
ESTUDIO DE LA FRECUENCIA DE NEVADAS EN EL PERÚ

PREPARADO POR:
BOMSHOMS CALVELO, Marti
QUISPE GUTIÉRREZ, Nelson
QUISPE VEGA, Kelita

**Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica
Subdirección de Predicción Meteorológica**

**SENAMHI-PERU
LIMA, ABRIL 2018**

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	3
2.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1.	Nieve	4
2.2.	Andes en Sudamérica.....	4
2.3.	Nevadas en la cordillera de los Andes.....	4
2.4.	Andes en Perú	10
2.5.	Criósfera en Perú.....	10
3.	OBJETIVOS	12
4.	DATOS Y MÉTODOS	12
4.1.	Red de estaciones meteorológicas.....	12
4.2.	Sistemas de información geográfica	13
4.3.	Determinación de nevadas	13
4.4.	Determinación de circulaciones atmosféricas favorables para la generación de nevadas 13	
4.5.	Determinación de frecuencia de nevadas.....	13
5.	RESULTADOS	14
5.1.	Circulaciones atmosféricas que producen nevadas.....	14
5.2.	Circulación promedio	20
5.3.	Concentración de Agua Precipitable promedio	21
5.4.	Zonas afectadas por nevadas	23
5.5.	Mapas de frecuencia de nevadas por meses	24
6.	CONCLUSIONES	50
7.	GLOSARIO DE TÉRMINOS	51
8.	BIBLIOGRAFIA.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1.- Picos más altos por país de la Cordillera de los Andes.	6
Figura 2.2.- Efectos de las nevadas en diferentes regiones aledañas a la Cordillera de los Andes. ...	8
Figura 4.1.- Estaciones convencionales utilizadas de la red de SENAMHI.	12
Figura 5.1.- Eventos seleccionados con la configuración 1.	15
Figura 5.2.- Eventos seleccionados con la configuración 2.	16
Figura 5.3.- Eventos seleccionados con la configuración 3.	17
Figura 5.4.- Eventos seleccionados con la configuración 4.	19
Figura 5.5.- Eventos seleccionados con la configuración 5.	19
Figura 5.6.- Altura geopotencial (m _{gp}) y viento (m/s) promedio para las 5 circulaciones que favorecen las nevadas en los Andes de Perú.	20
Figura 5.7.- Agua precipitable ponderada en capas medias promedio para las 5 circulaciones que favorecen las nevadas en los Andes de Perú.	22
Figura 5.8.- Número de días de nevada por estación.	23
Figura 5.9.- Número de eventos de nevadas promedio en el mes de enero.	25
Figura 5.10.- Número de eventos de nevadas promedio en el mes de febrero.	26
Figura 5.11.- Número de eventos de nevadas promedio en el mes de marzo.	27
Figura 5.12.- Número de eventos de nevadas promedio en el mes de abril.	28
Figura 5.13.- Número de eventos de nevadas promedio en el mes de mayo.	29
Figura 5.14.- Número de eventos de nevadas promedio en el mes de junio.	30
Figura 5.15.- Número de eventos de nevadas promedio en el mes de julio.	31
Figura 5.16.- Número de eventos de nevadas promedio en el mes de agosto.	32
Figura 5.17.- Número de eventos de nevadas promedio en el mes de setiembre.	33
Figura 5.18.- Número de eventos de nevadas promedio en el mes de octubre.	34
Figura 5.19.- Número de eventos de nevadas promedio en el mes de noviembre.	35
Figura 5.20.- Número de eventos de nevadas promedio en el mes de diciembre.	36
Figura 5.21.- Porcentaje de eventos de nevadas promedio en el mes de enero.	38
Figura 5.22.- Porcentaje de eventos de nevadas promedio en el mes de febrero.	39
Figura 5.23.- Porcentaje de eventos de nevadas promedio en el mes de marzo.	40
Figura 5.24.- Porcentaje de eventos de nevadas promedio en el mes de abril.	41
Figura 5.25.- Porcentaje de eventos de nevadas promedio en el mes de mayo.	42
Figura 5.26.- Porcentaje de eventos de nevadas promedio en el mes de junio.	43
Figura 5.27.- Porcentaje de eventos de nevadas promedio en el mes de julio.	44
Figura 5.28.- Porcentaje de eventos de nevadas promedio en el mes de agosto.	45
Figura 5.29.- Porcentaje de eventos de nevadas promedio en el mes de setiembre.	46
Figura 5.30.- Porcentaje de eventos de nevadas promedio en el mes de octubre.	47
Figura 5.31.- Porcentaje de eventos de nevadas promedio en el mes de noviembre.	48
Figura 5.32.- Porcentaje de eventos de nevadas promedio en el mes de diciembre.	49

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Número de emergencias por motivo de nevadas por región (INDECI). 5
Tabla 2.2.- Información de la Cordillera de los Andes y picos más altos por país. 7
Tabla 5.1.- Días de nevadas generalizadas en los Andes peruanos. 14

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los fenómenos meteorológicos característicos de nuestros Andes son las nevadas, principalmente debido a la topografía que presenta nuestro país.

La nieve (riti en quechua), es poco frecuente en la zona tropical del planeta, sin embargo, en nuestro país, gracias a la cordillera de los Andes, la cual alcanza altitudes superiores a los 6000 msnm y presenta condiciones extremadamente frías, cubre las zonas más altas desde la región de Ancash y continúa hacia el sur. Asimismo, las extensas áreas por encima de los 4000 msnm hacen que el Perú sea el país tropical donde se puede presentar una mayor cobertura nival.

Las nevadas son un componente crítico del sistema hidrológico en las regiones de altitud media y alta incluso en paisajes montañosos. Las nevadas también juegan un papel importante en el intercambio de energía y agua entre la atmósfera y la tierra. La presencia de nieve aumenta el albedo superficial, lo que resulta en un enfriamiento regional sobre las regiones cubiertas de nieve. La nieve es también una importante reserva de agua y actúa como amortiguador en el sistema hidrológico que controla la descarga de los ríos y los procesos y peligros ambientales asociados.

En el Perú, sin embargo, también causan grandes pérdidas económicas en la sierra, estas pueden generar efectos adversos en el sector agrícola, turismo, transporte y vivienda, e incluso, daños en la salud, especialmente en los sectores central y sur del país. Estas precipitaciones suelen presentarse en localidades por encima de los 3800 msnm. A pesar de presentar un riesgo para el país, las nevadas tienen escasas mediciones y carecen de un registro histórico extenso.

El presente trabajo tuvo como objetivo principal determinar la frecuencia mensual de nevadas en los Andes del Perú en base a mapas que delimiten zonas propensas a presentarlas.

Para esto, se evaluó la distribución espacial y temporal de las nevadas en base a la información obtenida de las estaciones meteorológicas convencionales (se trabajó de acuerdo al número de nevadas que se presentó por estación). Además, se establecieron las principales circulaciones atmosféricas que favorecen la ocurrencia de nevadas.

De esta manera el presente trabajo ayudará a conocer más sobre la distribución y frecuencia de las nevadas en el Perú; así como, las circulaciones que las favorecen.

Este documento ha sido desarrollado por la Subdirección de Predicción Meteorológica con la finalidad de brindar información relacionada a las nevadas en el territorio peruano. El marco multisectorial de heladas y friajes abarca el tema de las nevadas, las cuales afectan a las zonas altoandinas, frecuentemente por encima de los 3800 msnm, y pueden ocasionar graves daños a la población, interfiriendo en las actividades económicas como la ganadería y agricultura, así como causando la destrucción de viviendas y la interrupción de vías de comunicación.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Nieve

Precipitación de agua en estado sólido, en forma de copos de estructura cristalina, principalmente en forma de estrella o cristales hexagonales rameados. La nieve se forma cuando la temperatura es tan baja que los cristales de hielo de las nubes se mantienen en estado sólido hasta llegar a la superficie. Por lo general puede presentarse nieve cuando se produce precipitación y la temperatura del aire es inferior a los 2-3°C.

En el Perú la confabulación de humedad e ingreso de aire frío y seco proveniente de latitudes medias hacia regiones tropicales conlleva a la formación de frontogénesis tropicales y posteriormente la ocurrencia de nevadas intensas en zonas altas (sobre los 3500 msnm) de la región sur del Perú. (Quispe, 2014)

Otro factor importante son las Depresiones aisladas en niveles altos que también pueden traer vientos fuertes, fuertes nevadas y condiciones de frío inusuales a las regiones de gran elevación (Vuille y Ammann, 1997).

2.2. Andes en Sudamérica

Salaverry (2007) indicó que “la cordillera de los Andes corre a partir de los 50°S de sur a norte en la divisoria del territorio de Chile y Argentina y se desvía del sudeste al noreste en el territorio del Perú, a la altura del paralelo 18°S hasta el paralelo 14°S, en donde vuelve a cambiar de rumbo hacia el nor-noroeste hasta el paralelo 6°S y continúa hacia el nor-noreste hacia Ecuador, Colombia y Venezuela”. Debido a su longitud, continuidad y altitud, los Andes debilitan significativamente la circulación atmosférica, generando variaciones a nivel de mesoescala (escalas horizontales de cientos de kilómetros) y escala sinóptica (miles de kilómetros) por lo que, a su vez, condiciona las condiciones climáticas a lo largo de las laderas (Garreaud, 2009 y Walsh, 1994).

Los patrones fundamentales para la presencia de precipitaciones en los Andes en verano son la Alta de Bolivia (AB), la cual se establece en alta atmósfera (~12km) y el jet de bajos niveles (JBN) que se desplaza en niveles inferiores (~1km). El primer sistema genera ventilación, favoreciendo el desarrollo nuboso, el segundo, transporta humedad hacia la ladera oriental de los Andes (Garreaud, 2000 y Lenters, 1999).

2.3. Nevadas en la cordillera de los Andes

Según datos del Instituto nacional de Defensa Civil (INDECI) entre el 2003 y 2017 se han presentado 932 emergencias, ver tabla 2.1, causadas por nevadas en diferentes regiones del país a lo largo de la cordillera de los Andes, estas han variado en intensidad y nivel de afectación pero manifiestan claramente el impacto que tienen las nevadas en esta región del país.

Tabla 2.1 Número de emergencias por motivo de nevadas por región (INDECI).

Región	N° de Emergencias por Nevada (INDECI)
Cusco	207
Apurímac	177
Arequipa	127
Puno	116
Ayacucho	114
Huancavelica	97
Moquegua	44
Junín	18
Tacna	17
Pasco	15
Total	932

La figura 2.1 muestra la extensión de la cordillera de los Andes abarcando siete países, desde Venezuela hasta Chile. Asimismo, se observan los picos más altos a lo largo de la cadena montañosa, el más alto es el Aconcagua, ubicado en Argentina, alcanzando 6962 msnm.

En tanto, en la tabla 2.2 se muestra una breve descripción de los Andes para cada país de Sudamérica, considerando la porción de la cordillera que se encuentra en el país, con énfasis en el punto más alto para cada región.

Las características de los Andes como su distribución en el país vuelven a las nevadas un fenómeno meteorológico importante para la región que no solo es visible gracias a la información proporcionada por INDECI sino también por la obtenida en la prensa, la cual tiene una gran cobertura a nivel nacional como se observa en la figura 2.2.

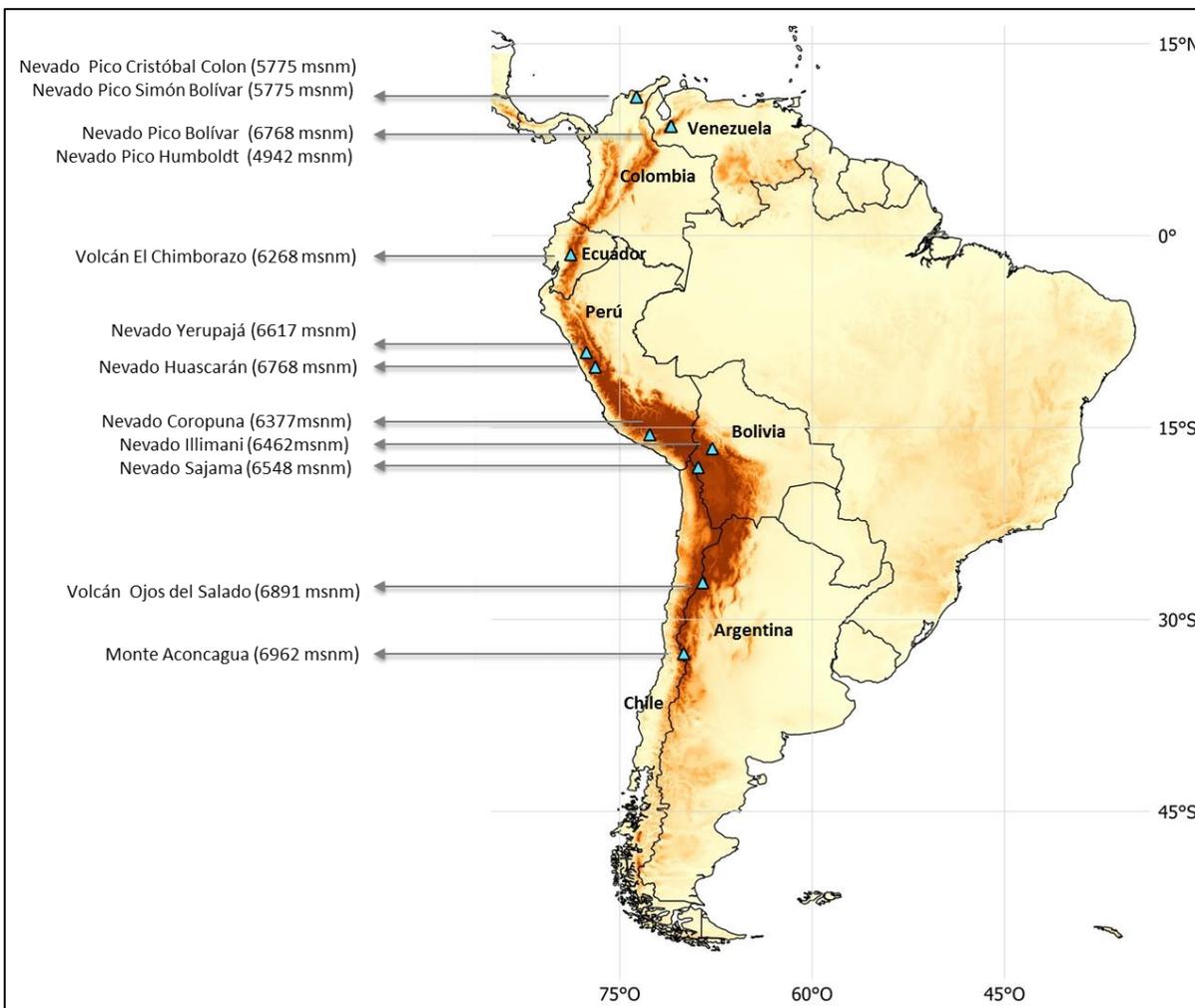


Figura 2.1.- Picos más altos por país de la Cordillera de los Andes.

Tabla 2.2.- Información de la Cordillera de los Andes y picos más altos por país.

País	Cordillera de los Andes	Pico más alto
Venezuela	Representan el 7% de la superficie del país, pero presenta la mayor cantidad de climas debido a las diferencias altitudinales, desde excesivamente húmedos a subhúmedos secos y, de cálidos a gélidos. (MARN, 2003)	Nevado Pico Bolívar (4978 msnm)
Colombia	Los Andes forman en Colombia tres ramales conocidos como Cordillera Oriental con 1500 Km de longitud, Cordillera Central con 850 Km de longitud, y la Cordillera Occidental con 820 Km de longitud (IGAC, 1989)	Nevado Pico Cristóbal Colon (5775 msnm) Nevado Pico Simón Bolívar (5775 msnm)
Ecuador	Los Andes ecuatorianos dividen al país en tres regiones naturales, la región occidental o costa, la región central andina o sierra y la región oriental o amazónica. La región andina ecuatoriana localizada sobre los 1.000 m de altitud cubre aproximadamente un cuarto del país, lo que corresponde a 70.000 km. (De la Torre, L. et Al, 2006)	Volcán El Chimborazo (6268 msnm)
Perú	Los Andes peruanos, por su altitud promedio, 4.000 m.s.n.m., y su orientación constituyen una barrera climática que dificulta la libre circulación de masas de aire tanto en el Pacífico sur, al oeste de la cordillera, como en la Amazonía y el Atlántico sur, al este de los Andes. (MINAM, 2007)	Nevado Huascarán (6768 msnm)
Bolivia	Los Andes bolivianos presentan dos ramales, la cordillera Occidental o región volcánica y la cordillera Oriental, que encierran el altiplano boliviano y vuelven a unirse al sur formando un gran macizo montañoso (Montes de Oca, 1989). El altiplano boliviano ocupa una superficie de 178.662 km ² (16.4 % del territorio nacional). (Andressen, L. et AL. 2007)	Nevado Sajama (6548 msnm)
Chile	En Chile, la Cordillera de los Andes empieza en el altiplano chileno con importantes nevados. Es la segunda más alta del mundo y bordea todo el este de nuestro país, llega al sur y se hunde bajo el Pacífico para luego reaparecer en la Antártica con el nombre de Antartandes.	Volcán Ojos del Salado (6891 msnm)
Argentina	La cordillera de los Andes argentinos corre de norte a sur a lo largo de todo el límite occidental del territorio, abarcando desde la provincia de Jujuy hasta la Isla Grande de Tierra de Fuego. Sus paisajes varían desde los resechos altiplanos septentrionales hasta los lagos y glaciares del sur. (Tierra de vientos, 2011)	Monte Aconcagua (6962 msnm)



Figura 2.2.- Efectos de las nevadas en diferentes regiones aledañas a la Cordillera de los Andes.

En la figura 2.2 se observan algunas de las consecuencias de distintas nevadas en la última década y que quedaron registradas por la prensa.

En enero del 2012, por ejemplo, cientos de vehículos quedaron varados en los kilómetros 132 y 140, en Huancayo, producto de nevadas. La larga fila de vehículos llegaba hasta Matucana. En tanto, en el terminal de Yerbateros se suspendió la salida de buses por el mismo motivo. En tanto que en Arequipa se perdió el servicio de electricidad en la provincia de Caylloma debido a la caída de postes y redes de media tensión, afectando a 6 mil 500 usuarios.

En octubre de ese mismo año se registraron daños en varias infraestructuras de la localidad de Chaupimarca, debido a fuertes nevadas que causaron la declaratoria de emergencia del lugar, se vieron afectadas iglesias, el coliseo municipal y varias viviendas que quedaron inhabitables.

En agosto del 2013 10 regiones del país se vieron afectadas por nevadas, afectando a 67 mil 691 personas, 6 mil 259 viviendas y causando la muerte de 25 mil 319 animales de ganadería, además, en la provincia de Carabaya, Puno, se dieron 13 mil casos de niños con conjuntivitis a causa de quemaduras causadas por el reflejo del sol en la gran cantidad de nieve acumulada.

En septiembre de ese mismo año los estragos ocasionados por las nevadas continuaron obligando a la declaratoria de emergencia en 250 distritos y provincias altoandinas de las regiones Lima, Junín, Ayacucho, Huancavelica, Apurímac, Cusco, Arequipa, Puno, Moquegua y Tacna.

En febrero del 2015 las intensas nevadas obligaron a cerrar temporalmente la carretera central y el terminal Yerbateros en Lima. En julio del mismo año el centro poblado de Ccalaccapcha, perteneciente al distrito de Oyolo, provincia de Páucar del Sara Sara (Ayacucho), soportó una intensa nevada que cubrió totalmente el poblado. En varios puntos la nieve alcanzó aproximadamente un metro de altura. La nevada cubrió todos los pastizales provocó la muerte de alpacas, vicuñas y llamas y dejó aislado a los 700 habitantes debido a que las carreteras quedaron cubiertas por gruesas capas de nieve.

En agosto por otro lado, las intensas nevadas que cayeron en varias regiones del sur del país afectaron el tránsito en las carreteras. En Huancavelica este fenómeno afectó gran parte de las carreteras que unen las provincias de Huaytará y Castrovirreyna, se informó que la nieve cubrió toda la vía afectando a los transportistas que circulan por allí y a la población de varios anexos. Para las mismas fechas en Cusco las intensas nevadas y lluvias obstaculizaron el tránsito vehicular y provocaron la cancelación de vuelos a la ciudad de Cusco.

En marzo del 2017 decenas de vehículos se quedaron varados en la vía Cusco -Arequipa, en el sector de Negromayo, distrito de Condoroma debido a las nevadas se registraron desde las primeras horas de la madrugada, en los distritos de Kunturkanki y Layo, en la provincia de Canas, ubicada a más de 4 mil metros sobre el nivel del mar, en la región Cusco. Asimismo, por causa del fenómeno natural, los cultivos de haba, papa, cebada en las chacras, fueron afectadas.

En mayo de este mismo año fuertes nevadas en el sur del país causaron estragos en distintas regiones. En Puno, los pobladores de zonas altas de Lampa informaron que la nieve llegó a una altura de 20 centímetros, afectando los pastizales que son principal alimento de las alpacas.

En Tacna, los colegios más afectados fueron los de Tarata y Candarave, donde un maya que cubría el patio cedió debido al peso de la nieve acumulada. El colegio José A. Encinas, del distrito de Huaytire de la misma provincia, también fue afectado. El patio y techos terminaron cubiertos de nieve, impidiendo el desarrollo de clases

Finalmente, tan solo en septiembre de este año Los habitantes de siete distritos de la provincia arequipeña de Caylloma fueron afectados por nevadas inusuales que se extendieron por 6 horas, cubriendo pastizales y caminos. El evento se presentó en zonas ubicadas a 4 200 m.s.n.m., donde las 2 mil 500 familias viven en cabañas y casas precarias de barro y paja; dedicadas a la crianza de 400 mil cabezas de camélidos sudamericanos, de acuerdo al reporte de evaluación preliminar de daños. Por otro lado, en la zona de Imata, jurisdicción del distrito de San Antonio de Chuca en Caylloma, se reportó la caída de nieve de hasta 3 centímetros de espesor.

2.4. Andes en Perú

Los Andes del Perú se presentan en 3 cordilleras paralelas, la occidental, central y oriental, las cuales se extienden desde el extremo norte hacia el sureste, hasta el lago Titicaca. La cordillera regula el clima de Perú marcando considerablemente 3 regiones: costa, sierra y selva. El pico más alto de la cordillera en Perú, es el Huascarán, alcanzando 6768 msnm, considerado parte de la cordillera Blanca.

