en América del Sur

Se exhiben diversas condiciones climáticas debido a la presencia de la cordillera de los Andes, que funciona como barrera para la circulación atmosférica y se extiende a lo largo de la costa oeste de América del Sur (Garreaud, 2009). Esta barrera natural, influye en la circulación asociada a vientos en niveles bajos atmosféricos, desviando el flujo de humedad desde el Océano Atlántico hacia el occidente de Brasil, Bolivia y Paraguay, cumpliendo con un rol importante al transportan humedad. Esta es una de las forzantes del Sistema del Monzón Sudamericano (SAMS).

La banda profunda nubosa, conocida como Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ), en su ubicación se da la convergencia los alisios que vienen del sur y norte del planeta, relacionada con la circulación atmosférica de Haldley (WMO, 1967) y que se ubica en aproximadamente a 8° N, más cerca o lejos de la línea ecuatorial, eso depende de la estación del año. Mientras que la Zona de Convergencia del Pacífico Sur (SPCZ) o banda del oeste del Pacífico ecuatorial va desde las Islas Solomón en Fiiji hacia el continente hasta los 40° S aproximadamente, siendo más intensa en verano debido a los sistemas frontales extratropicales. En el centro del continente se ubica la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (SACZ) y va en la dirección sureste-noreste, para las latitudes ubicadas en 15° S y 40° S, de acuerdo con Nogues- Paegle y Mo (1997), se

encarga de la intensa actividad convectiva en los meses de octubre a marzo a bajos niveles de presión atmosféricos, y transportando flujos húmedos desde la Amazonía en dirección a Paraguay, Argentina, Uruguay y suroriente de Brasil.

A continuación, se describe el comportamiento atmosférico en invierno (ver Figura 1) hacia el noreste del continente se dirigen sistema de alta presión y por lo tanto, masas de aire frío, causando friajes e intensas heladas en las latitudes de 30° S y 20° S, que conforme a su avance hacia el norte disminuye en intensidad, siguiendo su recorrido hacia la cuenca del Amazonas, ocasionando consecuencias en Bolivia, parte de Perú, la Amazonía brasilera y el sur de Colombia, que en ocasiones y si son eventos muy intensos pueden llegar a Venezuela y Guyana Francesa (Satyamurty et al., 1998). Las bajas segregadas o *Cut off Lows*, se localizan en latitudes subtropicales y medias, estas celdas frías aisladas que tienen una gran vorticidad ciclónica, se originan en niveles altos de la tropósfera, debido a que se incrementa la velocidad de los vientos en secciones de la corriente de chorro en niveles de la alta tropósfera (Hoskins et al., 1985).

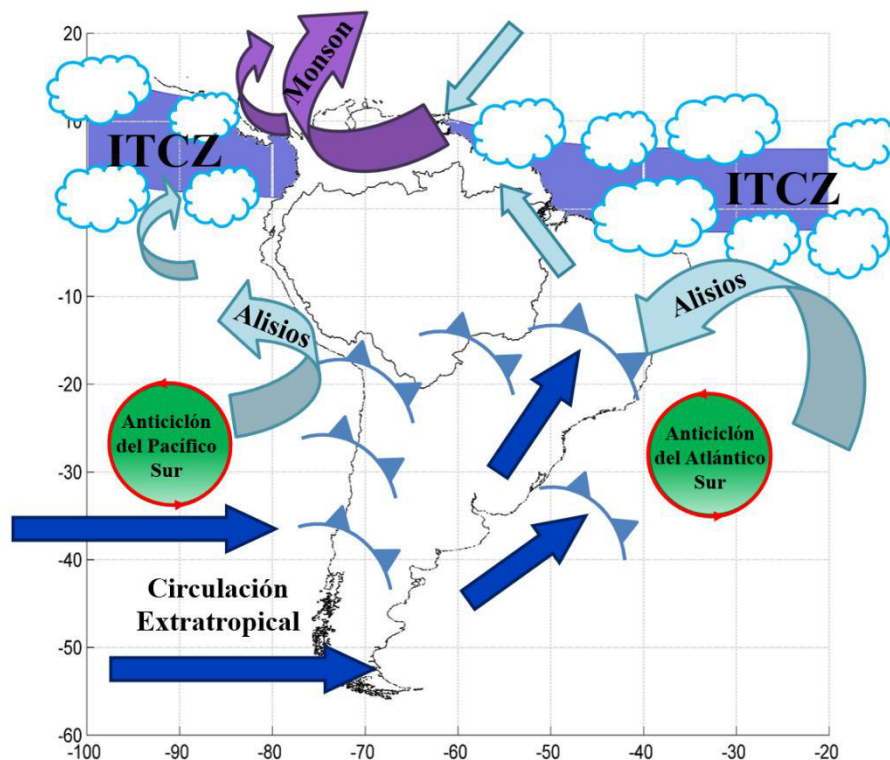


Figura 1: Diagrama de circulación atmosférica en niveles bajos de la atmósfera para América del Sur en invierno, la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ) y las flechas representan los vientos (alisios, extratropicales y monzónicos).

2.2. Precipitación

Se considera precipitación a las diferentes formas de agua que proviene de la atmósfera ubicadas en las nubes y llega hasta la superficie como lluvia, llovizna, granizada, etc. Se clasifican en precipitaciones del tipo orográficas, convectivas o de convección forzada, frontales, ciclónicas, etc. Para la selva peruana, las precipitaciones son, en su mayoría de casos, del tipo convectivo debido al ascenso de aire más caliente y húmedo de la superficie terrestre. Mientras que en la sierra predominan las precipitaciones orográficas. (García,1994).

Barry y Chorley (1998), menciona que: “la nieve se produce cuando el nivel de congelación está tan cerca de la superficie que los conglomerados de cristales de hielo no tienen tiempo de fundirse antes de llegar al suelo” (p.433). La temperatura del aire y la humedad relativa influyen en el tipo de cristal, el incremento del tamaño del cristal se da cuando los copos de nieve tienen un valor de temperatura ligeramente por encima de cero y experimentan un derretimiento conforme se da su descenso, de esta manera se forma una película delgada de agua circundante, permitiendo que se adhiera a otros copos de nieve e incrementando su tamaño.

2.3. Bajas segregadas o depresión aislada en niveles altos

El trabajo de Martín (2003) menciona que el origen data de 1886, conocida como “gota de aire frío”. Con el paso de los años (Palmen & Newton ,1969) la denominaron “*cut-off low*”, que traducida es baja aislada, depresión o baja segregada, razón por la cual, en la traducción de términos meteorológicos se denominó como “Depresión Aislada de Niveles Altos” (DANA).

En Hoskins et al. (1985), mencionan que la DANA es un sistema que nace en altos niveles de la tropósfera debido a procesos a la intensificación de las ondas atmosféricas y al aislamiento de una celda de viento con mayor velocidad del *jet stream* que ocasiona impactos en niveles medios o bajos.

De acuerdo con Rondanelli et al. (2002), una DANA promueve, en un corte vertical, el descenso de la tropopausa, dando inicio a un proceso de mezcla entre los fluidos de

la estratósfera y tropósfera que, en consecuencia, genera contaminación de gases, principalmente de ozono. Mientras que en Nieto et al. (2005) realizaron el análisis por etapas de la formación de una DANA (Figura 2), donde el desarrollo del sistema puede ser dividido en cuatro fases y confirma la presencia de ozono en bajos niveles:

- **1° fase – vaguada en niveles altos:** Propagación de una onda potencialmente inestable, conocido también como eje de mínimas presiones, en la tropósfera alta y media, que, a su paso, disminuye su longitud de onda e incrementa su amplitud. La onda geopotencial se posiciona delante de la onda de temperatura; como consecuencia, dentro de esta zona de vaguada de altos niveles ocurre la advección fría.
- **2° fase – Segregación:** Progresivamente, se amplifica la amplitud de la onda y se profundiza la vaguada, de esta forma, el aire frío se separa y desplaza hacia latitudes bajas, dando como consecuencia el desarrollo en niveles altos de una DANA.
- **3° fase – Baja segregada:** La DANA es más pronunciada y el estrangulamiento ha finalizado. A diferentes niveles de presión (200 hPa, 500 hPa o 1 000 hPa) se desarrolla un sistema cerrado de circulación, derivado de flujos meridionales transversales.
- **4° fase – Fase final:** Usualmente, el sistema de DANA se debilita conforme se une con una vaguada intensa y profunda en altos niveles. Alrededor de la DANA aparecen fuertes movimientos verticales generando una mezcla turbulenta y como consecuencia, contaminación de ozono. También es asociada con disminución de temperaturas en regiones altas, nevadas y vientos fuertes.

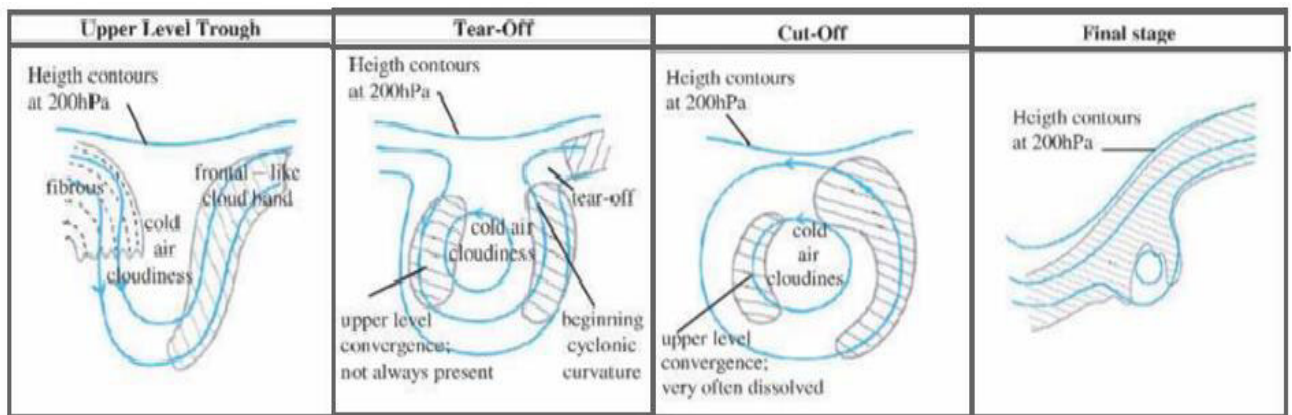


Figura 2: Esquema de las fases de la formación de una baja segregada.

Fuente. Datos tomados de Nieto et al. (2005).

2.4. Heladas

Una helada meteorológica ocurre al descender la temperatura del aire a 0°C o valores inferiores (OMM, 1967), desde este punto de vista, es importante la observación que usualmente se hace con el termómetro de mínimas instalado en la caseta meteorológica (SENAMHI, 2010); sin embargo, en García (1994) las heladas agrometeorológicas se dan cuando el cultivo sufre un daño a nivel crítico debido al descenso temperatura del aire. Entonces, las heladas agrometeorológicas dependen de cada cultivo y el nivel crítico de temperatura, en algunos casos, este valor puede ser mayor a 0°C . Esta definición implica dos condiciones, las meteorológicas y las biológicas.

2.5. Friajes

Fenómeno meteorológico que se caracteriza por el ingreso de una masa de aire frío, proveniente de la región polar que ingresa por el sur del continente, que origina el descenso abrupto de las temperaturas del aire, incremento de la velocidad de vientos, lluvias de moderada a fuerte intensidad y niebla y/o neblina que afecta parte de la Selva peruana. Suele presentarse en los meses de mayo y setiembre, ver Figura 3.



Figura 3: Esquema de friajes en el Perú.

Fuente. Datos tomados de SENAMHI (2016).

2.6. Patrones de circulación

Según OMM (1967) denomina patrón de circulación a las características recurrentes de circulación atmosférica sobre una determinada región, estos mecanismos son bien definidos y están relacionados directamente con cambios en diferentes variables meteorológicas. (Hewitson & Crane, 2002)

Estudios en Latinoamérica como en los de Espinoza et al., (2012, 2013) analizan comportamientos recurrentes asociados a la precipitación presentes debido a la circulación atmosférica en niveles bajos de la atmósfera. En verano reconoce 6 CPs, en otoño, e invierno 7 CPs, y en primavera 8 CPs, donde presentan desarrollos de hasta 10 días aproximadamente en América del Sur. En invierno, predominan los frentes fríos y haciendo que se generen precipitaciones al este de los Andes por la presencia de una onda atmosférica de Rossby extratropical. Paccini (2016) relacionó con las precipitaciones en la Amazonía con CPs en todo el continente, para caracterizar, en cuenca Amazónica, la variabilidad atmosférica, estos patrones tienen una duración de 14 días en promedio, para todo el año, dicha variabilidad queda por 9 patrones de circulación.

Este trabajo se basa en los resultados obtenidos en el trabajo de Medina (2020) donde identificó patrones de circulación estacionales utilizando análisis de clúster basado en un método de agrupación de datos usando principios de redes neuronales y clasificación ascendente jerárquica, cuya base es la mayor similitud existente entre ellas. Para la estación de invierno se identifican 7 CPs para el Altiplano peruano boliviano utilizando vientos a 200 hPa.

2.7. Eventos climáticos en el Altiplano

En el trabajo realizado por Espinoza et al. (2011), acentúan los usos de redes neuronales en el clima. Para ello, clasifica patrones de circulación en la cuenca del Amazonas relacionados a la precipitación haciendo hincapié en de inundaciones catalogados como eventos extremos debido a sus valores sobre el valor media. En invierno, Espinoza et al. (2012) y (2013), realizó el análisis de episodios relacionado al jet de bajos niveles y el impacto en las precipitaciones. En Sicart et al., (2016)

asociaron las precipitaciones al proceso de recarga del glaciar, para ello determinaron un índice de nubosidad relacionado con las incursiones de vientos en el glaciar de El Zongo.

Cuando los vientos se desplazan hacia el noroeste desde la meseta brasileña y el flanco oriental de los Andes siendo más fuertes e intensos cuando son próximos la región de a Santa Cruz de la Sierra en Bolivia, entre 800 hPa a 900 hPa (Marengo & Wagner, 2004) y transportan desde el Océano Atlántico aire húmedo en dirección de norte a sur para la cuenca Amazónica y de La Plata. La propagación del *Low Level Jet* (LLJ) o chorro en niveles bajos como parte del sistema del Monzón sudamericano (Figura 4), la cuenca de La Plata, presenta una actividad convectiva intensa asociada al transporte de humedad que a su vez es retroalimentado por la evapotranspiración en la cuenca Amazónica, según Marengo & Wagner (2004). El criterio de Bonner (1968) para la zona de Santa Cruz y Mariscal Estigarribia, localizadas en Bolivia, fue empleado en este trabajo, indicando que cuando los vientos son mayores o iguales a 12 m/s en niveles bajos (925 hPa u 850 hPa, la componente meridional debe ser positiva y adicional a ello, debe haber una variación de velocidad del viento mayor o igual a 6 m/s entre 850 hPa y 700 hPa.

