

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



**“PRONÓSTICO DE FRIAJES, EMISIÓN DE AVISOS Y
VERIFICACIÓN EN LA DIRECCIÓN ZONAL 12 SENAMHI”**

Trabajo de Suficiencia Profesional para Optar el Título de:

INGENIERO METEORÓLOGO

GABRIEL LEVÍ CARO-SÁNCHEZ GAGO

Lima – Perú

2023

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

Document Information

Analyzed document	TSP_FINAL_GABRIEL LEVI CARO - SANCHEZ GAGO.docx (D159442544)
Submitted	2023-02-24 18:12:00
Submitted by	Weidi Flores Villanueva
Submitter email	wflores@lamolina.edu.pe
Similarity	2%
Analysis address	wflores.unalm@analysis.arkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://www.senamhi.gob.pe/?p=heladas-y-frijes-preguntas Fetched: 2019-09-27 11:33:00	 4
SA	Universidad Nacional Agraria La Molina / Trabajo de investigación - Osnayo 2022 II.pdf Document Trabajo de investigación - Osnayo 2022 II.pdf (D154826435) Submitted by: ecisneros@lamolina.edu.pe Receiver: ecisneros.unalm@analysis.arkund.com	 1
SA	Universidad Nacional Agraria La Molina / TSP _Monografía_Carlos Yshida versión final.docx Document TSP _Monografía_Carlos Yshida versión final.docx (D148056557) Submitted by: ecisneros@lamolina.edu.pe Receiver: ecisneros.unalm@analysis.arkund.com	 2
SA	Universidad Nacional Agraria La Molina / TSP -FELICIANO CABEZAS G 14 OCT-LINEAS-DE-CCTE.docx Document TSP -FELICIANO CABEZAS G 14 OCT-LINEAS-DE-CCTE.docx (D146904753) Submitted by: funsihuayt@lamolina.edu.pe Receiver: funsihuayt.unalm@analysis.arkund.com	 2

Entire Document

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE CIENCIAS

“PRONÓSTICO DE FRIAJES, EMISIÓN DE AVISOS Y VERIFICACIÓN EN LA DIRECCIÓN ZONAL 12 SENAMHI”

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título de:

INGENIERO METEORÓLOGO

GABRIEL LEVÍ CARO-SÁNCHEZ GAGO

Lima – Perú 2022

“Pronóstico de friajes, emisión de avisos y verificación en la dirección zonal 12 SENAMHI”

DEDICATORIA A mi familia por el amor que me brindan, el constante apoyo y motivación para seguir adelante en mis sueños y objetivos de vida.

AGRADECIMIENTOS Al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) por permitirme desarrollar mis capacidades como profesional en meteorología.

A los profesores que me guiaron y corrigieron para la elaboración del presente trabajo.

A mis compañeros de trabajo de la dirección zonal 12 de SENAMHI, por el apoyo y los buenos deseos para culminar de manera satisfactoria y obtener mi título profesional

ÍNDICE GENERAL RESUMEN vii

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS

**“PRONÓSTICO DE FRIAJES, EMISIÓN DE AVISOS Y
VERIFICACIÓN EN LA DIRECCIÓN ZONAL 12 SENAMHI”**

Trabajo de Suficiencia Profesional para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO METEORÓLOGO

Presentada por:

GABRIEL LEVÍ CARO-SÁNCHEZ GAGO

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

Dr. Alexis Nicolás Ibáñez Blancas
PRESIDENTE

Maestro Oscar Enrique Tang Cruz
MIEMBRO

Mg. Sc. Julio Alfonso Arakaki Kiyán
MIEMBRO

Mg. Sc. Weidi Flores Villanueva
ASESOR

DEDICATORIA

A mi familia por el amor que me brindan, el constante apoyo y motivación para seguir adelante en mis sueños y objetivos de vida.

AGRADECIMIENTOS

Al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) por permitirme desarrollar mis capacidades como profesional en meteorología.

A los profesores que me guiaron y corrigieron para la elaboración del presente trabajo.