La AB y el JBN son los sistemas que favorecen la precipitación en los Andes peruanos. Asimismo, para que se presente precipitación sólida como nieve, la temperatura debe ser cercana a 0°C.

2.5. Criósfera en Perú

El Perú concentra aproximadamente el 70% de los glaciares tropicales del planeta y es el país tropical con mayor territorio expuesto a nevadas. Si bien existen numerosos trabajos y artículos vinculados a los glaciares, su evolución en el pasado y en los últimos años, escasean las referencias a otros componentes de la criósfera, en particular los referidos a la cobertura de nieve. En este capítulo se mencionan los principales trabajos, artículos científicos y recopilaciones bibliográficas relacionadas con la criósfera en el contexto de los Andes tropicales y, en particular del Perú.

Sobre la criósfera en general, destaca Vijay et al. (2011), un libro de referencia en el que se pueden encontrar glosarios de términos, artículos, y abundantes descripciones de diferentes aspectos relacionados a las 3 componentes principales de la criósfera (hielo, nieve y glaciares).

En la publicación del MINAM, Historia ambiental del Perú S.XVIII-XIX, en particular en el capítulo II, se hace referencia a las alteraciones climáticas de la Pequeña Edad de Hielo en Perú y al análisis de fuentes indirectas para determinar fluctuaciones en los glaciares.

En contraste con la abundante literatura sobre glaciares, prácticamente no existen publicaciones o artículos en los que se realice una descripción general de las zonas expuestas a nevadas en Perú. El artículo de Saavedra et al (2017), todavía no aprobado, hace una revisión de la variación en la cobertura nival desde el año 2000 al 2014 para el área comprendida entre los 8°S y los 36°S. En él se calcula la Persistencia de Nieve (SP) como la fracción de tiempo con cobertura de nieve para cada año, determinándose la cota de nieve como aquella altitud en la cual la SP es superior al 20%, la cual para Perú la ubica por encima de los 5000 msnm. Sin embargo en muchas ocasiones la nieve se presenta a altitudes menores, pudiéndose registrar en casos excepcionales en altitudes desde 3400 msnm. El artículo de Quispe y Avalos (2006) relaciona una importante nevada registrada a inicios de julio de 2004 en Perú, con la presencia de un particular patrón atmosférico conocido como Cut Off Low (COL) o Depresión Aislada en Niveles Altos (DANA) la cual parece ser una de las configuraciones que favorecen la presencia de nevadas, en especial durante la estación de invierno.

3. OBJETIVOS

- 3.1. Realizar un análisis de frecuencia de nevadas para el territorio nacional en el periodo 2004-2013.
- 3.2. Establecer circulaciones atmosféricas promedio que favorecen la ocurrencia de nevadas.
- 3.3. Elaborar mapas mensuales de la distribución del número de nevadas promedio.
- 3.4. Elaborar mapas mensuales de la distribución del porcentaje de nevadas promedio.

4. DATOS Y MÉTODOS

4.1. Red de estaciones meteorológicas

Se utilizaron 35 estaciones (Figura 4.1) meteorológicas convencionales ubicadas a lo largo de la cordillera central y sur desde 3400 msnm. Debido a la escasa información de nevadas en el Perú, se utilizaron las observaciones de las planillas, en las cuales, el observador indica el fenómeno meteorológico. Debido a que no se cuenta con instrumentos de medición de nieve, solo se contabilizaron los días de nevadas para realizar un análisis de frecuencia mensual.

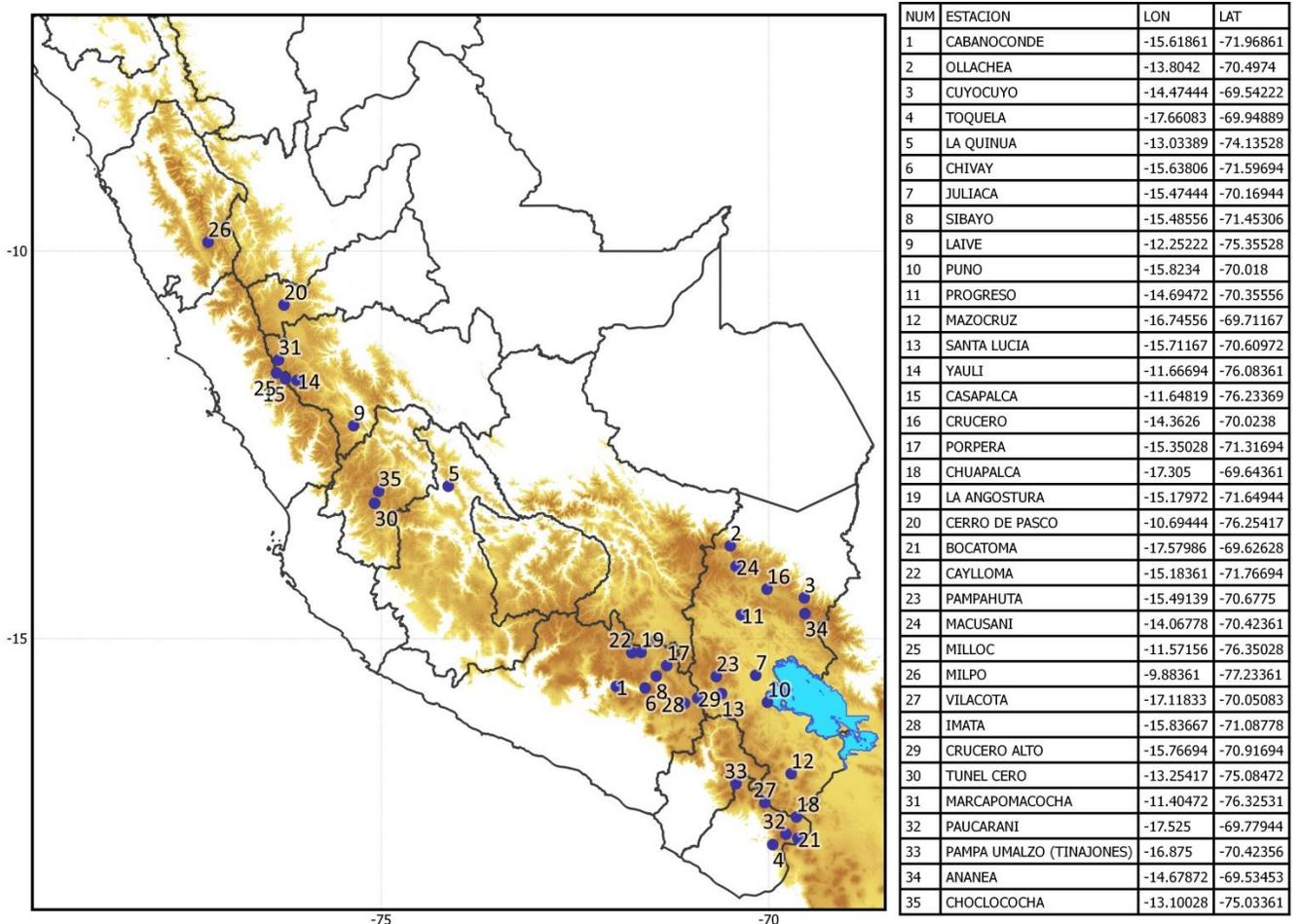


Figura 4.1.- Estaciones convencionales utilizadas de la red de SENAMHI.

4.2. Sistemas de información geográfica

Se utilizó QGIS, como software de información geográfica, para elaborar los mapas de frecuencia de nevadas mensual a nivel nacional en base a las 35 estaciones.

4.3. Determinación de nevadas

Para determinar un evento de nevada, más del 30% de las estaciones debió registrar nieve en un día. En base a la caracterización establecida, se obtuvieron un total de 38 días de nevadas en el periodo 2004-2013.

4.4. Determinación de circulaciones atmosféricas favorables para la generación de nevadas

Para determinar las circulaciones atmosféricas favorables, se trabajó en base a los 38 eventos de nevadas. Se inició con la categorización de eventos en base a la similitud en su configuración atmosférica. Posterior a esto, se procedió a promediar las fechas con el mismo comportamiento permitiendo establecer una configuración “ideal” que propicie las nevadas en la región altoandina. Si bien no existe mucha información de este tipo de configuraciones para la región se puede considerar como referencia trabajos para eventos de nevadas en otras regiones.

4.5. Determinación de frecuencia de nevadas

Debido a que no se cuenta con registros de cantidad de nieve, solo se realizó el análisis de frecuencia de nevadas. Para obtener los mapas de frecuencia, se determinó el número de eventos promedio mensual. Posterior a esto, a partir de este se determinó rangos (del 1 al 6) que sirvieron para delimitar zonas en base a la topografía. Luego, se procedió a calcular la frecuencia de nevadas mensual, para ello se calculó el porcentaje de nevadas que se presentan por mes en base a la información anual.

5. RESULTADOS

En el periodo de 10 años analizado (2004–2013) se contabilizaron un total de 38 días de nevadas en la zona altoandina, ver fechas en la tabla 5.1. En base a esta información, se obtuvieron las circulaciones favorables para la generación de nevadas.

Tabla 5.1.- Días de nevadas generalizadas en los Andes peruanos.

1	28/06/2004	14	31/12/2007	27	25/12/2011
2	01/07/2004	15	08/08/2008	28	06/01/2012
3	02/07/2004	16	21/12/2008	29	27/01/2012
4	03/07/2004	17	17/02/2009	30	29/01/2012
5	04/07/2004	18	26/07/2009	31	06/02/2012
6	23/08/2004	19	27/07/2009	32	09/02/2012
7	24/08/2004	20	10/01/2010	33	12/02/2012
8	13/09/2005	21	12/02/2011	34	22/01/2013
9	14/09/2005	22	03/07/2011	35	24/08/2013
10	15/09/2005	23	19/11/2011	36	27/08/2013
11	06/11/2005	24	21/12/2011	37	28/08/2013
12	07/11/2005	25	23/12/2011	38	29/08/2013
13	08/11/2005	26	24/12/2011		

5.1. Circulaciones atmosféricas que producen nevadas

Se analizaron todos los eventos en niveles altos (~12km) en base a la altura geopotencial y se clasificó en base a similitud en configuración atmosférica, identificando un total de cinco circulaciones, figura 5.6. Al agrupar, se pudo observar que los eventos incluidos en las tres primeras se presentaron en los meses de invierno y primavera; mientras que, las dos siguientes se registraron en los meses de verano.

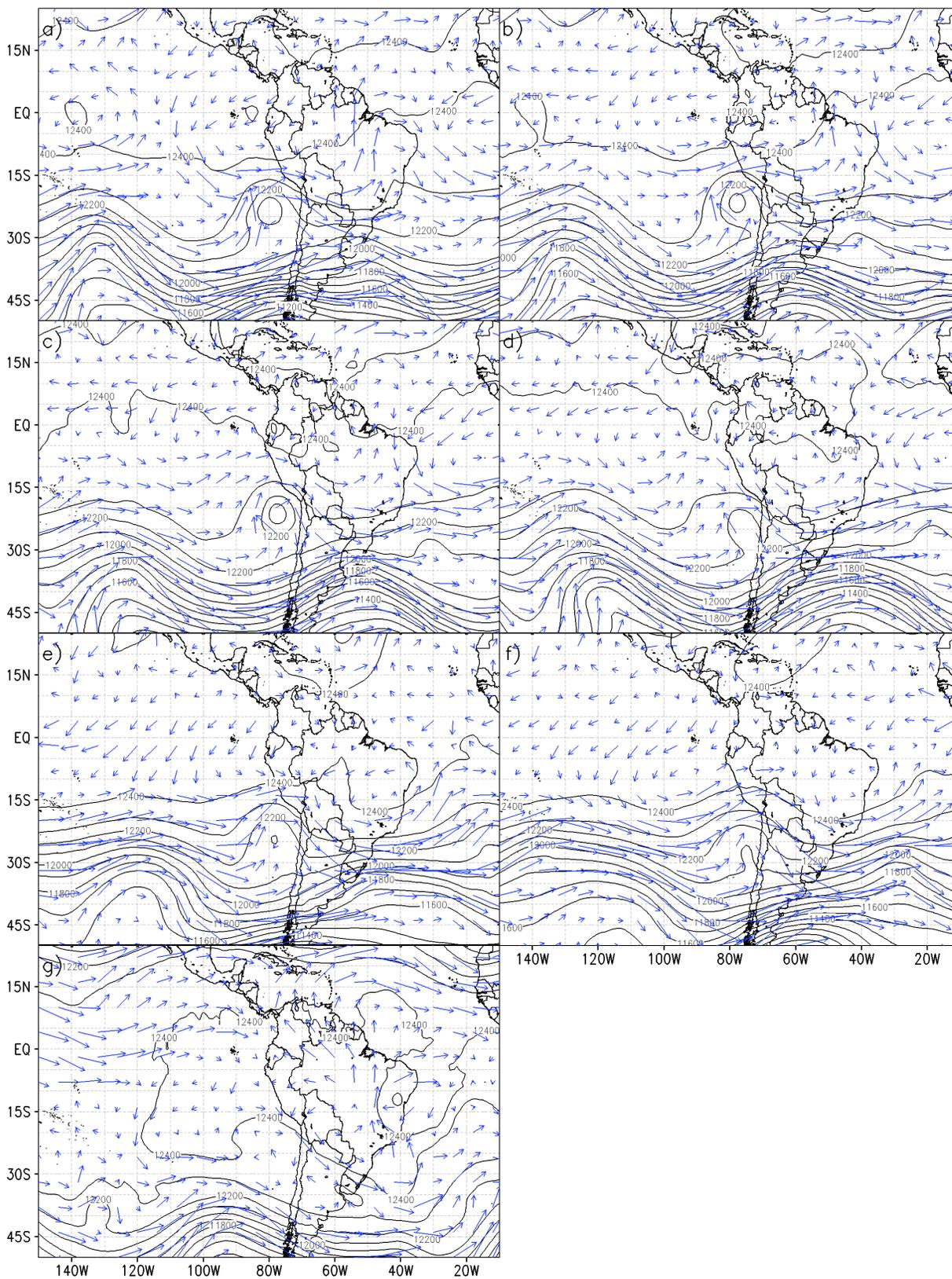


Figura 5.1.-Eventos configuración 1, viento en 200hPa (vectores) y altura geopotencial (m) para a) 1 julio 2004, b) 2 julio 2004, c) 3 julio 2004, d) 4 julio 2004, e) 23 agosto 2004, f) 24 agosto 2004, y g) 17 febrero 2009.

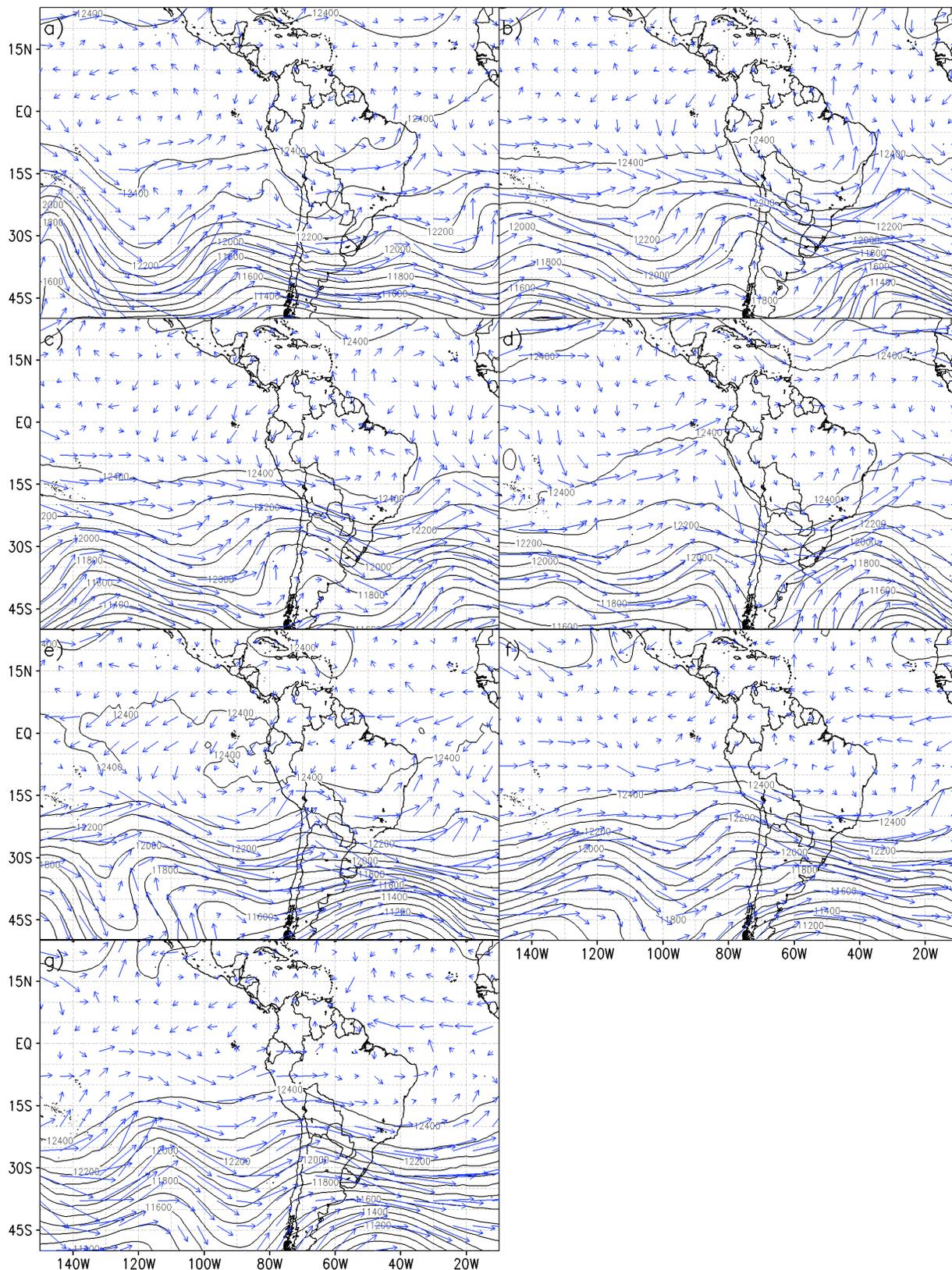


Figura 5.2.-Eventos configuración 2, viento en 200hPa (vectores) y altura geopotencial (m) para a) 28 julio 2004, b)13 septiembre 2005, c) 14 septiembre 2005, d) 8 noviembre 2005, e) 8 agosto 2008, f) 26 julio 2009, y g) 27 julio 2009.

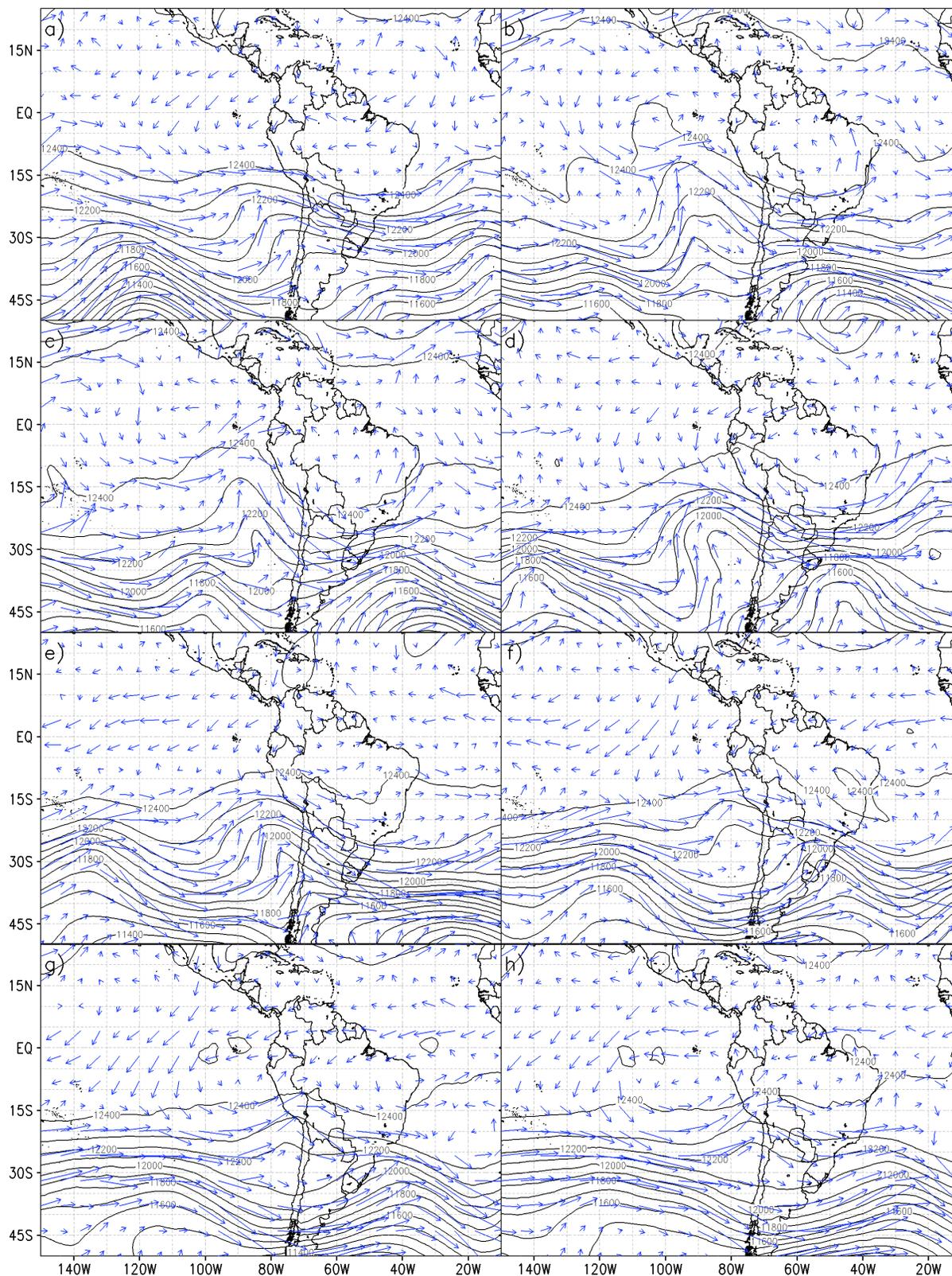


Figura 5.3.-Eventos configuración 3, viento en 200hPa (vectores) y altura geopotencial (m) para a) 15 septiembre 2005, b) 6 noviembre 2005, c) 7 noviembre 2005, d) 3 julio 2011, e) 24 agosto 2013, f) 27 agosto 2013, g) 28 agosto 2013, y h) 29 agosto 2013.