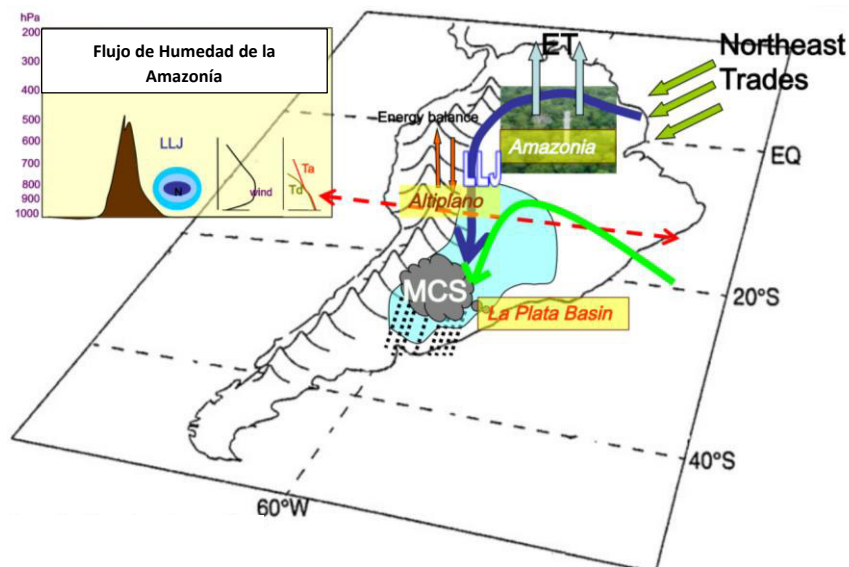


Figura 4: Esquema conceptual del jet de bajos niveles o *Low Level Jet* (LLJ) en el continente sudamericano. Sistemas convectivos de mediana escala o MCS. *Northeast Trades* o vientos alisios provenientes del noreste y la evapotranspiración (ET).

Fuente. Datos tomados de Marengo y Wagner. (2004).

Marengo & Wagner (2004) muestran que el flujo total de vapor de agua entre 500 hPa y la superficie, y las condiciones de circulación promedio cuando hay eventos del LLJ en Santa Cruz, de mayo a agosto y de septiembre a abril. El LLJ en la temporada cálida se intensifica y los vientos alisios provenientes del noreste del Atlántico tropical norte; tienden a duplicar la humedad en la región ecuatorial del continente respecto a las condiciones de verano (Figura 5c). Mientras que, en invierno, el jet no es influenciado por los alisios provenientes del noreste, debido a la ausencia del SAMS. Los flujos de vientos intensos del norte van dirigidos de este a sur al acercarse la cordillera (Figura 5d). Entonces, se puede decir que el el jet de bajos niveles es un fenómeno que tiene episodios todo el año, pero con un origen, diferente según la estación, esto es debido a la circulación regional.

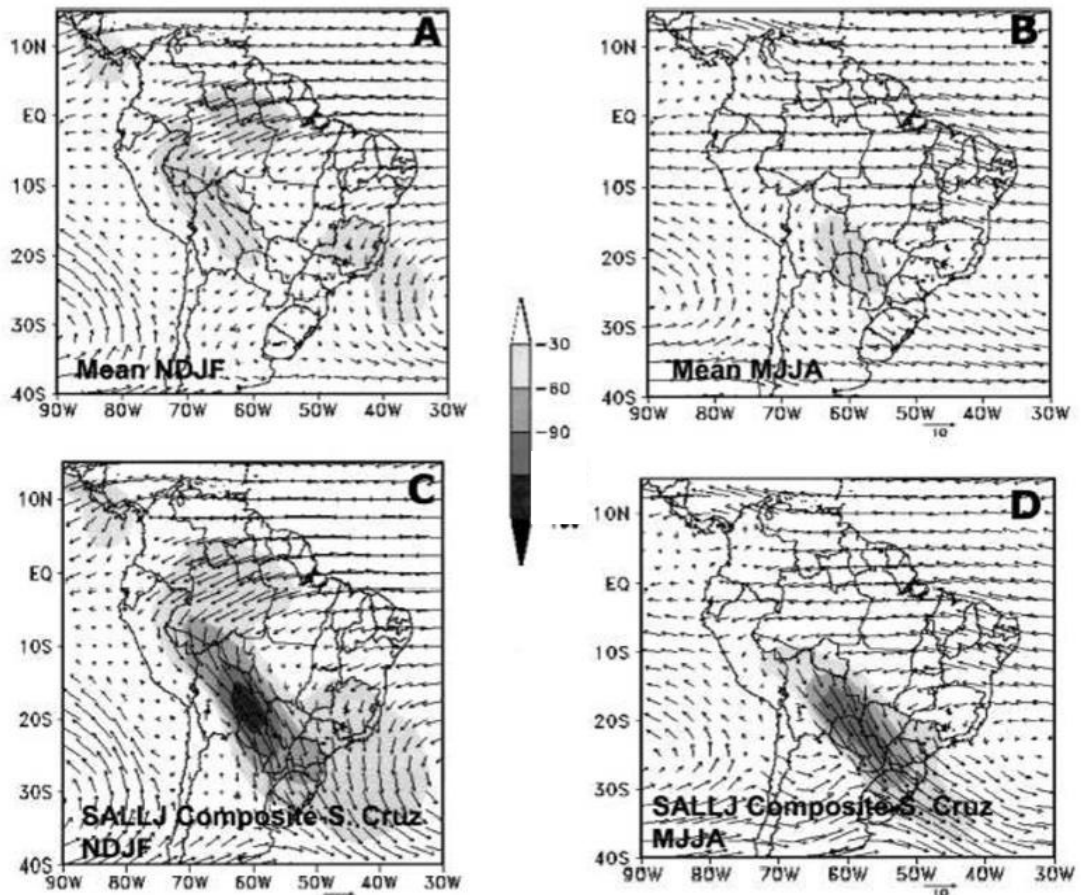


Figura 5: Vientos a 850 hPa (m/s) y humedad regional hasta 500 hPa durante (A) los meses de noviembre a febrero y (B) para los meses de mayo a agosto ($\text{m g s}^{-1} \text{ kg}^{-1}$). Mismas variables para del jet en Santa Cruz de la Sierra (C) para los meses de noviembre a febrero y (D) los meses de mayo a agosto.

Fuente. Datos tomados de Marengo y Wagner. (2004).

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA Y MATERIALES

3.1. Área de estudio

3.1.1. Base de datos

En este trabajo de investigación se usaron datos de 173 estaciones meteorológicas ubicadas en el altiplano peruano boliviano, entre 156 m y 4 460 m de altura correspondiente al periodo de 1979 al 2016. Estas estaciones fueron proporcionadas por SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología) de Bolivia y Perú. Se usaron las estaciones que hasta un 67 por ciento de dato. En la Figura 6 se muestran sus ubicaciones. (ver Anexo 1)

Para complementar el análisis, se usaron datos diarios de reanálisis obtenidos de ERA-Interim de la Unión Europea, que es resultado de datos compilados entre datos reportes aéreos, satelitales, embarcaciones, boyas y datos de pronóstico, con un grillado de $0.75^{\circ} \times 0.75^{\circ}$. Se consideraron las alturas geopotencial y componentes de viento a 200 hPa, 500 hPa y 850 hPa.

También se usó información diaria interpolada de Radiación de Onda Larga (OLR) o *Outgoing Longwave Radiation* de la página web de la NCAR/NOAA representados en la Tabla 1.

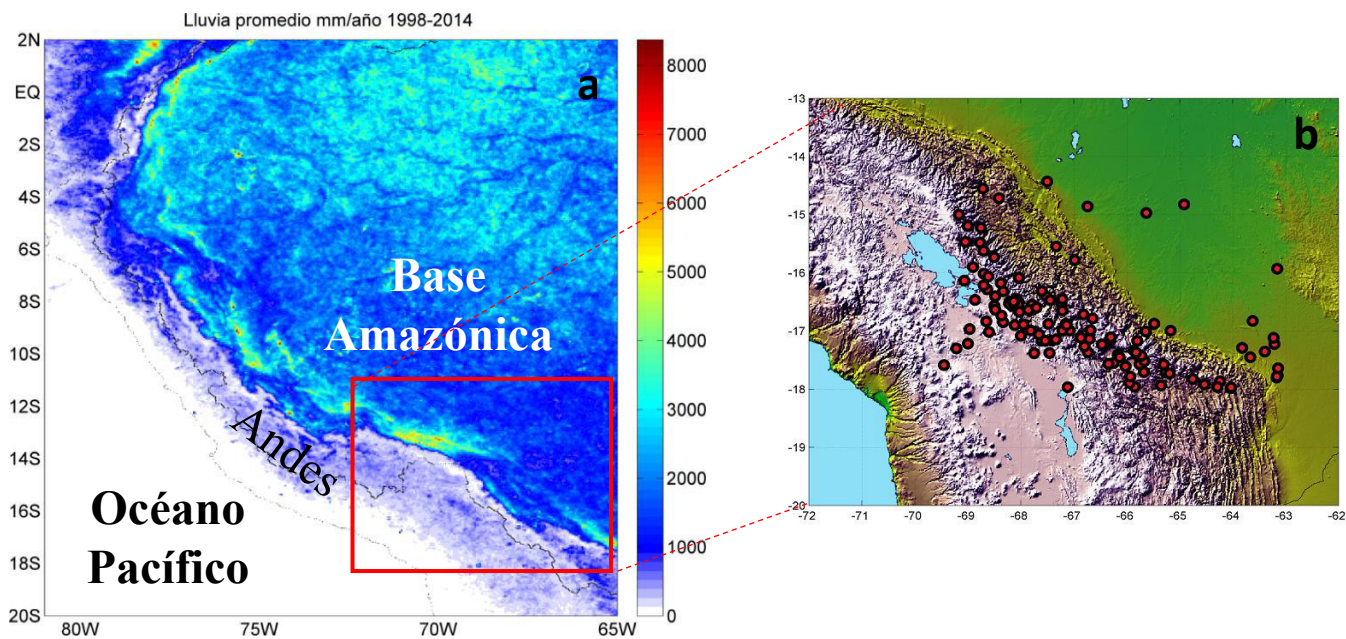


Figura 6: (a) Precipitación media anual (mm/año, 1998-2014) estimada usando datos de TRMM PR 2A25. (b) Ubicación geográfica de las estaciones.

Tabla 1: Características de datos de reanálisis.

DATO	RESOLUCIÓN ESPACIAL	RESOLUCIÓN TEMPORAL	NIVEL (hPa)	ÁREA	PERIODO
Viento componente zonal y meridional	0.75° x 0.75°	datos cada 6 horas (frecuencia diaria)	200, 500 y 850	60° S – 10° N 150° W – 20° W	1979 – 2016
Altura geopotencial	0.75° x 0.75°	datos cada 6 horas (frecuencia diaria)	200, 500 y 850	60° S – 10° N 150° W – 20° W	1979 – 2016
Radiación de onda larga	2.5° x 2.5°	diaria		60° S – 10° N 150° W – 20° W	1979 – 2013

Fuente. Datos tomados de Medina (2020)

3.1.2. Softwares usados en el procesamiento de datos:

Todo el trabajo se realizó usando el programa MATLAB ® y herramientas del SOM Toolbox.

3.2. Métodos

A continuación, se mostrarán los métodos utilizados para caracterizar la precipitación relacionados a los patrones húmedos en el Altiplano:

3.2.1. *Identificar patrones de circulación atmosféricos en invierno*

Se determinó la circulación atmosférica para invierno basado en el trabajo de Medina (2020). Medina (2020) determina patrones estacionales basada en métodos estadísticos como el método de mapas autoagrupados (SOM) cuyo base son las cartas de Kohonen (Kohonen, 1988, 2001). Este paso se complementa con el método de Clasificación Jerárquica Ascendente (CAH), estos patrones de circulación atmosféricos se definieron usando el vector viento a 200 hPa para la región entre 15° S – 25° S y 80° W – 60° W, desde 1979 hasta el 2016.

En la Figura 7, se observa la metodología usada por Medina (2020) para obtener los CPs asociada para cada estación del año. Para el caso de invierno, determinó 7 patrones de circulación atmosférica asociados y se clasificaron 3496 días.

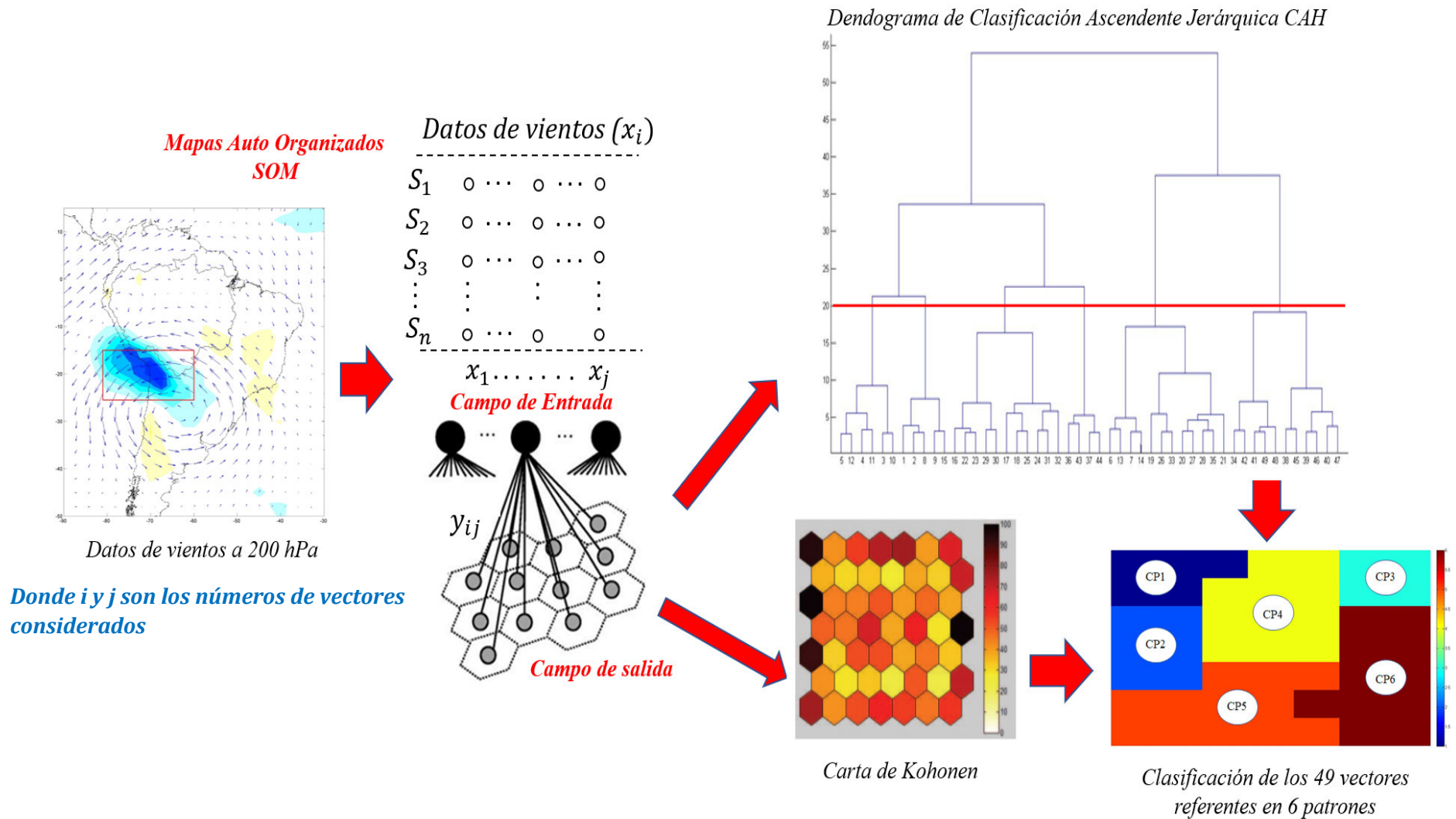


Figura 7: Descripción del procesamiento de datos basado en Mapas Auto Organizados y clasificación Ascendente Jerárquica
 Fuente. Datos tomados de Medina (2020).

