

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



**“MONITOREO, PRONÓSTICO Y VALIDACIÓN DE AVISOS
METEOROLÓGICOS DE DESCENSOS DE TEMPERATURAS
MÍNIMAS EN LOS DEPARTAMENTOS DE TACNA Y MOQUEGUA”**

Trabajo de Suficiencia Profesional para Optar el Título de:

INGENIERA METEORÓLOGA

JANET HUAMÁN VARGAS

Lima – Perú

2024

**La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual)**

TSP 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.lamolina.edu.pe

Fuente de Internet

8%

2

cdn.www.gob.pe

Fuente de Internet

2%

3

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1%

4

Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola

Trabajo del estudiante

1%

5

repositorio.unsa.edu.pe

Fuente de Internet

1%

6

orcid.org

Fuente de Internet

1%

7

www.senamhi.gob.pe

Fuente de Internet

1%

8

repositorio.senamhi.gob.pe

Fuente de Internet

1%

9

sigrid.cenepred.gob.pe

Fuente de Internet

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS

**“MONITOREO, PRONÓSTICO Y VALIDACIÓN DE AVISOS
METEOROLÓGICOS DE DESCENSOS DE TEMPERATURAS
MÍNIMAS EN LOS DEPARTAMENTOS DE TACNA Y MOQUEGUA”**

Trabajo de Suficiencia Profesional para Optar el Título Profesional de:

INGENIERA METEORÓLOGA

Presentada por:

JANET HUAMÁN VARGAS

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

Mg.Sc. Eusebio Idelmo Cisneros Tarmeño
PRESIDENTE

Maest.Cs.Alessandri Canchoa Quispe
MIEMBRO

Mg. Jerónimo García Villanueva
MIEMBRO

Dr. Alexis Nicolás Ibáñez Blancas
ASESOR

DEDICATORIA

*En primer lugar, a Dios por cuidarme siempre y darme fortaleza en cada situación
que se presente en la vida.*

*A mis padres Humberto y Aleja, mi hermana Edith por todo su amor, confianza y
apoyo incondicional en todo momento.*

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor Dr. Alexis Nicolás Ibáñez Blancas por su apoyo y asesoramiento en todo este proceso.

A los miembros del Jurado, por sus revisiones y sugerencias.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Problemática	1
1.2 Objetivo	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Heladas meteorológicas.....	3
2.2 Clasificación de las heladas meteorológicas	3
2.2.1 Heladas de advección.....	3
2.2.2 Helada de radiación.....	3
2.3 Masa de aire seco	3
2.4 Vaguada.....	4
2.5 Dorsal	4
2.6 Descenso de temperatura.....	4
2.7 Avisos meteorológicos	4
2.8 Emisión de avisos meteorológicos.....	4
2.9 Los niveles de los avisos	5
2.10 Umbrales de peligro para el descenso de temperatura.....	5
2.11 Cálculos estadísticos asociado a los avisos meteorológicos.....	6
III. DESARROLLO DEL TRABAJO	7
3.1 Área de estudio	7
3.2 Monitoreo y frecuencia de las temperaturas mínimas diarias en la Dirección Zonal 07.....	7
3.3 Intensidad de los descensos de las temperaturas mínimas en la Dirección Zonal 07.....	8
3.4 Anomalías mensuales de las temperaturas mínimas en la Dirección Zonal 07	8

3.5	Análisis del modelo numérico para el pronóstico de descensos de temperaturas mínimas y heladas meteorológicas en la Dirección Zonal 07.	9
3.5.1	Líneas de corriente en 200 y 550 hPa	9
3.5.2	Temperatura de rocío y viento en 550 hPa.....	9
3.5.3	Humedad relativa promedio (600 -200 hPa)	9
3.6	Elaboración y difusión de los avisos meteorológicos en la Dirección Zonal 07.....	10
3.7	Verificación de los avisos meteorológicos de descenso de temperatura nocturna en la Dirección Zonal 07.....	11
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	12
4.1	Análisis del comportamiento de la temperatura mínima durante el periodo mayo – septiembre 2022.....	12
4.1.1	Frecuencia diaria de la temperatura mínima en los departamentos de Tacna y Moquegua.	12
4.1.2	Intensidad y récords mensuales de temperatura mínima registrados durante el periodo mayo – septiembre 2022.	15
4.1.3	Anomalías mensuales.....	17
4.2	Análisis del pronóstico del modelo numérico	19
4.3	Emisión, validación y verificación de avisos meteorológicos en la Dirección Zonal 07	36
V.	CONCLUSIONES	42
VI.	RECOMENDACIONES	43
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
VIII.	ANEXOS.....	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Niveles de peligro de eventos meteorológicos adversos	5
Tabla 2: Umbrales de peligro de temperatura mínima del aire en base a percentiles para la emisión de aviso meteorológico.	6
Tabla 3: Estaciones ubicadas sobre los 3300 m s. n. m. en los departamentos de Tacna y Moquegua.....	7
Tabla 4: Categorías frías de las temperaturas mínimas.....	8
Tabla 5: Rangos de anomalías de temperaturas.....	9
Tabla 6: Frecuencia de días fríos en el mes de mayo 2022.....	12
Tabla 7: Frecuencia de días fríos en el mes de junio 2022	13
Tabla 8: Frecuencia de días fríos en el mes de julio 2022	13
Tabla 9: Frecuencia de días fríos en el mes de agosto 2022	14
Tabla 10: Frecuencia de días fríos en el mes de septiembre 2022.....	14
Tabla 11: Temperaturas mínimas del periodo de bajas temperaturas 2022. Los cuadros resaltados corresponden al mes que registró el valor más bajo de la temporada.....	15
Tabla 12: Récor ds mensuales de temperatura mínima registrados en el periodo de bajas temperaturas mayo – septiembre 2022.....	16
Tabla 13: Avisos meteorológicos emitidos durante el periodo de bajas temperaturas mayo–septiembre 2022.....	38
Tabla 14: Pruebas estadísticas de los avisos meteorológicos de descenso de temperatura nocturna emitidos durante mayo – septiembre 2022	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Visualizador InterPGrAds utilizado en la Dirección Zonal 7.....	10
Figura 2. Aviso meteorológico de descenso de temperatura nocturna emitido por la Dirección Zonal 07	11
Figura 3. Anomalías mensuales de temperatura mínima de los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre 2022.....	18
Figura 4. Líneas de corriente en niveles altos (200 hPa) y niveles medios (550 hPa) – mayo 2022	20
Figura 5. Temperatura de rocío (°C) en niveles medios (550 hPa) – mayo 2022	21
Figura 6. Humedad relativa promedio en (600 y 200 hPa) – mayo 2022.....	21
Figura 7. Líneas de corriente en niveles altos (200 hPa) y niveles medios (550 hPa) – junio 2022.....	24
Figura 8. Temperatura de rocío (°C) en niveles medios (550 hPa) – junio 2022.....	25
Figura 9. Humedad relativa promedio en (600 y 200 hPa) – junio 2022.....	26
Figura 10. Líneas de corriente en niveles altos (200 hPa) y niveles medios (550 hPa) – julio 2022	27
Figura 11. Temperatura de rocío (°C) en niveles medios (550 hPa) – julio 2022.....	27
Figura 12. Humedad relativa promedio en (600 y 200 hPa) – julio 2022.....	28
Figura 13. Líneas de corriente en niveles altos (200 hPa) y niveles medios (550 hPa) – agosto 2022	30
Figura 14. Temperatura de rocío (°C) en niveles medios (550 hPa) – agosto 2022.....	31
Figura 15. Humedad relativa promedio en (600 y 200 hPa) – agosto 2022.....	31
Figura 16. Líneas de corriente en niveles altos (200 hPa) y niveles medios (550 hPa) – septiembre 2022.....	34
Figura 17. Temperatura de rocío (°C) en niveles medios (550 hPa) - septiembre 2022	35
Figura 18. Humedad relativa promedio en (600 y 200 hPa) – septiembre 2022.....	35
Figura 19. Perfil vertical de humedad relativa mayo – septiembre 2022	36

Figura 20. Aviso meteorológico de descenso de temperatura nocturna emitido por la Dirección Zonal 07	37
Figura 21. Elaboración del aviso meteorológico de descenso de temperatura nocturna emitido por la Dirección Zonal 07, mediante el software QGIS	37
Figura 22. Número de avisos de descensos de temperatura nocturna emitidos en la Dirección Zonal 7 durante el periodo mayo – septiembre 2022	39

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Tabla de normales actualizadas de la temperatura mínima de las estaciones consideradas para el análisis.....	47
Anexo 2. Percentil 10 de la temperatura mínima de las estaciones consideradas para el análisis	47
Anexo 3. Percentil 05 de la temperatura mínima de las estaciones consideradas para el análisis	47
Anexo 4. Percentil 01 de la temperatura mínima de las estaciones consideradas para el análisis	48

RESUMEN

El presente trabajo de Suficiencia Profesional (TSP) presenta explicar el comportamiento de las temperaturas mínimas durante el periodo de bajas temperaturas 2022 en los departamentos de Tacna y Moquegua, para ello se utilizó diferentes herramientas como anomalías mensuales, caracterizaciones de las temperaturas mínimas que se encuentren con valores inferiores al percentil 10, comparaciones con récords históricos, temperaturas extremas y semejanzas de patrones sinópticos antes y durante el evento mediante el modelo GFS mediante el Intergrados SENAMHI a través de diferentes variables como líneas de corriente en 200 hPa y 550 hPa, temperatura de rocío y humedad relativa. Asimismo, se detalló el procedimiento a través de la verificación mediante herramientas estadísticas, para conocer el nivel o grado de acierto de los avisos. Todo lo antes mencionado, aportará con un mejor análisis al momento de realizar el pronóstico de descenso de temperatura mínima en la zona andina de los departamentos de Tacna y Moquegua, considerando el análisis sinóptico, así como la emisión y validación de los avisos meteorológicos.

Palabras clave: Bajas temperaturas, Percentil 10, Análisis sinóptico, Récords históricos, Avisos meteorológicos.

ABSTRACT

The present work of Professional Sufficiency (TSP) presents to explain the behavior of the minimum temperatures during the period of low temperatures 2022 in the departments of Tacna and Moquegua, for this purpose different tools were used such as monthly anomalies, characterizations of the minimum temperatures that are found with values lower than the 10th percentile, comparisons with historical records, extreme temperatures and similarities of synoptic patterns before and during the event using the GFS model using the Intergrados SENAMHI through different variables such as streamlines at 200 hPa and 550 hPa, dew temperature and relative humidity. Likewise, the procedure was detailed through verification using statistical tools, to know the level or degree of accuracy of the warnings. All of the aforementioned will provide a better analysis when making the forecast of the minimum temperature drop in the Andean zone of the departments of Tacna and Moquegua, considering the synoptic analysis, as well as the issuance and validation of meteorological warnings.

Keywords: Low temperatures, 10th percentile, Synoptic analysis, Historical records, Weather warnings

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Problemática

Uno de los eventos meteorológicos con mayor afectación en la zona sur, para localidades ubicadas sobre los 3000 m s. n. m., son los descensos bruscos de temperaturas y la ocurrencia de heladas, siendo estas más intensas durante las estaciones de otoño, invierno y primavera principalmente durante la temporada de bajas temperaturas, abarcando los meses de mayo a septiembre. Dicho evento meteorológico puede configurar eventos extremos cuando su intensidad y frecuencia se acentúan generando afectación en la población y sus medios de vida, como la agricultura y ganadería. En los departamentos de Tacna y Moquegua, debido a su ubicación, configuración topográfica y climatología, los descensos de temperatura, principalmente las heladas meteorológicas, llegan a ser severas, alcanzando inclusive valores próximos a los -21°C , principalmente en zonas sobre los 4000 m s. n. m.

En la sierra sur, estos descensos de temperatura y heladas, se acentúan por diferentes patrones de circulación y diferentes procesos (mecanismos) físicos, como la pérdida de energía por irradiación en el periodo nocturno y por la advección de masas de aire fríos y secas, por la predominancia de vientos de componente oeste en niveles medios y altos de la atmósfera caracterizados por su sequedad. (SENAMHI, 2010)

Estos descensos de temperaturas que se producen durante el invierno tienden a ocasionar daños a la salud de las personas como las infecciones agudas respiratorias (IRAs). Además del daño a los cultivos y ganadería, por ello de la importancia de realizar un monitoreo constante de las temperaturas, y la emisión de los avisos meteorológicos con la anticipación necesaria, para que así los gobiernos regionales, alcaldías tomen las medidas de precaución y logística para dar atención a la población afectada. Asimismo, mencionar que actualmente se cuenta con el “Plan Multisectorial ante Heladas y Friaje 2022-2024”, el cual busca promover una aproximación multisectorial a los territorios más vulnerables a los efectos de estos fenómenos, y propone cerrar el 100% las brechas prioritarias de viviendas, escuelas, cobertizos y pastos cultivados, atendiendo con intervenciones

sostenibles y de entrega directa, a la población más vulnerable a los impactos de las Heladas y Friaje. (CNEP, 2022).

1.2 Objetivo

1.2.1 Objetivo general

- Analizar el comportamiento de las temperaturas mínimas del aire y eventos extremos en el área de la Dirección Zonal 07 de SENAMHI, así como emisión y la validación de los avisos meteorológicos durante la temporada de bajas temperaturas mayo - septiembre 2022.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analizar el comportamiento diario de la temperatura mínima considerando las categorías “noches frías” (p10), “noches muy frías” (p05) y “noches extremadamente frías” (p01) y sus valores absolutos en la Dirección Zonal 07.
- Explicar el análisis para el pronóstico del descenso de temperaturas nocturnas y heladas en la dirección Zonal 07 de SENAMHI.
- Describir los resultados estadísticos de la verificación de los avisos meteorológicos en la dirección Zonal 07 de SENAMHI.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Heladas meteorológicas

Las heladas en el Perú, por lo general se registran a mayores altitudes y en la estación de invierno. Desde el punto de vista meteorológico, se produce una helada cuando la temperatura ambiente desciende a 0°C o menos, observación que usualmente se hace con el termómetro de mínimas instalado en la caseta meteorológica. (SENAMHI, 2010)

2.2 Clasificación de las heladas meteorológicas

2.2.1 Heladas de advección.

Las heladas por advección se producen cuando el aire frío fluye en un área para reemplazar el aire más caliente que estaba presente antes del cambio meteorológico (Snyder y de Melo-Abreu, 2010).

2.2.2 Helada de radiación.

Se presentan en noches claras y despejadas, cuando la radiación terrestre es emitida a la atmósfera por la ausencia de nubes y por la baja concentración de vapor de agua. Se produce también en noches en calma, en ausencia de viento. (Elías y Castellvi, 2001; Pereyra et al, 2002).

La severidad de estas heladas varía considerablemente con las condiciones generales de la atmósfera y depende de las condiciones locales, tales como topografía, vegetación, entre otros. Este tipo de heladas suelen predominar en latitudes medias, a finales de primavera y a principios de otoño y son las que producen mayores pérdidas en los cultivos, si bien pueden producirse también en el verano, en zonas tropicales y subtropicales de mayor altitud. (Elías y Castellvi, 2001).

2.3 Masa de aire seco

Generalmente la masa de aire seco, es el aire con baja humedad relativa. Asimismo, en termodinámica y química de la atmósfera, se asume que la masa de aire seco es el aire que

no contiene vapor de agua. (AMS, 2012).

2.4 Vaguada

Zona alargada de presión atmosférica relativamente baja en la superficie o en altura. Como no suele estar asociada a una circulación cerrada, se distingue de una baja o depresión cerrada. El opuesto de dorsal. (SENAMHI, 2008).

2.5 Dorsal

También llamado cuña. Es un área elongada de presión atmosférica relativamente alta. Casi siempre se le asocia a un área con flujo de viento de máxima curvatura antihoraria (AMS, 2012).

2.6 Descenso de temperatura

Se considera descenso de temperatura en una región determinada cuando se prevé el descenso de la temperatura máxima o mínima bajo el percentil 10 en los días pronosticados. (SENAMHI, 2023).

2.7 Avisos meteorológicos

El SENAMHI define a los avisos meteorológicos como pronósticos de fenómenos meteorológicos e hidrológicos extremos, que contiene información sobre su evolución, indicando las zonas que podrían verse afectadas de acuerdo a los umbrales definidos en el protocolo para la emisión de avisos, alertas, y alarmas ante lluvias intensas y peligros. (SENAMHI, 2023)

2.8 Emisión de avisos meteorológicos

El aviso meteorológico deberá publicarse de manera oportuna con la mayor antelación posible, idealmente con 48 a 72 horas de anticipación y, como mínimo, 24 horas antes del inicio del evento adverso (caso excepcional). En los avisos se indicará la hora prevista de inicio y fin del evento, así como su duración en horas. La duración de un aviso será, como mínimo, de 6 horas. En el caso que cambien las condiciones atmosféricas, el aviso meteorológico podrá ser actualizado, extendido, finalizado o cancelado siempre que el área a modificar involucre como mínimo a tres Direcciones Zonales. Los mapas realizados en Sistemas de Información Geográfica (SIG) representarán las áreas de eventos adversos

según niveles de peligrosidad. Los avisos meteorológicos tendrán un máximo de 96 horas, considerando un máximo de cuatro mapas, uno por día de aviso. (SENAMHI, 2023).

2.9 Los niveles de los avisos

Con el fin de ofrecer la información más adecuada posible y en armonía con los criterios de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), se contemplan cuatro niveles básicos, a partir del posible alcance de determinados umbrales. Estos umbrales de peligro se han establecido con criterios climatológicos en función a percentiles y/o de acuerdo a la amenaza que puedan suponer para la población (SENAMHI, 2023). Es así que los niveles son los siguientes:

Tabla 1: Niveles de peligro de eventos meteorológicos adversos

Nivel de peligro	Descripción del nivel	Recomendaciones
Blanco	Sin fenómenos atmosféricos peligrosos.	No es necesario tomar precauciones especiales.
Moderado (Amarillo)	Se predicen fenómenos atmosféricos peligrosos para la región.	Manténgase al corriente del desarrollo de la situación meteorológica. Sea prudente si realiza actividades al aire libre que puedan acarrear riesgos en caso de mal tiempo.
Fuerte (Naranja)	Se predicen fenómenos atmosféricos peligrosos de consideración para la región.	Manténgase al corriente del desarrollo de la situación meteorológica y cumpla los consejos e instrucciones dados por las autoridades.
Extremo (Rojo)	Se predicen fenómenos atmosféricos de gran magnitud para la región.	Sea extremadamente precavido. Esté al corriente en todo momento del desarrollo de la situación meteorológica y cumpla los consejos e instrucciones dados por las autoridades.