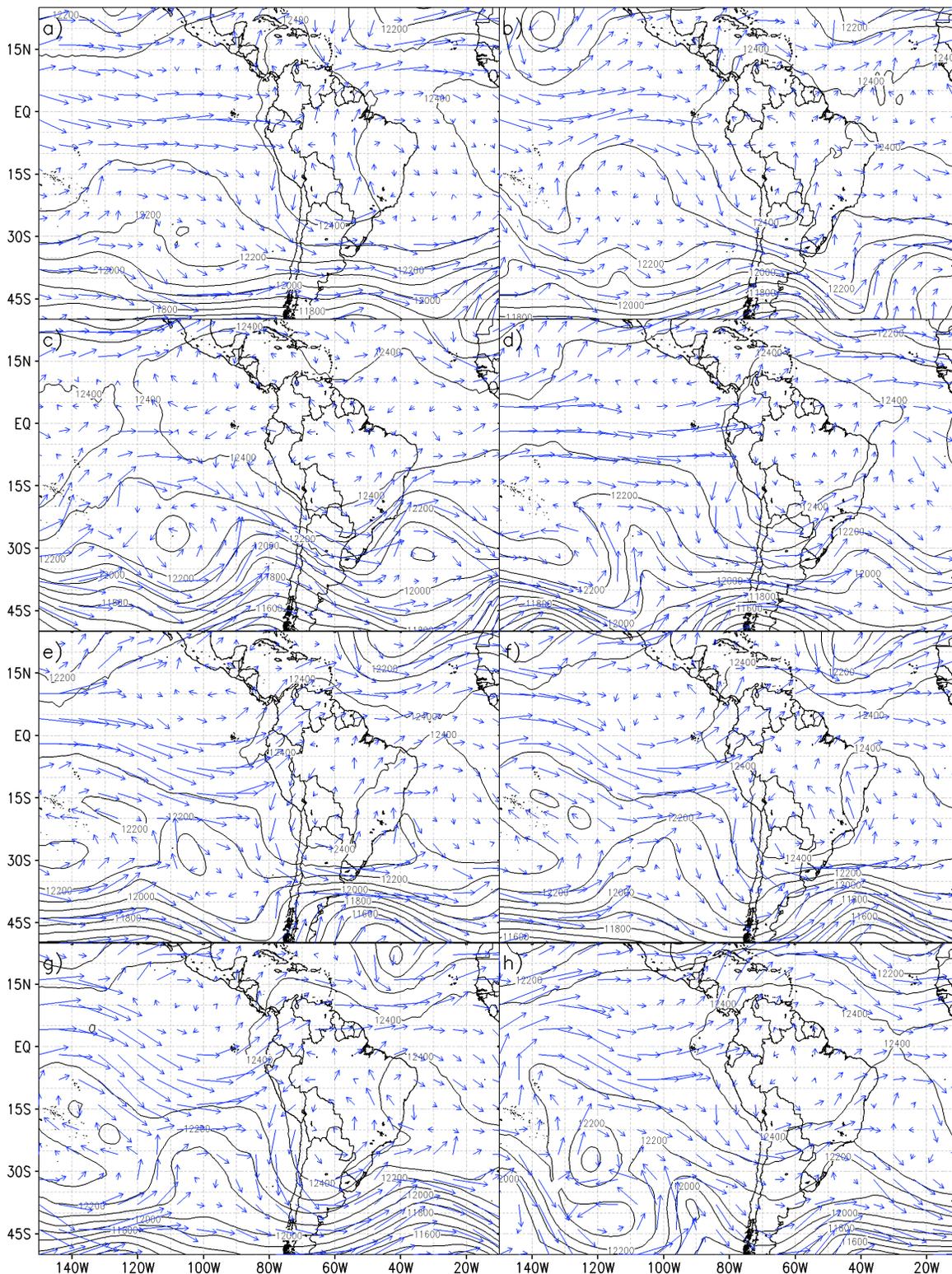


Figura 5.4.-Eventos configuración 4, viento en 200hPa (vectores) y altura geopotencial (m) para a) 31 diciembre 2007, b) 21 diciembre 2008, c) 19 noviembre 2011, d) 21 diciembre 2011, e) 23 diciembre 2011, f) 24 diciembre 2011, g) 25 diciembre 2011, y h) 6 agosto 2013.

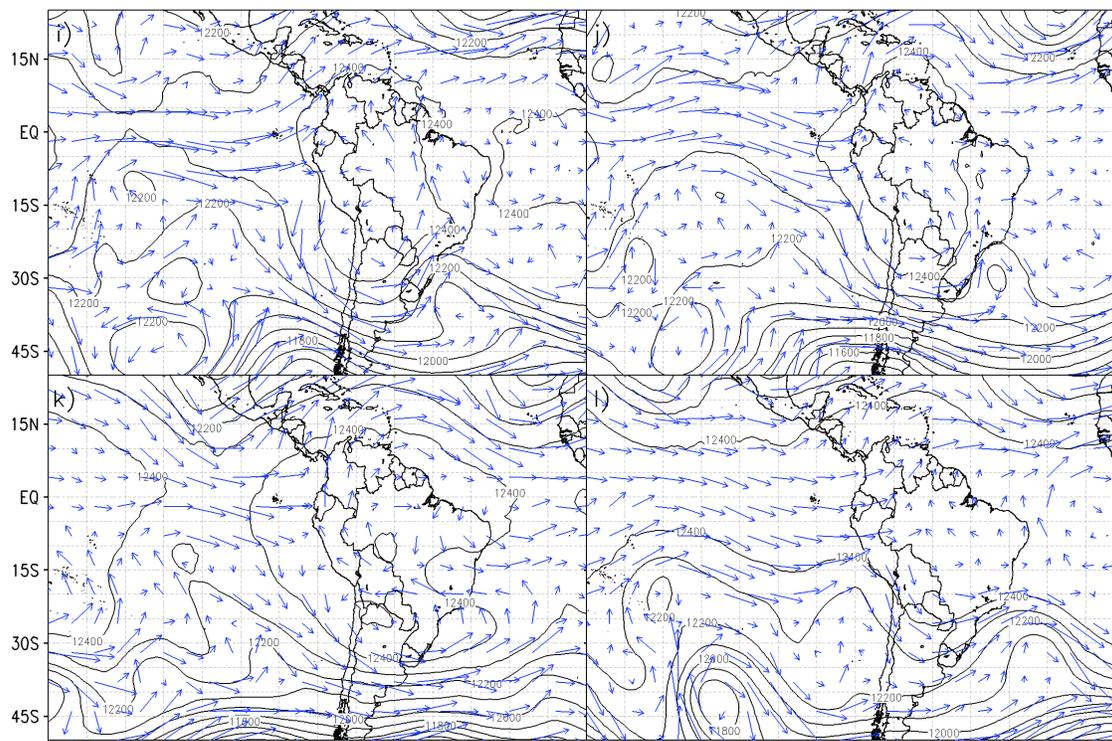


Figura 5.5.- (continuación) Eventos configuración 4, viento en 200hPa (vectores) y altura geopotencial (m) para i) 27 enero 2012, j) 29 enero 2012, k) 6 febrero 2012, l) 22 enero 2013.

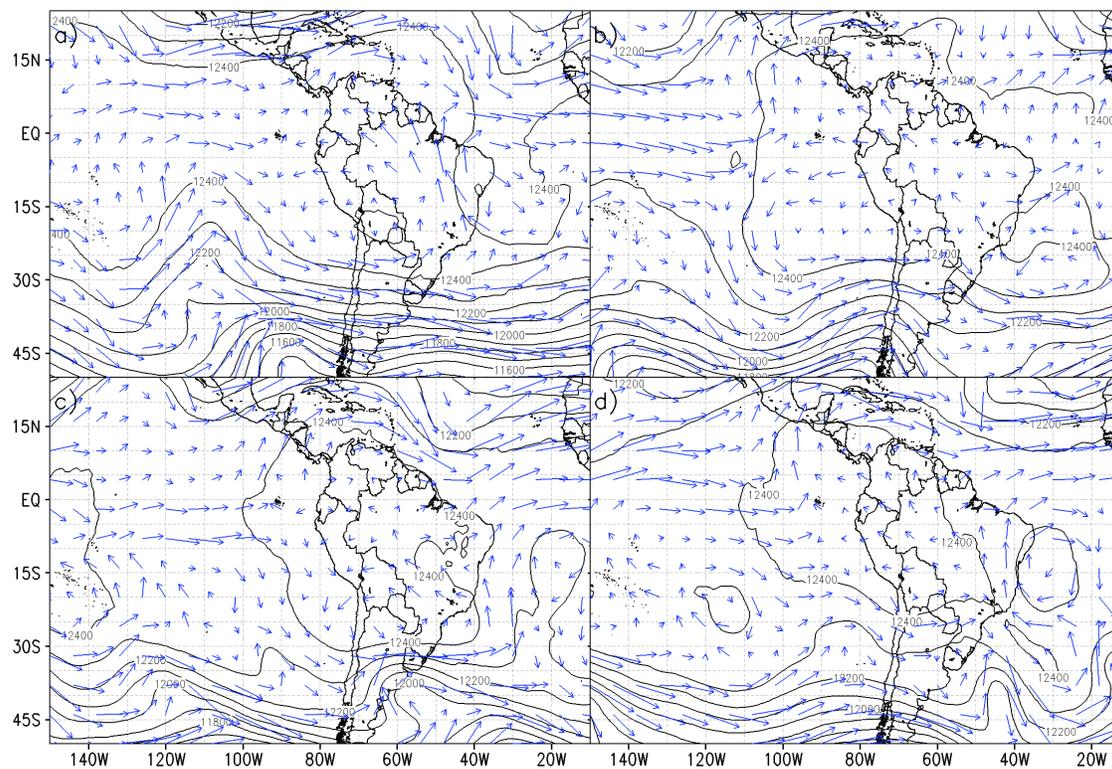


Figura 5.6.- Eventos configuración 5, viento en 200hPa (vectores) y altura geopotencial (m) para a) 10 enero 2010, b) 12 febrero 2011, c) 9 febrero 2012, d) 12 febrero 2012.

5.2. Circulación promedio

Luego se calculó el promedio para determinar las circulaciones en altura que ocasionan nevadas (figura 5.6).

La primera circulación refleja la Depresión Aislada en Niveles Altos (DANA), la cual es una masa de aire frío en niveles medios y altos y favorece el ingreso de aire frío en los Andes generando inestabilidad.

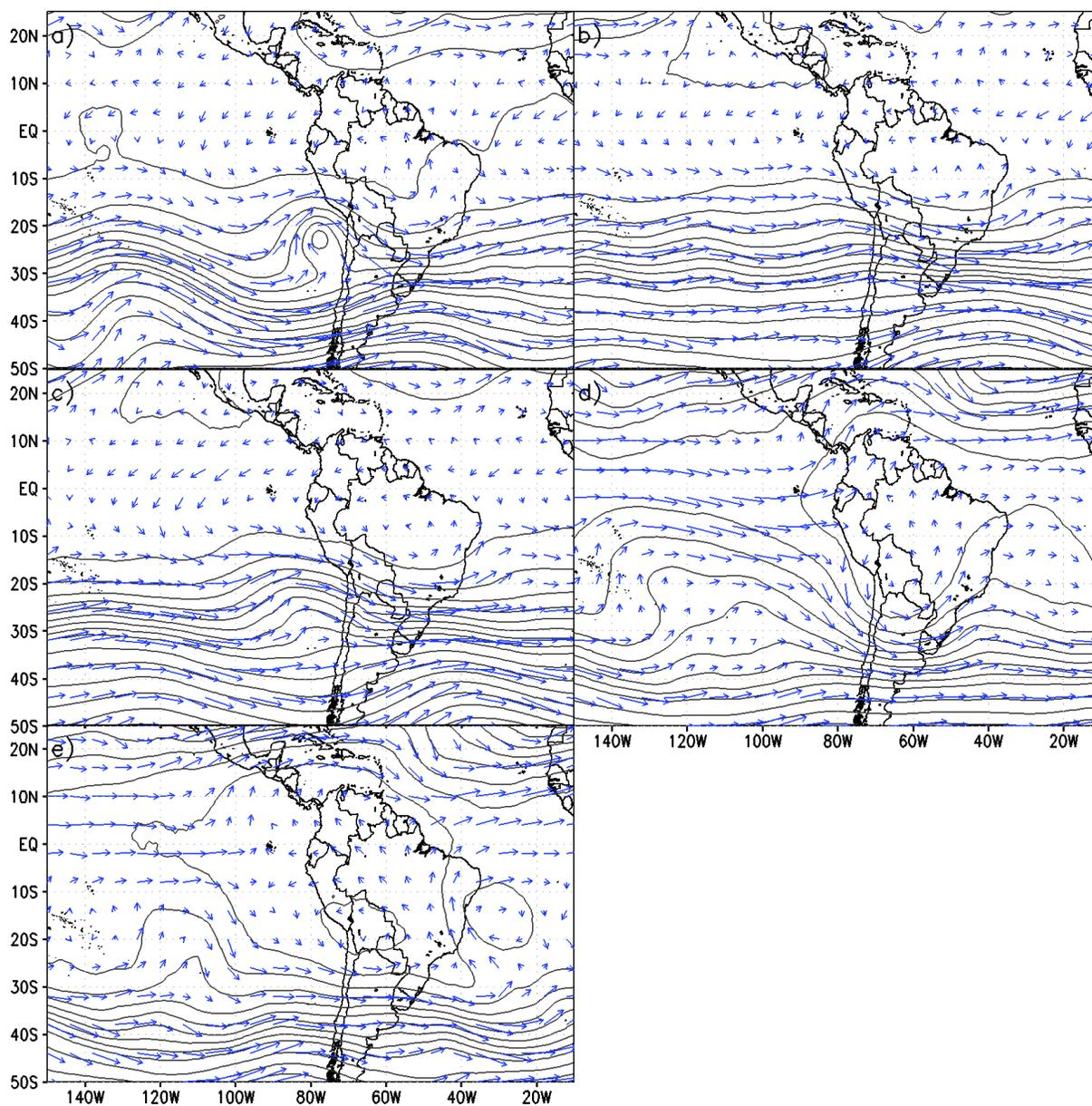


Figura 5.7.- Altura geopotencial (m) y viento (vctores) 200 hPa promedio para a) circulación 1, b) circulación 2, c) circulación 3, d) circulación 4, y e) circulación 5.

La segunda circulación muestra la configuración de una vaguada, sistema frío en forma de “V” invertida, la cual genera mal tiempo en la parte delantera y mientras se aproxima hacia el continente inyecta aire frío a los Andes y desestabiliza la zona, favoreciendo la ocurrencia de precipitaciones.

La tercera circulación también está relacionada a una vaguada pero esta se encuentra desplazada hacia el norte debido a la presencia del flujo dividido en el Pacífico, este flujo favorecerá la configuración de una vaguada y un dorsal con el eje en la misma longitud. Esto permite el acercamiento de la vaguada hacia la zona altoandina de Perú, favoreciendo la advección de aire frío e incrementando la inestabilidad.

La cuarta circulación se relaciona con la intrusión de una vaguada del Hemisferio Norte, la cual favorece el incremento de viento en el Pacífico ecuatorial, que interactúa con la AB y genera una vaguada con eje NE-SW. Este sistema es el que favorece al mal tiempo en la zona de los Andes.

La quinta y última circulación se relaciona con la AB, la cual se encuentra posicionada hacia el oeste de Bolivia, apoyando con divergencia en la zona altoandina. Esta es la configuración típica que favorece las precipitaciones en los Andes en los meses de verano.

5.3. Concentración de Agua Precipitable promedio

Por otro lado, se trabajó con agua precipitable integrada en niveles medios (400–600 hPa) para obtener el promedio en base a las 5 circulaciones (figura 5.7). Las 3 primeras circulaciones reflejan mayor concentración de agua precipitable entre los 5°N – 10°N en el Pacífico y Atlántico, reflejando la presencia de la ITCZ. Asimismo, se puede observar el desplazamiento del agua precipitable hacia el sureste. En el caso de la circulación 4 y 5, se presenta mayor cantidad de vapor de agua en la zona central y oeste de Sudamérica, asemejándose al patrón normal de verano.

La primera circulación, concentra el agua precipitable integrada en el noroeste de Sudamérica, la cual se ve desplazada hacia el sureste, logrando llegar hasta el norte de Argentina y el oeste de Paraguay. Esto ocurre gracias a la DANA, la cual genera flujos del noreste favoreciendo la advección hacia esa zona y está asociado a procesos de fuerte ondulación y aislamiento de la circulación de la Corriente en Chorro o Jet Stream; para luego propagarse en niveles medios y en algunos casos hasta niveles bajos (Pizarro, J. y Montesinos A., 2000).

En la segunda circulación, la mayor concentración de agua precipitable se presentó en el sur de Perú, en el límite con Bolivia, logrando desplazar la humedad hacia el este llegando al sur de Brasil, debido a la interacción de la vaguada con una circulación anti horaria en niveles medios, la cual incrementó el gradiente de los flujos del noreste logrando desplazar el vapor de agua hasta las costas del Atlántico. Esta circulación tiene una mayor intensidad debido a la presencia de la vaguada profunda en el Pacífico.

La tercera circulación es muy similar a la primera, con la diferencia de que presenta mayores valores de agua precipitable en el centro y sur de Perú.

La cuarta y quinta circulación se asocian con el comportamiento estacional, reflejando altos valores de agua precipitable en la zona central oriental de Sudamérica. Los máximos se encuentran al oeste de Bolivia; así como, en el centro y sur de Perú.

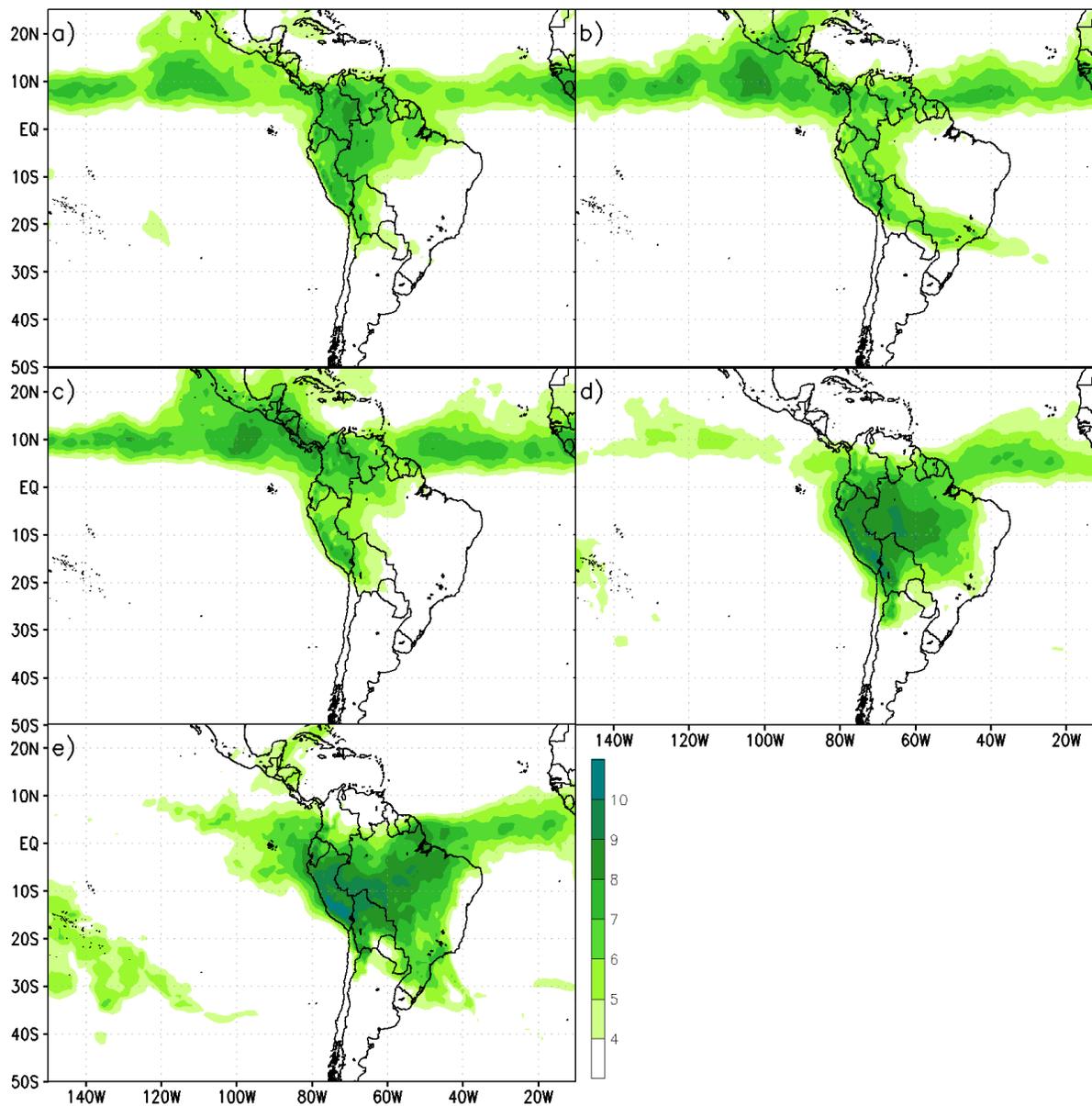


Figura 5.8.- Agua precipitable ponderada en capas medias promedio para a) circulación 1, b) circulación 2, c) circulación 3, d) circulación 4, y e) circulación 5.

5.4. Zonas afectadas por nevadas

En base a la información de las 35 estaciones seleccionadas se estableció el número de días en los que ocurrieron nevadas para cada una, obteniendo como máximo valor un total de 615 días en la estación de Ananea, la cual se ubica en una zona alta y cercana a la fuente de humedad de la cuenca Amazónica. Las estaciones con menor registro de nevadas se presentan en la vertiente occidental, en zonas que bordean 3400 msnm, entre ellas está Cabanaconde (3379 msnm) y Toquela (3420 msnm). Posterior a esto, tomando en cuenta la topografía, se procedió a delimitar áreas por número de eventos, las cuales reflejan las “probables áreas de nevadas” en la zona altoandina de Perú. Los eventos con mayores valores se encuentran en localidades por encima de los 4000 msnm.