3.2.2. *Identificar el número de días del patrón o patrones de circulación en invierno asociado a eventos meteorológicos en la zona del altiplano peruano boliviano*

Con los patrones de circulación determinados, se identifican los patrones que favorecen a la precipitación basado en el análisis de anomalía estandarizada de la OLR, estos valores son se usan como posibles indicadores de sistemas convectivos pues representan nubes en la zona, siendo esta una señal de precipitaciones. Luego, se identifican los mecanismos físicos como incursiones de vientos del sur utilizando el criterio 1 de Bonner adaptada a la región de estudio, tomando como referencia la ubicación de la estación meteorológica al pie del glaciar de El Zongo, pues las precipitaciones en esta estación contribuyen al proceso de recarga del glaciar. (Sicart et al., 2016)

$$AnomalíaV = \frac{VientoV - Promedio (VientoV)}{Viento V}$$

$$Criterio: AnomalíaV \geq 6,0 \frac{m}{s}$$

Donde:

VientoV: componente meridional del viento en el área de estudio a 850 hPa

Promedio (VientoV): promedio de la componente meridional del viento a 850 hPa

AnomalíaV: anomalía de la componente meridional del viento a 850 hPa.

Área de estudio: 15° S – 25° S y 80° W – 60° W.

Ubicación de la estación: -16 ° 12' 0" S y -68° 6' 0" W

3.2.3. *Determinar la influencia de los mecanismos identificados en los patrones de circulación asociados a la ocurrencia de precipitación*

Se analiza la influencia que presentan estos mecanismos identificados en las variables meteorológicas involucradas y la precipitación in situ considerando lo siguiente:

- ***Análisis de la atmósfera en diferentes niveles de presión***

Se usa los valores de altura geopotencial a 850 hPa y a 200 hPa y se validó con la información de la clasificación basado en el trabajo de Medina (2020) cuyo nombre de archivo es *classData*.

- ***Comparación de datos de precipitación para los mecanismos identificados***

Se consideró los datos de las estaciones ubicadas en la región de interés. Para verificar las series de precipitación, se identifican los datos considerados como *outliers* o atípicos utilizando el diagrama de *Boxplot*, tomando en cuenta que se trabajó solo con las estaciones que tenían al menos 67 por ciento de datos.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. Identificar patrones de circulación en invierno asociado a eventos meteorológicos en la zona del Altiplano

Según Medina (2020), para identificar estos patrones de circulación en invierno se usó las cartas autoorganizadas en 3496 días. Estos días fueron agrupados en 7 CPs representados en una neurona en el mapa bidimensional SOM (7×7) vinculados directamente a dos componentes de las variables que son, la posición en el vector referente y el espacio bidimensional, luego de ello, se utiliza el método de dendograma para la clasificación basado en la selección del número de patrones, el criterio que usa es la variabilidad que existe el número de grupos total, de esta manera, agrupa comportamientos similares y como consecuente, se reduce el número de grupos basado en grupos característicos.

Los 7 patrones de circulación clasificados a trabajar se representan en la Figura 8, para eso se realizó un promedio de los días clasificados por número de patrón en el nivel de 200 hPa.

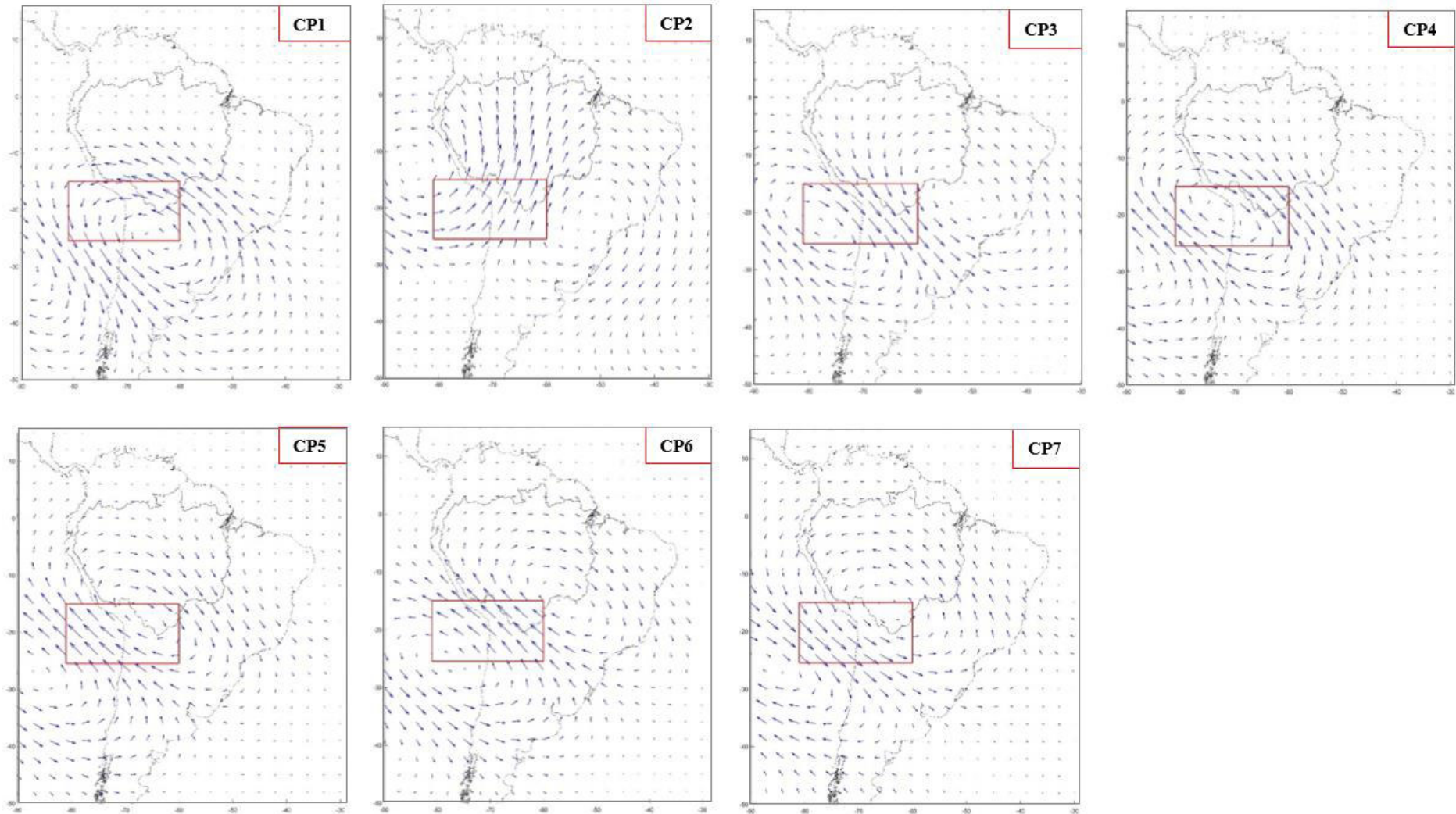


Figura 8: Patrones de vientos zonales a 200 hPa para invierno.

Fuente. Datos tomados de Medina (2020).

La anomalía estandarizados de vientos a un nivel de presión de 200 hPa y OLR es representada en la Figura 9; predominan vientos en dirección noreste y los sistemas convectivos están ubicados en el centro y sureste en la cuenca Amazónica, Altiplano peruano – boliviano, Argentina y en el norte y este de Brasil. Estos patrones han sido reordenados a partir de la formación de los sistemas con presencia de nubes o convectivos y su desplazamiento de acuerdo con los dispuesto por Medina (2020).

La circulación de vientos (CP1) adecuada para el transporte de humedad hacia la zona de Altiplano y base amazónica, este comportamiento persiste en CP2 y CP3, mientras que CP4 y CP5 están asociados a días despejados, donde el núcleo convectivo es menos intenso mientras se traslada hacia la cuenca de La Plata. Con el transcurso de los días, las condiciones de días despejados predominan sobre el continente, debido al ingreso de vientos secos intensos, propiciando la ausencia de sistemas húmedos en el área del Altiplano correspondiente a la zona de estudio que se ve reflejado en los CP6 y CP7, donde, con el paso de los días, la anomalía de ORL se van incrementando, siendo más positivos, de esta forma los vientos son más intensos en toda el área y durante la formación de las DANAs se dan episodios de precipitaciones (Bischoff & Vargas, 2003; Garreaud & Aceituno, 2001). Estos sistemas muestran un aumento en la gradiente zonal de presión y, en consecuencia, se incrementa el flujo de vientos del norte que traen humedad de la cuenca Amazónica (Ferreira et al., 2005). Estos vientos se incrementan en dirección norte, para el área de Argentina, Bolivia y Brasil en dirección sureste, debido al ingreso del viento frío al continente (Marengo et al., 1997; Godoy et al., 2012). Entonces, la ruptura de los vientos provenientes del oeste causa modificaciones abruptas de tiempo promedio en la zona estudiada (calor hacia los polos y frío en las zonas subtropicales). Eso quiere decir que, la presencia de las ondas atmosféricas contribuye al intercambio y transporte de calor entre los polos y el ecuador.

De acuerdo con ello, vamos a utilizar los CP1, CP2 y CP3 que son los patrones que muestran sistemas convectivos sobre el Altiplano, entonces, verificamos primero cuántos días cumplen con el criterio modificado de Bonner para la zona seleccionada cumplen con estos patrones.

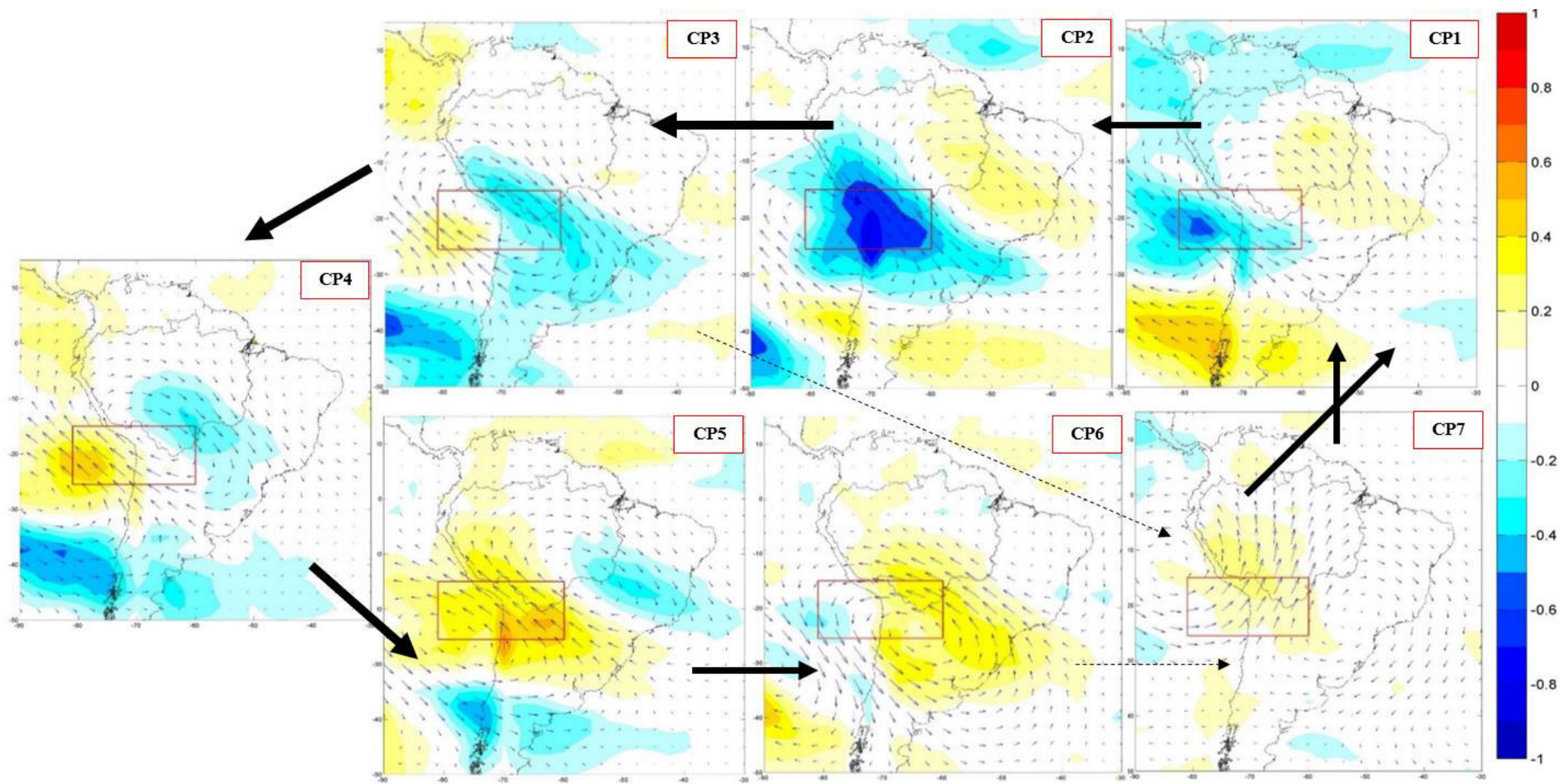


Figura 9: Patrones de circulación para invierno a 200 hPa, representando anomalías estandarizadas de vientos como vectores y OLR, en colores sólidos.

Fuente. Datos tomados de Medina (2020).