FUENTE: SENAMHI, 2023.

2.10 Umbrales de peligro para el descenso de temperatura

Para la determinación de los umbrales de los avisos de descenso de temperatura, se consideran valores de temperatura máxima o mínima por debajo del percentil 10, como se detalla en el siguiente cuadro:

Tabla 2: Umbrales de peligro de temperatura mínima del aire en base a percentiles para la emisión de aviso meteorológico.

Tipo	Temperatura mínima (°C)		
Nivel	Amarillo	Naranja	Rojo
Rango	$p_{10} > TN \geq p_{05}$	$p_{05} > TN \geq p_{01}$	$p_{01} > TN$
Caracterización	Frío	Muy Frío	Extremadamente Frío

FUENTE: SENAMHI, 2023.

2.11 Cálculos estadísticos asociado a los avisos meteorológicos

El coeficiente PD (Panofsky y Brier, 1965), es la probabilidad de detección. Se calcula realizando el cociente entre los avisos que han sido correctamente previstos (X) y el número total de avisos observados (tanto los que habían sido previstos X, como los que no lo habían sido, Y):

$$PD = (X/(X+Y))$$

La PFA es la probabilidad de falsas alarmas, utilizando el acrónimo empelado en AEMET y la denominación sugerida por Barnes et al. (2009). Se calcula realizando el cociente entre el número de avisos previstos y no verificados (Z) y el número total de avisos emitidos (tanto los mal previstos, Z, como los bien previstos, X):

$$PFA = (Z/(X+Z))$$

El CSI (Donaldson et al., 1975), es el índice crítico de aciertos (acrónimo del inglés Critical Succes Index). Se calcula realizando el cociente entre el número de avisos previstos y verificados entre la suma del número total de avisos emitidos y el número de avisos observados que no habían sido previstos. El CSI se puede calcular a partir de los anteriores con la siguiente fórmula, fácilmente deducible:

$$CSI = (X/(X+Y+Z))$$

III. DESARROLLO DEL TRABAJO

El trabajo de suficiencia profesional explicará la metodología a seguir en la realización del análisis del comportamiento de los descensos de temperatura mínima y las heladas meteorológicas durante el periodo de bajas temperaturas mayo – septiembre 2022 y el análisis de los modelos numéricos. Asimismo, la elaboración de los avisos regionalizados (avisos de descenso de temperatura nocturna) correspondiente a la Dirección Zonal 7 (Tacna y Moquegua), además de las vías de comunicación a los usuarios, autoridades y entidades competentes. Finalmente se realizará la validación de los avisos emitidos, en función a las herramientas estadísticas de validación.

3.1 Área de estudio

La Dirección Zonal 07, dentro de la jurisdicción cuenta con una red de estaciones meteorológicas, para el presente trabajo de suficiencia profesional se elegirá a las estaciones ubicadas principalmente en localidades por encima de los 3300 m s. n. m.

Tabla 3: Estaciones ubicadas sobre los 3300 m s. n. m. en los departamentos de Tacna y Moquegua

DEPARTAMENTO	ESTACIÓN	PROVINCIA	DISTRITO	ALTITUD (m s. n. m.)	LATITUD	LONGITUD
Tacna	Cairani	Candarave	Cairani	3386	-17.281	-70.363
	Susapaya	Tarata	Susapaya	3468	-17.348	-70.135
	Chuapalca	Tarata	Tarata	4250	-17.309	-69.62
	Vilacota	Tarata	Susapaya	4390	-17.079	-70.043
	Paucarani	Tarata	Palca	4625	-15.533	-69.78
Moquegua	Ubinas	General Sánchez Cerro	Ubinas	3381	-16.372	-70.854
	Ichuña	General Sánchez Cerro	Ichuña	3874	-16.133	-70.552
	Pampa Umalzo	Mariscal Nieto	Carumas	4245	-16.844	-70.5

3.2 Monitoreo y frecuencia de las temperaturas mínimas diarias en la Dirección Zonal 07

Para la evaluación de los eventos extremos de las temperaturas mínimas diarias en la zona andina de los departamentos de Tacna y Moquegua se usarán los percentiles de temperatura mínima. Estos percentiles serán proporcionados por el área de Subdirección de Predicción Climática (SPC - SENAMHI). Se trabajará con los percentiles 01, 05 y 10 (P01,

P05 y P10). En la Tabla 4, se muestran las diferentes categorías combinando los umbrales con las temperaturas mínimas.

Respecto a la frecuencia de valores extremos en temperatura mínima, se realizará una tabla que evaluará el comportamiento temporal, para ello se usará el software Rstudio versión 4.2.1, mediante el uso de las librerías htmlTable, DT, knitr y dplyr, además de tablas Excel.

Tabla 4: Categorías frías de las temperaturas mínimas

CATEGORÍA	NIVEL	UMBRAL	TEMEPRATURA MÍNIMA
Frío	Amarillo	$p10 > T \geq p05$	Noche fría
	Naranja	$p05 > T \geq p01$	Noche muy fría
	Rojo	$p01 > T$	Noche extremadamente fría

FUENTE: Protocolo de elaboración de avisos del SENAMHI, 2023.

3.3 Intensidad de los descensos de las temperaturas mínimas en la Dirección Zonal 07

Para evaluar la intensidad, se considerará a la temperatura mínima absoluta. La temperatura mínima absoluta nos indicará el valor más extremo registrada por estación para cada mes. Para ello se filtrará el valor más bajo mensual registrado en las estaciones ubicadas sobre los 3300 m s. n. m., mediante el software Rstudio versión 4.2.1, esto nos ayudará a determinar si las estaciones lograron superar récords históricos.

3.4 Anomalías mensuales de las temperaturas mínimas en la Dirección Zonal 07

Para el análisis de las anomalías, se recomienda realizarla a escala mensual. Las anomalías mensuales de temperaturas mínimas del aire son calculadas a partir de la diferencia entre el promedio de la temperatura mínima promedio mensual y las normales climáticas correspondientes (periodo 1991-2020). Se determinará las anomalías mensuales de las 8 estaciones meteorológicas seleccionadas que se ubican dentro de la jurisdicción de la Dirección Zonal 07 que abarca a los departamentos de Tacna y Moquegua. En base al valor obtenido, se clasificará según los siete rangos de anomalías de temperaturas. Se utilizará el software Rstudio versión 4.2.1, mediante algunas librerías como ggplot2, sf, readxl para la elaboración de los mapas mensuales de las anomalías de temperatura mínima.

Tabla 5: Rangos de anomalías de temperaturas

Rango	Condiciones
> (3)	Cálidas
(2) - (3)	
(1) - (2)	
(-1) - (1)	Normales
(-2) - (-1)	Frías
(-3) - (-2)	
< (-3)	

3.5 Análisis del modelo numérico para el pronóstico de descensos de temperaturas mínimas y heladas meteorológicas en la Dirección Zonal 07.

El análisis sinóptico, se realizará tanto en niveles altos y medios de la tropósfera, para ello se descargarán los datos de modelo GFS, mediante la interfaz del IPGrADS -SENAMHI para el periodo mayo – septiembre 2022. Las variables que se considerarán serán las siguientes:

3.5.1 Líneas de corriente en 200 y 550 hPa

Se analizarán los diferentes patrones sinópticos como vaguadas, dorsales y la dirección de los flujos, ya que dependiendo de la dirección y velocidad favorecerían con la advección de humedad y la presencia de la disminución de las temperaturas mínimas en zonas altoandinas.

3.5.2 Temperatura de rocío y viento en 550 hPa

La temperatura de rocío, en niveles medios es un buen indicador de la estimación del valor del aviso a emitir, ya que estima hasta donde puede descender la temperatura del aire.

3.5.3 Humedad relativa promedio (600 -200 hPa)

La interfaz del IPGrADS, a través del modelo GFS, presenta una gráfica que permite identificar la incursión de masas de aire frío y seco, mediante la humedad relativa promedio entre los niveles de 600 hPa y 200 hPa; lo cual muestra una aproximación de la cantidad de vapor de agua y del comportamiento de la humedad.

Asimismo, se analizarán cortes temporales mediante la interfaz del IPGrADS -SENAMHI, con los datos del modelo GFS.



Figura 1. Visualizador InterPGrAds utilizado en la Dirección Zonal 7
FUENTE: InterPGrAds - SENAMHI, 2022.

3.6 Elaboración y difusión de los avisos meteorológicos en la Dirección Zonal 07

Los avisos meteorológicos son pronósticos de carácter preventivo ante eventos severos, indicando las áreas que podrían verse afectadas y el nivel de peligrosidad, con la finalidad de evaluar el comportamiento meteorológico presente y futuro a nivel nacional. Estos pronósticos consideran una temporalidad de 1 a 4 días.

Según la identificación de potenciales eventos meteorológicos adversos se procede a la elaboración de los avisos. Estos serán emitidos con 2 a 3 días de anticipación. Para contabilizar el número de avisos de descenso de temperaturas nocturnas emitidos desde mayo a septiembre 2022, se realizó una lista de los avisos meteorológicos emitidos de descensos de temperatura nocturna que incluya la zona andina de los departamentos de Tacna y Moquegua, donde se contabilizó el número del aviso nacional, el nivel de peligro, además de la vigencia (fecha de inicio - fin). Asimismo, se analizó el procedimiento de regionalización de los avisos meteorológicos, así como las vías de difusión (correos electrónicos, redes sociales, WhatsApp) a los usuarios de la Dirección Zonal 7 – SENAMHI Tacna y Moquegua.



Figura 2. Aviso meteorológico de descenso de temperatura nocturna emitido por la Dirección Zonal 07
FUENTE: SENAMHI Dirección Zonal 7 Tacna - Moquegua, 2022.

3.7 Verificación de los avisos meteorológicos de descenso de temperatura nocturna en la Dirección Zonal 07.

La verificación de avisos se encuentra asociado a la ocurrencia o no ocurrencia del evento, para ello se recopilaron los registros de temperatura mínima diaria de las estaciones meteorológicas seleccionadas en la Tabla N°03, en las fechas que inciden sobre el periodo de vigencia de cada aviso meteorológico de descenso de temperaturas nocturnas que incluya a la zona andina de los departamentos de Tacna y Moquegua. El periodo analizado fue desde el mes de mayo a septiembre 2022.

Se generarán tablas de verificación (tablas de contingencia) para los avisos meteorológicos. Las tablas de contingencia, representan una matriz 2 x 2 donde se determinará el número de casos que ocurre en un suceso de los datos registrados y de los avisos meteorológicos. Por lo tanto, tendríamos cuatro casos posibles: suceso sí previsto y sí observado, suceso sí previsto y no observado, suceso no previsto y sí observado y suceso no previsto y no observado. Posteriormente se calcularán los valores estadísticos (PD, PFA y CSI), para poder describir la verificación de los avisos meteorológicos.






IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis del comportamiento de la temperatura mínima durante el periodo mayo – septiembre 2022

4.1.1 Frecuencia diaria de la temperatura mínima en los departamentos de Tacna y Moquegua.

Tabla 6: Frecuencia de días fríos en el mes de mayo 2022

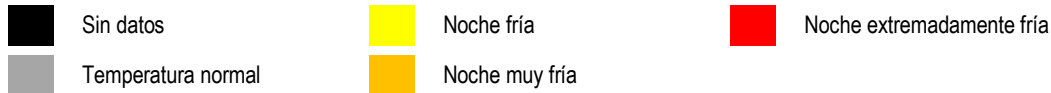
DEPARTAMENTO	ESTACIONES	MAYO																																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
TACNA	CO-Cairani																																		
	CO-Susapaya																																		
	CO-Chuapalca																																		
	CO-Vilacota																																		
	CO-Paucarani																																		
MOQUEGUA	CO-Ubinas																																		
	CO-Ichuña																																		
	CO-Pampa Umalzo																																		

	Sin datos		Noche fría		Noche extremadamente fría
	Temperatura normal		Noche muy fría		

Durante el mes de mayo, entre el 23 - 24 de mayo, se presentó un mayor número de estaciones que registraron temperaturas mínimas inferiores a los percentiles 10, 05 y 01; siendo las estaciones de Paucarani (Tacna), Ubinas (Moquegua) e Ichuña (Moquegua) quienes lograron presentar temperaturas mínimas inferiores al percentil 01 (noche extremadamente fría). Cabe mencionar que las estaciones que presentaron un mayor número de días con caracterizaciones durante el mes de mayo fueron las estaciones de Cairani (Tacna), Ubinas (Moquegua) y Pampa Umalzo (Moquegua) con 8 días.

Tabla 7: Frecuencia de días fríos en el mes de junio 2022

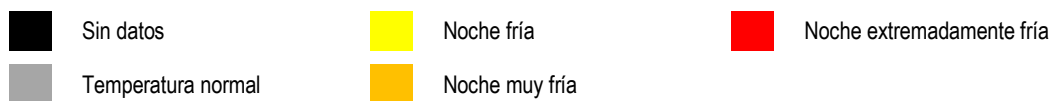
DEPARTAMENTO	ESTACIONES	JUNIO																													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
TACNA	CO-Cairani																														
	CO-Susapaya																														
	CO-Chuapalca																														
	CO-Vilacota																														
	CO-Paucarani																														
MOQUEGUA	CO-Ubinas																														
	CO-Ichuña																														
	CO-Pampa Umalzo																														



En lo que respecta al mes de junio, este fue el mes con mayor número de días con caracterizaciones de temperaturas mínimas inferiores al percentil 01 (noche extremadamente fría), principalmente en las estaciones Vilacota (Tacna), Paucarani (Tacna), Ubinas (Moquegua), Ichuña (Moquegua) y Pampa Umalzo (Moquegua). Por otro lado, el periodo con los descensos de temperatura mínima más significativos se presentó entre el 7 al 18 de junio, acentuándose más en las zonas de mayor altitud del departamento de Moquegua.

Tabla 8: Frecuencia de días fríos en el mes de julio 2022

DEPARTAMENTO	ESTACIONES	JULIO																														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
TACNA	CO-Cairani																															
	CO-Susapaya																															
	CO-Chuapalca																															
	CO-Vilacota																															
	CO-Paucarani																															
MOQUEGUA	CO-Ubinas																															
	CO-Ichuña																															
	CO-Pampa Umalzo																															

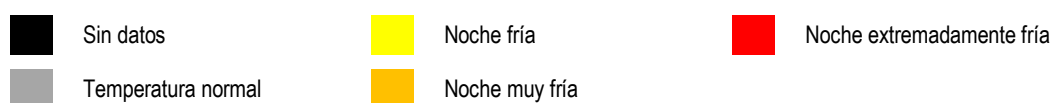


A diferencia del mes de junio, julio se caracterizó por presentar una menor frecuencia de días con estaciones que registraron temperaturas mínimas inferiores a los percentiles 10, 05 y 01. De manera localizada el 16 de julio, se presentó un mayor número de estaciones que se caracterizaron como noche fría en la estación de Ubinas (Moquegua), noche muy fría en la estación de Ichuña (Moquegua) y noche extremadamente fría en la estación de Vilacota (Tacna). Por otro lado, la estación de Cairani (Tacna) los días 13 y 14 de julio, se caracterizaron como noches extremadamente frías. La estación que presentó un mayor

número de días que registraron temperaturas mínimas inferiores a los percentiles 10 y 05 fue la estación de Pampa Umalzo (Moquegua) con 7 días.

Tabla 9: Frecuencia de días fríos en el mes de agosto 2022

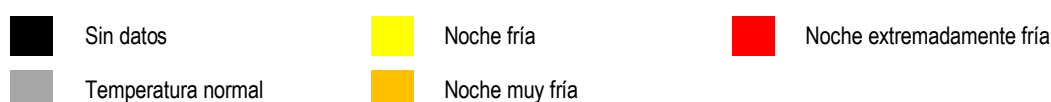
DEPARTAMENTO	ESTACIONES	AGOSTO																															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
TACNA	CO-Cairani																																
	CO-Susapaya																																
	CO-Chuapalca																																
	CO-Vilacota																																
	CO-Paucarani																																
MOQUEGUA	CO-Ubinas																																
	CO-Ichuña																																
	CO-Pampa Umalzo																																



En agosto, nuevamente se presentó una mayor frecuencia de días con caracterizaciones, principalmente durante el periodo de 18 - 24 de agosto, tanto en zonas por encima de los 3300 m s. n. m. y los 4000 m s. n. m. de los departamentos de Tacna y Moquegua. Los descensos más significativos y la mayor frecuencia de días con caracterizaciones se presentaron en las estaciones de Vilacota (Tacna) con 10 días y Pampa Umalzo (Moquegua) con 12 días. Solo tres estaciones durante el mes de agosto, lograron caracterizarse como noches extremadamente frías, Vilacota (Tacna), Paucarani (Tacna) y Pampa Umalzo (Moquegua).

Tabla 10: Frecuencia de días fríos en el mes de septiembre 2022

DEPARTAMENTO	ESTACIONES	SEPTIEMBRE																															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
TACNA	CO-Cairani																																
	CO-Susapaya																																
	CO-Chuapalca																																
	CO-Vilacota																																
	CO-Paucarani																																
MOQUEGUA	CO-Ubinas																																
	CO-Ichuña																																
	CO-Pampa Umalzo																																



Durante el mes de septiembre, se presentaron 3 periodos donde más de una estación lograron registrar temperaturas mínimas inferiores al percentil 01. El primer periodo fue del 6 – 7 de septiembre, donde las estaciones de Vilacota (Tacna) y Pampa Umalzo (Moquegua), que se ubican sobre los 4000 m s. n. m. se caracterización como noches

extremadamente frías. El siguiente periodo fue del 20 y 22 de septiembre, si bien los valores más intensos se lograron presentar en la estación de Vilacota (Tacna), también se presentó en la estación de Pampa Umalzo (Moquegua). Finalmente, el tercer periodo, se presentó el 26 - 27 de septiembre, donde nuevamente la estación de Vilacota (Tacna) logró ambos días caracterizarse como noches extremadamente frías. Cabe mencionar que, durante este mes se presentó una mayor frecuencia de días con valores de temperaturas mínimas inferiores al percentil 10, las estaciones de Vilacota (Tacna) con 16 días y Pampa Umalzo (Moquegua) con 17 días.