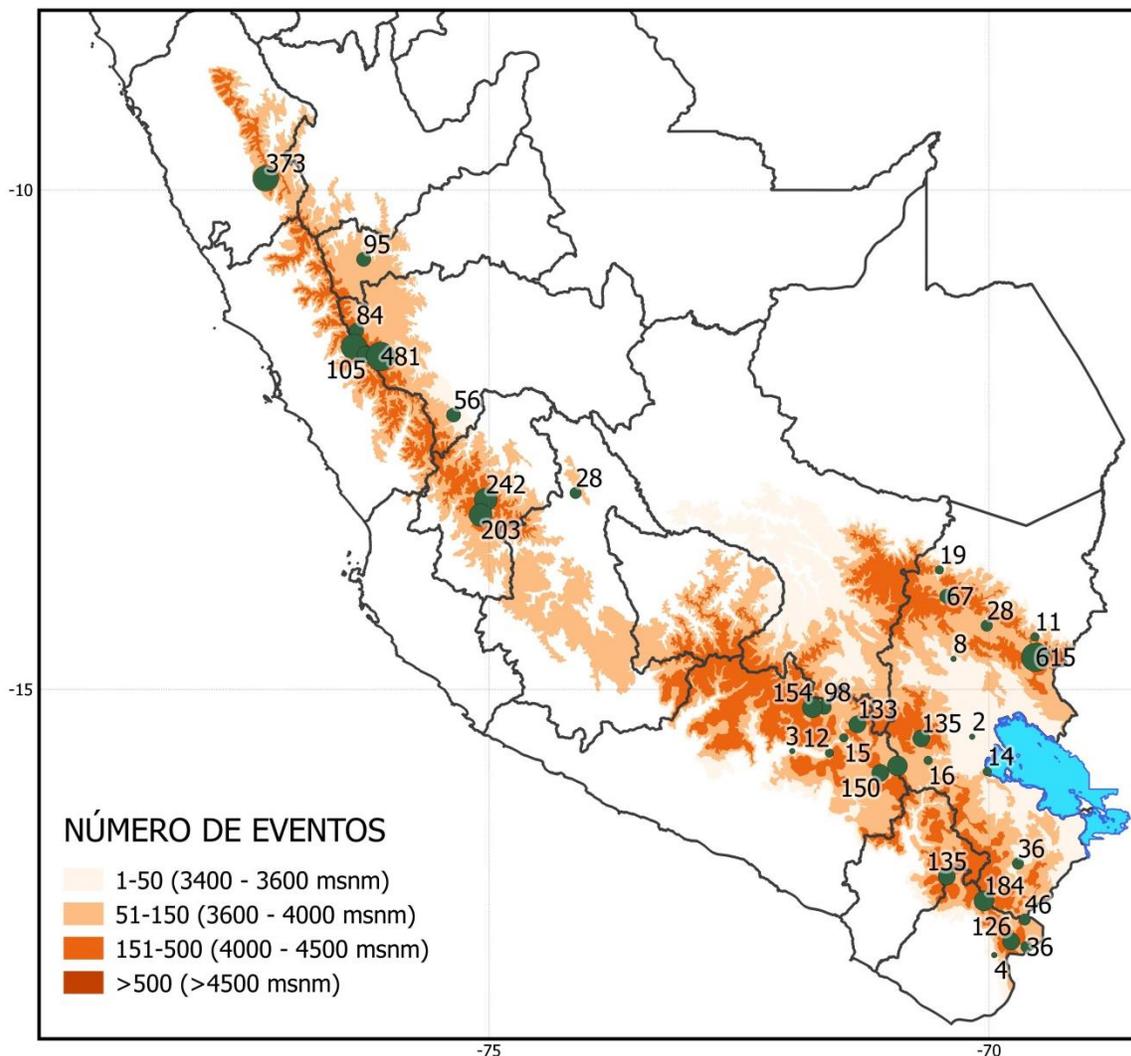


Figura 5.9.- Número de días de nevada por estación.

5.5. Mapas de frecuencia de nevadas por meses

En las figuras 5.9-5.20 se muestra la distribución del número de eventos de nevadas promedio mensual en 10 años (2004 al 2013), clasificado en escala de color azul a lo largo de la cordillera central y sur de los Andes peruanos.

Para el mes de enero (Figura 5.9), se presenta una mayor concentración de eventos en la vertiente oriental sur (color azul oscuro), con valores mayores a 6, por encima de los 4642 msnm (Estación Ananea, Puno), seguida de la vertiente occidental central, con valores entre 5 y 6, por encima de los 4336 msnm (Estación Milloc y Milpo, en Lima y Ancash respectivamente).

Para el mes de Febrero (Figura 5.10) el mayor número de eventos se mantiene en la vertiente oriental sur, por otro lado, en la vertiente occidental central incrementa el número de eventos de manera que en este mes se dan la mayor cantidad de nevadas del sector central.

Para Marzo (Figura 5.11), la zona de la vertiente oriental sur y parte del altiplano continúa presentando el mayor número de eventos, sobre las demás zonas de la cordillera. La sierra central nuevamente registra eventos de 5 a 6 en promedio.

Durante el mes de Abril (Figura 5.12) el número de eventos disminuye en las dos zonas mencionadas anteriormente, aunque, continúan presentando los valores más altos en la cordillera.

Los meses de Mayo, Junio y Julio (Figura 5.13, 5.14 y 5.15), presentan una distribución homogénea con el menor número de eventos (1 y 2) del año. Por encima de los 3418 msnm, para mayo, 4081 msnm para junio y 3367 para julio, siendo la cota más baja en todos los mapas.

A partir de Agosto (Figura 5.16) el número de eventos empieza a aumentar ligeramente, presentado entre 3 y 4 para la vertiente oriental sur, y entre 1 y 2 para el resto de la cordillera y el altiplano.

En el mes de Septiembre (Figura 5.17) el número de nevadas entre 3 y 4 se registran también hacia la vertiente occidental central, por encima de 4387 msnm (Estación Milpo, Ancash).

Hacia el mes de Octubre (Figura 5.18) el número de eventos aumenta considerablemente (mayor a 6) en la vertiente oriental, y se ven valores entre 3 y 4 hacia la vertiente occidental central.

En el mes de Noviembre (Figura 5.19), la vertiente occidental central presenta valores entre 5 y 6, por encima de 4387 msnm (Estación Milpo, Ancash), y valores entre 3 y 4 por encima de 4336 msnm (Estación Milloc, Lima), mientras que la vertiente oriental sur, la cordillera Blanca y parte del altiplano presenta valores entre 5 y 6.

Finalmente, Diciembre (Figura 5.20) presenta valores mayores a 6 para la vertiente occidental central (Cordillera Blanca) y la vertiente oriental sur (Estación Ananea, Puno), y valores entre 5 y 6 para la vertiente occidental central (Estación Milloc, Lima).

Como se pudo observar, el mayor número de eventos se presentan en la vertiente oriental sur y vertiente occidental central para los meses de verano (Diciembre, Enero, Febrero, Marzo).

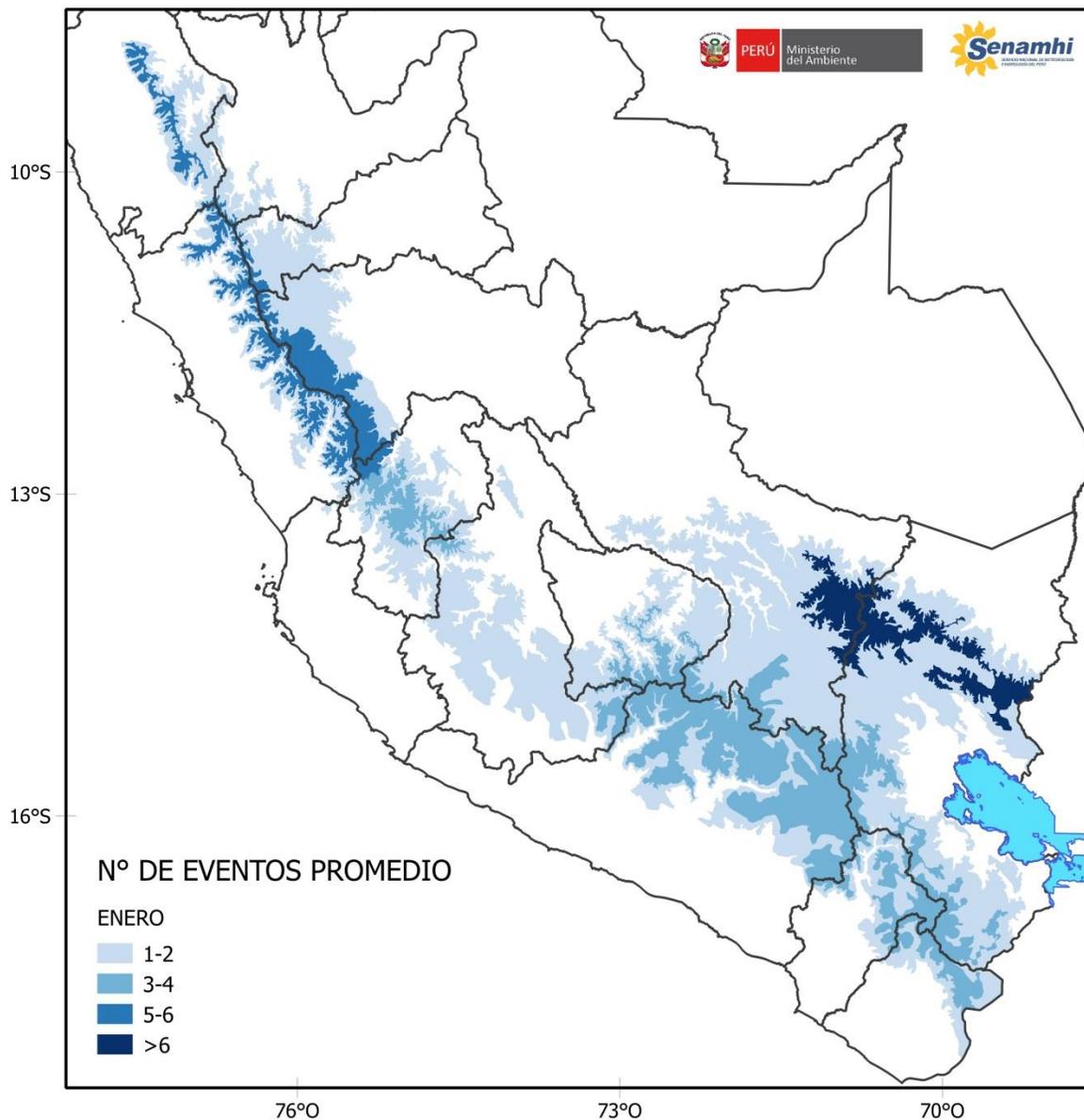


Figura 5.10.- Número de eventos de nevadas promedio en el mes de enero.

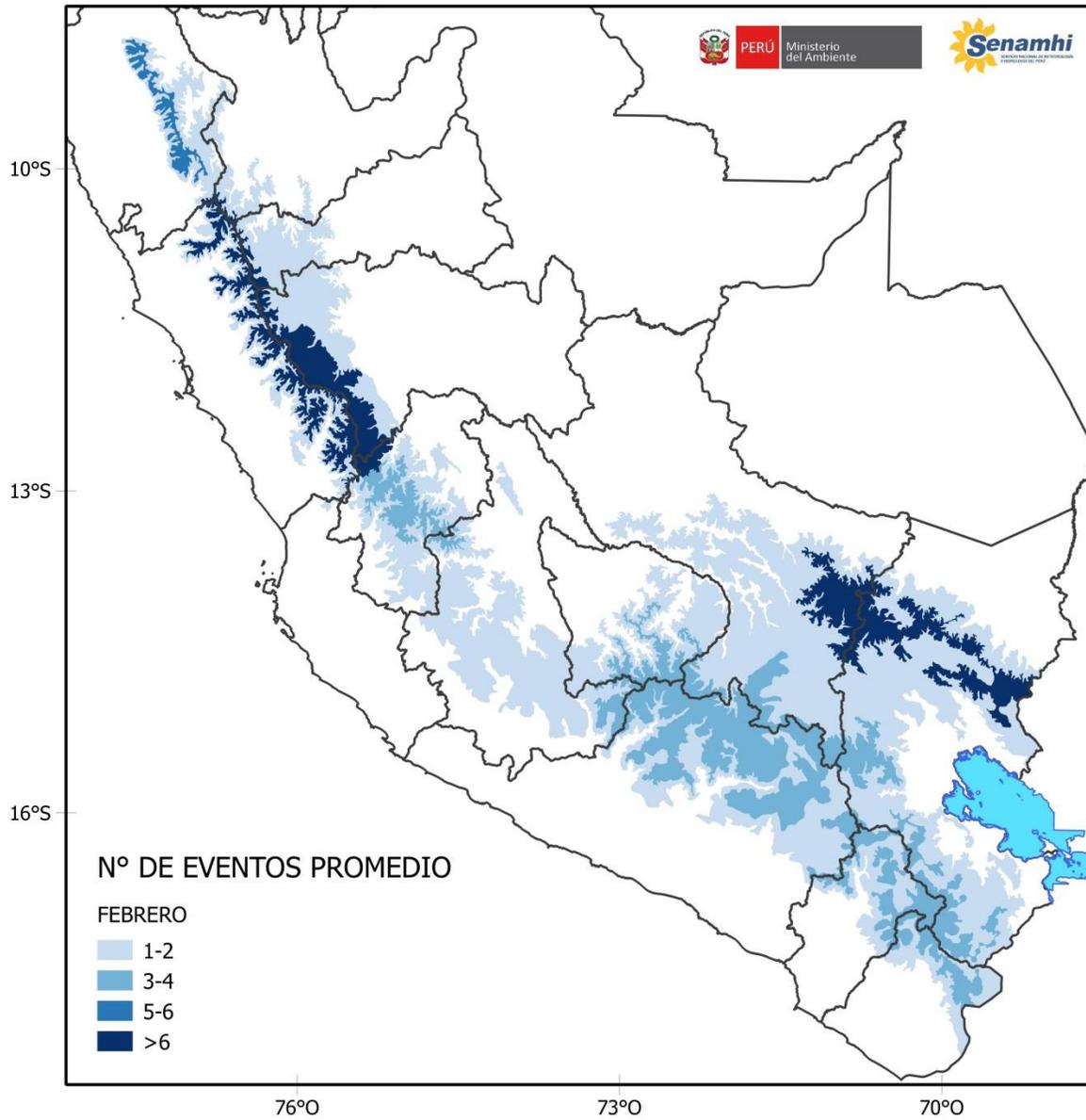


Figura 5.11.- Número de eventos de nevadas promedio en el mes de febrero.

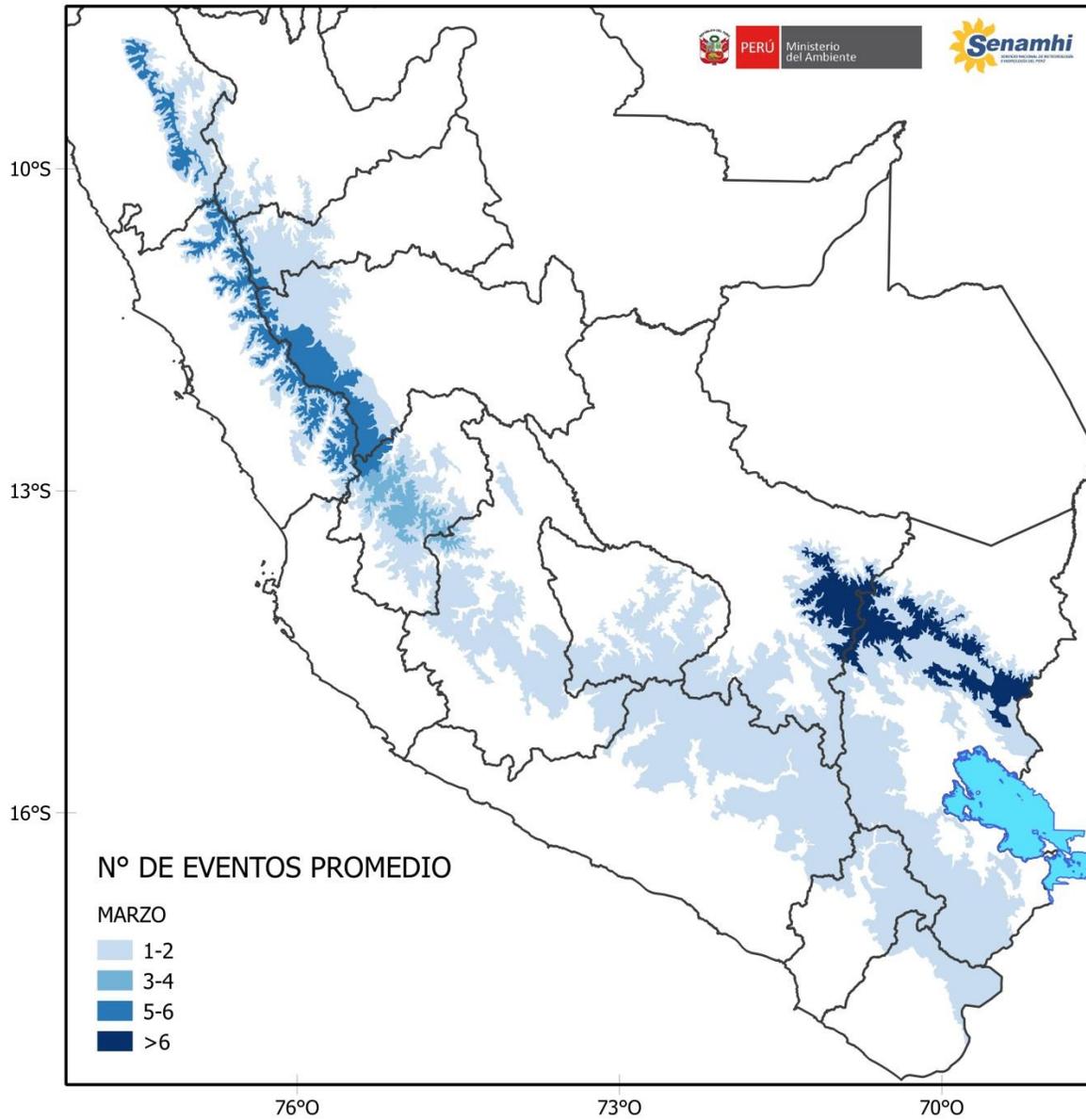


Figura 5.12.- Número de eventos de nevadas promedio en el mes de marzo.

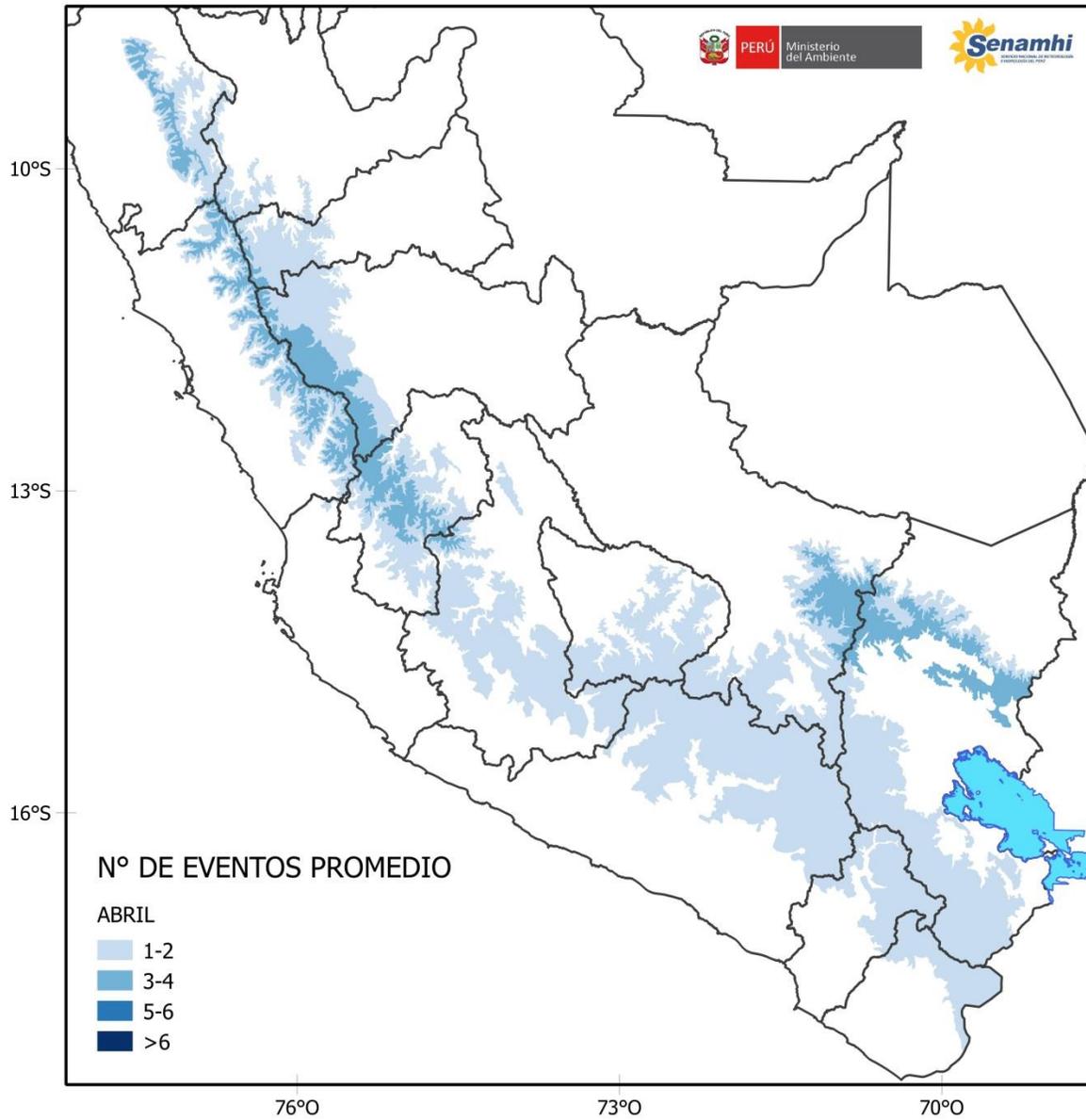


Figura 5.13.- Número de eventos de nevadas promedio en el mes de abril.