4.2. Identificar el número de días del patrón o patrones de circulación en invierno asociado a eventos meteorológicos en la zona del altiplano peruano boliviano

Se identificaron los patrones que favorecen a la precipitación basado en el análisis de anomalía estandarizada de la OLR. Una vez identificados los patrones a trabajar, se identificaron los mecanismos físicos como incursiones de vientos del sur utilizando el criterio 1 de Bonner adaptada a la región de estudio, tomando como referencia la ubicación de la estación meteorológica al pie del glaciar de El Zongo, pues las precipitaciones en esta estación contribuyen al proceso de recarga del glaciar. (Sicart et al., 2016)

$$AnomalíaV = \frac{VientoV - Promedio (VientoV)}{Viento V}$$

$$Criterio: AnomalíaV \geq 6,00 \frac{m}{s}$$

Donde:

VientoV: componente meridional del viento en el área de estudio a 850 hPa

Promedio (VientoV): promedio de la componente meridional del viento a 850 hPa

AnomalíaV: anomalía de la componente meridional del viento a 850 hPa.

Área de estudio: 15° S – 25° S y 80° W – 60° W.

Ubicación de la estación: -16 ° 12' 0" S y -68° 6' 0" W

De acuerdo con el criterio y las fechas determinadas, se clasificaron los días que cumplieron con esta condición. En principio, agrupamos los días con anomalías mayores o iguales a 1. De los 3496 días, se registraron 1094 días con esta característica que equivale al 31,3 por ciento del total de días. La Tabla 2 indica los intervalos seleccionados utilizados para analizar los eventos y clasificarlos de acuerdo con lo expuesto en Medina (2020). Los resultados en la Tabla 3 y Tabla 4 coinciden con lo mostrado en la Tabla 2. La clasificación de estos eventos indica la predominancia del CP1.

Tabla 2: Porcentaje de días para los CPs en invierno.

# DE PATRÓN	% DE DÍAS	# DE DÍAS
CP1	22,0%	769
CP2	11,1%	388
CP3	13,4%	469
CP4	11,9%	416
CP5	15,0%	524
CP6	13,7%	479
CP7	12,9%	451
Total: 7	100	3496

Fuente. Datos tomados de Medina (2020).

Tabla 3: Porcentaje de días que cumplen con el criterio de Bonner adaptado en el glaciar de El Zongo.

ANOMALÍA VIENTOS V	NÚMERO DE DÍAS (1094)	PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL DE DÍAS DETERMINADOS
$6,00 \text{ m/s} \leq \text{anomalías V} < 7,00 \text{ m/s}$	143	13,1 %
$7,00 \text{ m/s} \leq \text{anomalías V} < 8,00 \text{ m/s}$	127	11,6 %
$8,00 \text{ m/s} \leq \text{anomalías V} < 9,00 \text{ m/s}$	125	11,4 %
$9,00 \text{ m/s} \leq \text{anomalías V} < 10,00 \text{ m/s}$	120	10,9 %
$10,00 \text{ m/s} \leq \text{anomalías V} < 11,00 \text{ m/s}$	114	10,4 %
$11,00 \text{ m/s} \leq \text{anomalías V} < 12,00 \text{ m/s}$	98	9,00 %
$12,00 \text{ m/s} \leq \text{anomalías V} < 13,00 \text{ m/s}$	86	7,9 %
$13,00 \text{ m/s} \leq \text{anomalías V} < 14,00 \text{ m/s}$	73	6,7 %
$14,00 \text{ m/s} \leq \text{anomalías V} < 15,00 \text{ m/s}$	52	4,8 %
$\text{anomalías V} \geq 15,00 \text{ m/s}$	156	14,3 %

Tabla 4: Número de días correspondientes a cada intervalo seleccionado basado en el criterio y correspondiente a cada patrón definido en Medina (2020).

6,00 m/s ≤ anomalías V < 7,00 m/s		7,00 m/s ≤ anomalías V < 8,00 m/s		8,00 m/s ≤ anomalías V < 9,00 m/s		9,00 m/s ≤ anomalías V < 10,00 m/s		10,00 m/s ≤ anomalías V < 11,00 m/s	
CP	# de días	CP	# de días	CP	# de días	CP	# de días	CP	# de días
CP1	36	CP1	26	CP1	30	CP1	28	CP1	35
CP2	18	CP2	20	CP2	21	CP2	20	CP2	16
CP3	15	CP3	12	CP3	11	CP3	12	CP3	9
CP4	16	CP4	18	CP4	18	CP4	11	CP4	14
CP5	25	CP5	20	CP5	9	CP5	19	CP5	13
CP6	15	CP6	18	CP6	22	CP6	22	CP6	17
CP7	18	CP7	13	CP7	14	CP7	8	CP7	10
11,00 m/s ≤ anomalías V < 12,00 m/s		12,00 m/s ≤ anomalías V < 13,00 m/s		13,00 m/s ≤ anomalías V < 14,00 m/s		14,00 m/s ≤ anomalías V < 15,00 m/s		anomalías V ≥ 15,00 m/s	
CP	# de días	CP	# de días	CP	# de días	CP	# de días	CP	# de días
CP1	22	CP1	22	CP1	20	CP1	24	CP1	42
CP2	17	CP2	12	CP2	7	CP2	6	CP2	17
CP3	12	CP3	11	CP3	6	CP3	6	CP3	20
CP4	15	CP4	8	CP4	6	CP4	6	CP4	10
CP5	10	CP5	17	CP5	10	CP5	4	CP5	31
CP6	16	CP6	9	CP6	12	CP6	3	CP6	14
CP7	6	CP7	7	CP7	12	CP7	3	CP7	22

4.3. Determinar la influencia de los mecanismos identificados en los patrones de circulación asociados a la ocurrencia de precipitación

Se analizó la influencia que presentan estos mecanismos identificados en las variables meteorológicas involucradas y la precipitación *in situ* (glaciar El Zongo) considerando lo siguiente:

4.3.1 Análisis de la estructura vertical atmosférica

Se usó, a 200 hPa, la altura geopotenciales y se validó con la información del trabajo de Medina (2020) cuyo nombre de archivo es *classData*.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la Tabla 4, para todos los intervalos considerados en la Tabla 3, el mayor número de días corresponde al patrón CP1. De

acuerdo con Medina (2020), la Figura 10 representa la altura geopotencial a 850 hPa, el patrón CP1 representa una confluencia de vientos en la zona de interés, y la incursión de vientos meridionales positivos ingresando al Altiplano y base de la cuenca de El Amazonas asociado a un sistema de alta presión al occidente de la cordillera de Los Andes, y baja presión en el oriente formando el sistema de bloqueo de los Andes (CP2). Con el transcurso de los días (CP3 y CP4) el sistema de alta presión y los vientos se propagan en la cuenca Amazónica. Estos patrones están asociados a sistemas convectivos en el Altiplano (Figura 9). En el patrón CP5 muestra un comportamiento opuesto al patrón mostrado en CP2, este patrón es el inicio de un patrón seco, al igual que CP6 y CP7. Los tres patrones muestran una anomalía de vientos meridional negativo predominante.

La información de la Tabla 3 muestra el número de días que cumplen con el criterio de Bonner adaptado a el glaciar de El Zongo. En la Figura 11, se representó los días de la Tabla 3, siendo el día de inicio el primer día en el cual se cumple el criterio (D0), luego se representa el día D+1 como el día siguiente al evento y así sucesivamente hasta el día D+3. El día D-1 representa el día anterior al día D0, de igual manera, se representan los días anteriores hasta el día D-3. En esta imagen se representa una carta compuesta de anomalías de vientos, anomalías estandarizadas de altura geopotencial, ambas variables a un nivel atmosférico de 200 hPa, donde el día D0 se intensifica la onda en el continente, afectando el glaciar de El Zongo.

La circulación asociada valores medios de vientos y alturas geopotenciales a 500 hPa (Figura 12), en la cual se observa la propagación de una onda atmosférica hacia el continente, esta onda transporta energía y cumple un factor fundamental en la configuración de los mecanismos para la formación de núcleos convectivos.

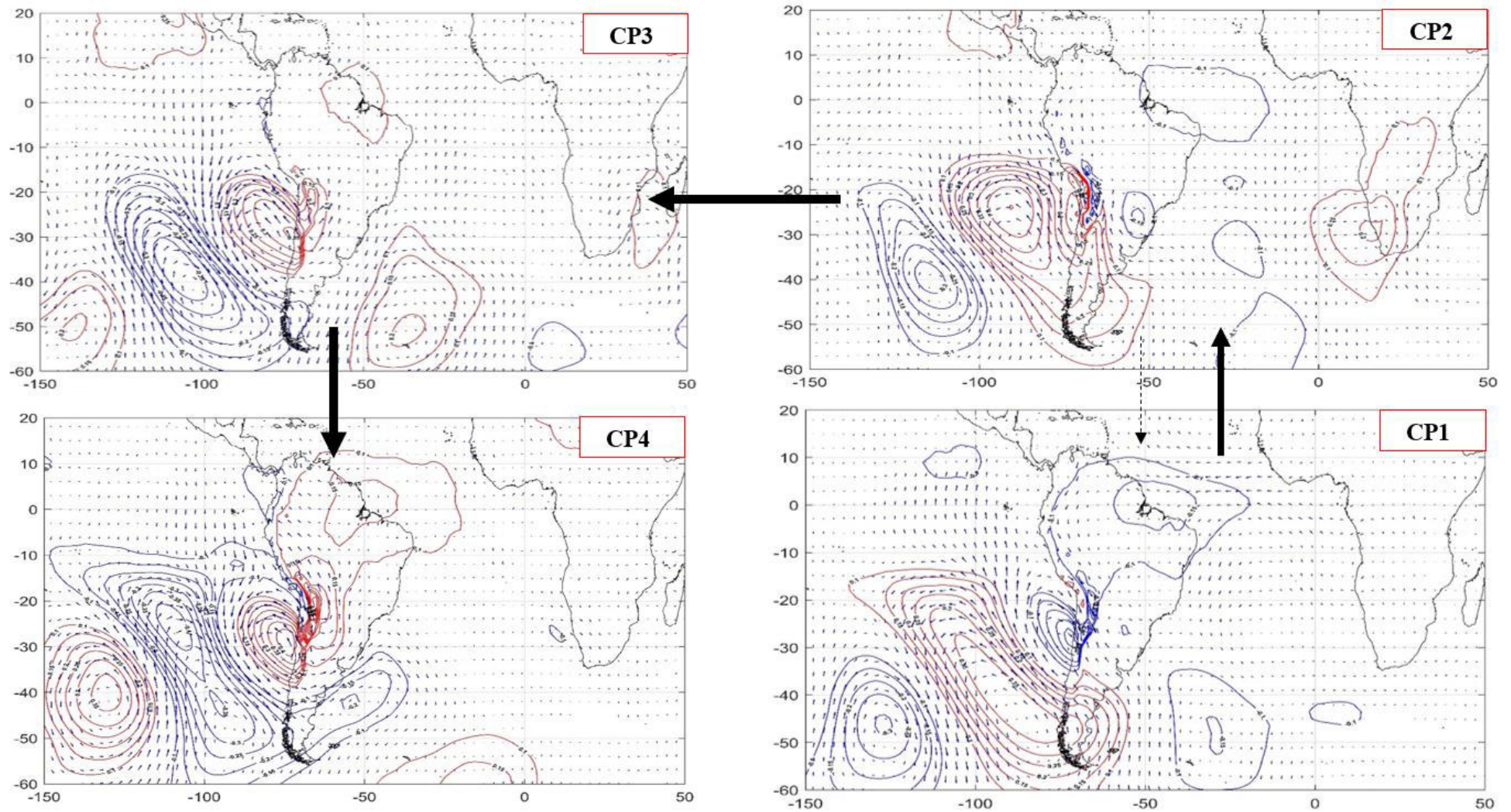


Figura 10: Patrones de circulación para invierno a 850 hPa, representando anomalías estandarizadas de altura geopotencial, como líneas de contorno con valores positivos (negativos) en rojo (azul); y vientos, como vector.
(Continuación)

Fuente. Datos tomados de Medina (2020).

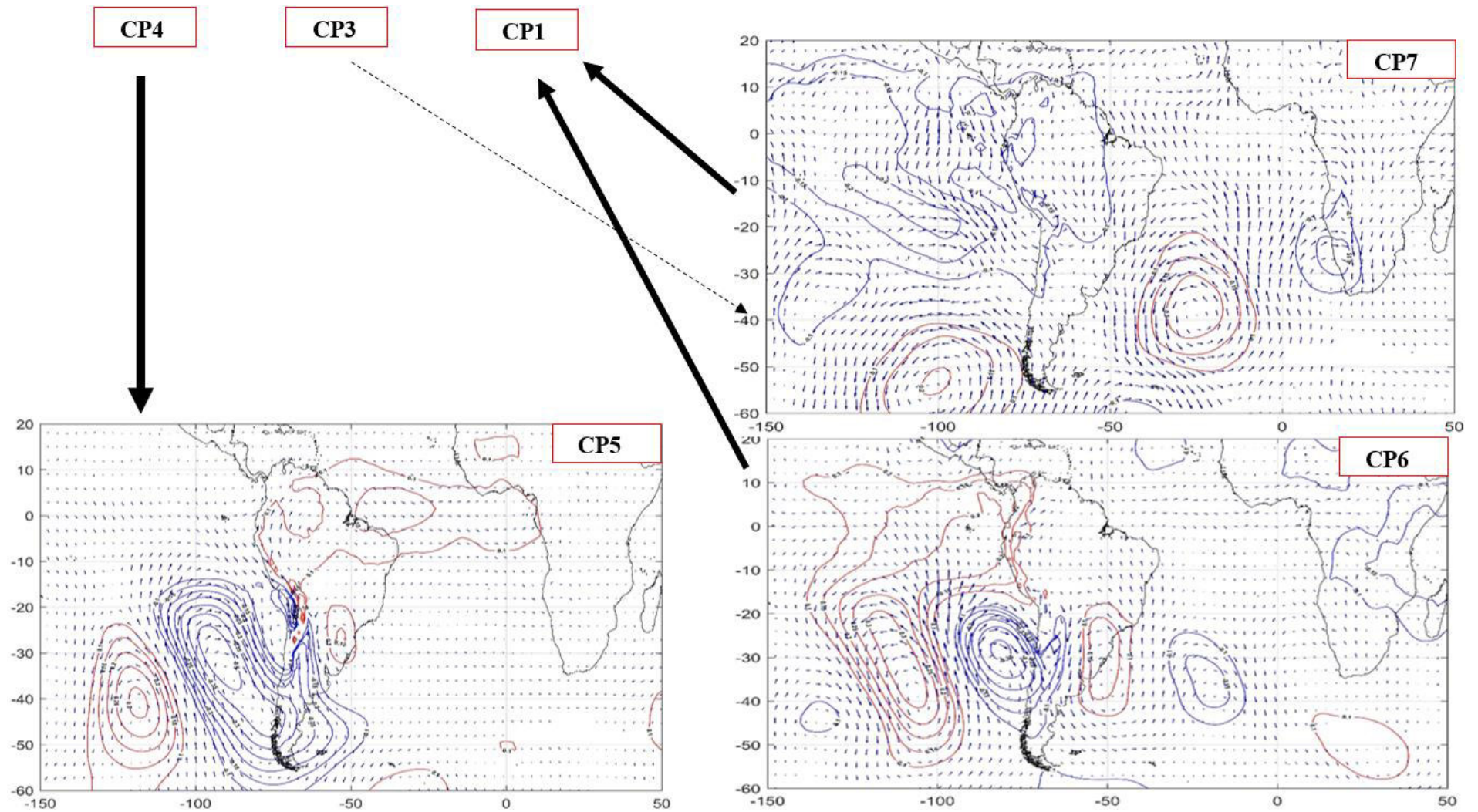


Figura 10: Patrones de circulación para invierno a 850 hPa, representando anomalías estandarizadas de altura geopotencial, como líneas de contorno con valores positivos (negativos) en rojo (azul); y vientos, como vector.
Fuente. Datos tomados de Medina (2020).