4.1.2 Intensidad y récords mensuales de temperatura mínima registrados durante el periodo mayo – septiembre 2022.

Tabla 11: Temperaturas mínimas del periodo de bajas temperaturas 2022. Los cuadros resaltados corresponden al mes que registró el valor más bajo de la temporada

Departamento	Estación	Altitud (m s. n. m.)	Temperaturas mínimas (°C)				
			Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Tacna	Cairani	3386	0	-0.8	-1	0	1
	Susapaya	3468	0.5	-1.5	0.7	0	0.7
	Chuapalca	4250	-20.5	*	-17.5	-22.5	-19.5
	Vilacota	4390	-16.4	-21	-21.8	-24.4	-21.4
	Paucarani	4625	-12.4	-12.5	-10.8	-13.4	-9.9
Moquegua	Ubinas	3381	-3	-3.8	-2.2	-2.2	0.2
	Ichuña	3874	-6.3	-8.1	-6	-6.1	-4.4
	Pampa Umalzo	4245	-13.8	-21.6	-16.4	-18.4	-18.2

* : Sin dato

En la Tabla 11 se muestra las temperaturas mínimas más bajas registradas en el periodo de mayo – septiembre 2022 en los departamentos de Tacna y Moquegua. Como se observa, las temperaturas más bajas se registraron en los meses de junio a agosto, con un mayor número de estaciones en el mes de junio, sin embargo, fue el mes de agosto donde se registraron los valores más extremos. Durante este periodo, las heladas meteorológicas que se presentaron en localidades superiores a los 3300 m s. n. m. se intensificaron incluso por varios días con temperaturas extremas de hasta -8.1°C , lo que generó impactos en diferentes sectores, principalmente en la agricultura, ganadería y salud.

Las heladas más intensas se reportaron en las estaciones de Pampa Umalzo (Moquegua) con -21.6°C en junio y Vilacota (Tacna) con -24.4°C en agosto, siendo este último valor registrado, el valor más bajo de la temporada mayo – septiembre 2022; a diferencia de los

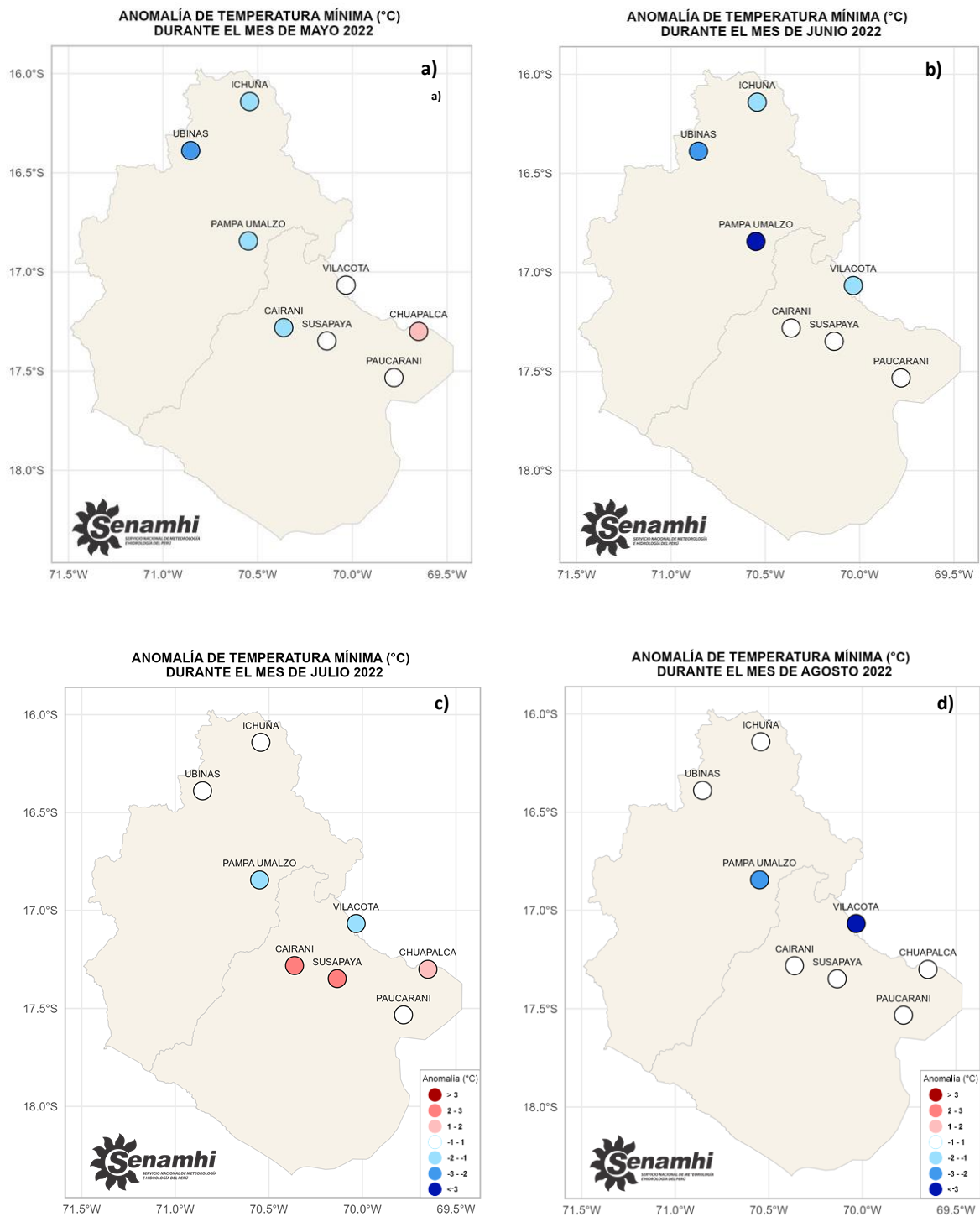
meses de mayo y septiembre, donde los descensos de temperatura mínima no fueron tan significativos. Es importante mencionar que la disminución de las temperaturas mínimas más intensas se registró principalmente en las estaciones ubicadas sobre los 4000 m s. n. m., esto propio de la climatología del lugar.

A continuación, en la Tabla 12, se presentan los récords mensuales de temperatura mínima registrados en el periodo de bajas temperaturas de mayo - septiembre del 2022, temporada donde se registraron varios récords históricos de temperatura mínima, principalmente en el mes de junio. Cabe mencionar que, en esa temporada se registraron adicionalmente dos récords importantes de temperatura mínima, en la estación meteorológica Vilacota (Tacna) con -21.4°C el 30 de septiembre y en la estación de Ichuña (Moquegua) con -8.1°C el 13 de junio, estos valores fueron los más bajos de todas sus series históricas en los últimos 13 años.

Tabla 12: Récords mensuales de temperatura mínima registrados en el periodo de bajas temperaturas mayo – septiembre 2022

DEPARTAMENTO	ESTACIÓN	ALTITUD (m s. n. m.)	Valor($^{\circ}\text{C}$)	Fecha	Valor de récord anterior ($^{\circ}\text{C}$)	Fecha
Tacna	Cairani	3386	-0.8	18/06/2022	0	21/06/2017
	Cairani	3386	-1	14/07/2022	0	1/07/2013
	Vilacota	4390	-21.4	27/09/2022	-19	7/09/2009
	Paucarani	4624	-12.4	24/05/2022	-11.6	29/05/2013
	Paucarani	4624	-12.5	10/06/2022	-12.3	11/06/2014
	Paucarani	4624	-13.4	4/08/2022	-13	3/08/2019
Moquegua	Ichuña	3874	-6.3	23/05/2022	-5.6	29/05/2004
	Ichuña	3874	-8.1	13/06/2022	-6.6	19/06/2009
	Pampa Umalzo	4245	-21.6	15/06/2022	-17.6	23/06/2016
	Pampa Umalzo	4245	-18.2	7/09/2022	-18	1/09/2016

4.1.3 Anomalías mensuales



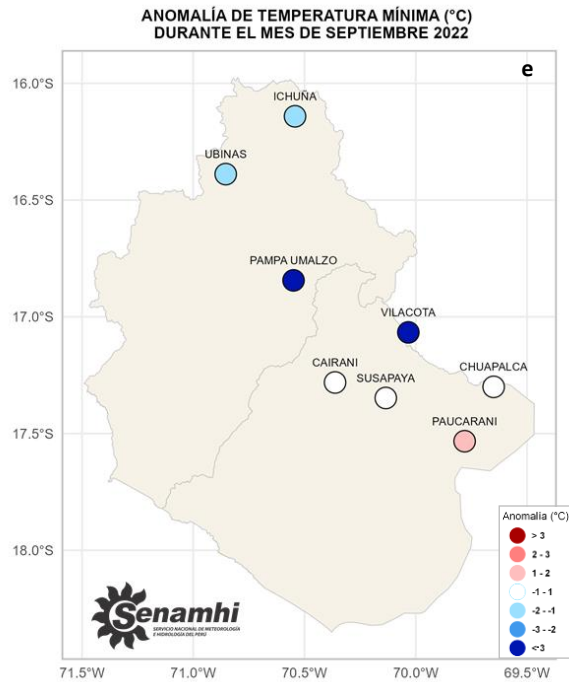


Figura 3. Anomalías mensuales de temperatura mínima de los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre 2022

Durante el mes de mayo (a) predominaron anomalías negativas en el departamento de Moquegua a diferencia del departamento de Tacna, donde las anomalías fueron variables, solo las estaciones de Chuapalca (+1.2°C), Paucarani (+0.4°C) y Susapaya (+0.8°C) presentaron anomalías positivas. Un panorama similar se observó durante el mes de junio (b), sin embargo, los valores de las anomalías fueron más intensas, esto debido a que continuaron predominando las anomalías negativas en el departamento de Moquegua, en tanto en el departamento de Tacna las anomalías positivas solo se presentaron en las estaciones de Paucarani (+0.2°C) y Susapaya (+0.1°C). El valor más bajo de anomalía registrada durante ese mes fue en la estación de Pampa Umalzo (-3.7°C).

En el mes de julio (c) , las anomalías que predominaron en las estaciones ubicadas entre los 3300 a 3800 m s. n. m. fueron las anomalías positivas, esto también se vio reflejado en la caracterización diaria, ya que durante este mes las anomalías se recuperaron, es decir no se presentaron descensos tan significativos. Solo las estaciones de Pampa Umalzo (-1.8°C) y Vilacota (-1.3°C) registraron anomalías negativas. Así mismo, se observó un predominio de anomalías de positivas.

En agosto (d), predominaron las anomalías negativas en un rango de -3.9°C a -0.4°C, tanto en el departamento de Tacna y Moquegua, las estaciones que presentaron anomalías

positivas se presentaron principalmente en el departamento de Tacna, la estación de Cairani (+0.7°C), Paucarani (+0.1°C), Susapaya (+0.6°C). El valor más bajo de anomalía registrada durante ese mes fue en el departamento de Moquegua, en la estación de Pampa Umalzo (-3.9°C).

En el mes de septiembre (e), las anomalías negativas de mayor intensidad se localizaron principalmente en las zonas de mayor altitud tanto en el departamento de Moquegua y Tacna, siendo la anomalía más baja registrada en la estación de Vilacota (-5.9°C), en tanto en el resto de estaciones ubicadas en el departamento de Tacna se presentaron anomalías positivas Cairani (+0.1°C), Paucarani (+1.4°C) y Susapaya (+0.1°C).

4.2 Análisis del pronóstico del modelo numérico

Para el análisis sinóptico de los eventos de descenso de temperatura mínima más intensos, se consideraron los días previos y días donde predominaron los valores de temperaturas mínimas inferiores a los percentiles 10, 05 y 01.

El día 22 de mayo, en niveles altos (200 hPa), un día previo a los eventos de descenso de temperatura mínima importantes se observó un predominio de flujos del oeste en asociación a la corriente en Chorro que se ubica a una latitud 17°S y longitud 71°W, para que posteriormente a partir del día 22 y 23 de mayo se formara una vaguada en el océano Pacífico, la cual permitió el ingreso de flujos del oeste. En niveles medios (550 hPa), el 22 de mayo se observó un sistema dorsal - vaguada, el cual favoreció con ingresos de flujos del suroeste en dirección al extremo sur; posteriormente la dorsal se posicionó sobre el océano Pacífico, el día 23 de mayo, favoreciendo el ingreso de flujos del oeste hacia los departamentos de Tacna y Moquegua, esa circulación antihoraria mostró una posición más zonal, este panorama se mantuvo hasta el día 24 de mayo.

Con respecto a la humedad relativa promedio (600 – 200 hPa), los días 23 y 24 de mayo presentaron valores inferiores al 8%, debido a la intrusión de las masas de aire seco y frío, favoreciendo con un bajo grado de saturación, así como de la subsidencia, lo cual también favoreció con los descensos de temperatura mínima. Finalmente, en el caso de los valores de temperatura de rocío, estos oscilaron entre los -33°C a -45°C.

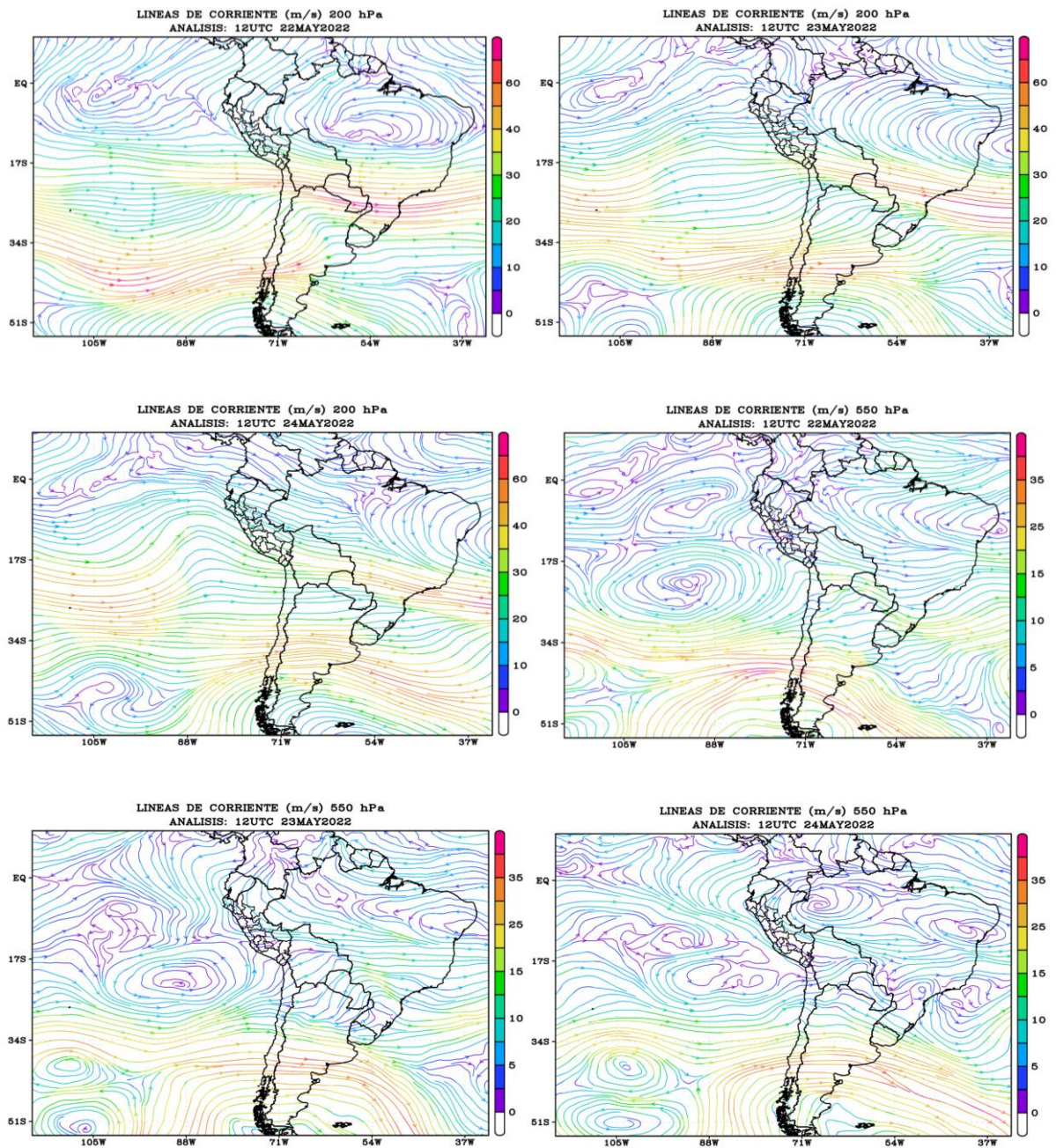


Figura 4. Líneas de corriente en niveles altos (200 hPa) y niveles medios (550 hPa) – mayo 2022
FUENTE: InterPGrAds - SENAMHI, 2022.