A mis compañeros de trabajo de la dirección zonal 12 de SENAMHI, por el apoyo y los buenos deseos para culminar de manera satisfactoria y obtener mi título profesional

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	vi
ABSTRACT	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problemática:	1
1.2. Objetivos:	2
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Anticiclón del Pacífico Sur Oriental (APSO).....	3
2.2. Friaje3	
2.2.1. Modelo conceptual de un friaje.....	4
2.3. Avisos meteorológicos	5
2.3.1. Emisión de avisos meteorológicos (SENAMHI 2021)	6
2.3.2. Los niveles de avisos	6
2.3.3. Umbrales para los niveles de avisos según el evento o fenómeno meteorológico	7
2.3.3.1. Umbrales de peligro para precipitaciones (incluye lluvia y llovizna).....	7
2.3.3.2. Umbrales de peligro para Friaje	7
2.3.4. Difusión de los avisos.....	8
2.3.5. Verificación de los avisos de friajes.....	8
III. DESARROLLO DEL TRABAJO	12
3.1. Análisis de datos, imágenes de satélite y modelos numéricos para el pronóstico de friaje.....	13
3.1.1. Análisis de imágenes de satélite.....	14
3.1.1.1. Análisis de vapor de agua	14
3.1.1.2. Análisis de imágenes visibles	15

3.1.1.3. Análisis de imagen infrarroja.....	16
3.1.2. Análisis de modelos numéricos.....	17
3.1.2.1. Análisis isobárico en niveles altos y medios.....	17
3.1.2.2. Análisis isobárico en niveles bajos.....	19
3.1.2.3. Cortes transversales	22
3.1.2.4. Análisis isentrópico	23
3.2. Elaboración de los avisos.	24
3.3. Emisión de los avisos	26
3.4. Verificación de avisos.	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1. Pronóstico de friajes y emisión de avisos.....	29
4.1.1. Análisis y pronóstico	29
4.1.2. Emisión de avisos.....	30
4.2. Verificación de los avisos.....	31
V. CONCLUSIONES	34
VI. RECOMENDACIONES	35
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36
VIII. ANEXOS.....	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01: Niveles de peligro de eventos meteorológicos adversos.	7
Tabla 02: Niveles de peligro de precipitaciones, según percentiles	7
Tabla 03: Niveles de peligro de friajes, según percentiles	7
Tabla 04: Algunos tipos de pronóstico y sus métodos potenciales de verificación.....	9
Tabla 05: Estructura de tabla de contingencia para la verificación de pronósticos determinísticos.....	9
Tabla 06: Resultados de las pruebas estadísticas del aviso 096	27
Tabla 07: Avisos de lluvias	32
Tabla 08: Avisos de friajes.....	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Patrones sinópticos en alta atmósfera para la formación de un friaje	4
Figura 02. Patrones sinópticos en baja atmósfera para la formación de un friaje	5
Figura 03. Flujograma para considerar si un evento es considerado friaje o no.	12
Figura 04. Resumen de condiciones meteorológicas durante 24 horas.	13
Figura 05. Reporte de registros de las estaciones en la DZ12	13
Figura 06. Imágenes de vapor de agua a niveles medios (Canal 9) del GOES 16	14
Figura 07. Imágenes visibles (Canal 1) del GOES 16	15
Figura 08. Imágenes infrarrojas (Canal 13) del GOES 16	16
Figura 09. Líneas de corriente en 200 hPa	17
Figura 10. Vorticidad relativa y viento en 200 hPa	18
Figura 11. Corriente en chorro en 200 hPa	18
Figura 12. Líneas de corriente en 500 hPa	19
Figura 13. Líneas de corriente en 925 hPa	20
FUENTE: Modelo ETA-SENAMHI	20
Figura 15. Jet de bajos niveles en 925 hPa.....	21
Figura 16. Temperatura de rocío a nivel de 975 hPa	21
Figura 17. Presión en superficie	22
Figura 18. Corte transversal a 30°S, para observar el chorro y la vorticidad relativa.....	22
Figura 19. Corte transversal a 30°S, para observar el chorro y la vorticidad relativa.....	23
Figura 20. Temperatura del aire en coordenadas isentrópicas 303°K	24
Figura 21. Elaboración de los avisos en la DZ12, usando el software QGIS 2.18.....	25
Figura 22. Modelo de aviso de lluvias emitido en la DZ12	26
Figura 23. Modelo de aviso de friaje emitido en la DZ12	26
Figura 24. Avisos emitidos durante los años 2015 a 2019, según nivel de peligro.....	30