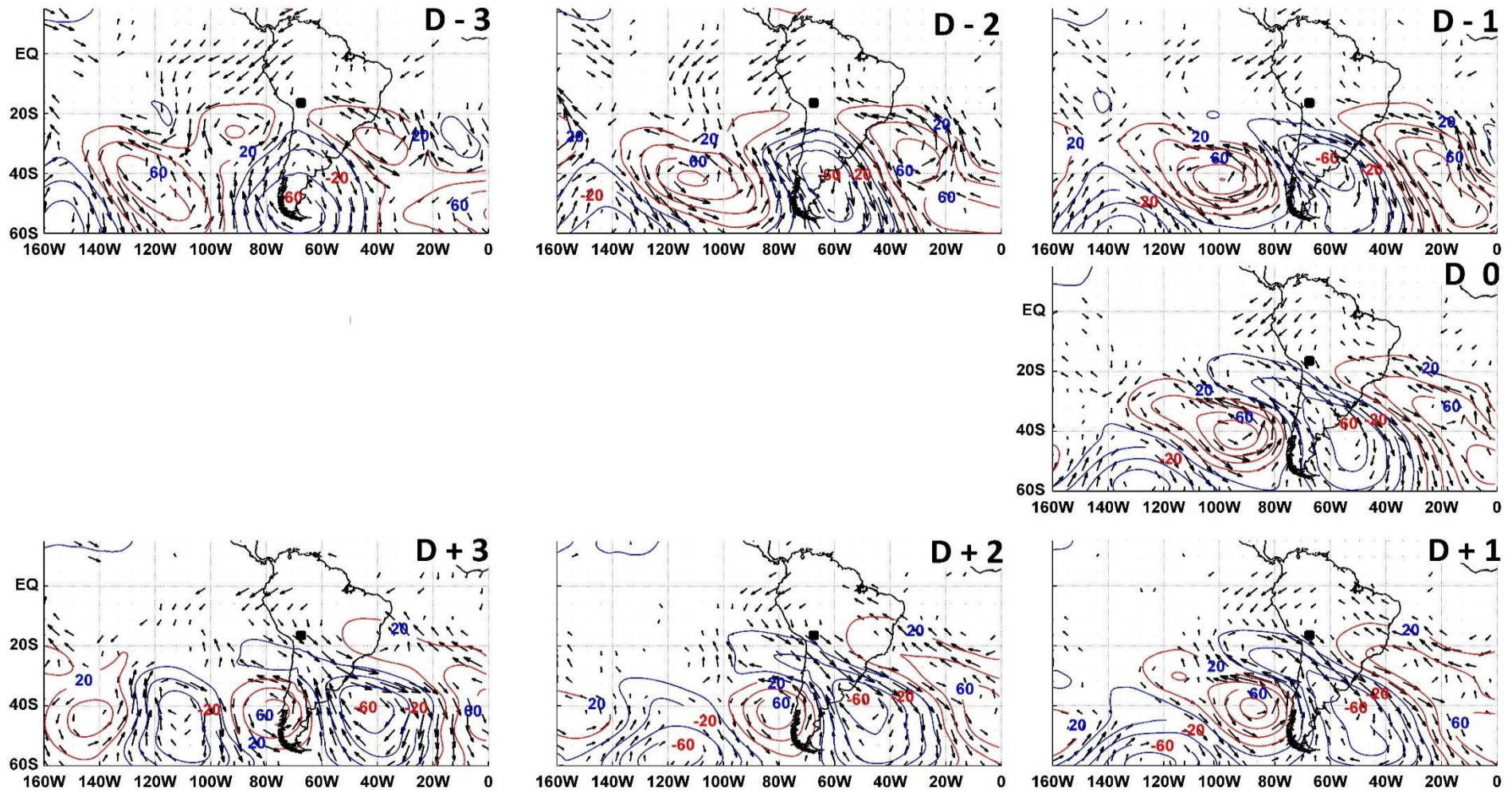


Figura 11: Carta de composición de circulación para invierno a 200 hPa, representando anomalías estandarizadas de altura geopotencial, como líneas de contorno con valores positivos (negativos) en rojo (azul), con intervalos de 40 hPa; y vientos, como vector. El recuadro en color negro es la ubicación del glaciar El Zongo.

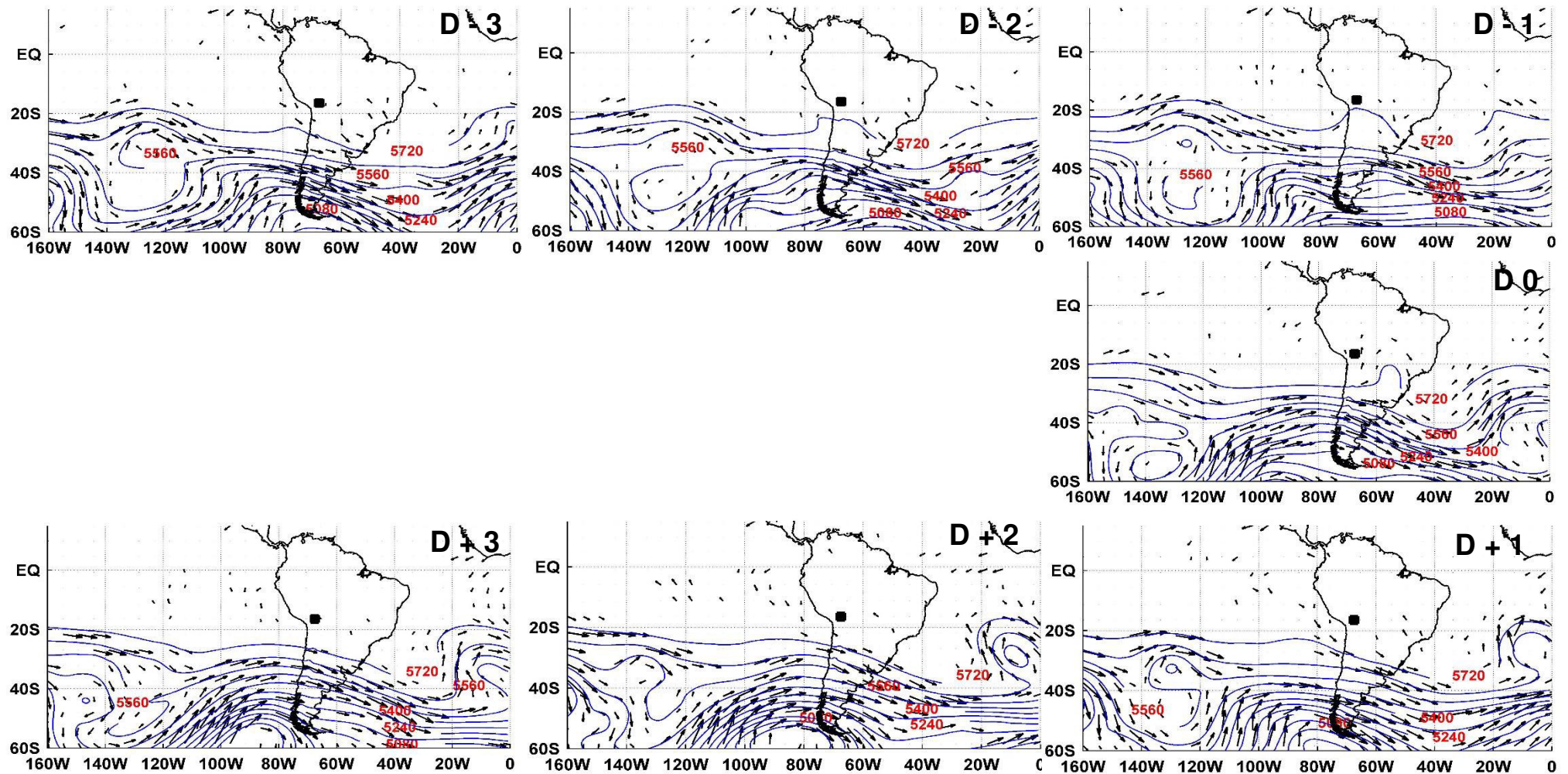


Figura 12: Carta de composición de circulación para invierno a 500 hPa, representando valores medios de altura geopotencial, como líneas de contorno e intervalos de 160 hPa; y vientos, como vector. El recuadro en color negro es la ubicación del glaciar El Zongo.

El día D0 un promedio de todos los días que cumplen con el criterio de Bonner adaptado a la zona de estudio, y lo mismo sucede con los días anteriores y posteriores al evento. El día D-1 hasta el día D+1 son los días centrales, estos tipos de comportamientos se asocian a días con una mayor cantidad de lluvias de corta duración en invierno. (Ver Figura 12)

La Figura 13 es una carta de la circulación asociada valores estandarizados de vientos, OLR y anomalías de alturas geopotenciales a 850 hPa, en este caso la OLR se usa como una señal de la presencia de un sistema convectivo (color azul), mientras que los días despejados (color rojo) son catalogados como días despejados y sin precipitaciones en el glaciar.

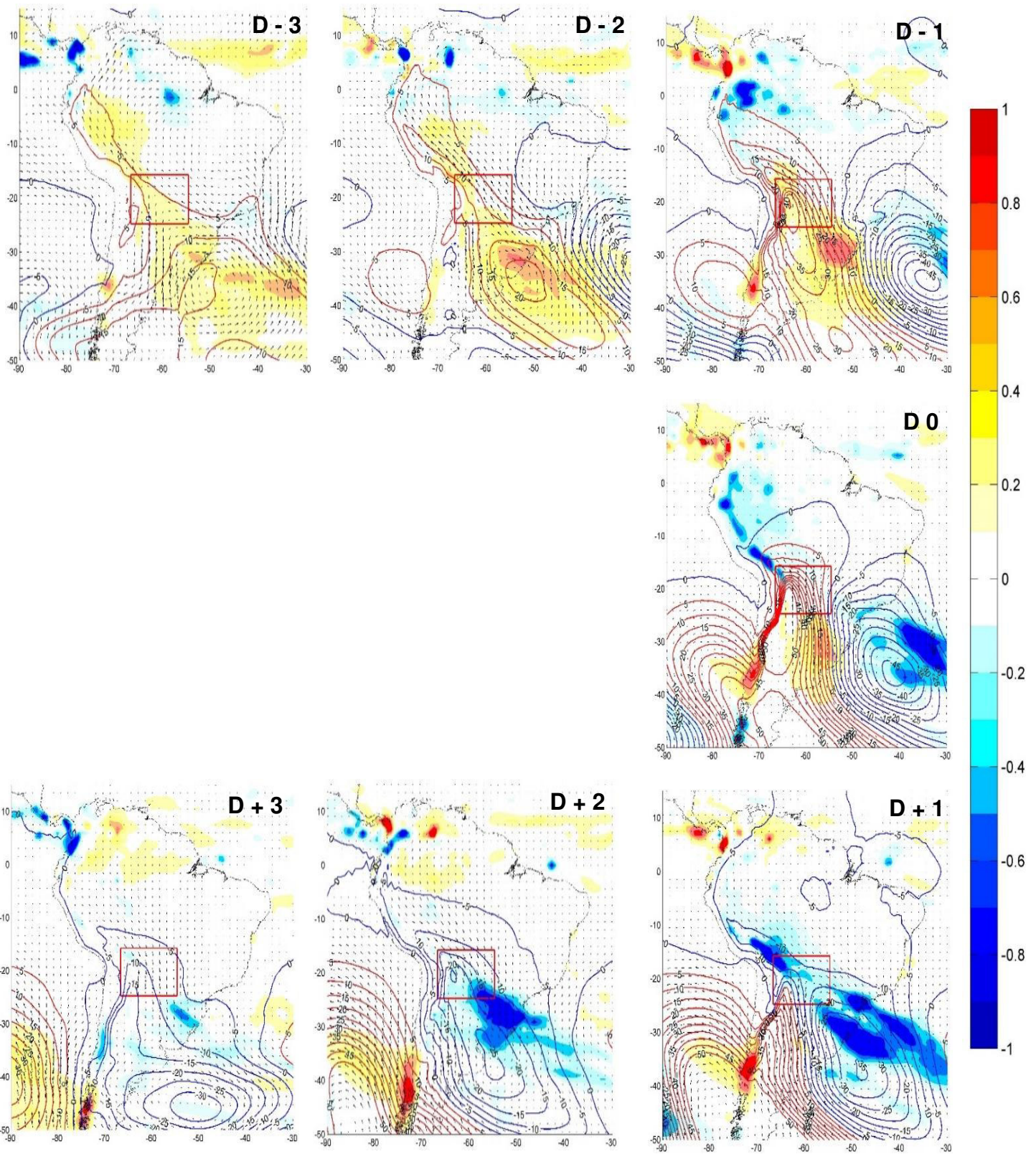


Figura 13: Carta de composición de circulación para invierno a 850 hPa. Representando anomalías estandarizadas de OLR, en colores sólidos, con valores positivos (negativos) en color rojo (azul); anomalías de altura geopotencial como líneas de contorno a intervalos de 5 hPa, las anomalías positivas (negativas) están en rojo (azul); y anomalías estandarizadas de vientos como vectores.

A continuación, se muestra el análisis para un caso particular de días que cumplen con el criterio de Bonner modificado, su desarrollo en los días previos al D 0 y su evolución en los días posteriores. En la Figura 14, Figura 15 y Figura 16 se observó el desarrollo de una baja segregada sobre el continente, que afecta el área del Altiplano, para un evento correspondiente al 12/07/1979 (D 0) representando valores de altura geopotencial y vientos en niveles de presión variados.