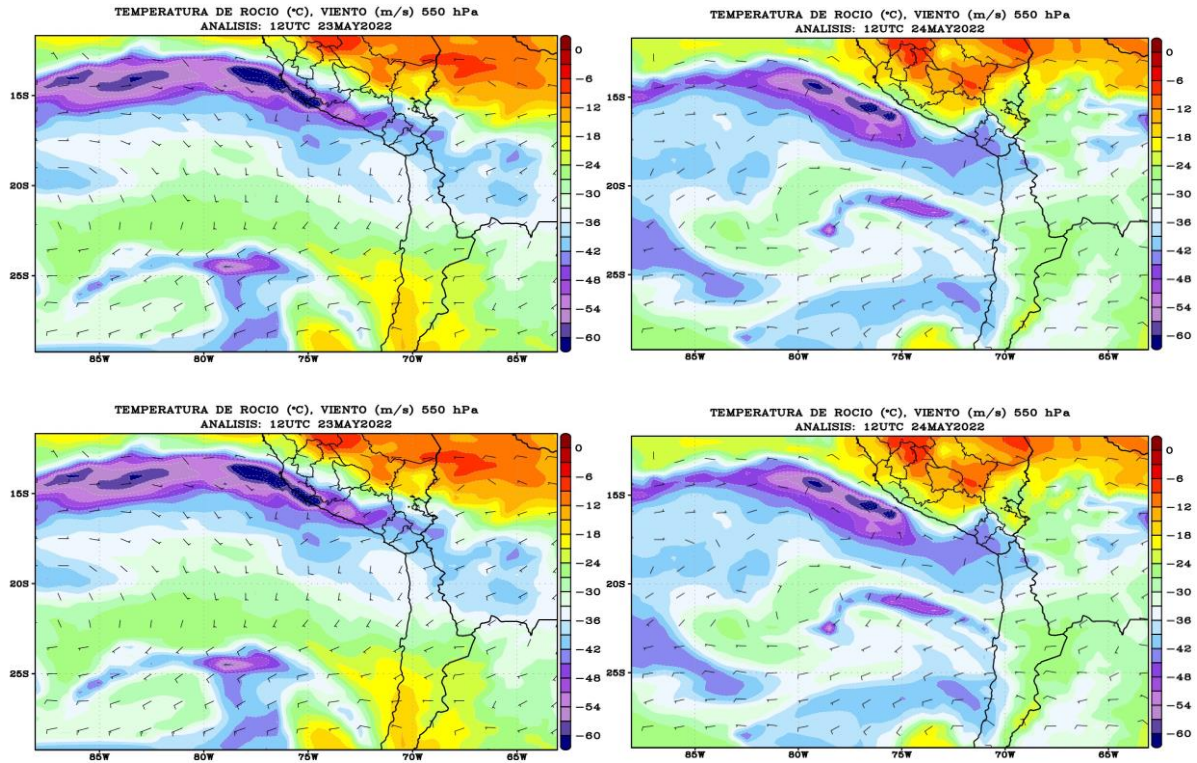


Figura 5. Temperatura de rocío (°C) en niveles medios (550 hPa) – mayo 2022
FUENTE: InterPGrAds - SENAMHI, 2022.

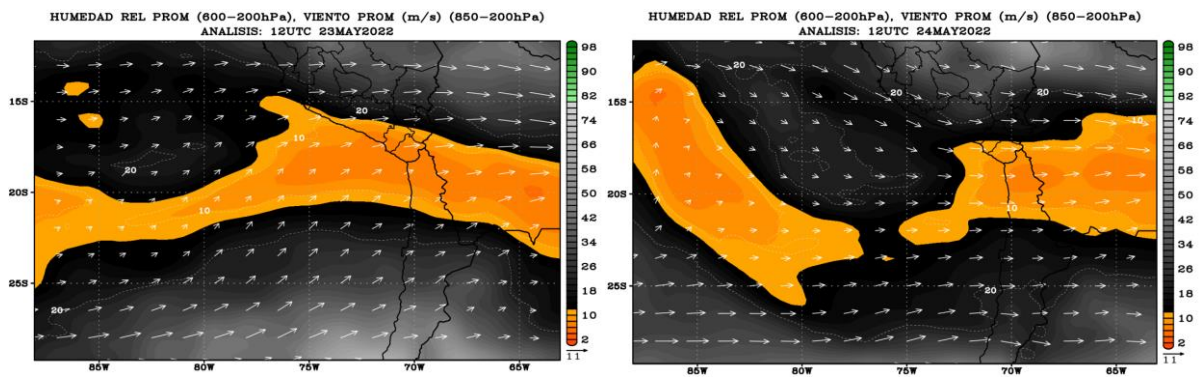


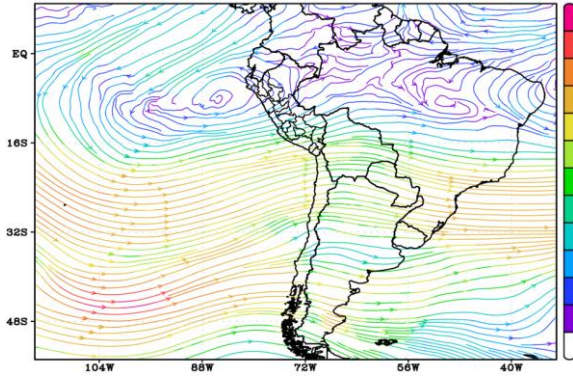
Figura 6. Humedad relativa promedio en (600 y 200 hPa) – mayo 2022
FUENTE: InterPGrAds - SENAMHI, 2022.

Un día antes del evento, el 8 de junio en niveles altos (200 hPa) se observó una circulación antihoraria en el océano Pacífico y el ingreso de flujos del oeste hacia el extremo sur, en tanto entre el 9 – 11 de junio, se observó que la circulación antihoraria presentó una mayor amplitud en el océano Pacífico en interacción con una vaguada asociada a la Corriente de Chorro, que favoreció el ingreso de flujos del suroeste hacia el extremo sur del territorio nacional. Posteriormente entre el 12 – 18 de junio, la circulación antihoraria se desconfiguró, condicionando solo el ingreso de los flujos del oeste. En niveles medios (550 hPa), se observó el predominio de una dorsal y vaguada que favoreció los ingresos del suroeste entre el 8 – 11 de junio. La diferencia con el día 8 de junio, previo al evento de descenso de temperatura mínima, es la amplitud de la circulación antihoraria, ya que ese día se observó su reflejo en niveles medios, para que posteriormente predominaron los flujos en dirección del suroeste.

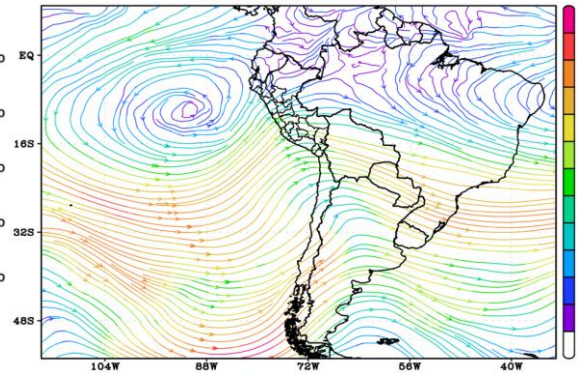
En cuanto a la humedad relativa promedio (600 – 200 hPa), se observó que los días donde se presentó los eventos más significativos, los valores fueron inferiores al 8%, esto en relación al ingreso de las masas de aire seco que ingresaron a los departamentos de Tacna y Moquegua, favoreciendo con escasa cobertura nubosa (cielo despejado) y condiciones estables.

En lo que respecta a la temperatura de rocío, los días que presentaron eventos significativos de descensos de temperatura mínima, en las zonas superiores a los 3300 m s. n. los valores oscilaron entre los -26°C a -32°C , en tanto en zonas sobre los 4000 m s. n. oscilaron entre los -33°C a -41°C , adicionalmente se debe tener en cuenta que estos valores fluctúan de acuerdo a la topografía y la altitud.

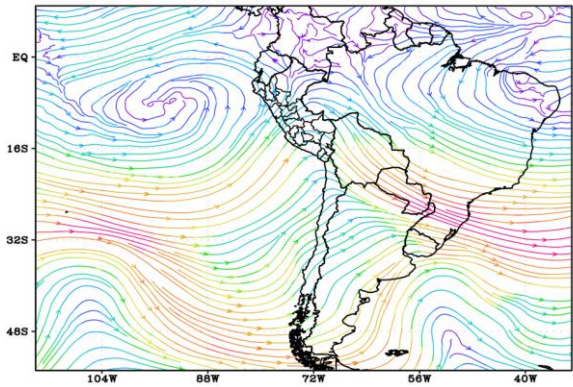
LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 200 hPa
ANALISIS: 12UTC 08JUN2022



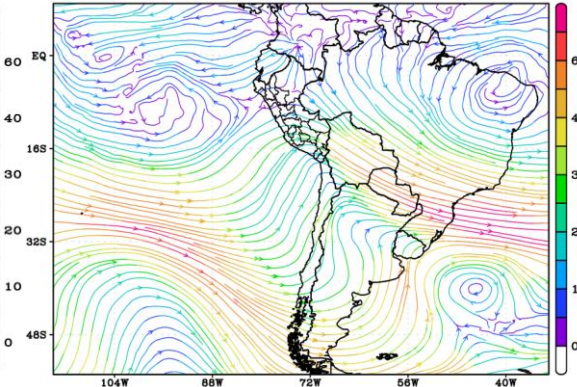
LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 200 hPa
ANALISIS: 12UTC 09JUN2022



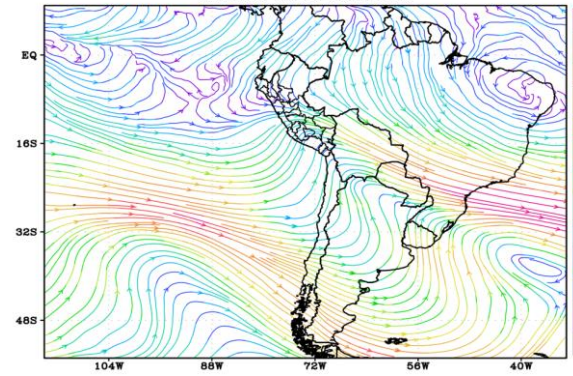
LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 200 hPa
ANALISIS: 12UTC 10JUN2022



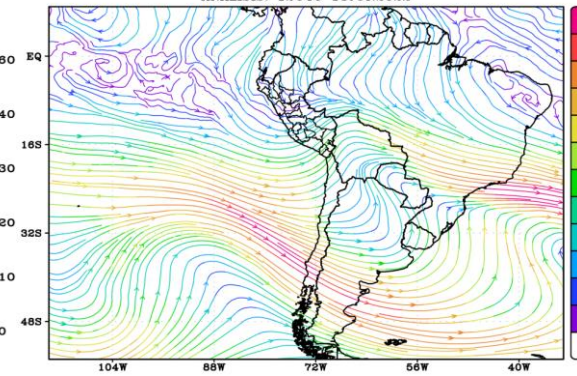
LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 200 hPa
ANALISIS: 12UTC 11JUN2022



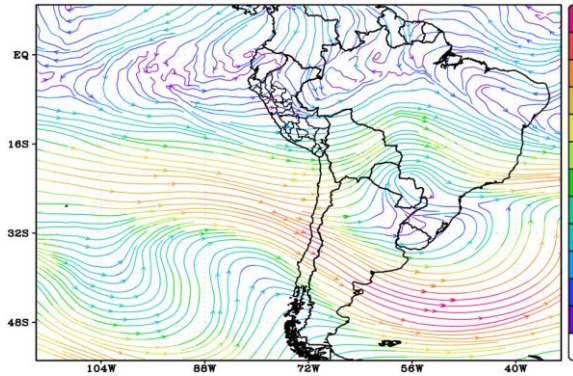
LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 200 hPa
ANALISIS: 12UTC 12JUN2022



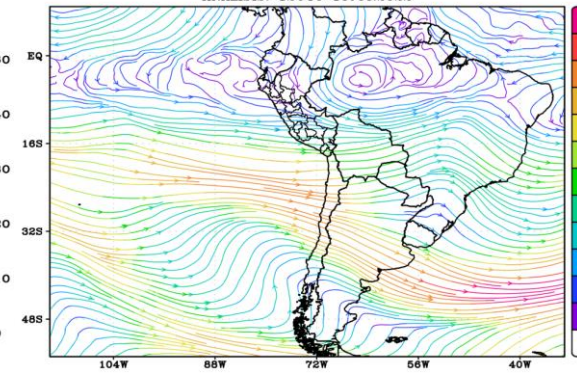
LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 200 hPa
ANALISIS: 12UTC 13JUN2022



LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 200 hPa
ANALISIS: 12UTC 14JUN2022



LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 200 hPa
ANALISIS: 12UTC 15JUN2022



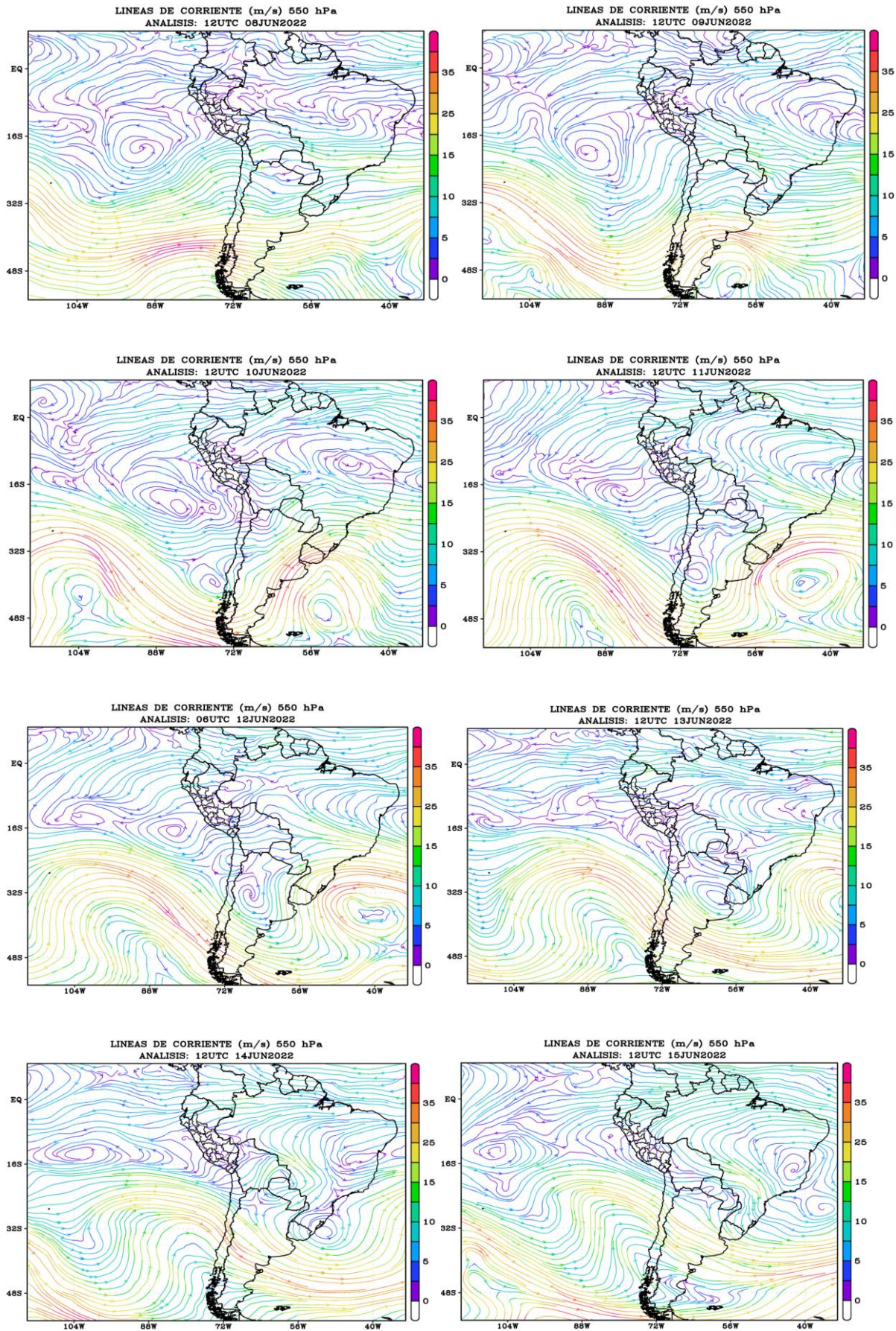


Figura 7. Líneas de corriente en niveles altos (200 hPa) y niveles medios (550 hPa) – junio 2022
FUENTE: InterPGrAds - SENAMHI, 2022.

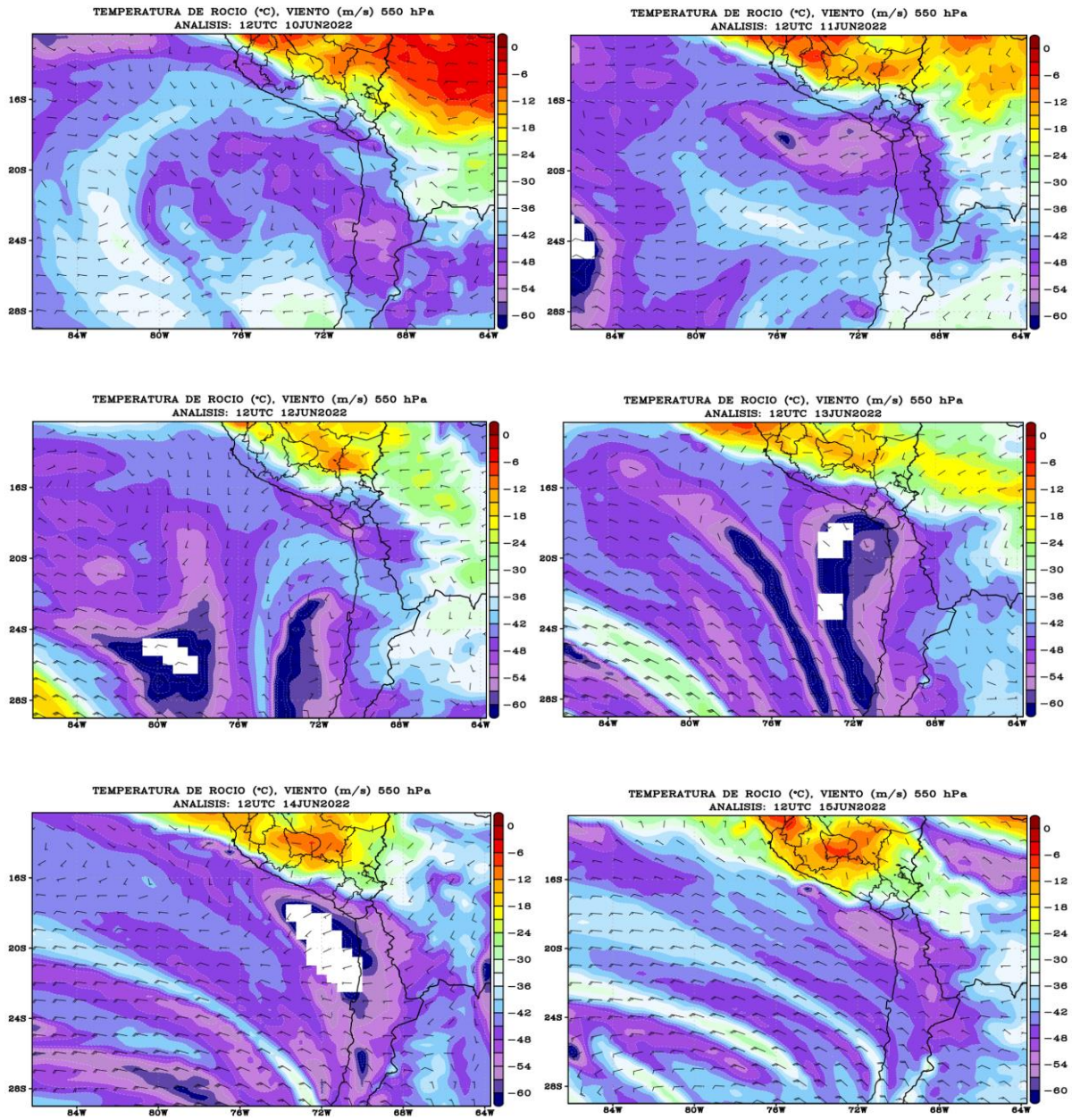


Figura 8. Temperatura de rocío (°C) en niveles medios (550 hPa) – junio 2022
FUENTE: InterPGrAds - SENAMHI, 2022.