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Cuadro de percentiles de temperatura mínima de las estaciones consideradas.	38
Anexo 2. Cuadro de los percentiles de precipitaciones de las estaciones consideradas.	39

RESUMEN

En el presente Trabajo de Suficiencia Profesional (TSP) se describe el análisis y metodología que se sigue para el pronóstico de friajes y la lluvia asociada, así como, la emisión de los avisos meteorológicos en la dirección zonal 12 de SENAMHI. Se menciona el reconocimiento de ciertos patrones sinópticos característicos en la generación de dicho evento, tales como, la alta migratoria, la vaguada a niveles medios, el jet de bajos niveles, la baja de bloqueo, etc. Para ello se hace uso de imágenes satelitales y el análisis de modelos atmosféricos como el GFS y el ETA-SENAMHI. De acuerdo al protocolo de avisos del SENAMHI, se tiene en consideración emitir un aviso meteorológico de descenso de temperatura mínima (friaje) cuando esta variable alcanza el percentil 10 y un aviso de lluvias cuando esta variable alcanza al percentil 90, para ello se tienen los percentiles mensuales para las estaciones de la selva correspondiente a la dirección zonal 12. Se describe el método a seguir para la emisión de avisos meteorológicos y las coordinaciones que se llevan con las entidades involucradas en la gestión de riesgos de desastres para la prevención de los efectos que los eventos meteorológicos puedan causar. Finalmente se evalúa la eficacia de los avisos mediante la obtención de los estadísticos PD, PFA y CSI, para conocer donde se tiene un mejor acierto respecto al pronóstico de los avisos meteorológicos emitidos. Estos resultados nos ayudarán a determinar que eventos necesitan un mejor análisis a la hora de emitir los avisos meteorológicos.

Palabras clave: Aviso meteorológico, friaje, alta migratoria, eficacia.

ABSTRACT

In this Professional Sufficiency Work (TSP) the analysis and methodology followed for the forecast of “frijas” and associated rain are described, as well as the issuance of meteorological warnings in the zonal address 12 of SENAMHI. The recognition of certain synoptic patterns characteristic in the generation of said event is mentioned, such as the migratory high, the trough at medium levels, the low-level jet, the blocking low, etc. For this purpose, satellite images and the analysis of atmospheric models such as the GFS and the ETA-SENAMHI are used. According to the SENAMHI warning protocol, it is considered to issue a meteorological warning of drop in minimum temperature (“frijas”) when this variable reaches the 10th percentile and a rain warning when this variable reaches the 90th percentile; for this the monthly percentiles for the rainforest stations corresponding to the zonal address 12 are set. The method to be followed for the issuance of meteorological warnings and the coordination carried out with the entities involved in disaster risk management for the prevention of the effects that weather events may cause are described. Finally, the effectiveness of the warnings is evaluated by obtaining the PD, PFA and CSI statistics, to know where there is a better success regarding the forecast of the weather warnings issued. These results will help us determine which events need better analysis when issuing weather warnings.

Keywords: Meteorological warning, “frijas”, migratory high, effective.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Problemática:

Dentro de los eventos meteorológicos que se presentan en la amazonia peruana, unos de los más importantes son las caídas bruscas de temperatura, principalmente en el periodo de invierno, donde la temperatura del aire sufre caídas significativas (llegando a 10°C o menor). Estos eventos suelen generar impactos en los diferentes cultivos sensibles a estos cambios bruscos de temperatura (como pueden ser plátano, café, castañas, etc.) en especial cuando se encuentran en periodo de floración, así también el impacto en la salud de la población. Las caídas bruscas de temperatura están asociadas al fenómeno conocido como “Friaje”.

El friaje inicia con lluvias de moderada a fuerte intensidad, tormentas eléctricas y viento que se desplaza de sur a norte, asociado a esto se da una disminución de la temperatura durante el día, generando una caída de la temperatura máxima de hasta 10°C.

Luego esta lluvia va avanzando hacia el norte, dejando el cielo con escasa nubosidad y despejado en la selva sur con presencia de aire frío que hace que la temperatura descienda bruscamente en pocas horas. Este descenso de temperatura afecta más a localidades de selva baja a diferencia de la selva alta.