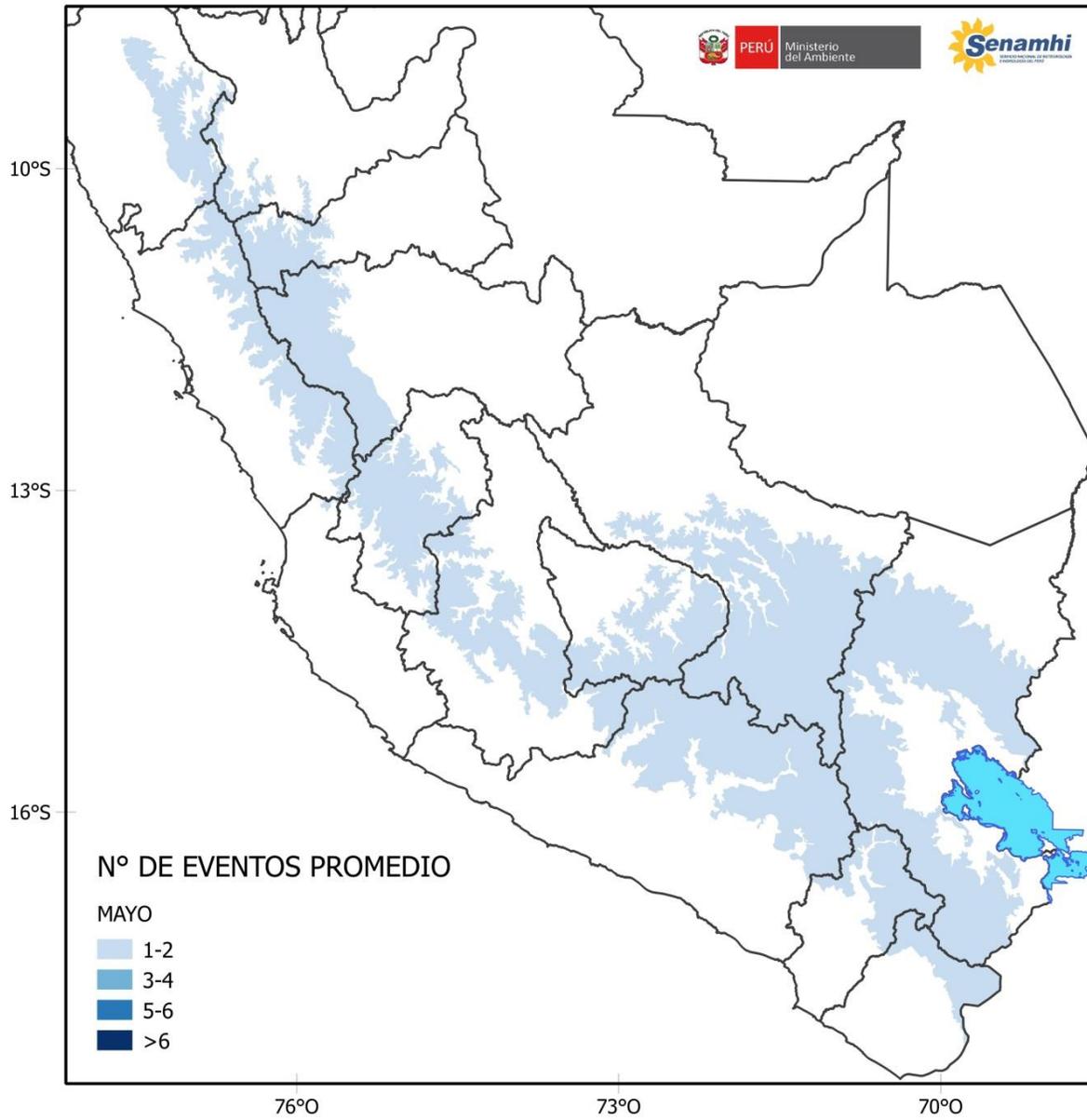


Figura 5.14.- Número de eventos de nevadas promedio en el mes de mayo.

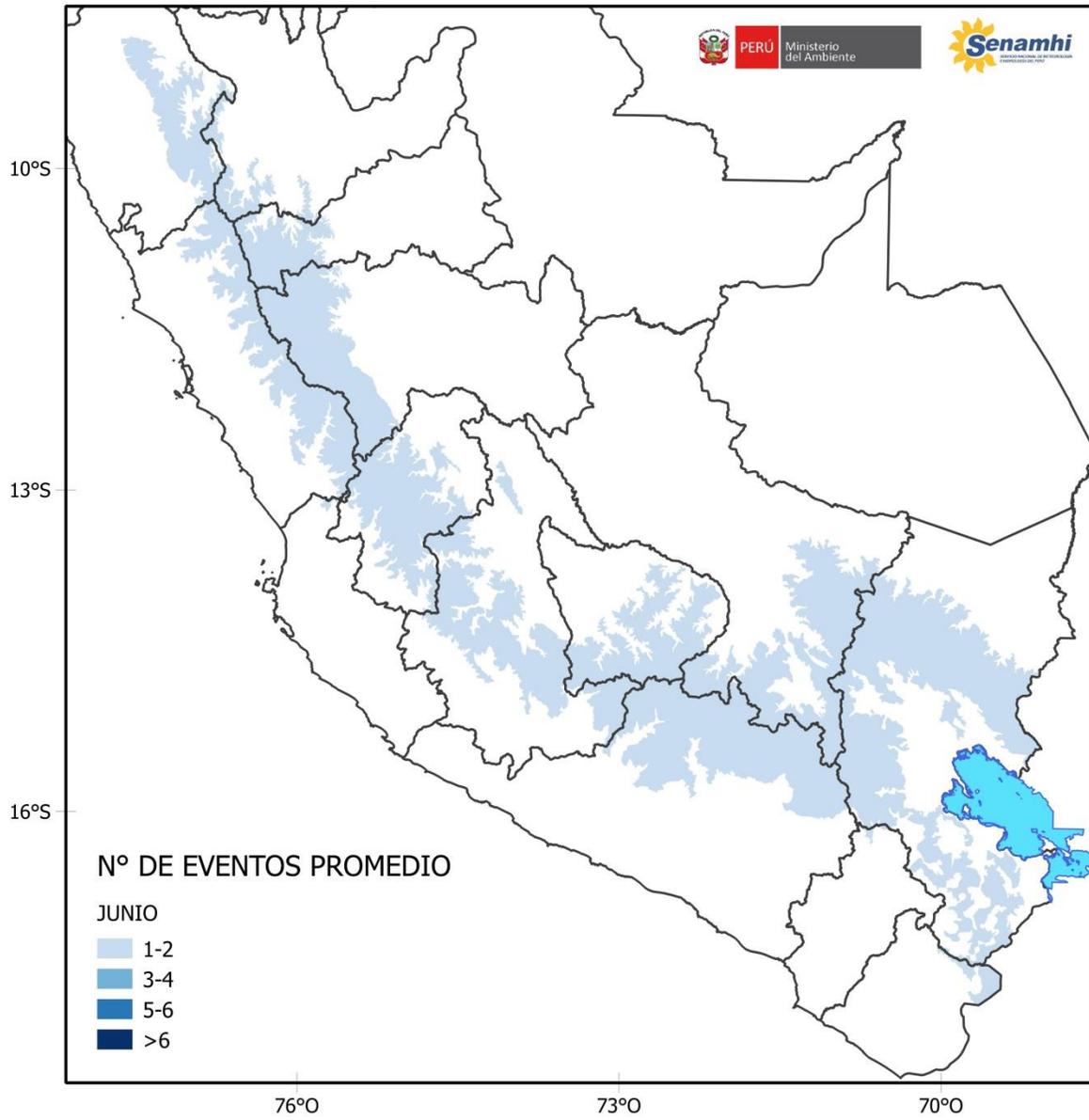


Figura 5.15.- Número de eventos de nevadas promedio en el mes de junio.

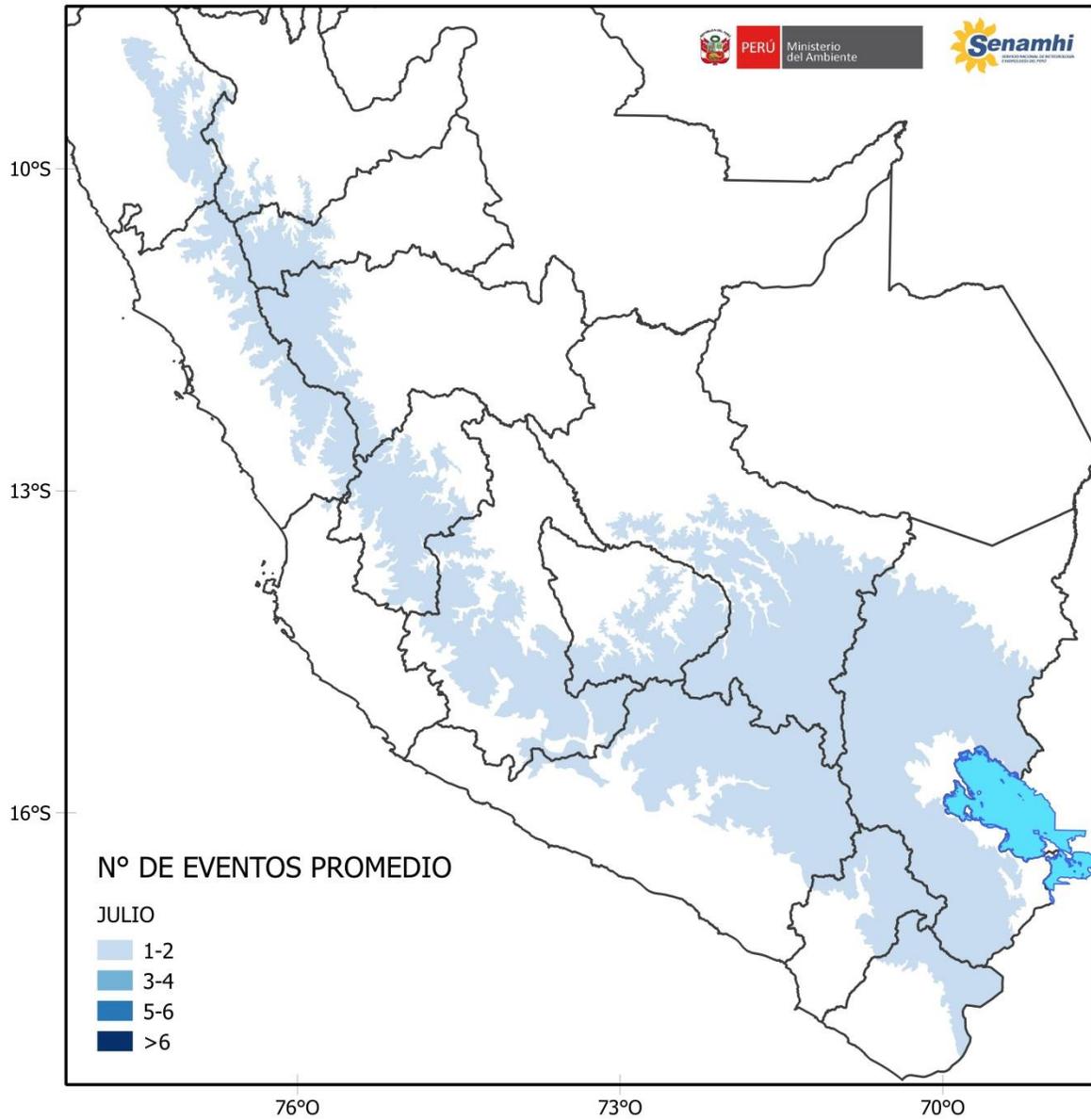


Figura 5.16.- Número de eventos de nevadas promedio en el mes de julio.

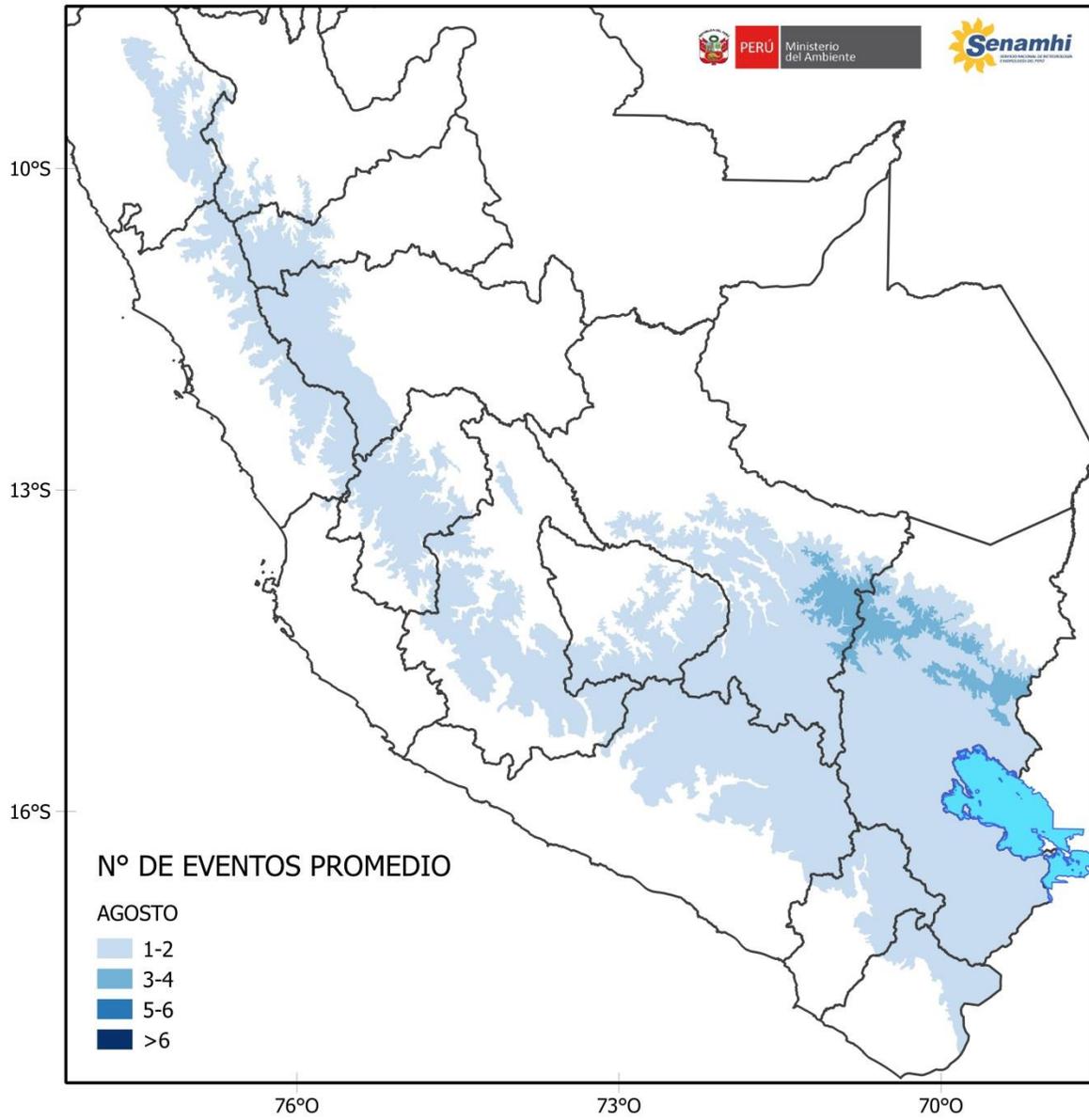


Figura 5.17.- Número de eventos de nevadas promedio en el mes de agosto.

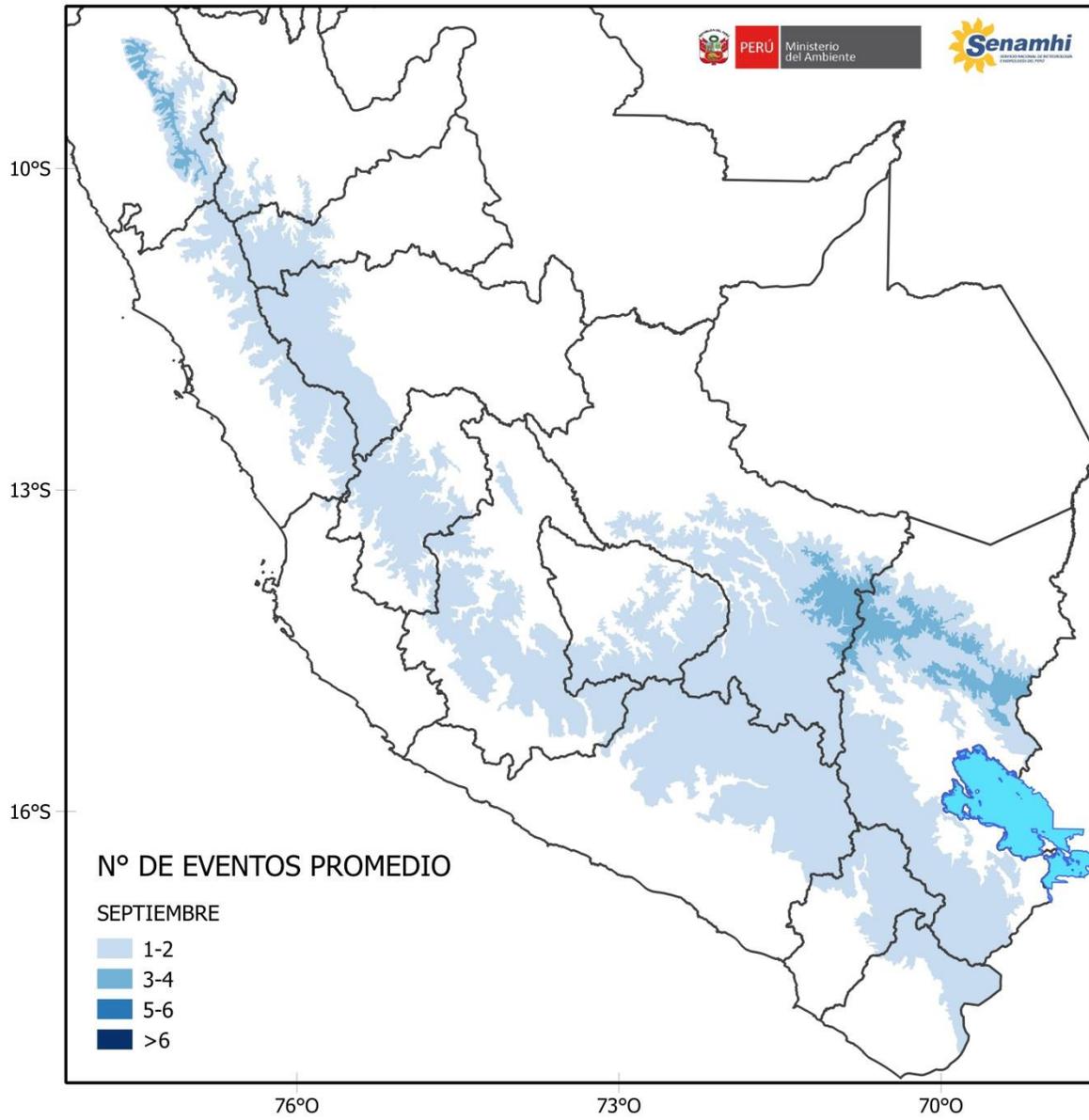


Figura 5.18.- Número de eventos de nevadas promedio en el mes de setiembre.

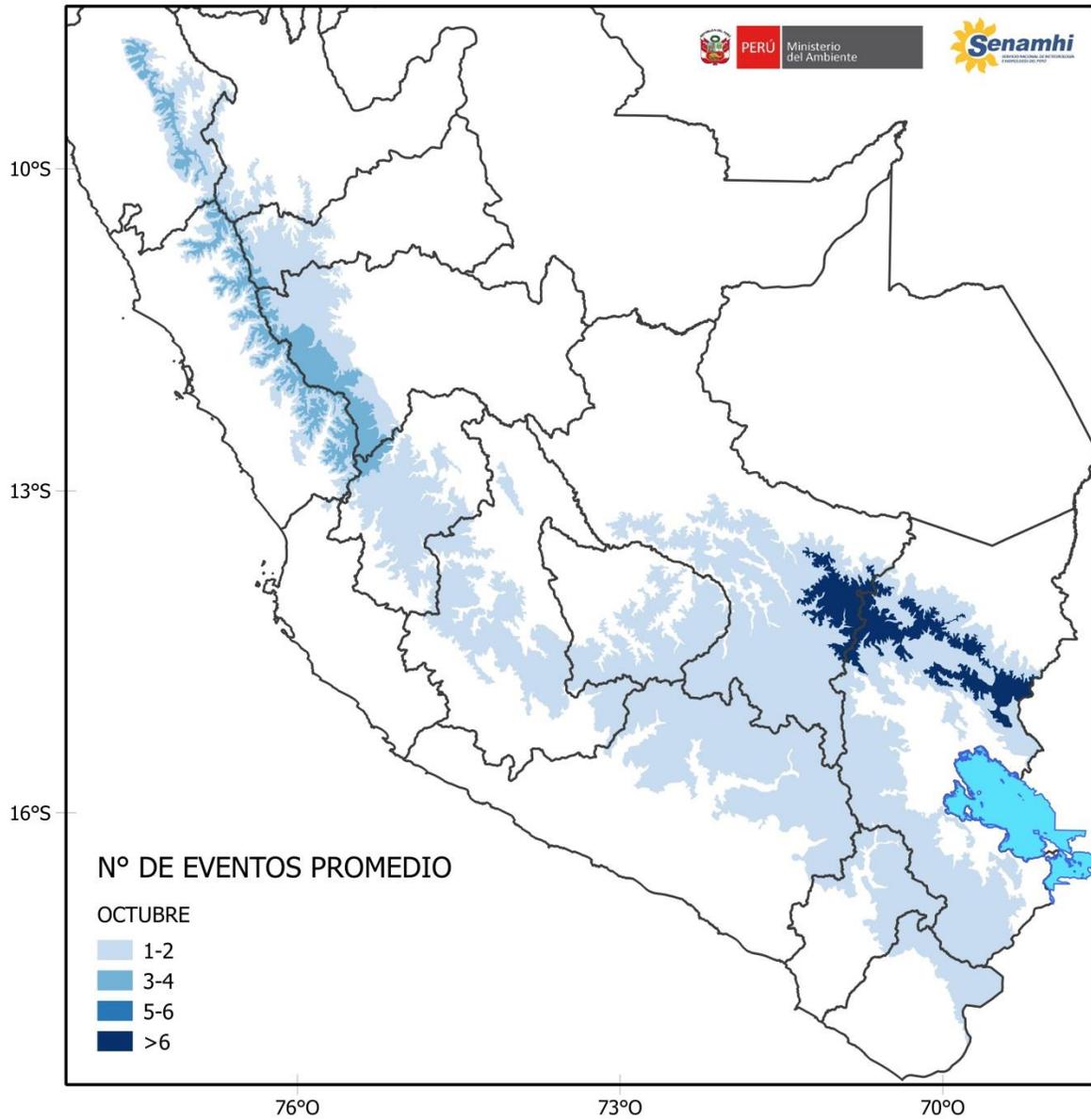


Figura 5.19.- Número de eventos de nevadas promedio en el mes de octubre.