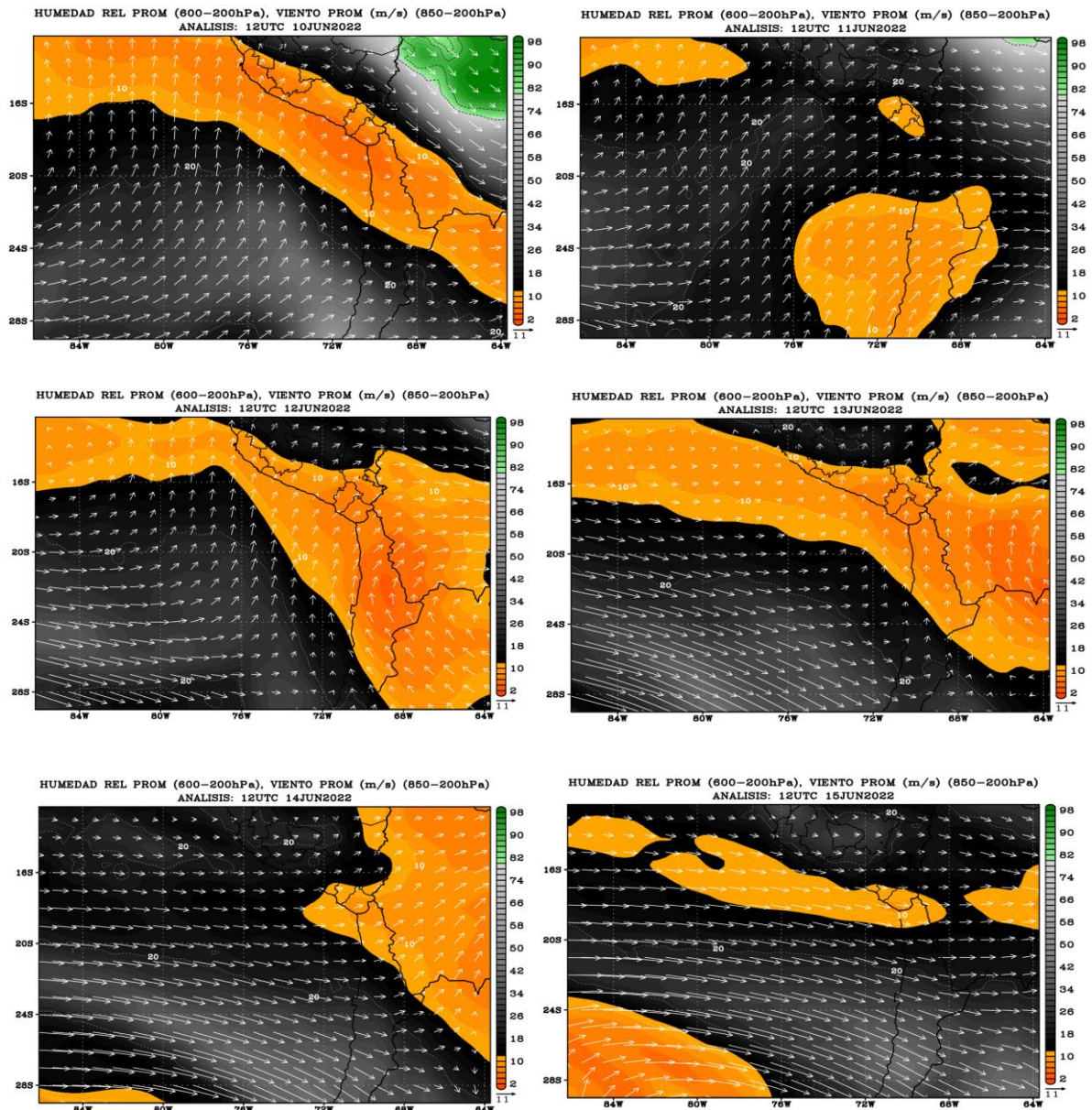


Figura 9. Humedad relativa promedio en (600 y 200 hPa) – junio 2022
FUENTE: InterPGrAds - SENAMHI, 2022.

Julio, fue un mes donde no se presentaron eventos de descensos importantes y esto se pudo corroborar con los patrones de circulaciones que se observaron durante dicho mes. El 15 de julio, día previo al evento, se presentaron en niveles altos (200 hPa) una vaguada sin mucha amplitud además de los ingresos de flujos del oeste, en tanto para el día 16 de julio se observó una predominancia de flujos del oeste en asociación a la Corriente en Chorro, la cual se ubicó a una latitud de 16°S y longitud 72°W.

En niveles medios (550 hPa), el día 15 de julio se observó el ingreso del flujo de vientos del suroeste, los cuales interaccionaron con una vaguada que se ubicó al sur de Chile, en cuanto al día 16 de julio se observó un ingreso de flujos del noroeste, para ambos días se

observa la vaguada que se va trasladando hacia el este, la cual condicionó el ingreso de la masa de aire seco y frío con valores inferiores al 10% de la humedad relativa promedio en los departamentos de Tacna y Moquegua.

En lo que respecta a la temperatura de rocío, en 550 hPa se observa que en zonas sobre los 3300 m s. n. m. los valores oscilan entre -39°C a -46°C , en tanto en zonas sobre los 4000 m s. n. m. se presentaron valores de -21°C a -42°C .

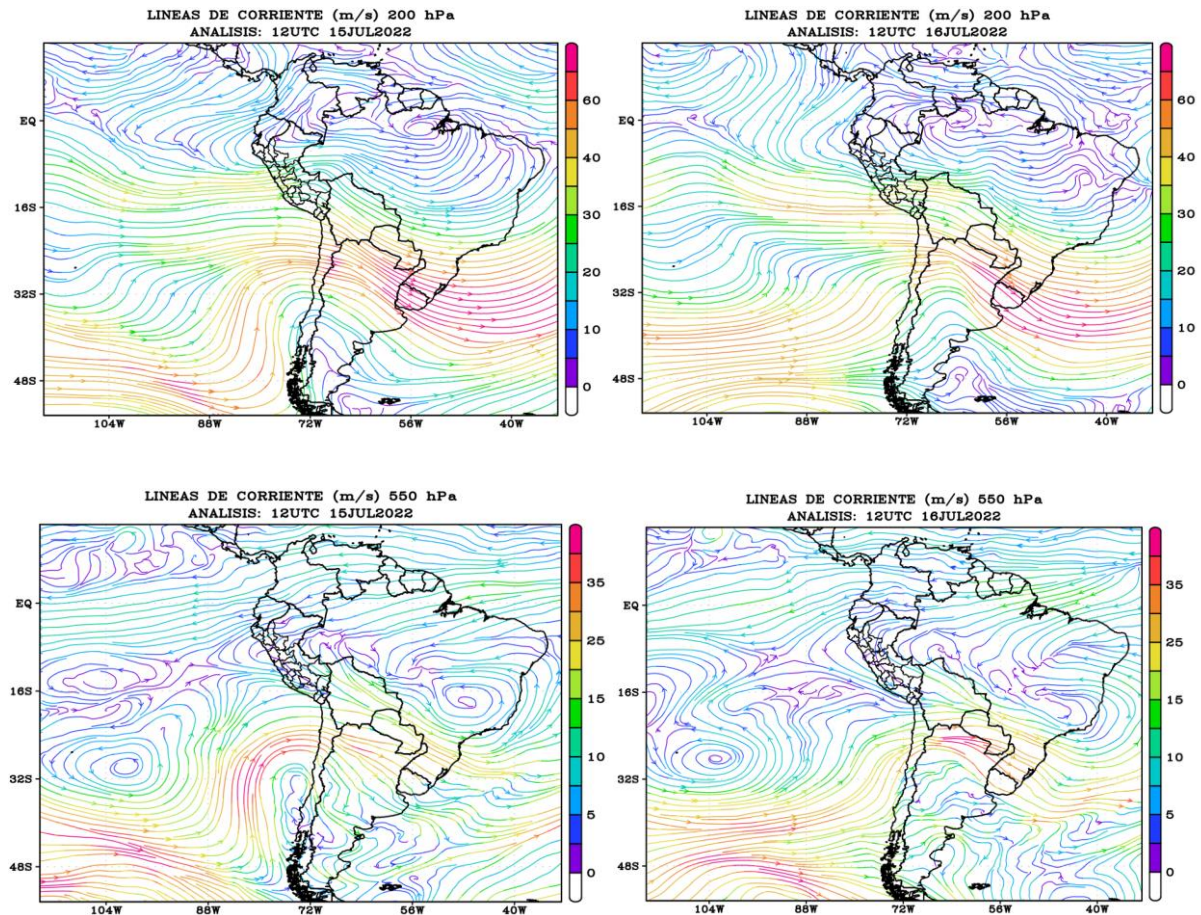


Figura 10. Líneas de corriente en niveles altos (200 hPa) y niveles medios (550 hPa) – julio 2022
FUENTE: InterPGrAds - SENAMHI, 2022.

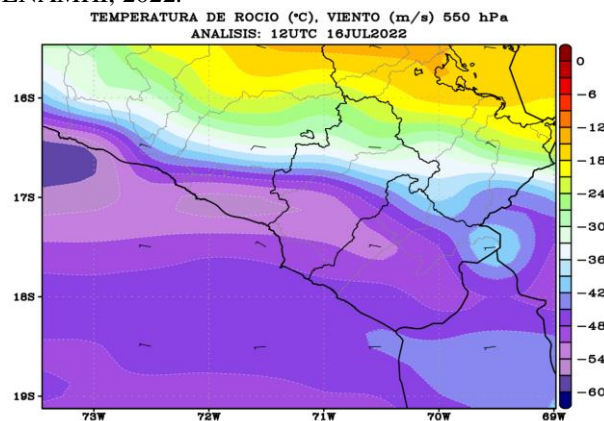


Figura 11. Temperatura de rocío ($^{\circ}\text{C}$) en niveles medios (550 hPa) – julio 2022
FUENTE: InterPGrAds - SENAMHI, 2022

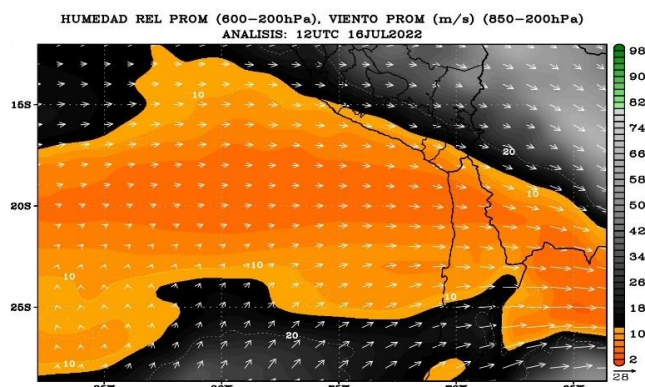


Figura 12. Humedad relativa promedio en (600 y 200 hPa) – julio 2022
FUENTE: InterPGrAds - SENAMHI, 2022.

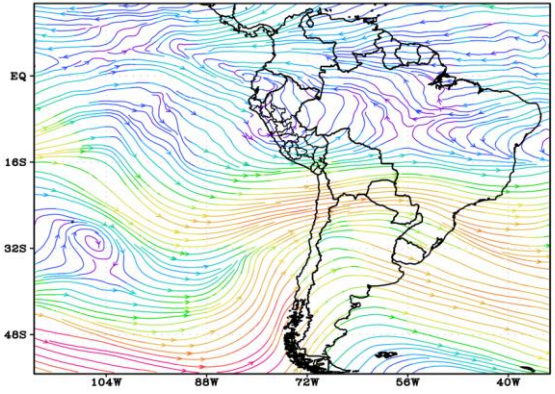
Previo al evento, el día 17 de agosto se observó en niveles altos (200 hPa), la Corriente en Chorro, ubicada a una latitud de 24°S y longitud de 72°W, favoreciendo el ingreso a los flujos del oeste, en tanto en niveles medios (550 hPa), asimismo se observó una circulación antihoraria sobre el oeste del continente de Sudamérica, lo que apoyó al bombeo de la masa de aire seco desde el océano Pacífico hacia el extremo sur del país, disminuyendo el contenido de humedad en el altiplano, lo cual favoreció el ingreso del flujo del suroeste hacia el extremo sur del territorio nacional.

En lo que respecta a niveles altos (200 hPa), el día 18 de agosto se observó una interacción del sistema vaguada - dorsal, la cual propició el ingreso de flujos del oeste, en tanto los días 21 - 22 de agosto se observó una dorsal con mayor amplitud en el océano Pacífico y una vaguada sobre la zona de análisis. En cuanto a niveles medios (550 hPa) se observó una predominancia de ingresos de flujos del suroeste, asociado a la circulación antihoraria situada sobre el océano Pacífico.

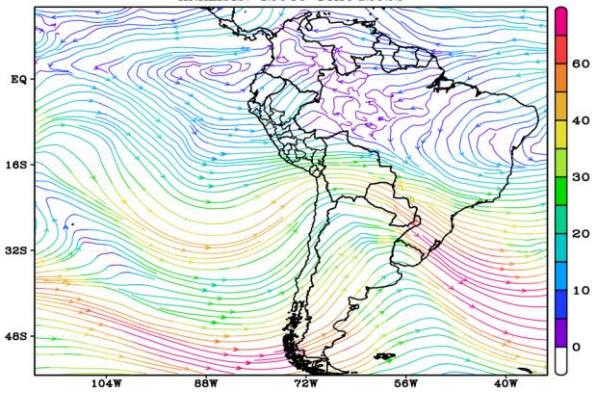
Los días con eventos importantes de descenso de temperatura mínima fueron los días 18, 21 y 22 de agosto, en estos casos, los valores en los que oscilaron la temperatura de rocío en zonas sobre los 4000 m s. n. m. fue de -48°C a -51°C (día 21 y 22 de agosto), -51°C a -54°C (día 18 de agosto), en tanto en zonas sobre los 3000 m s. n. m. se presentaron valores de -42°C a -45°C (día 18 de agosto), -36°C a -39°C (día 21 de agosto) y -26°C a -30°C (día 22 de agosto), en lo que respecta a la humedad relativa promedio (600 -200 hPa) los valores oscilaron entre 6-8% (día 18 de agosto), 8-10% (día 21 de agosto) y valores inferiores al 20% (día 22 de agosto).

El 23 de agosto, los valores de temperatura de rocío oscilaron entre -39°C a -42°C, en lo que respecta a la humedad relativa promedio (600 -200 hPa) se presentaron valores inferiores al 30%.