Los impactos que tiene este evento meteorológico son diversos, desde la proliferación de plagas debido a condiciones favorables por la humedad que deja la lluvia, vientos fuertes provocan caídas de plantas, así mismo, posible afectaciones a viviendas que no cuentan con material noble, el descenso de temperatura afecta a cultivos que pueden encontrarse en etapa de floración, este descenso también provoca un incremento en enfermedades respiratorias debido a que el ser humano se encuentra en un cambio brusco de las condiciones atmosféricas.

Debido a todos los impactos mencionados es que es necesaria la alerta de este tipo de eventos por medio de los avisos meteorológicos a nivel regional emitidos por la dirección zonal 12 de SENAMHI. Así como la rápida difusión de este aviso a las autoridades competentes, el COER, municipios y público en general.

1.2. Objetivos:

1.2.1. Objetivo general

- Describir el análisis que se realiza para el pronóstico de friajes y eventos asociados, la elaboración de los avisos regionales, su difusión y la verificación durante el año 2021.

1.2.2. Objetivos específicos

- Explicar el análisis para el pronóstico de friajes en la dirección zonal 12 de SENAMHI durante el año 2021.
- Describir la elaboración y difusión de los avisos en la dirección zonal 12 de SENAMHI durante el año 2021.
- Verificar los avisos emitidos sobre friajes en la dirección zonal 12 de SENAMHI durante el año 2021.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Anticiclón del Pacífico Sur Oriental (APSO)

Es un centro de alta presión que domina las características sinópticas sobre el este del Pacífico Sur, la presión promedio va entre 1020-2026 hPa como escala mensual, sin embargo, como escala sinóptica podría alcanzar los 1040 hPa o más.

El APSO es un sistema de núcleo cálido que estacionalmente sigue el movimiento aparente del sol de norte a sur (viceversa) mostrando valores máximos para los meses de primavera ubicándose ligeramente al sur de los 30°S y paulatinamente desplazándose hacia los 35°S hacia finales de primavera entrando al verano y nuevamente emprender rumbo al norte para los meses invernales siendo estos meses en los que el núcleo del APSO es más débil. El APSO modula el viento en superficie y define las condiciones del tiempo en la costa oeste de Sudamérica, de acuerdo a las características de transporte de propiedades ésta genere. Durante los meses de mayo a setiembre, se tiene de forma más recurrente el traslado de este sistema hacia el continente sudamericano, esta configuración se conoce como “Alta Migratoria” que provoca un ingreso de masa de aire fría de la región polar hacia el trópico.

2.2. Friaje

Según Marengo (1984) El Friaje o “Friagem” es definido como un frente frío que avanza sobre la Amazonía Central en la época de menor precipitación. Esta incursión de masa de aire polar genera que la temperatura del aire descienda en horas, en 10°C o 20°C, hasta valores de 10°C o 5°C, que son extremadamente bajos para los trópicos; así mismo, produce incremento de la nubosidad del tipo estratiforme previo a su ingreso y vientos de alta velocidad. Los eventos de bajas temperaturas y fuertes vientos tienen efecto sobre las actividades agrícolas y silvicultura de la zona.

El SENAMHI (2021) define al friaje como un evento meteorológico que se origina por la invasión de una masa de aire, fría y seca, proveniente de la región polar hacia la región tropical. Esta masa de aire, generalmente, ingresa a la Amazonía peruana por la selva sur y se desplaza progresivamente por la selva central y selva norte.

Menciona que este evento origina diferentes fenómenos meteorológicos como el incremento del viento del sur, lluvia de moderada a fuerte intensidad acompañada de descargas eléctricas y la caída significativa de la temperatura. Posterior a los fenómenos mencionados, durante 3 a 7 días, la región presenta cielo despejado en gran parte del día y niebla o neblina en las primeras horas de la mañana, con sensación de frío intenso.

2.2.1. Modelo conceptual de un friaje

Quispe (2006) genera un modelo conceptual sobre la ocurrencia de los friajes. Divide el análisis en dos partes, la primera supone el comportamiento de las condiciones atmosféricas en la alta tropósfera y la segunda parte describe el comportamiento en la baja tropósfera.