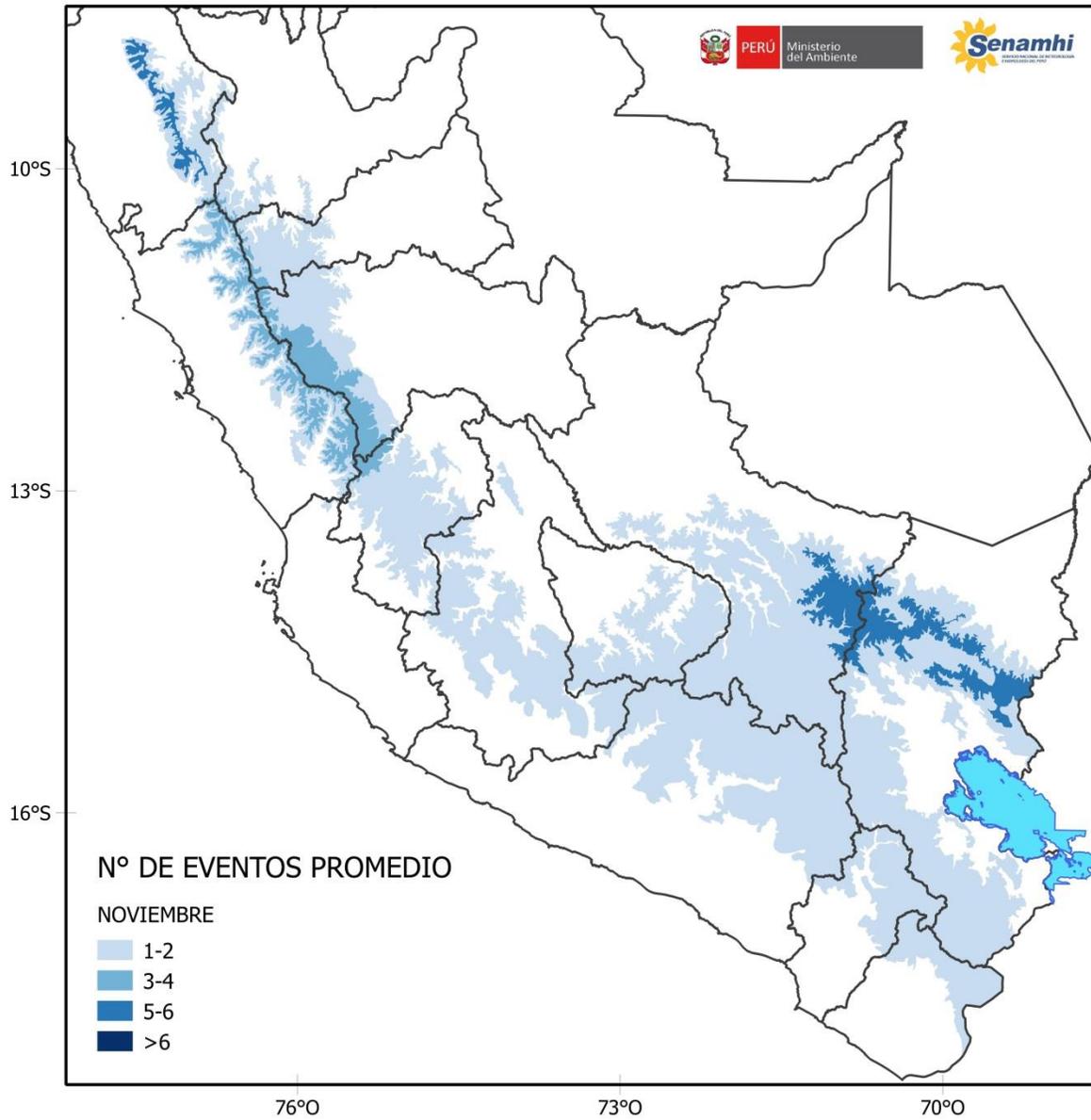


Figura 5.20.- Número de eventos de nevadas promedio en el mes de noviembre.

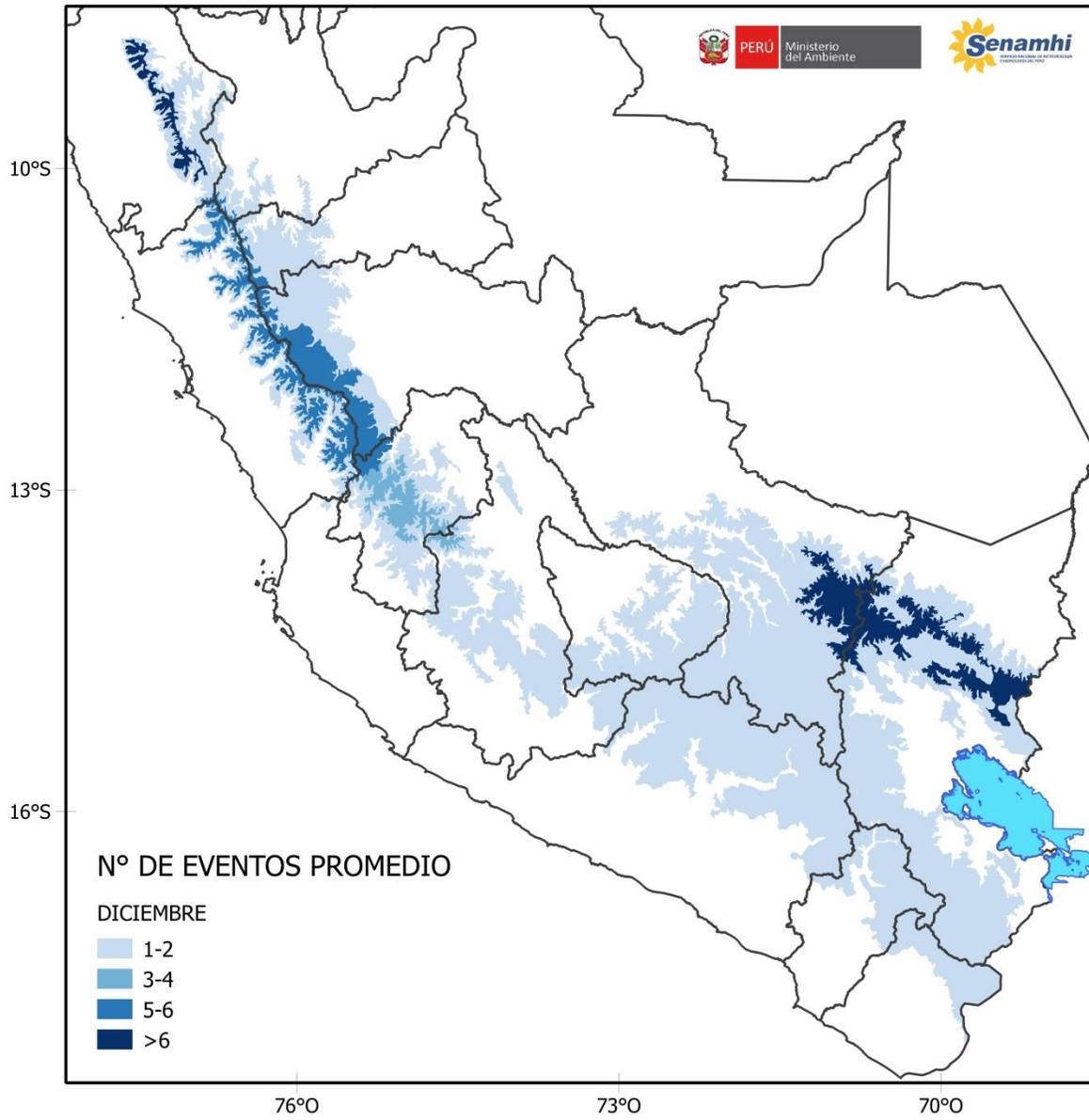


Figura 5.21.- Número de eventos de nevadas promedio en el mes de diciembre.

En las figuras 5.21-5.33 se muestra la distribución del porcentaje de eventos de nevadas promedio mensual en 10 años (2004 al 2013), clasificado en escala de color naranja a lo largo de la cordillera central y sur de los Andes peruanos.

Para el mes de Enero (Figura 5.21), se presentó una mayor porcentaje de eventos en la vertiente oriental sur y parte del altiplano (Puno), con valores entre 41 y 60%, por encima de los 3877 msnm (Estación El Progreso, Puno), seguida de la vertiente oriental sur (Puno) y vertiente occidental sur (desde el sur de Ayacucho hasta Tacna), con valores entre 21 y 40%, por encima de 4081 msnm (Estación Crucero, Puno) y 3928 msnm (Estación Mazo Cruz, Puno) respectivamente.

Para el mes de Febrero (Figura 5.22) la zona de la vertiente occidental sur (Entre Moquegua, Tacna y Puno), presenta valores entre 21 y 40%, por encima de los 4540 msnm (Estación Paucarani, Tacna). Mientras que para el mes de Marzo (Figura 5.23), la cordillera central y parte de la vertiente occidental y oriental sur del país, presentan valores entre 11 y 20%.

Para Abril y Mayo (Figura 5.24 y 5.25), se muestra una distribución homogénea del porcentaje de eventos con valores mínimos entre 1 y 10% para ambos casos, con la diferencia de que para el mes de Abril se observan nevadas en la vertiente oriental sur a partir de 3826 msnm (Estación Puno, Puno) y para el mes de Mayo se observan a partir 3418 msnm (Estación Ollachea, Puno) abarcando más área respecto al otro mes

Hacia el mes de Junio (Figura 5.26), los porcentajes varían, presentando valores entre 21 y 40%, en la vertiente occidental sur (desde el sur de Ayacucho hasta Tacna) entre 3367 msnm (Estación Cabanaconde, Arequipa) y 3622 msnm.

Durante el mes de Julio (Figura 5.27) la zona sur de la cordillera presenta valores entre 41 y 60% para la vertiente occidental sur, partiendo desde 3367 msnm (Estación Cabanaconde, Arequipa), hasta 3826 msnm y valores entre 21 y 40%, por encima de 3622 msnm (Estación Chivay, Arequipa) y por debajo de 4030 msnm. Mientras que en el altiplano se ven valores de 21 a 40% por encima de 3826 msnm (Estación Puno, Puno).

Para el mes de Agosto (Figura 5.28), el altiplano presenta el mayor porcentaje de eventos entre 81 y 100%, el máximo del año para esta zona, por encima de los 3820 msnm (Estación Juliaca, Puno), mientras que la vertiente occidental sur, valores entre 41 y 60%, por encima de los 3622 msnm (Estación Chivay, Arequipa) y por debajo de los 4030 msnm. Asimismo, la zona oriental por encima de 3418 msnm presenta valores entre 21 y 40%.

Por otro lado el mes de Septiembre (Figura 5.29) presenta valores entre 41 y 60% en la zona de la vertiente occidental sur (Moquegua, Tacna y parte de Puno), por encima de 3520 msnm (Estación Toquela, Tacna).

El mes de Octubre (Figura 5.30), presenta valores entre 11 y 20% en la vertiente oriental sur, por encima de 4130 msnm (Estación Crucero, Puno). Asimismo, para el mes de Noviembre (Figura 5.31), la vertiente oriental sur presenta valores entre 21 y 40%, por encima de 3418 msnm

(Estación Ollachea, Puno) y debajo de 3494 msnm. Finalmente, el mes de Diciembre (Figura 5.32) presenta valores entre 11 y 20% a lo largo de toda la cordillera.

Como se pudo observar, la zona sur de la cordillera presentó los mayores porcentajes durante los meses de invierno (Julio, Agosto, Septiembre) y la zona del altiplano tuvo la distribución menos homogénea durante el año, presentado el mayor porcentaje de eventos en el mes de Agosto. Por otro lado, la cordillera central presentó valores de porcentaje similares entre 1 y 20%, durante el año.

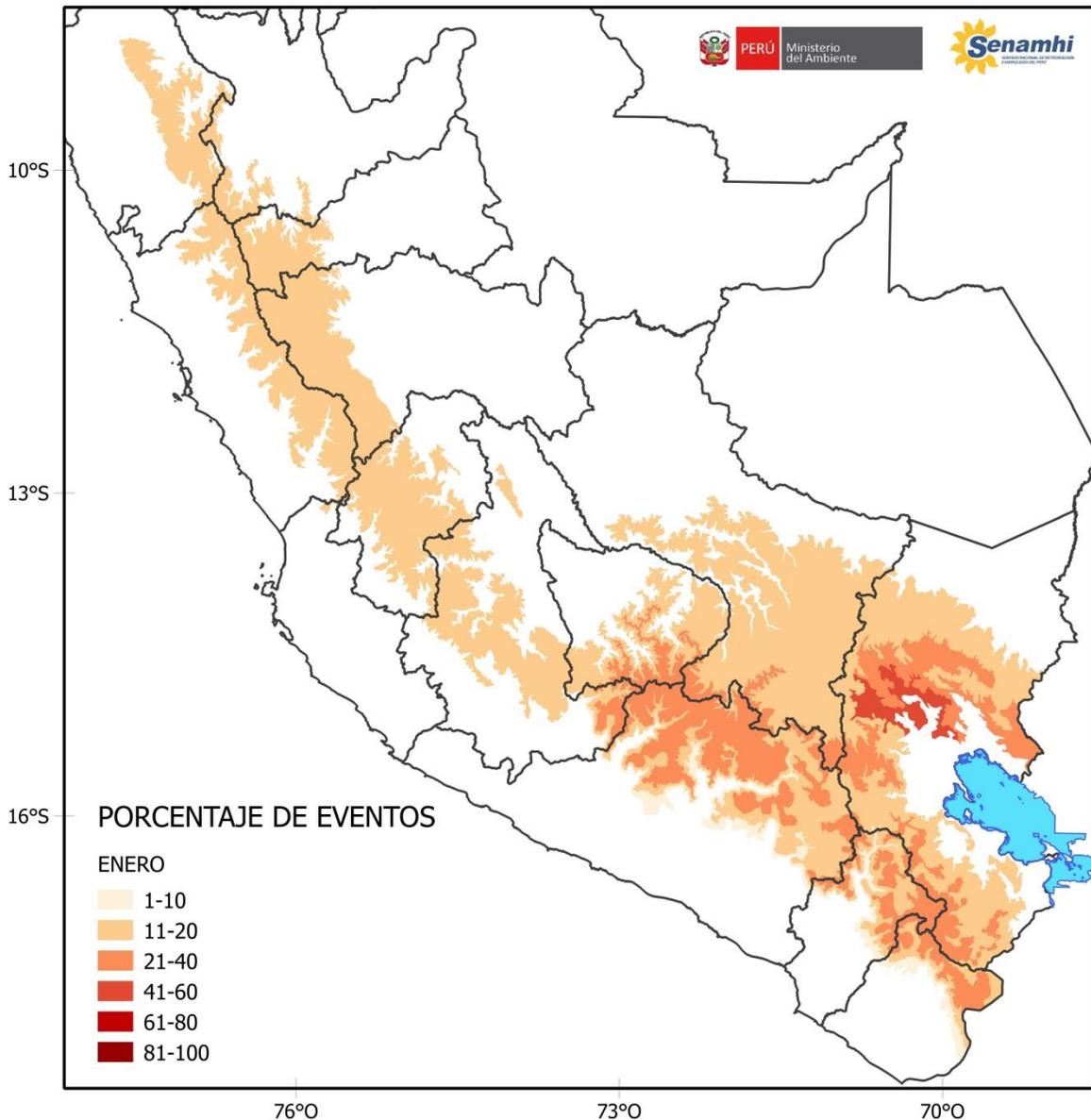


Figura 5.22.- Porcentaje de eventos de nevadas promedio en el mes de enero.

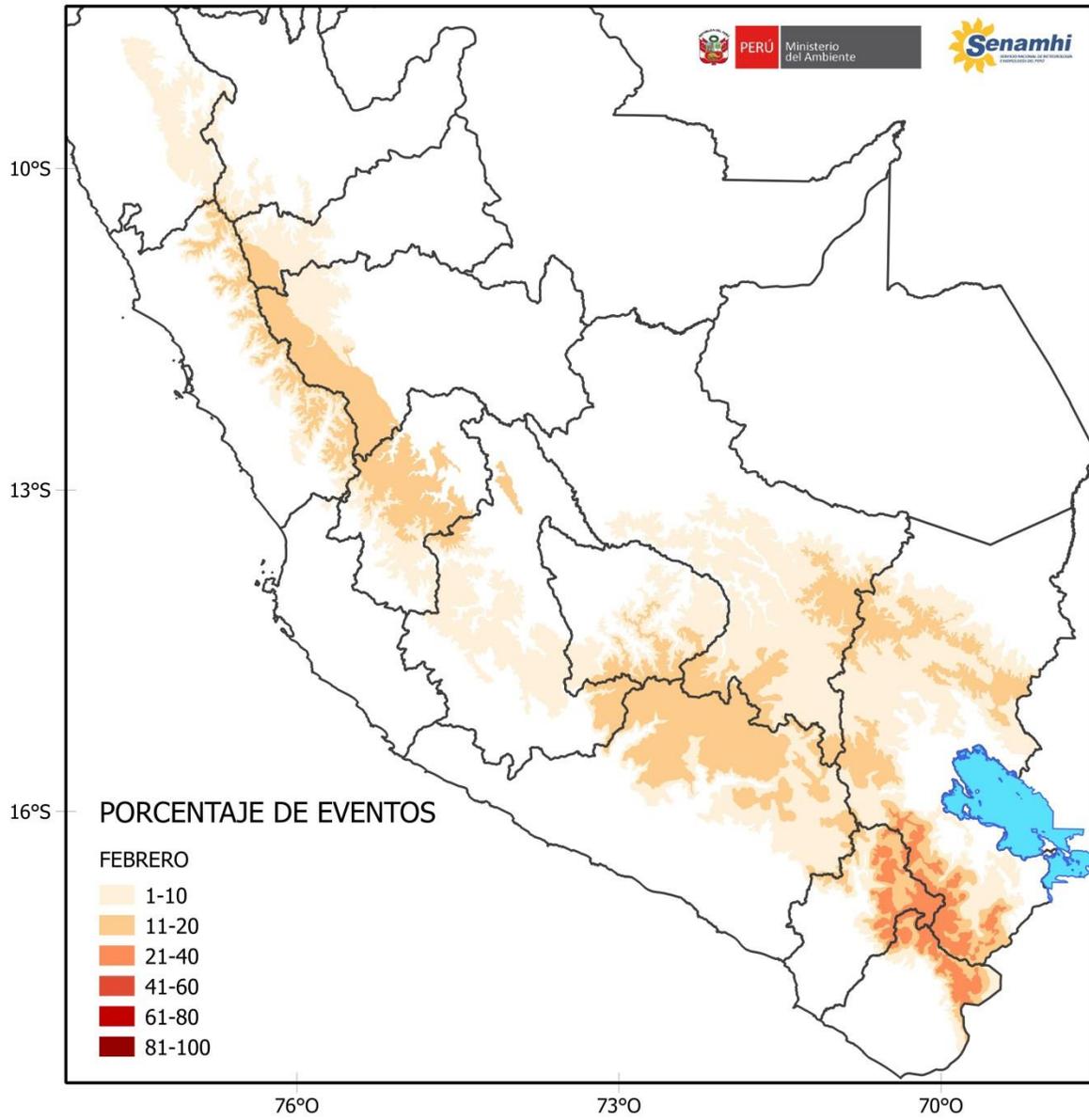


Figura 5.23.- Porcentaje de eventos de nevadas promedio en el mes de febrero.

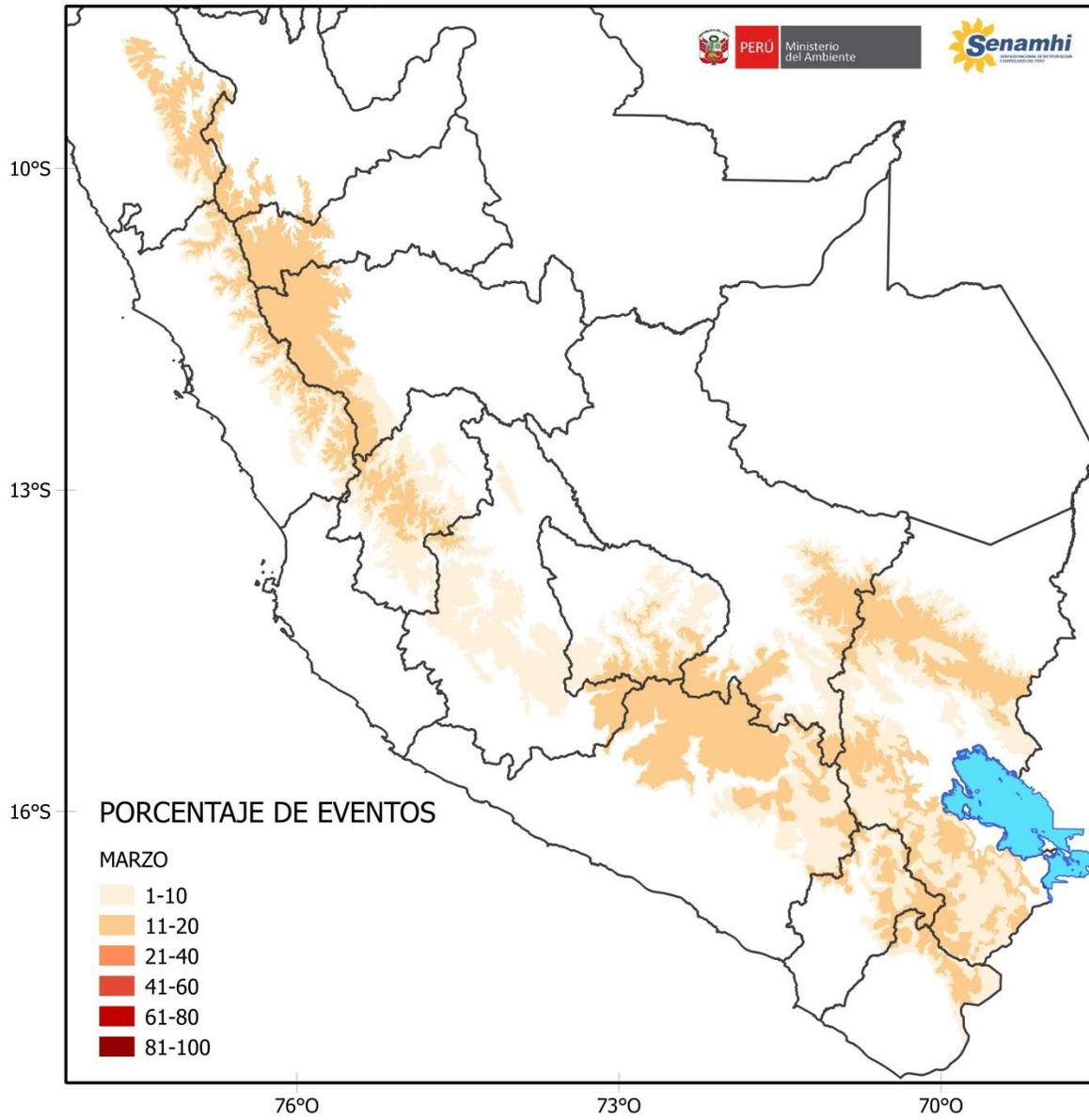


Figura 5.24.- Porcentaje de eventos de nevadas promedio en el mes de marzo.