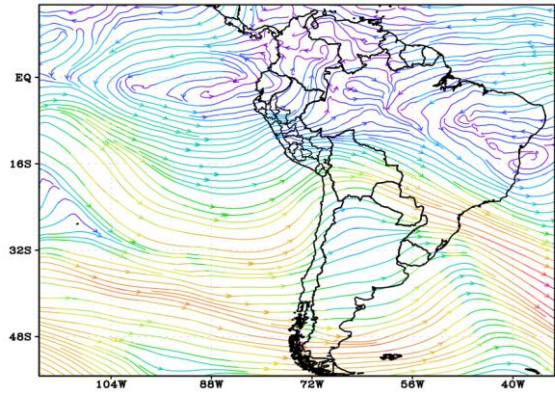
LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 200 hPa
ANALISIS: 12UTC 17AUG2022



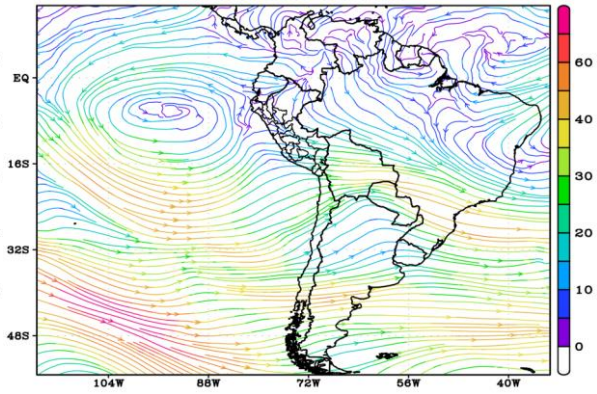
LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 200 hPa
ANALISIS: 12UTC 18AUG2022



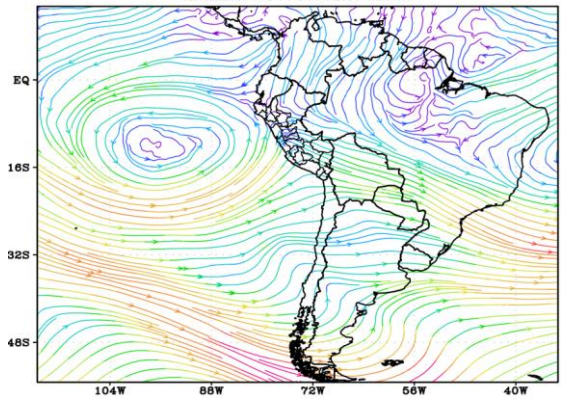
LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 200 hPa
ANALISIS: 12UTC 19AUG2022



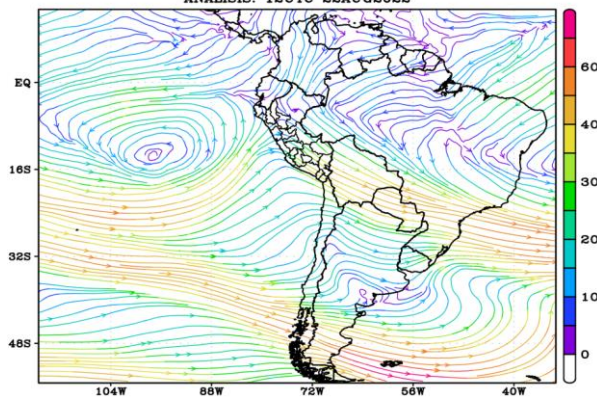
LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 200 hPa
ANALISIS: 12UTC 20AUG2022



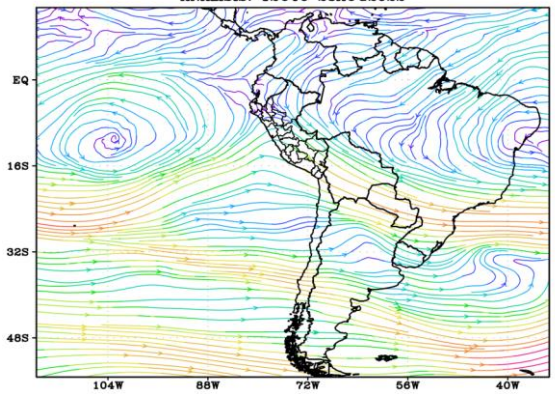
LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 200 hPa
ANALISIS: 12UTC 21AUG2022



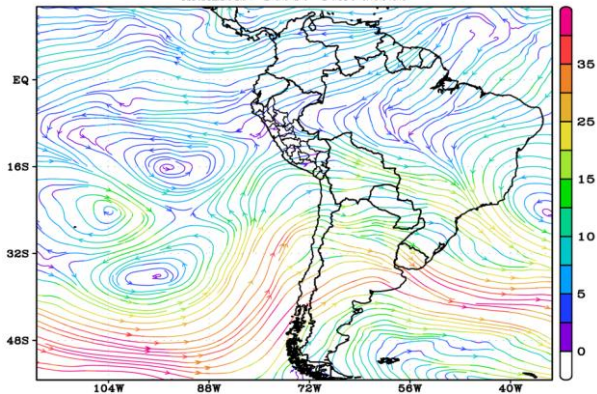
LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 200 hPa
ANALISIS: 12UTC 22AUG2022



LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 200 hPa
ANALISIS: 12UTC 23AUG2022



LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 550 hPa
ANALISIS: 12UTC 17AUG2022



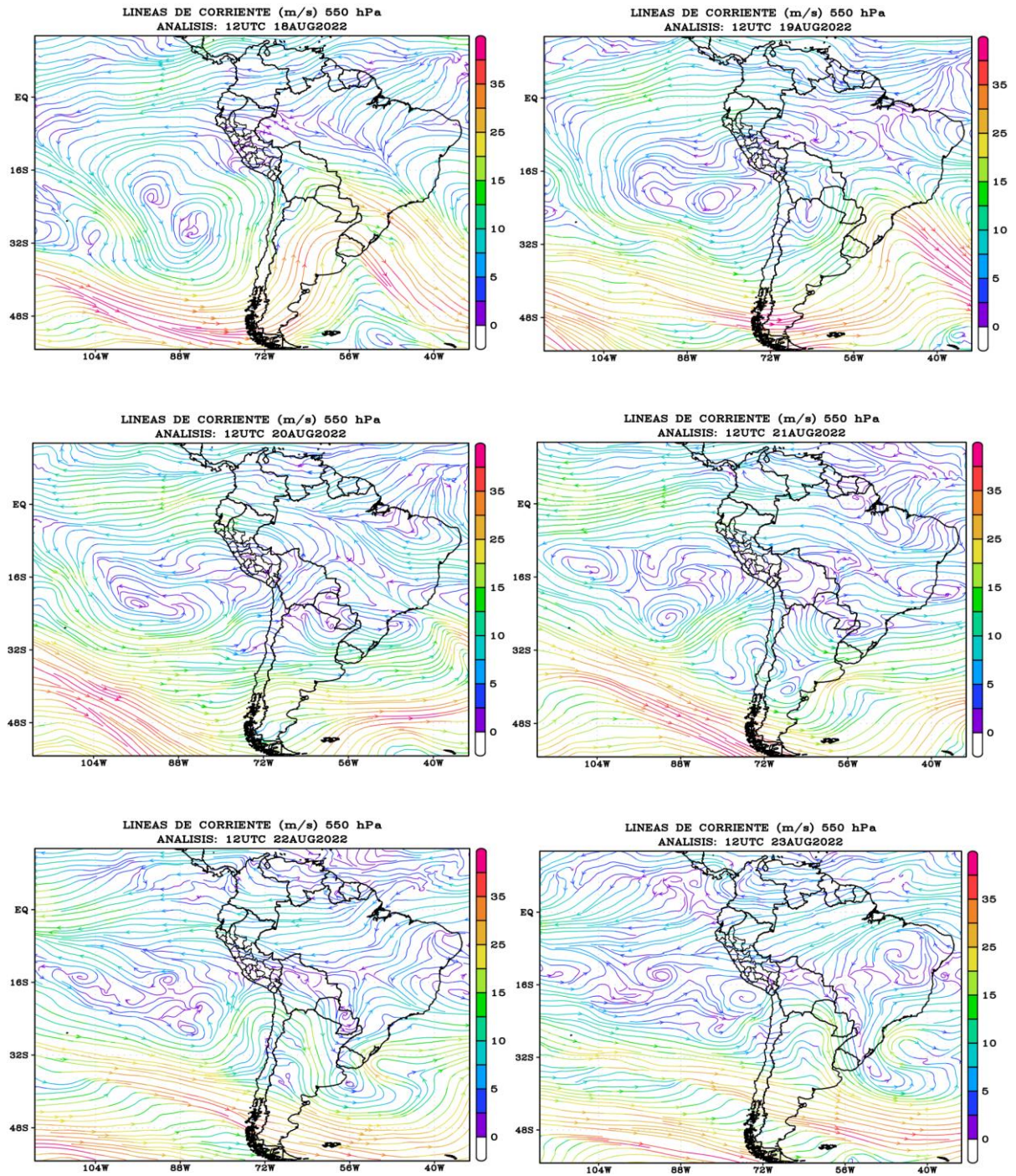


Figura 13. Líneas de corriente en niveles altos (200 hPa) y niveles medios (550 hPa) – agosto 2022
FUENTE: InterPGrAds - SENAMHI, 2022.

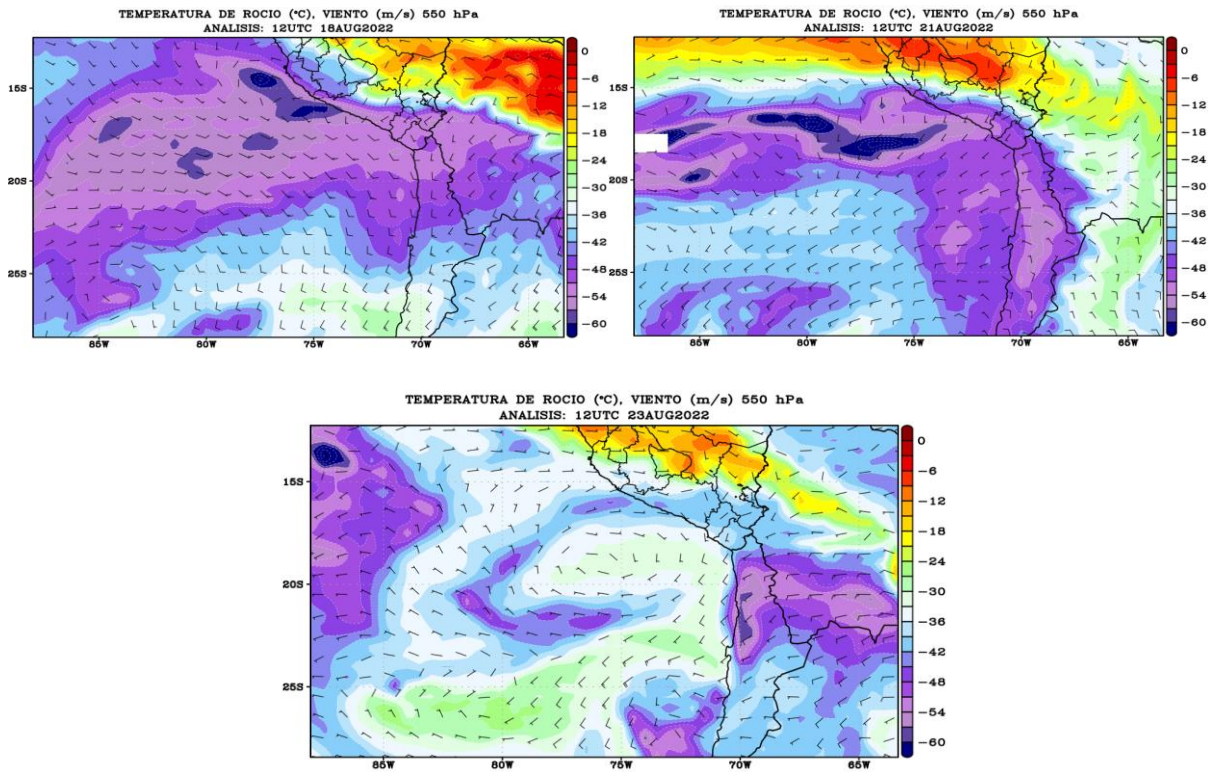


Figura 14. Temperatura de rocío (°C) en niveles medios (550 hPa) – agosto 2022
FUENTE: InterPGrAds - SENAMHI, 2022.

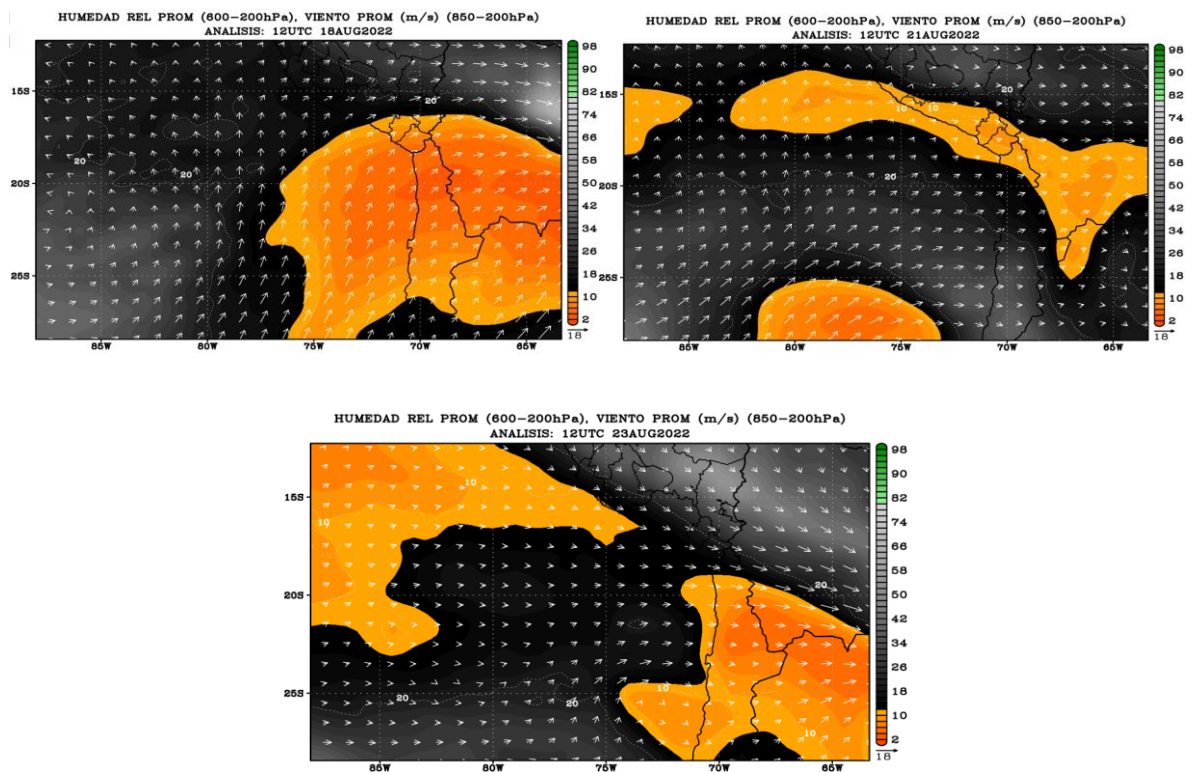
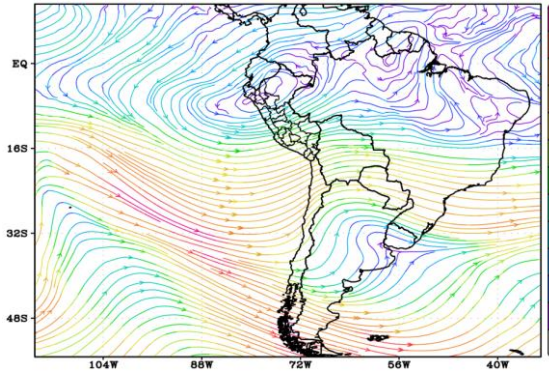


Figura 15. Humedad relativa promedio en (600 y 200 hPa) – agosto 2022
FUENTE: InterPGrAds - SENAMHI, 2022.

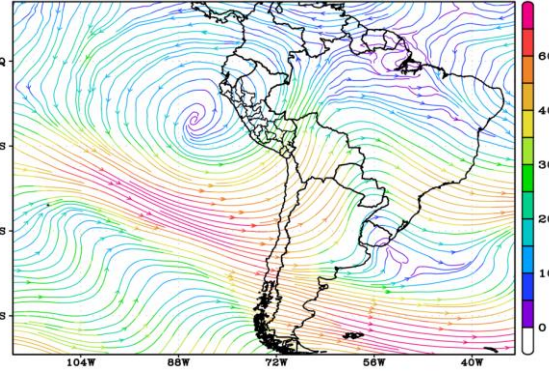
En el mes de septiembre, se analizaron los días previos a los descensos de temperatura mínima, y se evidencio que en niveles altos (200 hPa) se formaron circulaciones antihorarias en el océano Pacífico, los cuales en interacción con vaguadas, favorecieron el ingreso de flujos del oeste, en tanto en niveles medios (550 hPa) se observaron flujos con dirección del suroeste en interacción con una pequeña circulación antihoraria que permitió el ingreso de los flujos del suroeste (se observó una zona convergente en la parte trasera de la vaguada). En lo que respecta a la humedad relativa promedio (600 -200 hPa) se presentaron valores inferiores al 10%. Finalmente, con respecto a la temperatura de rocío, los valores oscilaron entre los -33°C a -24°C .

Con respecto a los días donde se presentaron los descensos más significativos, el día 6 de septiembre en niveles altos (200 hPa), se formó una dorsal con mayor amplitud ubicada en el océano Pacífico frente a territorio peruano. En niveles medios (550 hPa) se evidenció la formación de una vaguada al oeste del norte de Chile, la cual, en interacción con una circulación antihoraria sobre el centro de Brasil, favoreciendo el ingreso de flujos del oeste al extremo sur del país. Asimismo, se observó valores inferiores al 8% de la humedad relativa promedio (600 -200 hPa), esto debido a los flujos del oeste que permitieron el ingreso de masas de aire seco en el extremo sur del territorio nacional. Por otro lado, los valores de temperatura de rocío, oscilaron entre -45°C a -48°C .