A 200 hPa (Figura 14) se observó la propagación de ondas atmosféricas (D-3), con el paso de los días, al incrementar la velocidad de los vientos, se forma una celda fría que progresivamente se aísla del flujo de vientos (D-2 y D-1), para luego posicionarse cerca al glaciar (D0 y D+1). Progresivamente esta DANA desaparece. Se observó que, durante el evento, se cumplen con las características de desarrollo de una DANA, iniciando con una dorsal que se intensifica por advección cálida que ocurre en niveles medios de la atmósfera, que impulsa al jet en la parte delantera, favoreciendo la profundización de la vaguada y completa así el ciclo de la formación de una DANA (Nieto (2005); Bell & Bossart (1993)).

A 500 hPa (Figura 15), se identificó una onda propagándose, donde la parte delantera de la vaguada se aproxima al glaciar (D 0, D+1 y D+2). Esta sección de la onda está relacionada con la presencia de mal tiempo en bajos niveles. Mientras que a 850 hPa (Figura 16), los sistemas convectivos (paleta de color celeste azul) aparecen puntualmente sobre el glaciar desde el día posterior al D 0 catalogado a 200 hPa (D+1, D+4 y D+5). Se da una convergencia de vientos en el área (D 0) para luego, prevalece anomalías positivas de vientos dirigidos hacia el norte que se intensifican en los días D+3 y D+4, donde aparece valores negativos de OLR hasta el día D+5 sobre el glaciar de El Zongo. La presencia de valores de OLR negativa está asociada a días de lluvia, es decir, a precipitaciones puntuales sobre esta región.

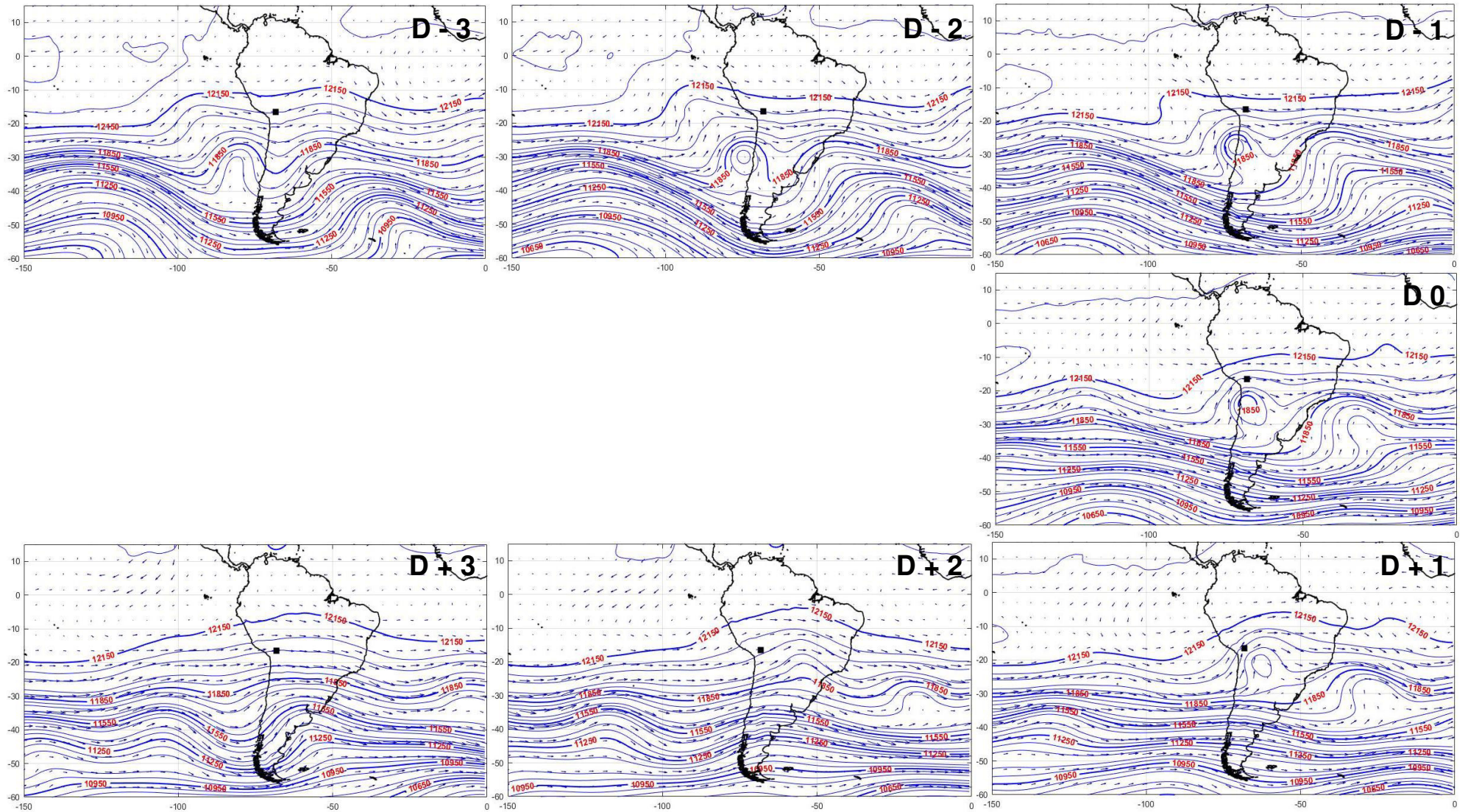


Figura 14: Carta de composición de circulación para invierno a 200 h Pa. Representando valores medios de altura geopotencial, como líneas de contorno e intervalos de 75 hPa; y vientos, como vectores. El recuadro en color negro es la ubicación del glaciar El Zongo.

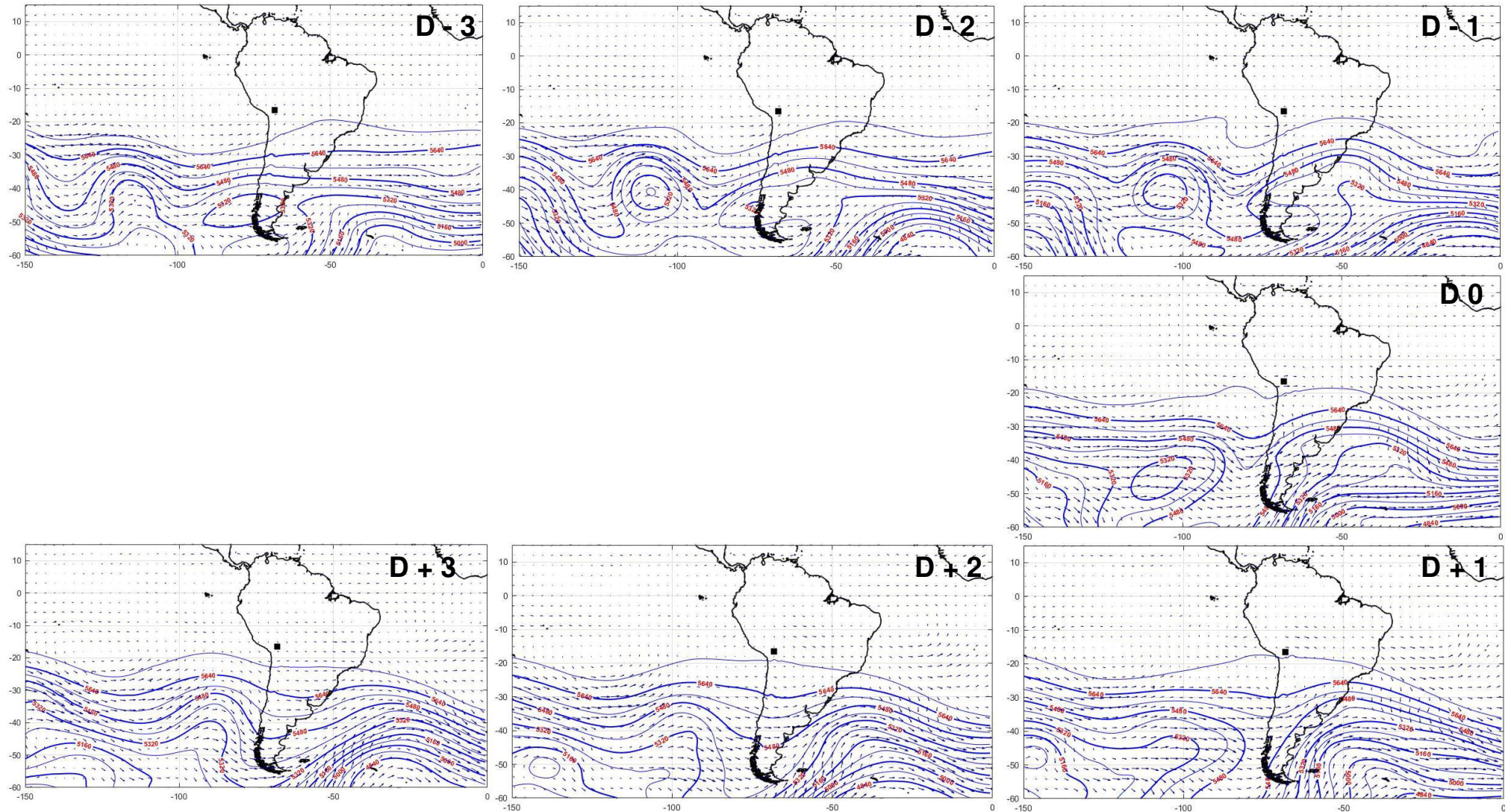


Figura 15: Carta de composición de circulación para invierno a 500 h Pa. Representando valores medios de altura geopotencial, como líneas de contorno e intervalos de 80 hPa; y vientos, como vectores. El recuadro en color negro es la ubicación del glaciar El Zongo.

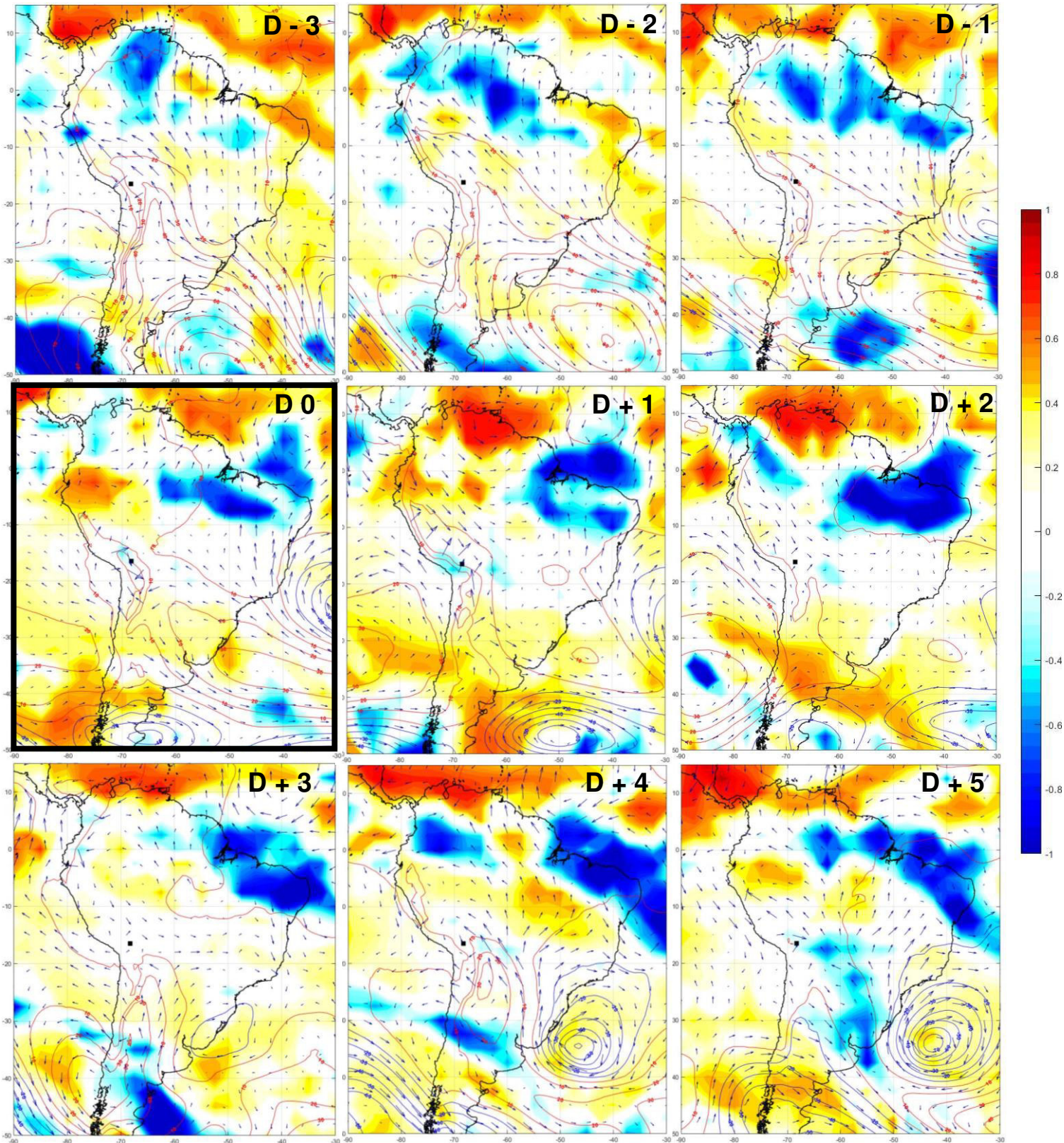


Figura 16: Carta de composición de circulación para invierno a 850 hPa. Representando valores de anomalía de altura geopotencial como líneas de contorno a intervalos de 10 hPa y con valores positivos (negativos) están en rojo (azul); anomalías estandarizadas de vientos como vectores; y OLR con valores positivos (negativos) en colores sólidos rojo (azul). El recuadro en color negro es la ubicación del glaciar El Zongo.

4.3.2 Comparación de datos de precipitación para los mecanismos identificados

Se consideró los datos de estaciones meteorológicas en el área delimitada en el Capítulo 3. De acuerdo con la información de la Figura 16, en esta carta se muestra el promedio de la cantidad de días que representan el día de inicio de la incursión de vientos desde el D-3, se observó que en el día D 0 hay una confluencia de vientos en el glaciar de El Zongo y cumplen con el criterio de Bonner adaptado. Estos resultados son similares a los patrones de circulación definidos en Medina (2020) donde las características de D0 (con marco de color negro), D+1 y D+2 quedan representados en los patrones CP1, CP2 y CP3, mostrando así que los principales mecanismos que modulan los sistemas convectivos en invierno y, por lo tanto, contribución a las precipitaciones en invierno son los jets de bajos niveles en dirección sur y la intensificación de las ondas atmosféricas propagándose hacia el continente en niveles altos de la atmósfera.