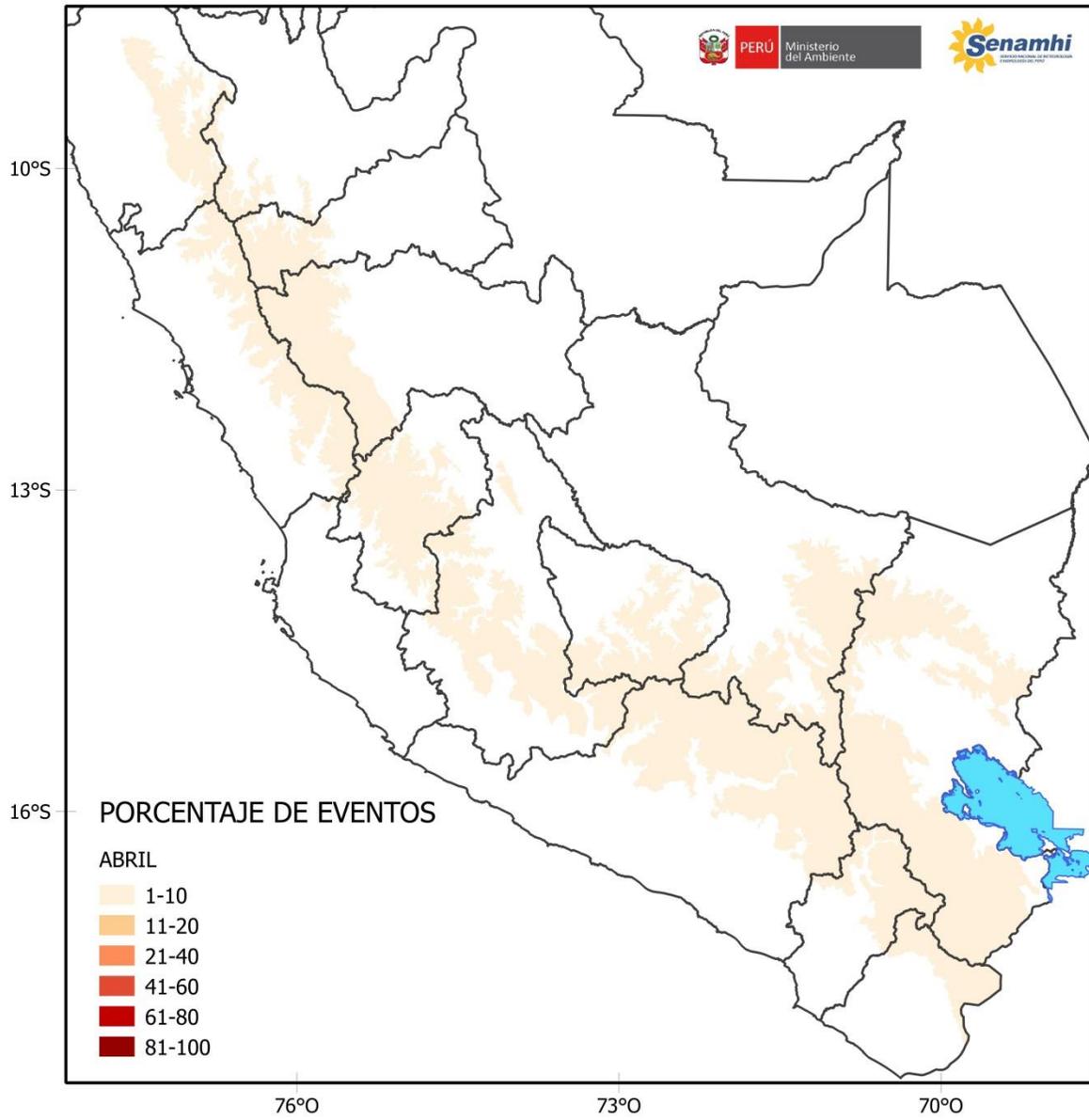


Figura 5.25.- Porcentaje de eventos de nevadas promedio en el mes de abril.

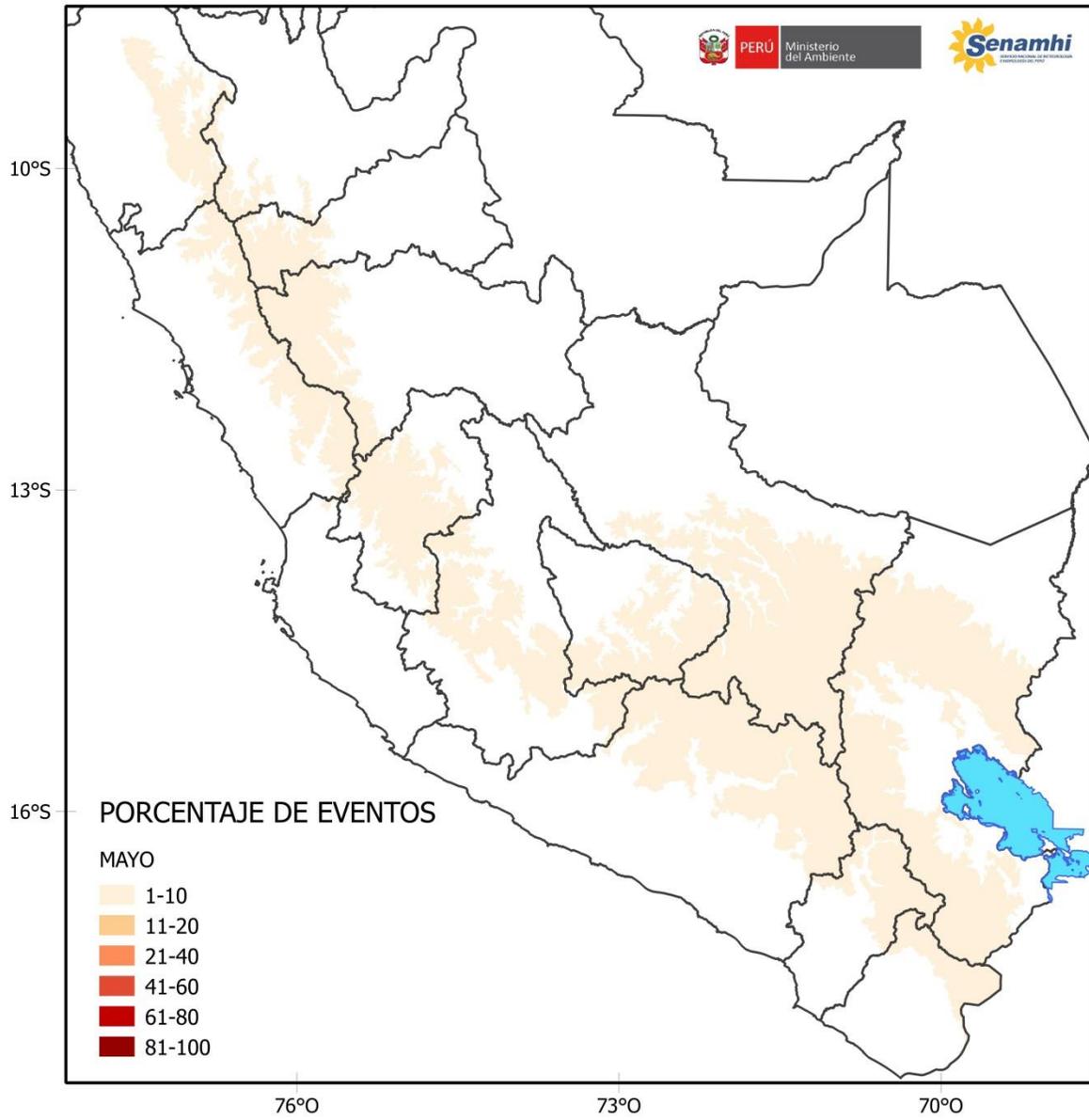


Figura 5.26.- Porcentaje de eventos de nevadas promedio en el mes de mayo.

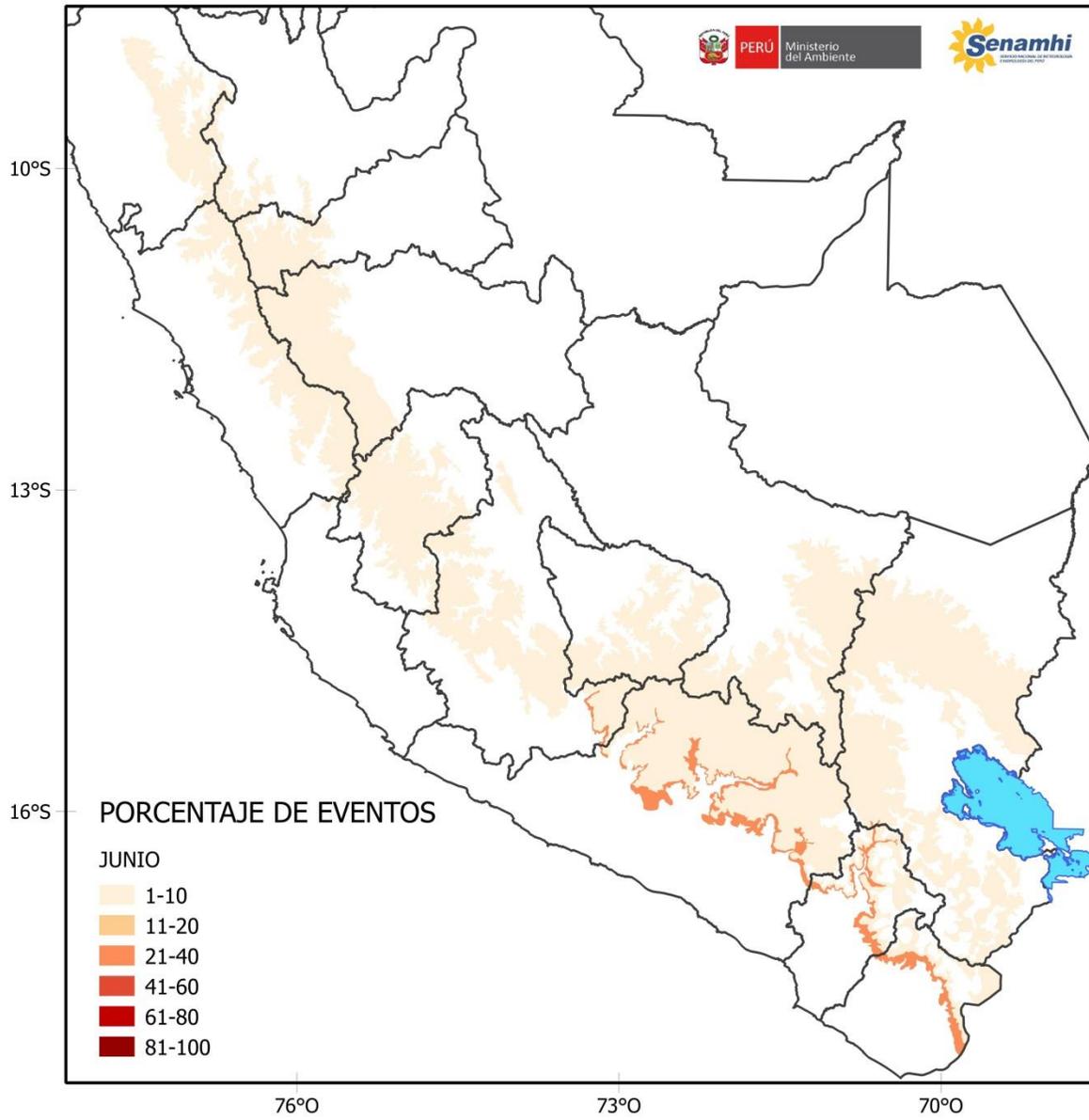


Figura 5.27.- Porcentaje de eventos de nevadas promedio en el mes de junio.

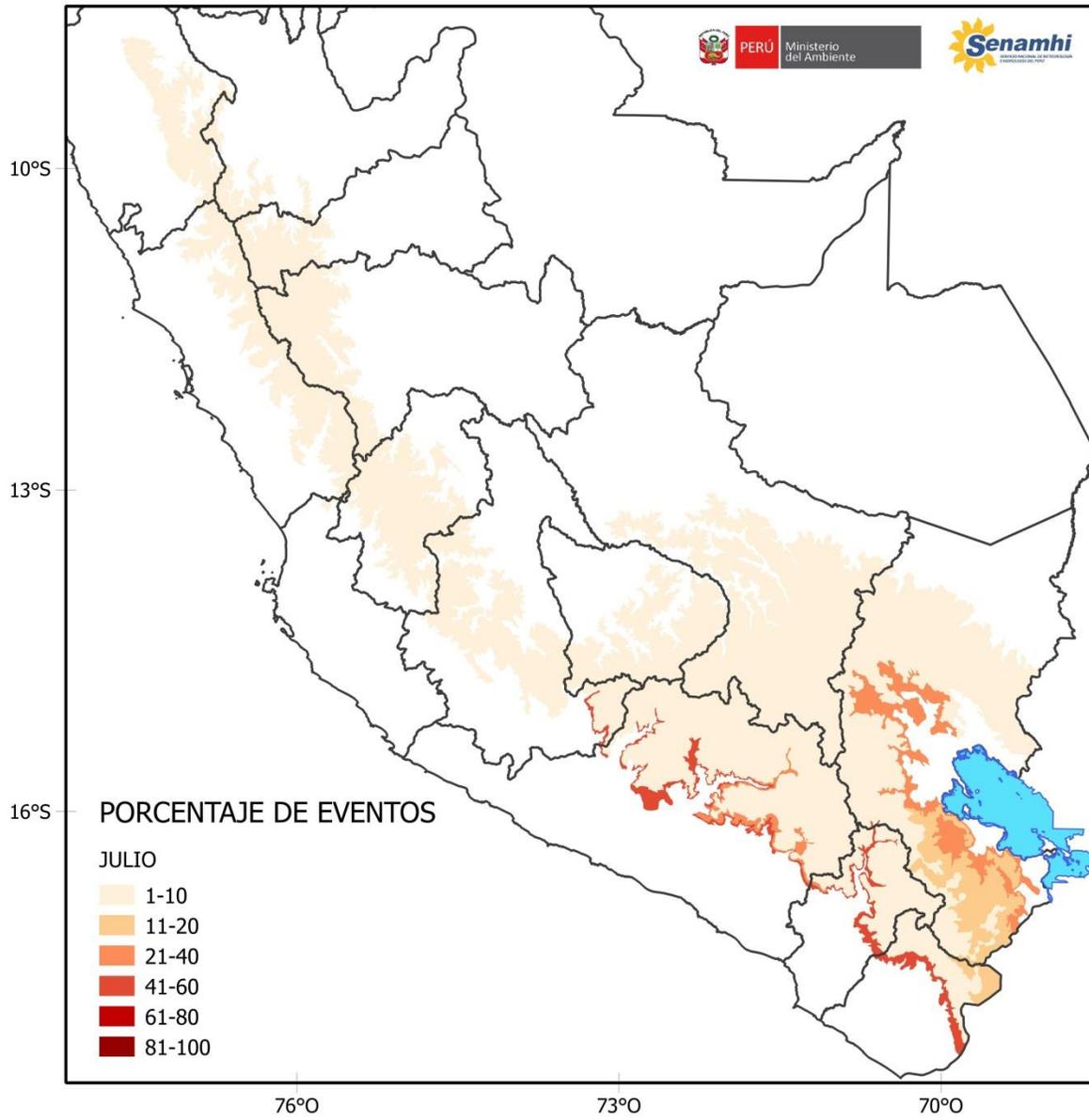


Figura 5.28.- Porcentaje de eventos de nevadas promedio en el mes de julio.

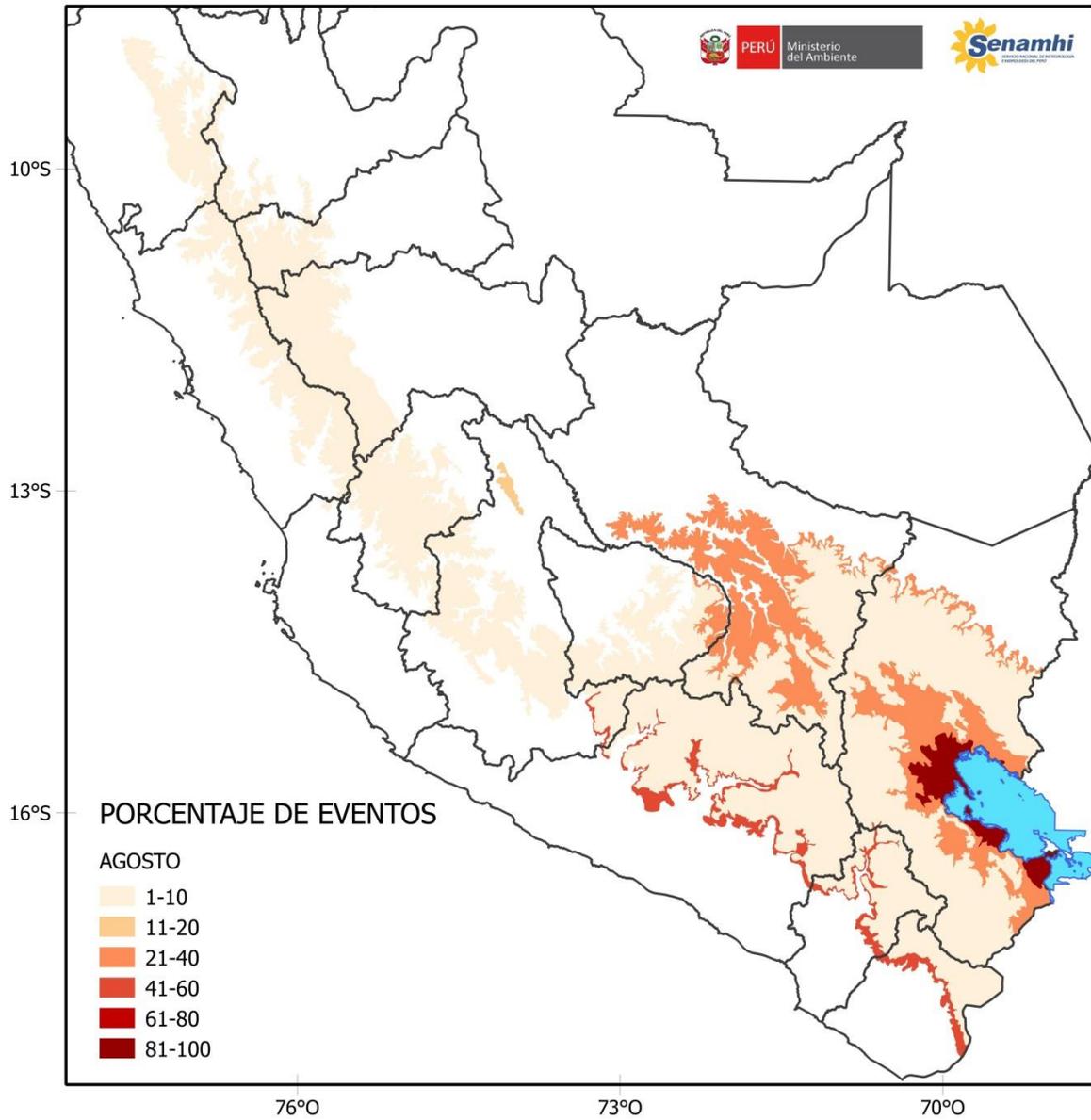


Figura 5.29.- Porcentaje de eventos de nevadas promedio en el mes de agosto.