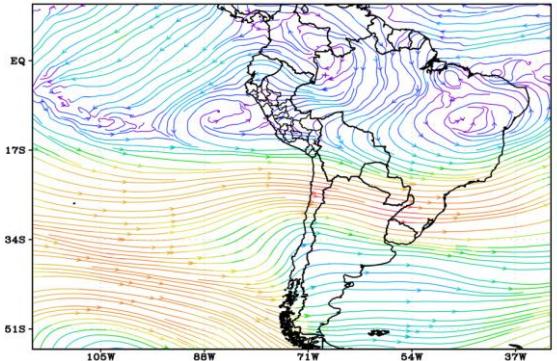
LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 200 hPa
ANALISIS: 12UTC 06SEP2022



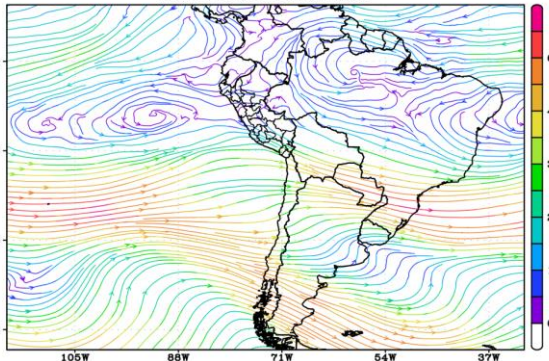
LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 200 hPa
ANALISIS: 12UTC 06SEP2022



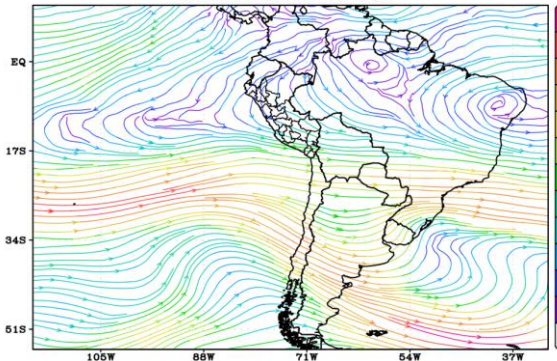
LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 200 hPa
ANALISIS: 12UTC 13SEP2022



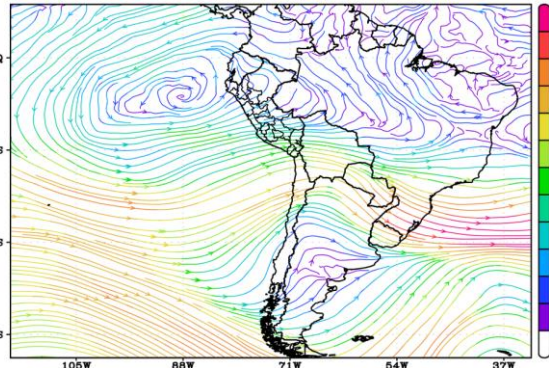
LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 200 hPa
ANALISIS: 12UTC 15SEP2022



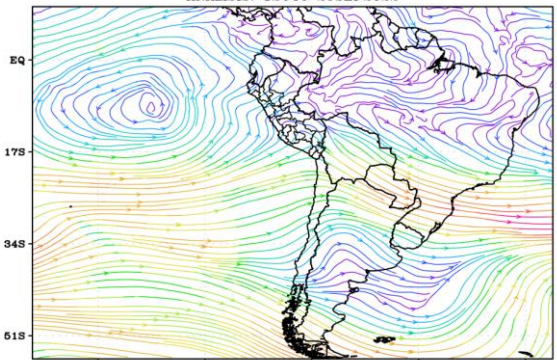
LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 200 hPa
ANALISIS: 12UTC 16SEP2022



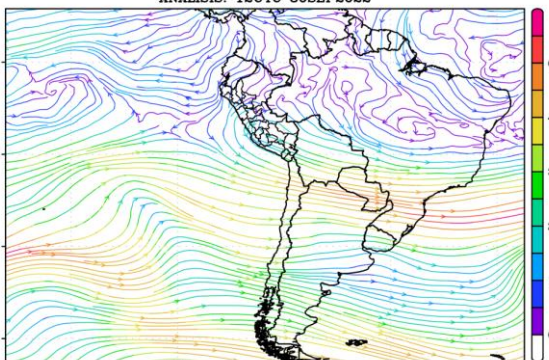
LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 200 hPa
ANALISIS: 12UTC 28SEP2022



LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 200 hPa
ANALISIS: 12UTC 29SEP2022



LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 200 hPa
ANALISIS: 12UTC 30SEP2022



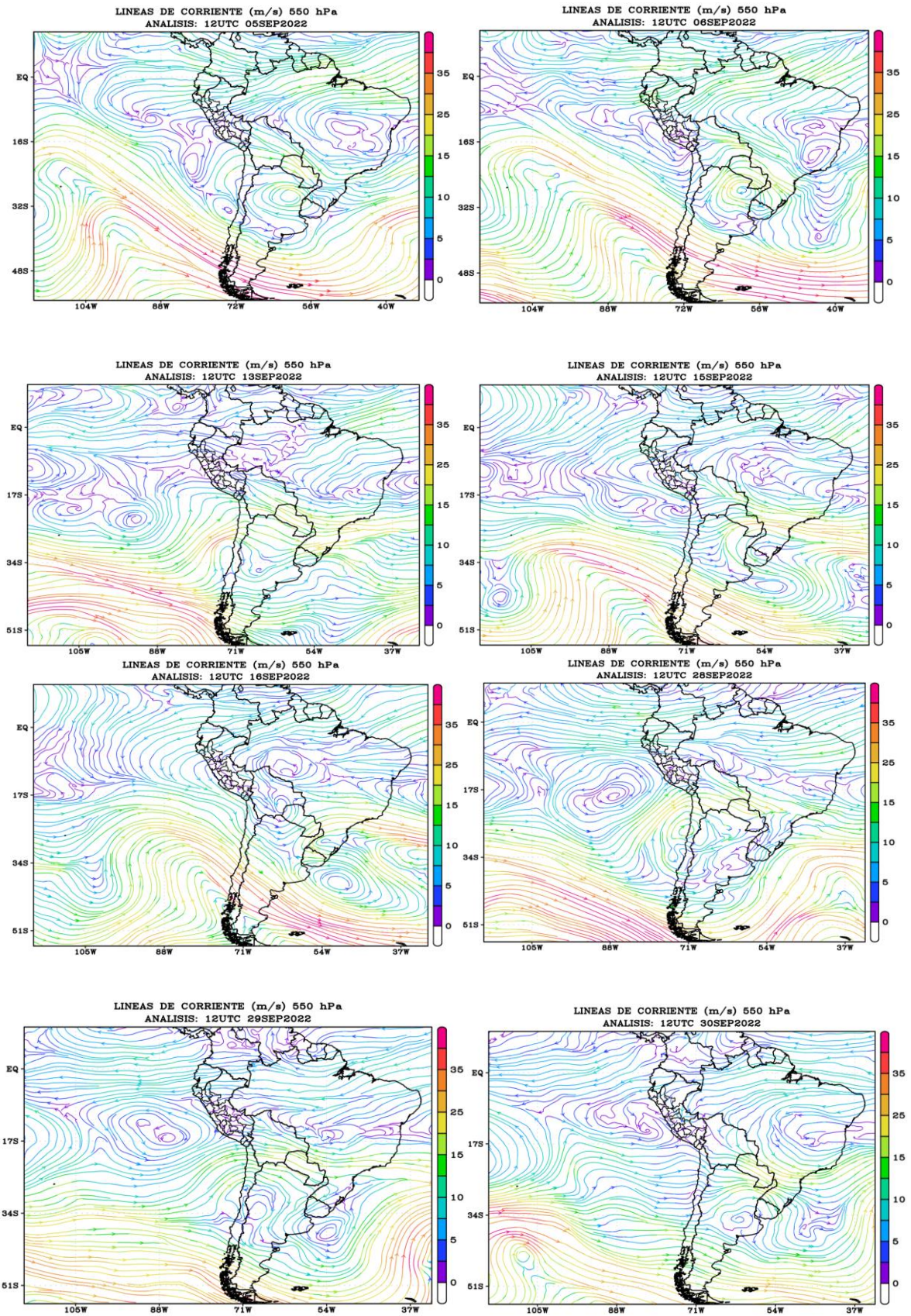


Figura 16. Líneas de corriente en niveles altos (200 hPa) y niveles medios (550 hPa) – septiembre 2022
FUENTE: InterPGrAds - SENAMHI, 2022.

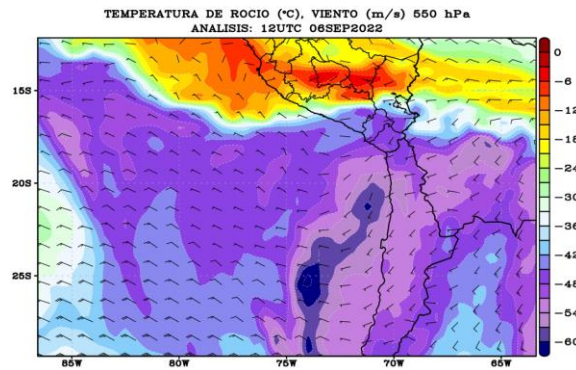


Figura 17. Temperatura de rocío (°C) en niveles medios (550 hPa) - septiembre 2022
FUENTE: InterPGrAds - SENAMHI, 2022.

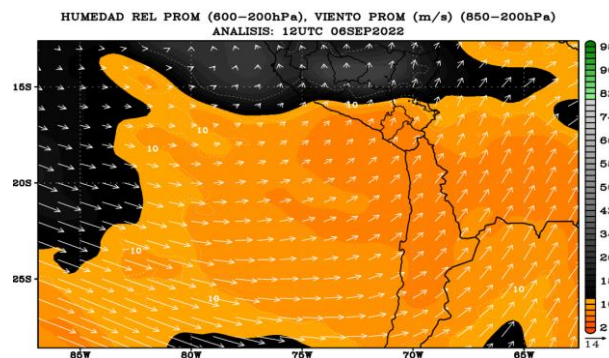


Figura 18. Humedad relativa promedio en (600 y 200 hPa) – septiembre 2022
FUENTE: InterPGrAds - SENAMHI, 2022.

Los cortes temporales seleccionados, nos permitió analizar los perfiles verticales de la humedad desde los 600 hPa a 200 hPa, tomando como referencia la latitud 17°S y longitud 70°W. Los días 24/05/2022, 11/06/2022, 16/07/2022, 18/08/2022 y 06/09/2022 representaron los días en los cuales se presentaron un mayor número de días con temperaturas mínimas inferiores al percentil 01 (noches extremadamente frías), las cuales mostraron valores muy bajos de humedad relativa promedio con valores inferiores al 10% y coincidió con los eventos de descensos de temperatura mínima y heladas severas que se presentaron en la zona andina de los departamentos de Tacna y Moquegua.

Cabe mencionar que días previos a las fechas mencionadas, se presentaron eventos de subsidencia desde niveles altos y medios, estos movimientos verticales descendentes favorecieron con que se secase aún más en niveles altos y medios de la troposfera de las zonas de interés.

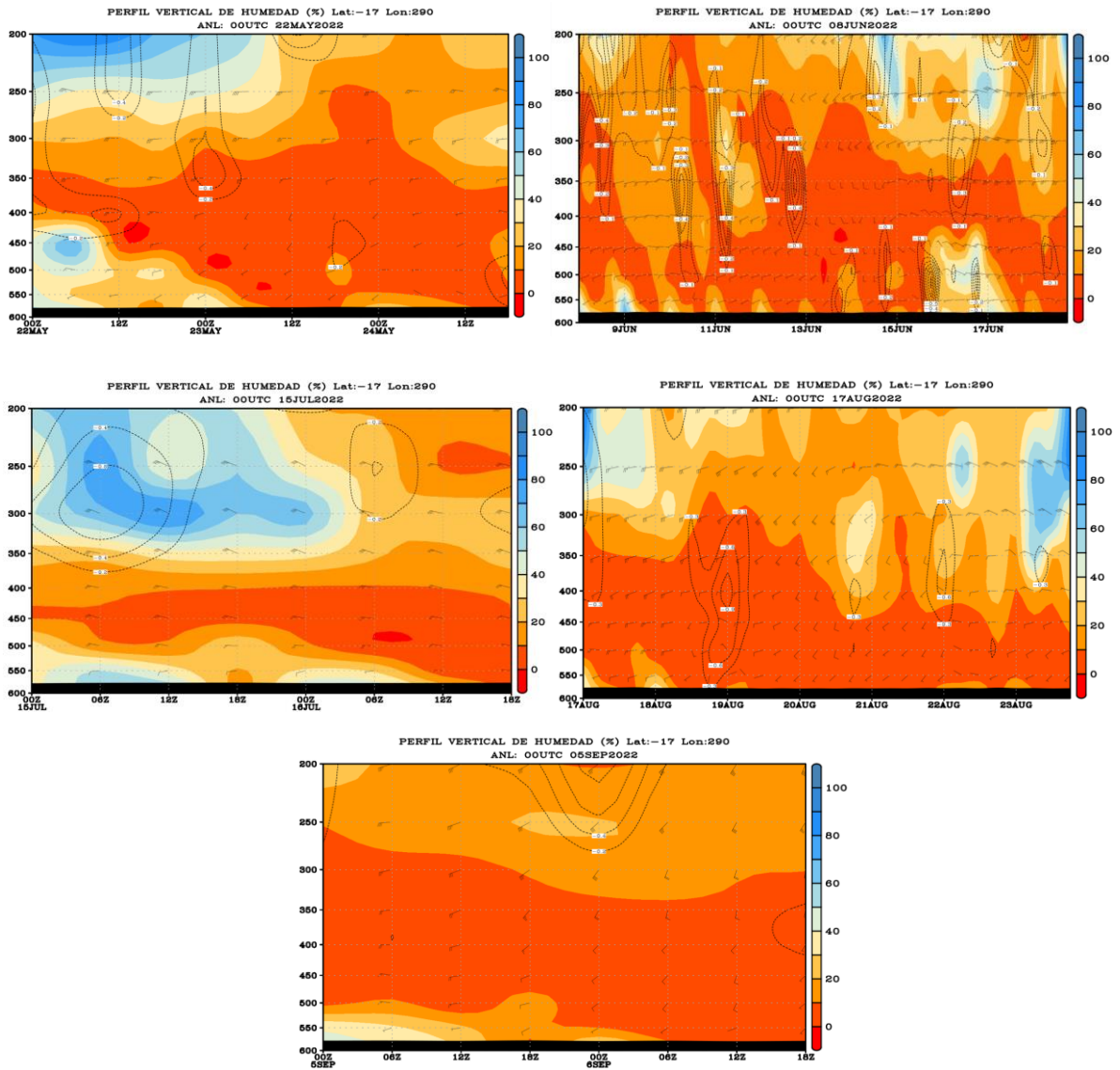


Figura 19. Perfil vertical de humedad relativa mayo – septiembre 2022
FUENTE: InterPGrAds - SENAMHI, 2022.

4.3 Emisión, validación y verificación de avisos meteorológicos en la Dirección Zonal 07

Diariamente se participa en reuniones virtuales (briefing) con la finalidad de evaluar el comportamiento meteorológico presente y futuro a nivel nacional), en dichas reuniones participan las 13 Direcciones Zonales. Según la identificación de potenciales eventos meteorológicos adversos se procede a la elaboración de los avisos, cabe mencionar que para la emisión de un aviso nacional se necesitan el consenso de 2 o más Direcciones Zonales.

Para la emisión de un aviso de descenso de temperatura nocturna en la sierra, la temperatura mínima deber ser menor al percentil 10. Para ello, primero se edita las aéreas de las zonas

donde el descenso de la temperatura mínima sería más intenso, en el link proporcionado por SPM. Una vez que el aviso se encuentre en la página web oficial de SENAMHI, se procede a regionalizar el aviso de acuerdo a los departamentos que se encuentren dentro de la jurisdicción de cada Dirección Zonal. En este caso, la Dirección Zonal 07, que incluye los departamentos de Tacna y Moquegua, regionalizará el aviso correspondiente para ambos departamentos. Para ello se utiliza el software de sistema de información geográfica QGIS versión 3.22.7, software libre que nos permite realizar esta actividad. Para ello se generan los mapas que serían afectados por el aviso de descenso de temperatura mínima en la Dirección Zonal 07.



Figura 20. Aviso meteorológico de descenso de temperatura nocturna emitido por la Dirección Zonal 07
FUENTE: SENAMHI Dirección Zonal 7 Tacna - Moquegua, 2022.

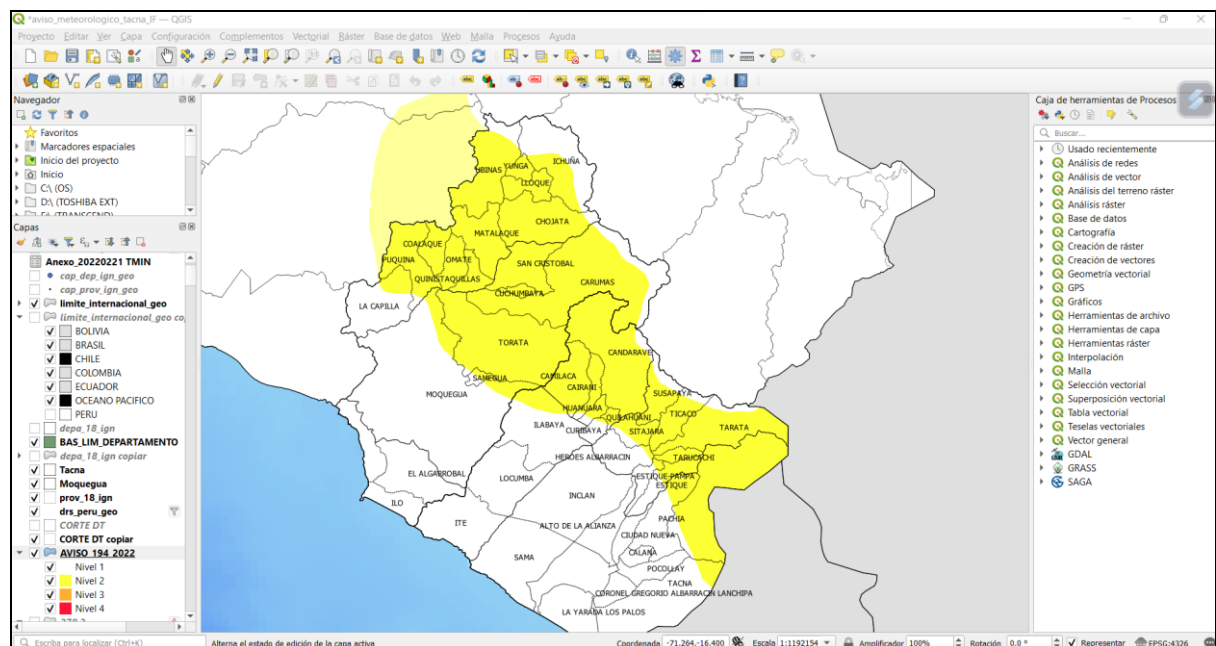


Figura 21. Elaboración del aviso meteorológico de descenso de temperatura nocturna emitido por la Dirección Zonal 07, mediante el software QGIS

Durante el periodo mayo – septiembre 2022 se emitieron un total de 23 avisos meteorológicos de descenso de temperatura nocturna en la sierra en los departamentos de Tacna y Moquegua. En el mes de mayo se emitieron 2 avisos, en junio 8 avisos, en julio 3 avisos, en agosto 5 avisos y finalmente en septiembre se emitieron 5 avisos. Cabe mencionar que fue junio el mes donde se presentaron con mayor frecuencia los descensos de temperatura mínima más intensos, por ello del mayor número de avisos emitidos durante ese mes.