La precipitación (ver Figura 17) se representó como la contribución porcentual significativa al 90 por ciento, muestra que los principales días de ocurrencia de eventos lluviosos son D0, D+1 y D+2. En la imagen D-3, se muestra días con ausencia de precipitaciones tanto en los Andes como en la Amazonia, con el paso de los días va disminuyendo progresivamente (imagen D-2 e imagen D-1) con énfasis en las estaciones ubicadas en la Amazonía que tienen menor altitud. La imagen D 0 y D+1, muestran la ocurrencia de eventos de precipitación en las estaciones pertenecientes a los Andes y la Amazonía como un comportamiento de un sistema dual, mientras que la imagen D+2 e imagen D+3 muestran la disminución de la ocurrencia de precipitación, sobre todo en las estaciones ubicadas en el occidente de la cordillera de los Andes.

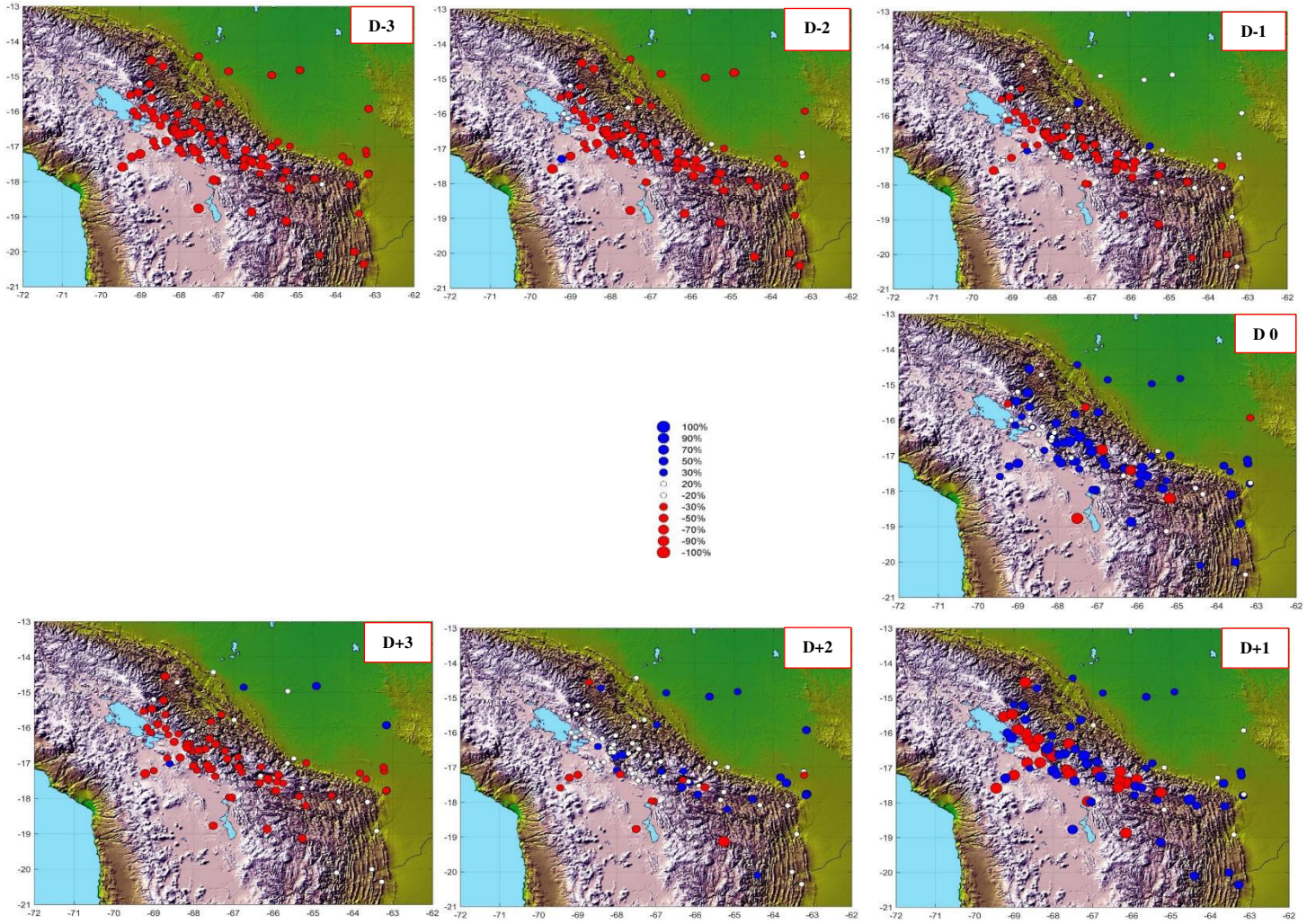


Figura 17: Porcentaje de anomalías de precipitación en las estaciones meteorológicas para invierno. En color azul (rojo) probabilidad de ocurrencia positiva (negativa).

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con los objetivos específicos planteados en este trabajo, podemos mencionar que:

1. De acuerdo con el primer objetivo específico, de 3496 días correspondiente a los días de invierno, 1094 días (31,3 por ciento) cumplen con el criterio modificado de Bonner para el área de 15° S – 25° S y 80° W – 60° W, este criterio está basado en la incursión de vientos provenientes del sur en el glaciar de El Zongo.
2. Respecto a los patrones definidos en Medina (2020), los resultados muestran que el CP1 representa la mayor cantidad de días que se adaptan al criterio de Bonner definido para la zona de estudio, donde el 14,3 por ciento son eventos que representan una anomalía de vientos meridionales mayor o igual a 15,0 m/s y el 13,1 por ciento son eventos con anomalías entre 6,0 m/s y 7,0 m/s.
3. De acuerdo con el segundo objetivo, en invierno, los días D 0 representan los días asociados a formaciones de DANAs. En la alta tropósfera, circulación atmosférica relacionada con la intensificación de la Corriente en Chorro y su interacción con latitudes tropicales, que propicia la incursión de aire cálido a latitudes subtropicales, este intercambio calórico de las masas de aire ocasiona una intensificación en las ondas atmosféricas que se propagan en niveles altos de la atmósfera, entonces la amplitud de la dorsal y la profundización de la vaguada delante de la dorsal propiciando el desprendimiento de la DANA.

4. A 850 hPa, se presenta una confluencia de vientos provenientes de la cuenca Amazónica (dirección noreste) y Océano Pacífico (dirección noroeste), que incentiva el desplazamiento de humedad hacia el continente, en específico, en el llano amazónico y el Altiplano. Que de acuerdo con la Figura 17, propicia la ocurrencia de precipitaciones, siendo congruente al comparar la precipitación *in situ* y OLR.
5. La contribución de precipitación, expresada en porcentajes, significativa al 90 por ciento ocurre en los días asociados con eventos lluviosos D0, D+1 y D+2. En la imagen D-3, se representa un déficit de precipitaciones, tanto en los Andes como en la Amazonia, debido a sistemas de altas presiones ubicados en el continente, que progresivamente se van debilitando (imagen D-2 e imagen D-1), este debilitamiento es notorio en la Amazonía para las estaciones que se encuentran a menor altura. El día D 0 y D+1, representan la ocurrencia de eventos de lluvia en las estaciones de los Andes y Amazonía como un comportamiento de sistema acoplado, relacionado con los sistemas de baja y alta presión (ondas atmosféricas) en altos niveles, además de la confluencia de vientos del noroeste en niveles bajos de la atmósfera, mientras que en altos niveles se propaga a mayor velocidad una onda atmosférica con el paso de los días. La imagen D+2 y D+3 muestran la disminución de la ocurrencia de precipitación sobre todo en las estaciones ubicadas en el occidente de la cordillera de los Andes.

5.1.Recomendaciones y trabajos futuros

La técnica utilizada en Medina (2020) muestra el potencial uso de redes neuronales para determinar y clasificar comportamientos climáticos.

El un mejor análisis de DANAs, se pueden utilizar otras variables como humedad relativa y específica, análisis de la función omega o vorticidad potencial para diferentes niveles de presión.

Adicional a ello, en un futuro cercano, se espera que este tipo de análisis sea acoplado a modelos climáticos para la prevención en zonas vulnerables.

Referencias:

1. Aceituno, P. (1988). On the functioning of the southern oscillation in the South American sector: surface, climate. *Monthly Water Review (116)*: 505–524.
2. Aceituno, P. & Montecinos, A. (1993). Circulation anomalies associated with dry and wet periods in the South American Altiplano. *In International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography (4, 29 March – 2, Hobart, Australia)*. Proceedings. Boston, MA, American Meteorological Society. p. 330-331.
3. Alvarez, M.; Vera, C.; Kiladis, N. (2013). Intraseasonal variability in South America during the cold season. *Climate Dynamics (42)*:3253–3269.
4. Barry, RG. & Chorley, RJ. (1998). *Atmosphere, Weather and Climate*. 7 Ed. Routledge. (p. 433).
5. Bell, G. & Bosart, L. (1993). A case study diagnosis of the formation of an upper- level cutoff cyclonic circulation over the eastern United States. *Monthly Weather Review (121)*:1635-1655.
6. Bishoff, S. & Vargas, W. (2003). The 500 and 1000 hPa weather type circulations and their relationship with some extreme climatic conditions over Southern South America. *International Journal of Climatology 23(5)*:541-556.

7. Boers, N.; Bookhagen, B.; Marwan, N.; Kurths, J. (2013). Complex networks identify spatial patterns of extreme rainfall events of the South American monsoon system. *Geophysical Research Letters* 40(16):4386-4392.
8. Colle, B. & Mass, C. (1995). The structure and evolution of cold surges East of the Rocky Mountains. *Monthly Weather Review* 123:2577–2610.
9. Espinoza, JC. (2009). *Climate variability impacts on the hydrology of the Amazon Basin. (Impact de la variabilité climatique sur l'hydrologie du bassin amazonien)*. Tesis Ph.D. París, Francia, Université Pierre et Marie Curie.
10. Espinoza, JC., 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):121-140
11. Espinoza, JC.; Ronchail, J.; Frappart, F.; Lavado, W.; Santini, W.; Guyot, JL. (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*, 14:1000-1008
12. Espinoza, JC.; Ronchail, J.; Guyot, J.; Junquas, C.; Vauchel, P.; Lavado, W.; Drapeau, G.; Pombosa, R. (2011). Climate variability and extremes drought in the upper Solimões River (Western Amazon Basin): understanding the exceptional 2010 drought. *Geophysical Research Letters*. 38: L13406.
13. Espinoza, JC.; Ronchail, J.; Lengaigne, M. (2012). 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.
14. Falvey, M. & Garreaud R. (2007). Moisture variability over the South American Altiplano during the SALLJEX observing season. *Journal of Geophysical Research*, 110: D22105.

15. Ferreira, L.; Venticinque, E.; Almeida, S. (2005). O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. *Dossiê Amazônia brasileira I, Estudos Avançados*, 19(53):157–166.
16. García, J. (1994). *Principios físicos de climatología*. Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. (p. 244).
17. Garreaud, R. (2009). The Andes climate and weather. *Advances in Geosciences*. 22. 3 – 11.
18. Garreaud, R. & Aceituno, P. (2001). Interannual rainfall variability over the South American altiplano. *Journal of Climate*, 14:2779-2789.
19. Garreaud, R. & Rutllant, J. (1996). Análisis meteorológico de los aluviones de Antofagasta y Santiago de Chile en el periodo 1991-1993. *Atmosfera*, 9(4):251-271.
20. Godoy, A.; Campetella, C.; Possia, N. (2011). Un caso de baja segregada en niveles altos en el sur de Sudamérica: descripción del ciclo de vida y su relación con la precipitación. *Revista Brasileira de Meteorología*, 26(3): 491-502.
21. Godoy, A.; Vera, C., Campetella, C. (2012). *Influencia de la circulación de gran escala en el desarrollo de un evento de baja segregada en el sur de Sudamérica*. XI CONGREGMET.
22. Hewitson, B. & Crane, R. (2002). Self-organizing maps: applications to synoptic climatology. *Climate Research*, 22(1):13-26.
23. Hoskins, B. & Ambrizzi, T. (1993). Rossby wave propagation on a realistic longitudinally varying flow. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 50(12):1661-1671.

24. Hoskins, B.; McIntyre, M.; Robertson, W. (1985). On the use and significance of isentropic potential vorticity maps. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 111(470):877-946.
25. Kohonen, T. (1984). *Self-organizing and associative memory*. 4th ed. Berlin, Springer-Verlag. (p. 326-348).
26. Kohonen, T. (2001). *Self-organizing maps*. 3rd ed. Berlin, Springer-Verlag, Springer Series. (p. 30-40).
27. Lu, E. & Chan, J. (1999). A unified monsoon index for South China. *Journal of Climate*, 12:2375-2385.
28. Marengo, J.; Cornejo, A.; Satyamurty, P.; Nobre, C. (1997). Cold surges in the tropical and extratropical South America. The strong event in June 1994. *Monthly Weather Review*, 125:2759-2788,1997B.
29. Marengo, J. & Wagner, R. (2004). Climatology of the low-level jet eats of the Andes as derived from the NCEP-NCAR Reanalyses: characteristics and temporal variability. *Journal of Climate*, 17:2261-2278.
30. Martín, F. (2003) *Las gotas frías / DANAS. Ideas y conceptos básicos*. Instituto Nacional de Meteorología. (En línea). http://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/estudios/dana_ext.pdf
31. Medina, M. (2020). *Determinación de patrones de vientos horizontales en la tropósfera y su relación con la precipitación en el altiplano peruano boliviano*. Tesis de Maestría en Meteorología Aplicada UNALM, Lima- Perú.
32. Nieto, R.; Gimeno, L.; Torre, L.; Ribera, P.; Gallego, D.; García-Herrera, R.; García, JA.; Nuñez, M.; Redaño, A. and Lorente, J. (2005). Climatological features of cutoff low systems in the Northern Hemisphere. *Journal of Climate* 18(16):3085-3103.

33. Nogues-Paegle, J. & Mo, K. (1997). Alternating wet and dry conditions over South America during summer. *Monthly Weather Review*, 125: 279-291.
34. Paccini, L. (2016). *Patrones de circulación atmosférica intraestacionales de macroescala en bajos niveles asociados a lluvias en la cuenca amazónica*. Tesis Ing. Meteorólogo. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina.
35. Palmén, E., & Newton, W. (1969).: Atmospheric Circulation Systems: Their Structure and Physical Interpretation. *Academic Press*, 603 pp.
36. Quispe, N. (2005). *Condiciones Sinópticas de la Incurción de una Masa de Aire Frío en Sudamérica y su Impacto en los Cultivos de la Selva; Caso específico: Verano de 1996 e invierno de 2000*. Tesis de Ingeniero Meteorólogo UNALM, Lima- Perú.
37. Rondanelli, R.; Gallardo, L.; Garreaud, R. (2002). Rapid changes in ozone mixing ratios at Cerro Tololo (30°10'S, 70°48'W, 2200 m) in connection with cut-off lows and deep troughs. *Journal of Geophysical*. 107.
38. Satyamurty, P.; Nobre, CA.; Silva Díaz, P. (1998). Tropics South America. In Karoly DJ; Vincent DG. (eds.) *Meteorology and hydrology of the Southern hemisphere*. Boston, USA. *Meteorology Monograph*, 49:119-139.
39. SENAMHI (2010). *Atlas de Heladas del Perú*. Disponible en: <http://idesepe.senamhi.gob.pe/portalidesepe/files/tematica/atlas/helada/atlasheladas.pdf>
40. SENAMHI (2016). *Información general Friajes*. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=avisos-detalle-hf&a=2020&b=169&c=022&d=SENA>
41. Segura, H.; Espinoza, JC.; Junquas, C.; Takahasi, K. (2016). Evidencing decadal and interdecadal hydroclimatic variability over the Central Andes. *Environmental Research Letters*, 11(9):1-8.