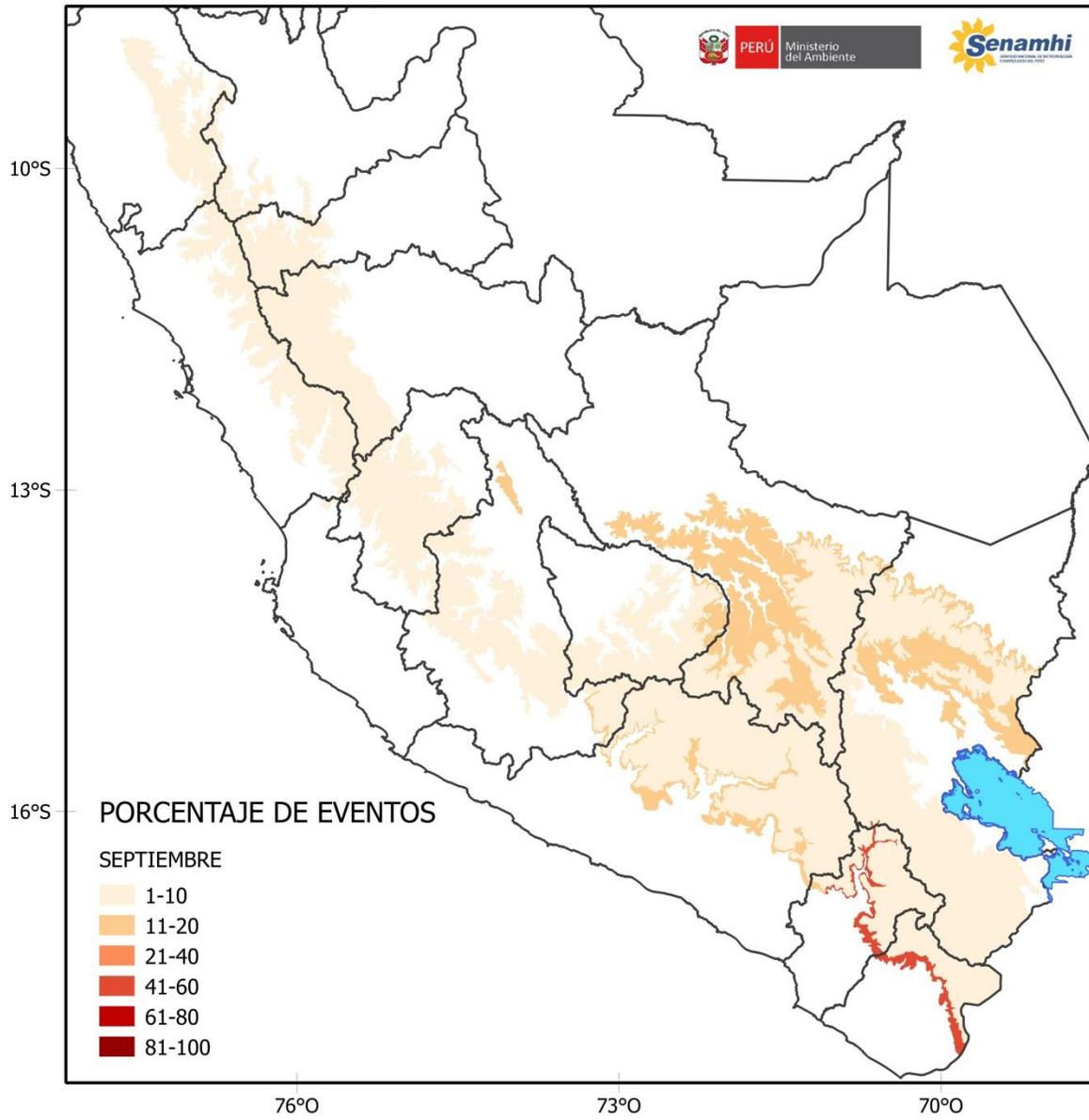


Figura 5.30.- Porcentaje de eventos de nevadas promedio en el mes de setiembre.

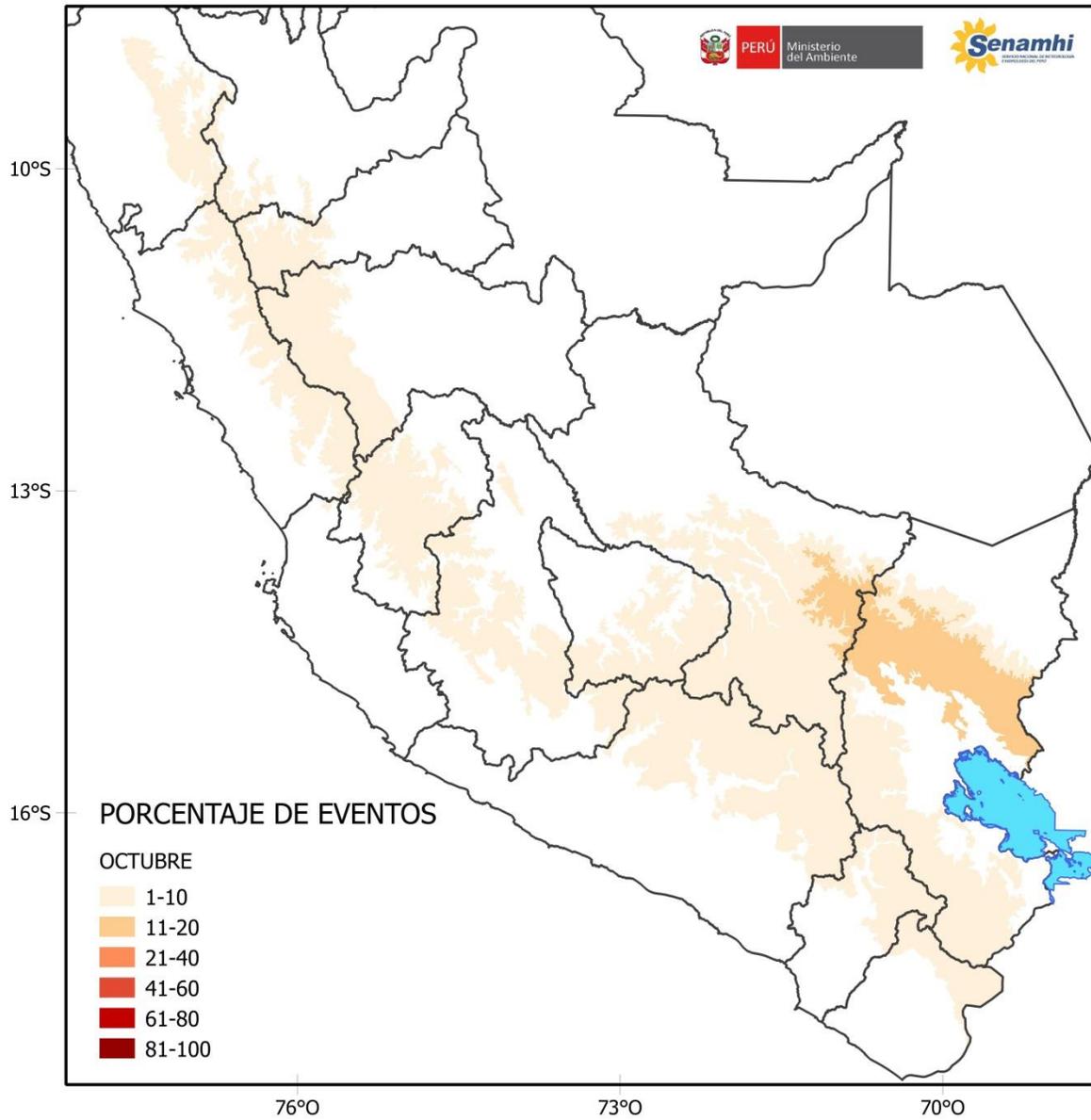


Figura 5.31.- Porcentaje de eventos de nevadas promedio en el mes de octubre.

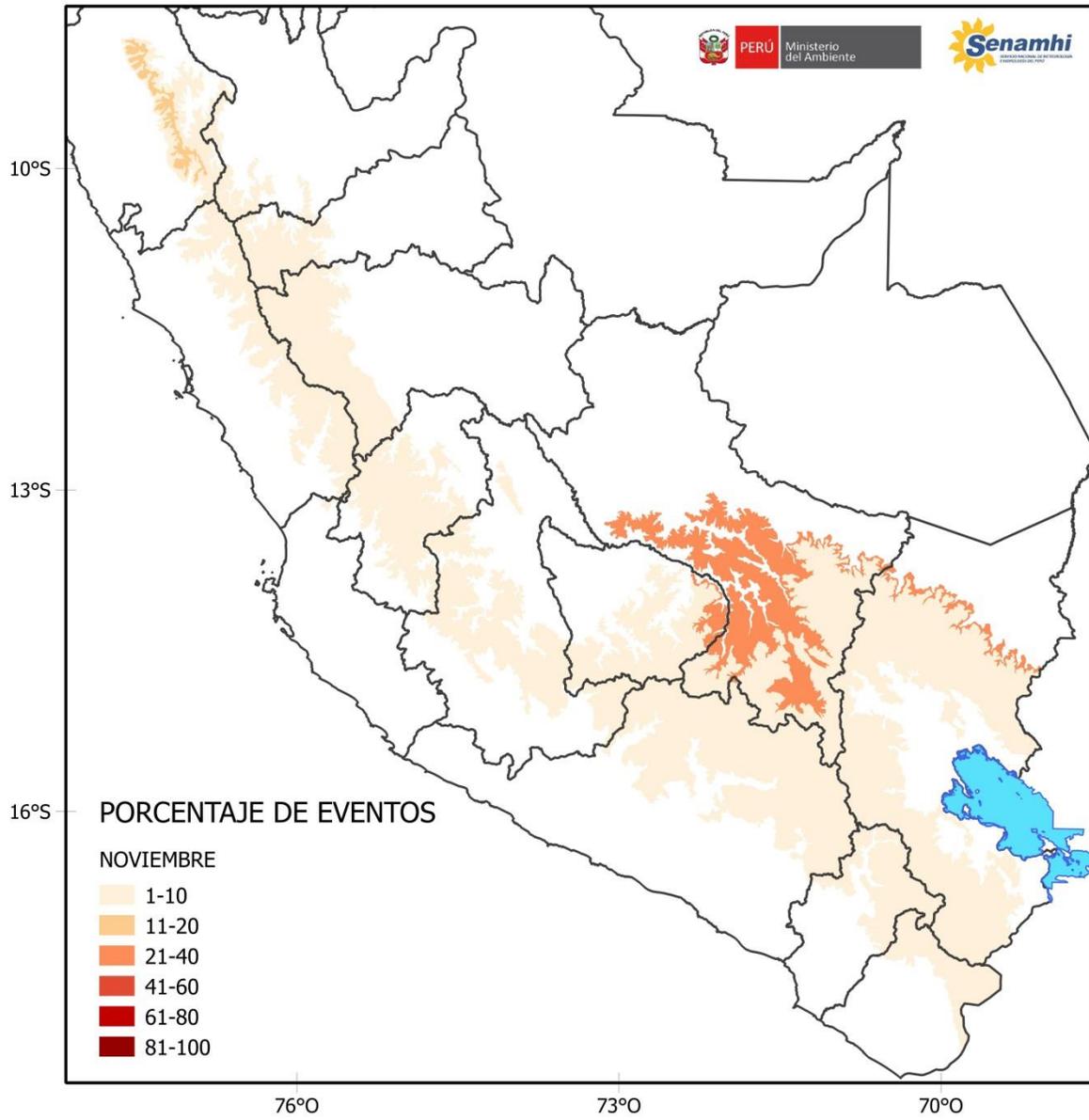


Figura 5.32.- Porcentaje de eventos de nevadas promedio en el mes de noviembre.

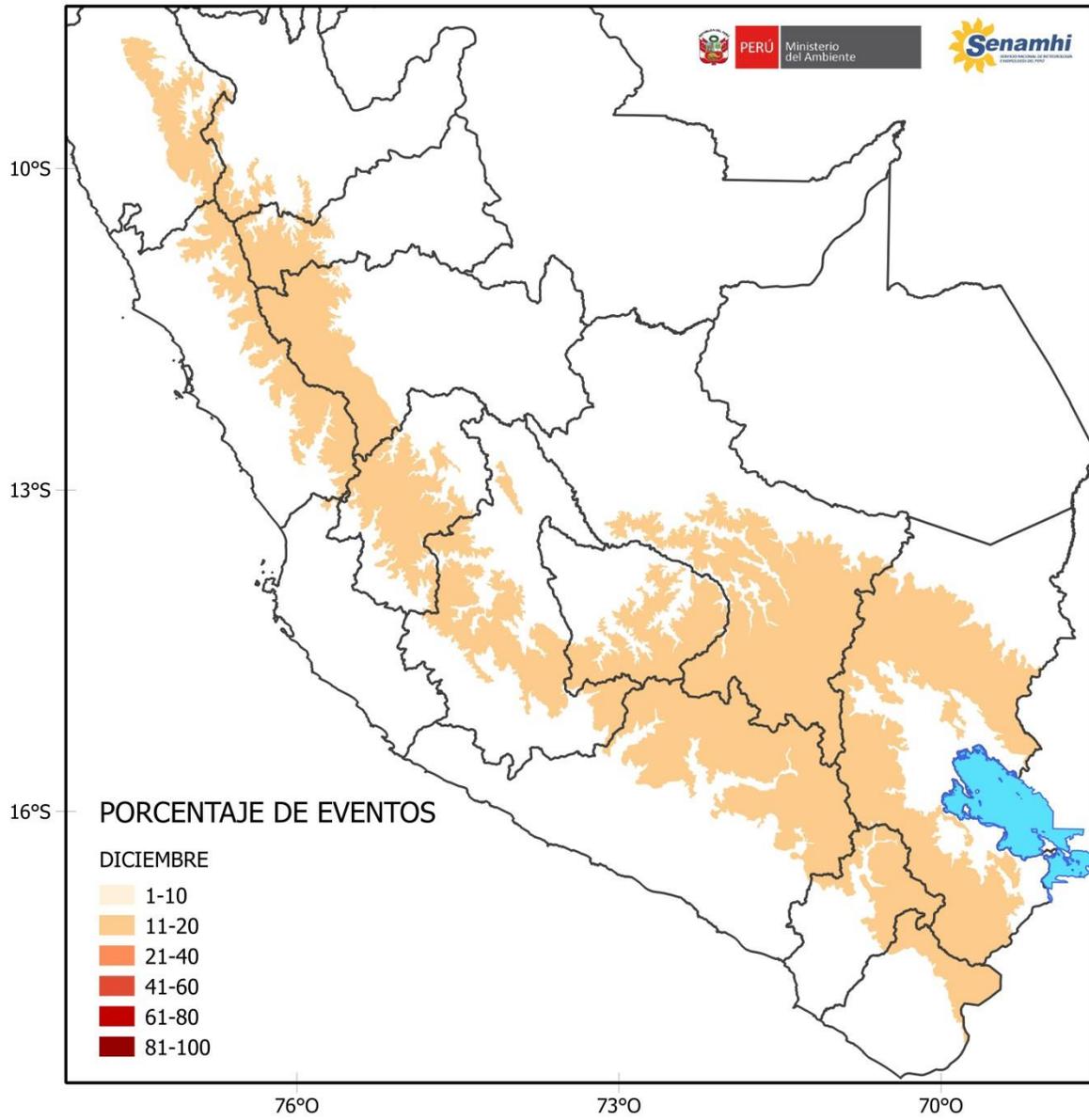


Figura 5.33.- Porcentaje de eventos de nevadas promedio en el mes de diciembre.

6. CONCLUSIONES

- 6.1. La ocurrencia de nevadas generalizadas a lo largo de la cordillera de los Andes está determinada, a nivel sinóptico, por uno de 3 sistemas atmosféricos, los cuales aportan el aire frío necesario para la generación de la nieve y la divergencia requerida para iniciar las precipitaciones, estos pueden ser, una DANA, la AB o una vaguada posicionada en una de tres configuraciones, así, existen cinco configuraciones atmosféricas que benefician la ocurrencia de nevadas en tanto se tenga el contenido de humedad necesario al momento de presentarse.
- 6.2. Las nevadas en la cordillera se presentan en mayor cantidad en los meses de verano, registrándose de 5 a 6 en promedio por mes, sin embargo se presentan en todo el año y desde 3400 m.s.n.m. en la vertiente oriental sur y occidental central.
- 6.3. A nivel porcentual mensual promedio, el mayor porcentaje de nevadas se da en el invierno a lo largo de la cordillera, además destaca que en el altiplano la frecuencia de nevadas es completamente heterogénea por lo que en esta área el promedio no resulta útil.
- 6.4. Las nevadas son eventos de gran importancia en el país que afectan a un importante sector de la población por ello es necesario mejorar el monitoreo y medición de las mismas para mejorar su estudio.

7. GLOSARIO DE TÉRMINOS

Las definiciones del presente glosario han sido extraídas y en algunos casos ligeramente adaptadas del glosario Global Cryosphere Watch (<http://globalcryospherewatch.org/reference/glossary.php>) y del glosario American Meteorological Society (http://glossary.ametsoc.org/wiki/Main_Page).

Albedo: Es una medida del poder reflector de una superficie, expresada como la fracción de la radiación solar entrante reflejada por la superficie.

Alta de Bolivia: Es un anticiclón de nivel superior (~ 200mb) que se desarrolla durante el verano sobre el altiplano boliviano, una región de meseta alta de los Andes centrales. La posición e intensidad de esta celda de alta presión se ha relacionado con la variación estacional en la precipitación amazónica, los episodios húmedos y secos sobre el Altiplano, la generación de vientos ciclónicos de 200mb y las variaciones interanuales en el nivel del lago Titicaca (ubicado en el Altiplano).

Altitud: Distancia vertical de un nivel, un punto o un objeto medido desde la superficie media del mar. En Perú utilizamos el sistema métrico por lo que las unidades de altitud se expresan como metros sobre el nivel del mar (msnm).

Congelación: Es el paso del agua de un estado líquido a un estado sólido, debido a temperaturas inferiores a los 0°C.

Cota de nieve: es la altitud por encima de la cual la precipitación es en forma de nieve.

Criósfera: Componente del sistema terrestre compuesto por aquellas zonas de la superficie del planeta en las que el agua se encuentra en estado sólido, ya sea en forma de nieve, hielo, glaciares o suelo helado. Generalmente se asocia la criósfera a las regiones polares, sin embargo está presente también en las altas cumbres de las regiones tropicales y ecuatoriales del planeta. Las regiones frías del planeta tienen una gran importancia en la regulación del clima mundial, pero también gran relevancia a nivel regional y local. Además, muchos de las componentes de la criósfera se consideran importantes indicadores del cambio climático por su alta sensibilidad a cambios en la temperatura.

Dana: Un bajo fría que ha crecido fuera de una vaguada y se ha desplazado fuera de la corriente del oeste básico y se encuentra hacia el ecuador de esta corriente.

Glaciar: Es todo cuerpo de hielo de diferentes formas y dimensiones que, ubicado sobre diferentes relieves (cumbres, mesetas, cornisas, laderas, fondos de valle), presenta distintos contenidos de material detrítico tanto interior como en superficie (1), registra diferentes y cambiantes velocidades de flujo (2), se comporta como un cuerpo plástico o semi-plástico, y su permanencia puede alcanzar desde varias décadas a varios miles de años (3). Además, puede presentarse estático o fluir según sea la pendiente, e incluso contra ella en forma local por compresión y empuje.

Jet: Vientos relativamente fuertes se concentraron dentro de una corriente estrecha en la atmósfera. Si bien este término se puede aplicar a cualquier corriente de este tipo, independientemente de la dirección (incluida la vertical), se le consideran normalmente como una corriente en chorro casi horizontal de vientos máximos incrustados en las latitudes medias, en el caso del Jet de bajos niveles este se desplaza en baja atmosfera.

Sistema climático: El sistema climático es el sistema de mayor complejidad consistente en 5 componentes básicos: la atmósfera, la hidrosfera, la criósfera, la litosfera y la biosfera, y sus interacciones entre ellos. El sistema climático evoluciona con el tiempo bajo la influencia de su propia dinámica interna y debido a forzamientos externos tales como erupciones volcánicas, variaciones solares y factores antropogénicos tales como la modificación de la composición de la atmósfera y el cambio de uso de la tierra.

8. BIBLIOGRAFIA

- Acomet. Publicado en <http://www.acomet-web.com/nevadas.php>
- Andressen, L. et Al. 2007. Regímenes climáticos del altiplano sur de Bolivia: una región afectada por la desertificación. Rev. Geográfica venezolana. 11-32.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). 2014. Inventario nacional de glaciares y lagunas 2014.
- Benn, Douglas I. & Evands, David J.A. 1998. Arnold. Glaciers and glaciation. 15-25
- De la Torre, 2006, L. et Al, Etnobotánica en los Andes del Ecuador, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, 246-267.
- F.A. Saavedra, S.K. Kampf, S.R. Fassnacht, J.S. Sibold. Discussion stated 12 may 2017. Changes in “Andes” Mountains snow cover from MODIS data 2000- 2014.
- Ferrando, F. 2014. Análisis y propuesta de definición de “glaciar”. Departamento de Geografía –FAU- Universidad de Chile.
- Garreaud, R. 1997. Precipitación estival en los Andes de Chile: aspectos climatológicos. Universidad de Chile. 191-211.
- Garreaud, R. 2000. Intraseasonal variability of moisture and rainfall over South American Altiplano. American Meteorological Society. 3337 – 3346.
- Garreaud, R. 2009. The Andes climate and weather. Advances in Geosciences. 22. 3 – 11.
- IGAC. 1989: Atlas básico de Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá pp. 50-66.
- Lagos, P. et Al, 2009, EL NIÑO Y LA PRECIPITACIÓN EN LOS ANDES DEL PERÚ, Instituto Geofísico del Perú, 19.
- Lenters, J and Cook, K. 1998. Summertime precipitation variability over South America: Role of the large-scale circulation. Monthly Weather Review. 127. 409 – 431.
- MARN, 2003, La precipitación en Venezuela y su relación con el sistema climático, Caracas, 72.
- Mesa, O., G. Poveda G. & L. Carvajal. 1997: Introducción al clima de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Medellín pp. 48-93.

- MINAM, 2007, Los Climas del Perú, 10.
- Ministerio del Ambiente. 2016. Historia ambiental del Perú S.XVIII-XIX, Capitulo II elaborado por Juan Torres Guevara (UNALM).
- Morello, S. et Al, 2012, Ecorregiones y complejos eco sistémicos argentinos. 1-86.
- National Centers for Environmental information. NOAA. Pacific Decadal Oscillation (PDO) Publicado en <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/pdo/>
- Pizarro, J. G.; Montecinos, A. 2000. Cutoff cyclones off the tropical coast of Chile, paper presented at Sixth International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, Santiago, Chile, 3 –7 April.
- Quispe, N. 2014. Evaluación climática de la depresión aislada en niveles altos (DANA) sobre Sudamérica y océanos adyacentes y estudio de un caso en el Pacifico Oriental.
- Quispe, N and Avalos, G. 2006. Intense snowstorm in the southern mountains of Peru associated to the incursion of cut-off low-pressure systems at upper level. Proceedings of 8 ISDHMO, Foz do Iguaçó, Brazil, April 14-28, INPE. 1945-1948.
- Sagredo E.A, Lowel T.V. 2012. Climatology of Andean glaciers: A framework to understand glacier response to climate change.
- Salaverry, J. 2006. Macro-ecología de los Andes peruanos. Instituto Francés de Estudios Andinos. 312 p.
- Tierra de vientos, Los Andes Argentinos, Geografía, Rev. Dig. 2011.
- Úbeda, J et al. Informe sobre el permafrost encontrado en los volcanes Coropuna y Chachani (Arequipa, sur de Perú)
- Vijay et al. 2011. Encyclopedia of Snow, ice and glaciers. Editorial Springer. ISBN 978-90-481-2641-5. Pp 1300.
- Vuille, M., Ammann, C. 1997. Regional snowfall pattern in the high, and Andes (South America). Climatic Change 36, 413-423.
- Winckfill, 1982, Relieve y geomorfología de Ecuador, 17.