Tabla 13: Avisos meteorológicos emitidos durante el periodo de bajas temperaturas mayo–septiembre 2022

N° DE AVISO NACIONAL	NIVEL DE PELIGRO	VIGENCIA	
		INICIO	FINALIZA
94	Naranja	11 mayo	13 mayo
100	Naranja	22 mayo	24 mayo
107	Naranja	06 junio	08 junio
108	Naranja	09 junio	11 junio
113	Rojo	12 junio	14 junio
115	Amarillo	15 junio	15 junio
118	Amarillo	17 junio	18 junio
121	Amarillo	19 junio	19 junio
124	Naranja	27 junio	29 junio
128	Amarillo	30 junio	02 julio
130	Amarillo	03 julio	04 julio
138	Naranja	16 julio	17 julio
143	Amarillo	23 julio	24 julio
152	Naranja	03 agosto	04 agosto
156	Amarillo	07 agosto	08 agosto
161	Amarillo	17 agosto	18 agosto
164	Amarillo	19 agosto	20 agosto
165	Naranja	21 agosto	23 agosto
175	Naranja	05 septiembre	07 septiembre
184	Amarillo	18 septiembre	20 septiembre
188	Amarillo	21 septiembre	22 septiembre
194	Amarillo	27 septiembre	29 septiembre
199	Amarillo	30 septiembre	30 septiembre

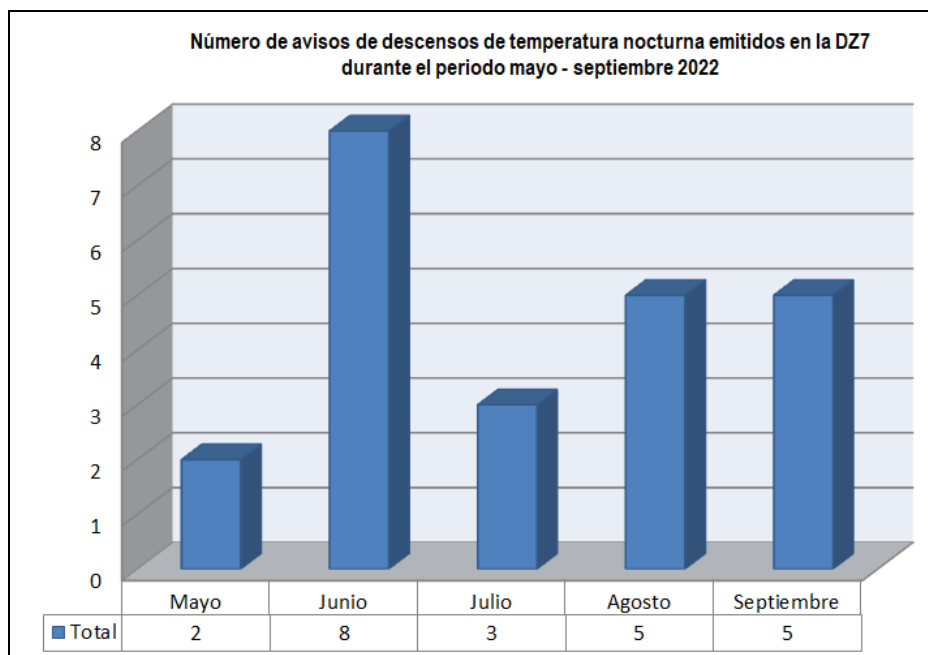


Figura 22. Número de avisos de descensos de temperatura nocturna emitidos en la Dirección Zonal 7 durante el periodo mayo – septiembre 2022

Para la validación de los avisos meteorológicos se realizaron cálculos estadísticos, los cuales determinaron valores como Porcentaje de Detección (PD), Porcentaje de Falsas Alarmas (PFA) e Índice de Aciertos Críticos (CSI) con la finalidad de analizar la verificación de los avisos meteorológicos de descenso de temperatura nocturna emitidos durante el periodo mayo – septiembre 2022.

Tabla 14: Pruebas estadísticas de los avisos meteorológicos de descenso de temperatura nocturna emitidos durante mayo – septiembre 2022

Número	AVISO METEOROLÓGICO			PRUEBAS ESTADÍSTICAS		
	Título del Aviso	Nivel	Día	PD	PFA	CSI
94	Descenso de temperatura nocturna en sierra	Amarillo	11/05/2022	0.92	0.63	0.38
		Naranja	12/05/2022	0.85	0.88	0.13
		Amarillo	13/05/2022	0.73	0.88	0.13
100	Descenso de temperatura nocturna en sierra	Amarillo	22/05/2022	0.73	0.88	0.13
		Naranja	23/05/2022	0.62	0.50	0.50
		Naranja	24/05/2022	0.11	0.90	0.10
107	Descenso de temperatura nocturna en sierra	Amarillo	6/06/2022	0.12	0.90	0.10
		Naranja	7/06/2022	0.93	0.86	0.14
		Naranja	8/06/2022	0.85	0.71	0.29
108	Descenso de temperatura nocturna en sierra	Naranja	9/06/2022	0.94	0.14	0.86
		Naranja	10/06/2022	0.78	0.14	0.86
		Naranja	11/06/2022	0.81	0.20	0.80
113	Descenso de temperatura nocturna en sierra	Rojo	12/06/2022	0.32	0.23	0.77
		Rojo	13/06/2022	0.72	0.33	0.67

Continuación ...

AVISO METEOROLÓGICO				PRUEBAS ESTADÍSTICAS		
Número	Título del Aviso	Nivel	Día	PD	PFA	CSI
		Rojo	14/06/2022	0.81	0.33	0.67
115	Descenso de temperatura nocturna en sierra	Amarillo	15/06/2022	0.92	0.14	0.86
118	Descenso de temperatura nocturna en sierra	Amarillo	17/06/2022	0.93	0.33	0.66
		Amarillo	18/06/2022	0.95	0.33	0.66
121	Descenso de temperatura nocturna en sierra	Amarillo	19/06/2022	0.97	0.57	0.43
		Amarillo	27/06/2022	0.98	0.83	0.17
124	Descenso de temperatura nocturna en sierra	Amarillo	28/06/2022	0.89	0.21	0.79
		Naranja	29/06/2022	0.92	0.35	0.65
		Naranja	30/06/2022	0.22	0.56	0.44
128	Descenso de temperatura nocturna en sierra	Amarillo	1/07/2022	0.33	0.86	0.13
		Amarillo	2/07/2022	0.98	0.33	0.67
130	Descenso de temperatura nocturna en sierra	Naranja	3/07/2022	0.87	0.23	0.77
		Amarillo	4/07/2022	0.23	0.91	0.09
138	Descenso de temperatura nocturna en sierra	Naranja	16/07/2022	0.98	0.57	0.75
		Naranja	17/07/2022	0.86	0.80	0.20
143	Descenso de temperatura nocturna en sierra	Amarillo	23/07/2022	0.92	0.83	0.17
		Amarillo	24/07/2022	0.89	0.83	0.17
152	Descenso de temperatura nocturna en sierra	Amarillo	3/08/2022	0.86	0.90	0.10
		Naranja	4/08/2022	0.96	0.75	0.25
156	Descenso de temperatura nocturna en sierra	Amarillo	7/08/2022	0.23	0.85	0.15
		Amarillo	8/08/2022	0.25	0.72	0.28
161	Descenso de temperatura nocturna en sierra	Amarillo	17/08/2022	0.32	0.93	0.07
		Amarillo	18/08/2022	0.89	0.57	0.43
164	Descenso de temperatura nocturna en sierra	Amarillo	19/08/2022	0.96	0.24	0.66
		Amarillo	20/08/2022	0.78	0.50	0.50
		Naranja	19/08/2022	0.85	0.38	0.63
165	Descenso de temperatura nocturna en sierra	Amarillo	21/08/2022	0.89	0.38	0.63
		Amarillo	23/08/2022	0.74	0.14	0.86
		Naranja	5/09/2022	0.96	0.71	0.29
175	Descenso de temperatura nocturna en sierra	Naranja	6/09/2022	0.85	0.57	0.43
		Naranja	7/09/2022	0.84	0.71	0.29
		Amarillo	18/09/2022	0.95	0.83	0.17
184	Descenso de temperatura nocturna en sierra	Amarillo	19/09/2022	0.84	0.75	0.25
		Amarillo	20/09/2022	0.23	0.86	0.14
188	Descenso de temperatura nocturna en sierra	Amarillo	21/09/2022	0.91	0.75	0.25
		Amarillo	22/09/2022	0.85	0.83	0.14
		Amarillo	27/09/2022	0.89	0.83	0.14
194	Descenso de temperatura nocturna en sierra	Amarillo	28/09/2022	0.92	0.83	0.17
		Amarillo	29/09/2022	0.83	0.63	0.38
199	Descenso de temperatura nocturna en sierra	Amarillo	30/09/2022	0.75	0.57	0.43

La verificación de los avisos meteorológicos nos permite conocer la eficacia de los avisos meteorológicos de descensos de temperatura mínima emitidos. Un buen comportamiento en la validación de los avisos meteorológicos se relaciona con altos PD y CSI, y con un bajo PFA; lo cual indica que la emisión de los avisos en base a percentiles de temperatura mínima de pocas falsas alarmas.

V. CONCLUSIONES

A partir de los objetivos y los resultados obtenidos se pueden llegar a las siguientes conclusiones:

- Durante el periodo de bajas temperaturas mayo – septiembre 2022, junio fue el mes con mayor número de días que registraron temperaturas mínimas inferiores al percentil 01 (noches extremadamente frías), mientras que julio se caracterizó por presentar una menor frecuencia de días con estaciones que lograran alcanzar al percentil 10. En cuanto a los valores absolutos, el valor más bajo registrado en toda la temporada fue en la estación de Vilacota (Tacna) con un valor de -24.4°C .
- El pronóstico para el descenso de temperatura nocturna considera un análisis en niveles altos (200hPa) con una vaguada y zonas convergentes, en niveles medios (550hPa) un sistema dorsal - vaguada, con ingresos de vientos del oeste y suroeste, lo cual favorece el ingreso de masas de aire seco sobre el extremo sur. Adicionalmente otra variable que se analizó fue la temperatura de rocío (550hPa) la cual fluctuó en el rango de -50°C a -60°C , valores que indicaron el nivel de intensidad de los descensos de temperatura mínima.
- Comparando los resultados de los estadísticos (PD, PFA y CSI) se obtiene un mayor porcentaje de acierto en los avisos de nivel amarillo y rojo, respecto a los avisos de nivel naranja. Cabe mencionar que los avisos que tienen menor días de duración, son los que presentan una mayor precisión al momento de realizar la validación, a diferencia de los avisos que contemplan mayores números de días, esto debido a que, si el aviso tiene un mayor número de días, la incertidumbre de los mismos es mayor, principalmente en los últimos días de los avisos.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda, realizar la elaboración de percentiles en la zona andina de los departamentos de Tacna y Moquegua, tanto de temperatura de rocío, así como de humedad relativa, a fin de mejorar el análisis del pronóstico de temperaturas mínimas, así como de la emisión de los avisos meteorológicos.
- Se recomienda realizar un análisis del descenso de las temperaturas asociadas a eventos de La Niña y el Niño Global, a fin de determinar la influencia e intensidad de los descensos para el área de interés.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Meteorological Society (AMS). (2012). *Glossary of meteorology*. Estados Unidos
- Castillo, E., & Castellví, F. (2001). *Agrometeorología*. 2da edición corregida. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades. (2022). *Temporada de Bajas Temperaturas*. MINSA.
<https://www.dge.gob.pe/portalnuevo/publicaciones/temporada-de-bajas-temperaturas/>
- Davydova-Belitskaya, V., de la Cruz, J. R., & Rodríguez-López, O. (2016). Un modelo de verificación de pronósticos de precipitación. *Ingeniería*, 20(1), 24-33.
- Elías, F., Castellvi F. (2001). *Agrometeorología*. (2a ed.) (pp. 517). Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Pereyra, A. R.; Angelocci, L. R.; Sentelhas, P. C. (2002). *Agrometeorología: fundamentos e aplicações práticas* (pp. 478). Livraria e Editora Agropecuaria Ltemperatura de rocíoa. Guaíba, Brasil
- SENAMHI. (2000). Maestra de Estaciones. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología Del Perú. <https://www.senamhi.gob.pe/site/lvera/maestra01.html>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología-Bolivia. (2008). Manual práctico de terminología meteorológica e hidrológica para la difusión masiva del dato y su uso en la gestión de riesgo.
https://www.senamhi.gob.bo/publicaciones/Manuales/Manual_de_terminologia/M anual_de_terminologia.pdf
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú; Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación [FAO]. (2010). *Atlas de heladas del Perú, convenio de Cooperación Técnica Institucional SENAMHI – FAO*. Lima.

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2023). *Elaboración de avisos meteorológicos*. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/00711SENA-108.pdf>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2023). *Boletín hidroclimático DZ07, Tacna - Moquegua (diciembre 2022)*.
<https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.550.12542/2602>
- Snyder, R. & de Melo-Abreu, P. (2010). *Protección contra heladas: fundamentos, práctica y economía*. Volumen 1. FAO. Roma, Italia. (pp. 2-3).
- Torrijo, Ricardo. & Lomas, Alejandro. (2018). *Acta de las Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española 35. Análisis y Predicción del tiempo*.
<https://pub.ame-web.org/index.php/JRD/article/view/1499>

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Tabla de normales actualizadas de la temperatura mínima de las estaciones consideradas para el análisis

ESTACION	DEPARTAMENTO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CAIRANI	TACNA	2.3	1.5	2.1	1.2	0	-0.1	0	-0.5	0.2	1	0.7	2.3
SUSAPAYA	TACNA	2	2	2	0.3	-1	-2.3	-2.4	-2.4	0.1	-0.3	0	1
CHUAPALCA	TACNA	-13.5	-9.3	-11	-17	-23.2	-24.7	-23.5	-24.5	-23.7	-20.3	-21.4	-18.2
VILACOTA	TACNA	-12	-10.2	-11	-15	-18	-20	-21	-22	-19	-16.4	-17	-13.2
PAUCARANI	TACNA	-7.2	-6.8	-9.3	-9.6	-11.4	-12.3	-13.3	-12.7	-11.3	-10.8	-9.8	-8.1
UBINAS	MOQUEGUA	2.4	2.6	1.6	-0.8	-2.6	-3	-3.3	-2.6	-1.2	0	0.4	1.6
ICHUÑA	MOQUEGUA	1.5	2	1.5	-2.2	-5.4	-6.6	-6.6	-6.3	-4.4	-3.5	-2.2	1.4
PAMPA UMALZO	MOQUEGUA	-11	-9.7	-10.4	-12.1	-15.1	-16.8	-18.4	-18	-17	-16.4	-16.2	-13

FUENTE: SENAMHI , 2021.

Anexo 2. Percentil 10 de la temperatura mínima de las estaciones consideradas para el análisis

ESTACION	DEPARTAMENTO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CAIRANI	TACNA	3.4	3.4	3.5	2.3	1.1	0.5	0.5	0.4	1.3	2	1.9	2.9
SUSAPAYA	TACNA	3.1	3.5	3.9	2.9	1	0	0	1	2	1.9	2	3
CHUAPALCA	TACNA	-6.7	-6	-7.5	-13	-17.5	-20	-19.5	-19.8	-18.2	-16	-16.4	-11.5
VILACOTA	TACNA	-8.4	-7	-8	-12	-15	-17	-18	-18	-16	-14	-14	-11
PAUCARANI	TACNA	-4.8	-4.6	-5.4	-7.4	-9.4	-10.1	-10.7	-11.2	-9.6	-8.5	-7.9	-6
UBINAS	MOQUEGUA	4.2	4.2	3.8	1.6	-0.2	-1.4	-1.6	-1	0.8	1.6	2	3.2
ICHUÑA	MOQUEGUA	3.5	3.5	3.5	0.1	-3.8	-5	-5.1	-4.5	-3	-1.2	0	3
PAMPA UMALZO	MOQUEGUA	-8.2	-6.3	-6.4	-8.5	-12.2	-13.8	-13.6	-14.2	-13.6	-12.6	-12.2	-10.2

FUENTE: SENAMHI , 2021

Anexo 3. Percentil 05 de la temperatura mínima de las estaciones consideradas para el análisis

ESTACION	DEPARTAMENTO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CAIRANI	TACNA	3.1	2.6	3.2	1.8	0.6	0.2	0.2	0.2	0.6	1.6	1.5	2.7
SUSAPAYA	TACNA	3	3	3	2	1	-1	-1	0	1.3	1	1	2.4
CHUAPALCA	TACNA	-9.8	-7	-9.5	-14.5	-19.4	-21.5	-20.9	-21	-20	-17.6	-18.5	-14
VILACOTA	TACNA	-10	-9	-9	-13	-16	-18	-19	-20	-17	-15	-15.2	-12
PAUCARANI	TACNA	-5.7	-5.7	-6.9	-8.6	-10.1	-11.2	-11.2	-11.8	-10	-9.2	-8.8	-6.6
UBINAS	MOQUEGUA	3.5	3.4	3	0.8	-1	-2	-2.4	-1.6	0	0.8	1.2	2.6
ICHUÑA	MOQUEGUA	2.6	3	2.8	-0.7	-4.5	-5.6	-5.8	-5.3	-3.6	-2.2	-1.1	2.5
PAMPA UMALZO	MOQUEGUA	-9.8	-7.4	-7.4	-9.5	-13.2	-14.8	-15.2	-15.8	-14.8	-14.4	-13.8	-11

FUENTE: SENAMHI , 2021

Anexo 4. Percentil 01 de la temperatura mínima de las estaciones consideradas para el análisis

ESTACION	DEPARTAMENTO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CAIRANI	TACNA	2.3	1.5	2.1	1.2	0	-0.1	0	-0.5	0.2	1	0.7	2.3
SUSAPAYA	TACNA	2	2	2	0.3	-1	-2.3	-2.4	-2.4	0.1	-0.3	0	1
CHUAPALCA	TACNA	-13.5	-9.3	-11	-17	-23.2	-24.7	-23.5	-24.5	-23.7	-20.3	-21.4	-18.2
VILACOTA	TACNA	-12	-10.2	-11	-15	-18	-20	-21	-22	-19	-16.4	-17	-13.2
PAUCARANI	TACNA	-7.2	-6.8	-9.3	-9.6	-11.4	-12.3	-13.3	-12.7	-11.3	-10.8	-9.8	-8.1
UBINAS	MOQUEGUA	2.4	2.6	1.6	-0.8	-2.6	-3	-3.3	-2.6	-1.2	0	0.4	1.6
ICHUÑA	MOQUEGUA	1.5	2	1.5	-2.2	-5.4	-6.6	-6.6	-6.3	-4.4	-3.5	-2.2	1.4
PAMPA UMALZO	MOQUEGUA	-11	-9.7	-10.4	-12.1	-15.1	-16.8	-18.4	-18	-17	-16.4	-16.2	-13

FUENTE: SENAMHI , 2021