42. Sicart, JE.; Espinoza, JC.; Queno, L.; Medina, M. (2016). Radiative properties of clouds over a tropical Bolivian glacier: seasonal variations and relationship with regional atmospheric circulation. *International Journal of Climatology*, 36:3116-3128.
43. Vera, I. & Vigliarolo, P. (2000): A diagnostic study of cold-air outbreaks over South America. *Monthly Weather Review*, 128:3–24.
44. Vuille, M. & Ammann, C. (1997). Regional snowfall patterns in the high, arid Andes. *Climatic Change*, 36(3):413–423.
45. Vuille, M.; Bradley, R.; Keimig, F. (2000). Interannual climate variability in the Central Andes and its relation to tropical Pacific and Atlantic forcing. *Journal of Geophysical Research*, 105:12447-12460.
46. Wang, H. & Fu, R. (2002). Cross - equatorial flow and seasonal cycle of precipitation over South America. *Journal of Climate*, 15:1591-1608.
47. World Meteorological Organization (1967). *World Weather Watch and its implications in hydrology and water resources management*. Notes by Némec, J. Reports on WMO/IHD Projects- No. 04
48. Wu, M. & Chan, J. (1994). Surface features of winter mooson surges over South China. *Monthly Weather Review*, 123:662–680.

ANEXOS

Relación de estaciones meteorológicas:

Se cuenta con datos de precipitación correspondiente 173 estaciones meteorológicas pertenecientes a Perú y Bolivia de 1979 al 2016, proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) – Bolivia y Perú, con hasta un 33 por ciento de datos faltantes para cada una de las estaciones meteorológicas en la región de 14°S – 18°S Y 70°W – 62.5°W, correspondiente a la zona de estudio y con alturas variables desde 156 m hasta 4 460 m.

Tabla: Relación de estaciones meteorológicas en el área de interés.

ESTACIONES	LONGITUD	LATITUD	ALTURA (msnm)
ACHACACHI	-63°24'15"	-18°55'10"	440
AGUALLAMAYA	-69°0'0"	-17°13'0"	3880
ACHOCALLA	-69°0'0"	-17°13'0"	3880
AGUARAYCITO	-68°9'44"	-16°34'12"	3764
AIQUILE	-66°7'58"	-17°24'59"	2600
ALALAY	-68°9'44"	-16°34'12"	3764
ALCOCHE	-66°7'58"	-17°24'59"	2600
ANCO HUMA (ANCOHOMA)	-68°54'0"	-15°54'0"	3882
ANCOHAQUI	-65°10'43"	-18°12'11"	2255
ANGOSTODELBALA	-68°54'0"	-15°54'0"	3882
ANTAQUILLA	-65°55'58"	-17°47'0"	3762
APACHETA	-68°24'42"	-14°43'12"	3020
ARACA	-65°45'16"	-17°34'24"	1406
ARANI	-65°55'58"	-17°47'0"	3020
ARAPATA HUAYCUNI	-63°9'27"	-15°55'47"	2767

<i>Continuación</i>			
ASCENCIONDEGUARAYO	-68°24'42"	-14°43'12"	1406
ATISPAYA (MARAVILLAS)	-65°45'16"	-17°34'24"	2767
AUCAPATA	-68°0'0"	-17°4'59"	3888
AYOAYO	-63°9'27"	-15°55'47"	247
AYO AYO	-66°8'57"	-18°52'10"	3700
AYOMA	-64°24'35"	-20°6'1"	3700
BAUTISTA SAAVEDRA	-68°42'0"	-16°1'0"	2530
BELLA VISTA	-69°13'0"	-17°18'0"	3820
BELLAVISTA	-68°0'0"	-17°4'59"	3888
BERENGUELA	-63°37'59"	-18°6'0"	4145
BOLIVAR	-63°16'37"	-20°21'28"	1000
BOLINDACIMA	-64°24'35"	-20°6'1"	2530
BOLSA NEGRA	-63°40'0"	-17°27'0"	400
BUENA VISTA	-67°2'48"	-17°58'28"	3720
BUEN RETIRO	-65°15'57"	-19°7'58"	2400
CAJETILLAS	-69°13'0"	-17°18'0"	4145
CALACHAC	-63°37'59"	-18°6'0"	1000
CALACHACA	-68°4'59"	-16°34'0"	3280
"CALACOTO ""C"""	-68°45'7"	-15°13'27"	2250
CALAMARCA	-63°31'32"	-20°0'21"	798
CAMATA	-63°16'37"	-20°21'28"	800
CAMPANARIO	-65°15'55"	-17°42'36"	2400
CANASMARO	-68°35'59"	-17°1'0"	3951
CAÑAVIRI	-63°40'0"	-17°27'0"	400
CAPINOTA	-67°33'43"	-15°49'49"	900
CAQUIAVIRI	-69°27'0"	-17°12'0"	4129
CATACORA	-68°4'59"	-16°34'0"	3280
CARACATO	-63°10'1"	-17°46'58"	416
CENTRALSANTACRUZ	-68°45'7"	-15°13'27"	2250
CHACALTAYA	-66°47'40"	-17°15'48"	3780
CHAGUARANI	-69°27'2"	-17°35'9"	4057
CHAGUAYA	-65°15'55"	-17°42'36"	2400
CHALLABELEN	-68°35'59"	-17°1'0"	3951
CHARAÑA(AASANA)	-67°33'43"	-15°49'49"	900
CHARAPAYA	-69°27'0"	-17°12'0"	4129
CHARAZANI	-68°34'59"	-16°16'59"	4339
CHIGIPIÑAGRANDE	-63°10'1"	-17°46'58"	416
CHIMBOCO	-67°9'6"	-16°52'44"	2600

<i>Continuación</i>			
CHORITO	-66°47'40"	-17°15'48"	3780
CHOROCONA	-69°27'2"	-17°35'9"	4057
CHULLCUMAYU	-69°0'12"	-15°11'43"	3659
CHULIMA	-67°13'0"	-16°39'7"	2012
CHUMA	-66°10'4"	-17°24'20"	2548
CHUQUIÑA	-68°19'59"	-16°51'0"	3911
CIRCUATA	-65°28'58"	-16°52'23"	411
CUniversidad U.T.O.	-68°34'59"	-16°16'59"	4339
COCOTANI	-67°9'6"	-16°52'44"	2600
COLLANA	-64°31'59"	-17°55'5"	1614
COLOMI	-67°27'25"	-17°22'41"	3965
COLQUIRI	-69°4'0"	-16°7'59"	3815
COMARAPA	-67°13'0"	-16°39'7"	2012
CONIRI	-66°10'4"	-17°24'20"	2548
CONZATA	-67°36'5"	-16°18'39"	1788
COPACABANA	-68°19'59"	-16°51'0"	3911
COPACATI	-65°52'14"	-17°20'9"	3309
CORIPATA	-66°58'51"	-15°47'2"	500
COROMATAS	-67°27'25"	-17°22'41"	3965
CRISTAL MAYU	-68°10'9"	-16°28'55"	4100
COVENDO	-69°4'0"	-16°7'59"	3815
CUATRO ESQUINAS	-68°13'5"	-16°31'33"	4000
CURABAMBA	-67°36'5"	-16°18'39"	1788
EL ALTO - ALTO LIMA	-64°20'59"	-18°4'59"	1930
EL ALTO - VILLA ADEL	-63°10'14"	-17°48'0"	437
EL TRIGAL	-63°8'59"	-17°46'0"	398
EL CAIRO	-66°58'51"	-15°47'2"	500
EL PORVENIR	-65°38'35"	-17°0'28"	516
ESCOMA	-68°10'9"	-16°28'55"	4100
GUANAY	-68°22'37"	-16°10'30"	4460
GUAPILO	-68°13'5"	-16°31'33"	4000
HICHUCOTA	-64°20'59"	-18°4'59"	1930
HUACULLANI	-63°10'14"	-17°48'0"	437
HUARINA	-63°8'59"	-17°46'0"	398
HUAYLLAMARCA	-68°22'37"	-16°10'30"	4460
ICHUCOLLO	-66°52'0"	-17°7'0"	2788
INCACHACA	-68°37'59"	-16°12'0"	3838
INCA PAMPA	-67°8'12"	-16°53'51"	2766

<i>Continuación</i>			
IRPA CHICO	-67°26'44"	-16°28'5"	3838
IRPA IRPA	-69°10'0"	-16°0'0"	2788
IRUPANA	-69°2'40"	-15°27'56"	2766
ISICANI	-68°48'59"	-16°43'0"	1350
ITURATA	-66°52'0"	-17°7'0"	2788
JANKOCALA	-67°8'12"	-16°53'51"	2766
JATUN MAYU (LACAYAS)	-65°10'17"	-16°59'42"	254
JUANVENA	-67°26'44"	-16°28'5"	1885
KALLUTACA	-68°1'59"	-16°4'59"	2700
KELUYOCHICO	-69°10'0"	-16°0'0"	4027
KHORA	-69°2'40"	-15°27'56"	3500
KOLLUCACHI	-68°48'59"	-16°43'0"	1350
LA GUARDIA	-67°42'10"	-16°36'0"	4027
LA JOTA	-66°8'8"	-17°26'54"	3500
LICOMA	-68°8'52"	-16°27'9"	3912
LOS FIERROS	-68°5'4"	-16°20'49"	254
LAPAZ-ACHACHICALA	-67°42'10"	-16°36'0"	3365
LAPAZ-ALTOACHACH	-66°8'8"	-17°26'54"	2570
LA PAZ - ALTO VILLA	-68°5'33"	-16°26'58"	3365
LA PAZ - BARRIO MAGI	-68°9'14"	-16°29'34"	2570
LA PAZ - BELLA VISTA	-68°37'59"	-16°12'0"	3200
LA PAZ-CHICANI I	-68°8'52"	-16°27'9"	3200
LA PAZ - CHICANI	-68°7'18"	-16°30'3"	4383
LA PAZ - CHUQUIAGUIL	-68°2'49"	-16°32'0"	3420
LAPAZ-CUARTOCENTRO	-68°5'4"	-16°20'49"	4383
LA PAZ - LAIKACOTA	-68°8'4"	-16°29'35"	3658
LA PAZ - PUENTE NEGRA	-68°6'50"	-16°28'58"	3600
LA PAZ (SENAMHI)	-68°8'21"	-16°28'50"	3840
LA PAZ - TEMBLADERAN	-68°8'30"	-16°31'9"	3980
LA PAZ - VILLA COPA	-67°39'20"	-17°3'32"	2480
LA PAZ-VILLACOPA	-68°7'18"	-16°30'3"	3576
LA PAZ-VILLAVICTO	-68°2'49"	-16°32'0"	3420
LURIBAY	-68°8'4"	-16°29'35"	3658
MACARA	-68°1'18"	-16°40'18"	2680
MAPIRI	-68°6'50"	-16°28'58"	3600
MIGUILLAS	-68°8'21"	-16°28'50"	3840
MILLIPUNKU	-68°8'30"	-16°31'9"	3980
MINACHI	-63°13'35"	-17°6'56"	245

<i>Continuación</i>			
MINA CHOJLLA	-66°17'59"	-17°6'28"	3350
MINA NEVADA	-65°21'5"	-17°56'13"	2045
MISICUNI	-68°1'18"	-16°40'18"	2680
MIZQUE	-63°15'15"	-17°20'30"	3000
MONTERO (SEARPI)	-67°7'0"	-17°58'0"	3702
MOROCHATA	-66°19'6"	-17°21'57"	2530
NARANJANI	-63°13'35"	-17°6'56"	245
NAZACARA	-66°17'59"	-17°6'28"	3350
NUBE	-65°21'5"	-17°56'13"	2045
PAIRUMANI	-67°17'59"	-15°37'59"	763
PALCOHOMA	-66°20'36"	-17°33'57"	2493
PALOS BLANCOS	-68°43'0"	-14°33'0"	1500
PAMPA TAMBO	-67°55'0"	-17°12'0"	3789
PARQUELOMASDEAREN	-67°7'0"	-17°58'0"	3702
PASTO PATA	-67°51'25"	-16°38'18"	3780
PINAYA	-67°17'59"	-15°37'59"	763
PLANTACARABUCO	-66°20'36"	-17°33'57"	2493
PLANTA MIGUILLAS	-67°32'12"	-17°9'57"	3100
PLANTA HUAJI (ZONGO)	-69°15'0"	-15°31'59"	3835
PLANTA TIQUIMANI (ZONGO)	-68°28'59"	-16°23'59"	4120
POCANCHI	-68°43'0"	-14°33'0"	1500
POCONA	-67°55'0"	-17°12'0"	3789
PORTACHUELO	-67°51'25"	-16°38'18"	3780
PUCHUNI	-68°42'20"	-15°37'21"	3470
PUENTEVILLA	-63°23'29"	-17°21'7"	289
QUIABAYA	-69°15'0"	-15°31'59"	3835
QUIRIRIA	-67°30'11"	-14°25'46"	204
REYES (AASANA)	-63°12'46"	-17°13'24"	320
SAAVEDRA (CIMCA)	-67°36'29"	-17°10'4"	3500
SACABAMBAENDE	-68°42'20"	-15°37'21"	3470
SACRAMENTO CHICO	-66°44'22"	-14°51'27"	194
SAN BENITO	-65°37'56"	-14°58'7"	160
SAN BORJA (AASANA)	-66°52'59"	-16°49'59"	1220
SANBUENAVENTURA	-67°30'11"	-14°25'46"	204
SANCRISTOBAL	-63°12'46"	-17°13'24"	320
SAN IGNACIO DE MOXOS	-63°49'8"	-17°17'15"	350
SAN JOSE ALTO	-67°36'29"	-17°10'4"	3500
SAN JUAN DEL POTRERO	-65°54'16"	-17°31'42"	2550

<i>Continuación</i>			
SAN JUAN DE YAPACANI	-66°44'22"	-14°51'27"	194
SANPEDRO	-65°37'56"	-14°58'7"	160
SAN PEDRO CURAHUARA	-66°52'59"	-16°49'59"	1220
SAPAHAQUI	-63°49'8"	-17°17'15"	350
TODOS SANTOS	-64°54'59"	-14°49'23"	156
VILAQUE	-65°37'56"	-14°51'27"	140
Total: 173			