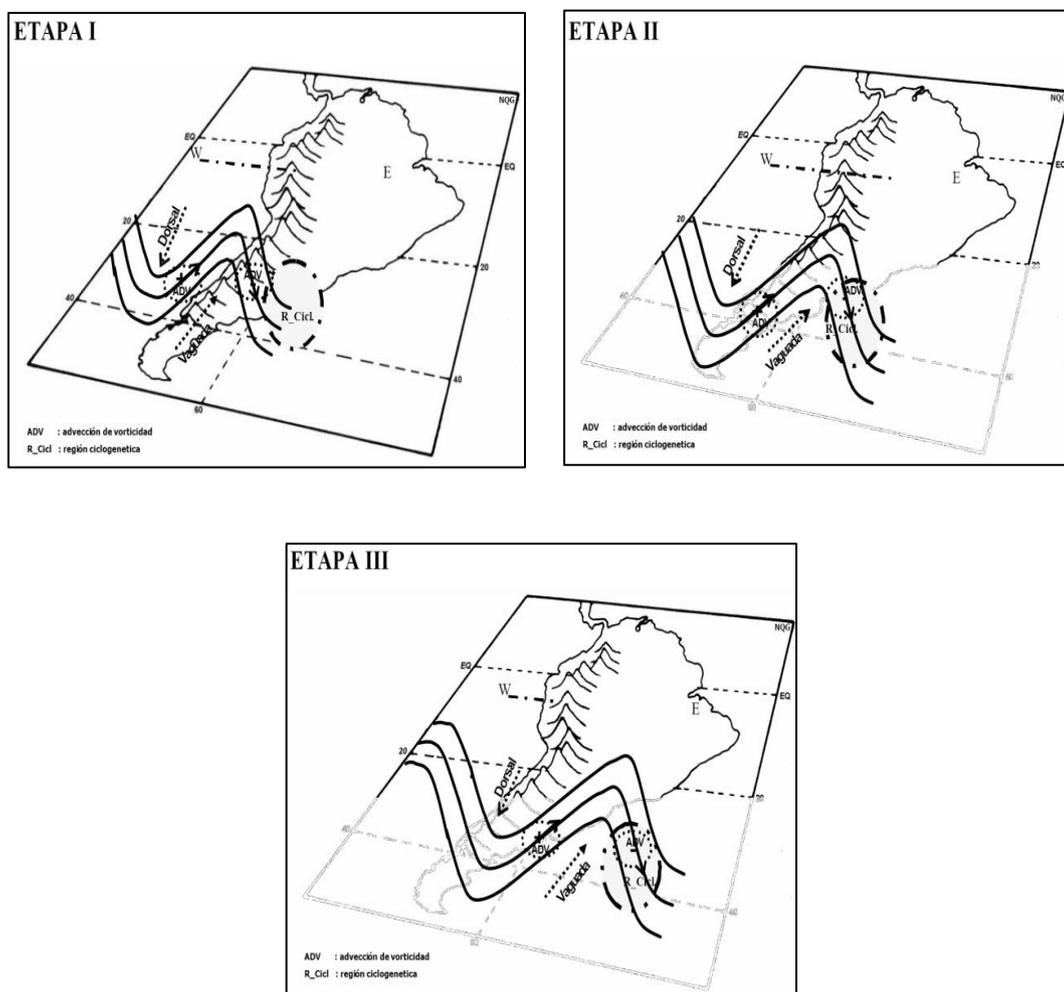


Figura 01. Patrones sinópticos en alta atmósfera para la formación de un friaje
FUENTE: Quispe (2006)

En la alta tropósfera las condiciones favorables para la presencia de un friaje, están asociadas principalmente a una a la formación de una vaguada que genere flujos meridionales sobre el

continente, propiciando condiciones de intercambio entre la zona tropical y extratropical. Así mismo el desplazamiento de la vaguada hacia el este advecta vorticidad negativa (cyclónica) fortaleciendo a la baja de bloqueo que se forma en el atlántico y permite la continuidad del alta migratoria sobre el continente.

En niveles bajos, las condiciones se encuentran asociadas principalmente a la incursión de una alta migratoria sobre el continente con valores de presión por encima de 1023 hPa., sobre el centro-norte de Argentina, así mismo, la formación de un jet del sur a nivel de 925 hPa que incrementa la probabilidad para la formación del friaje.

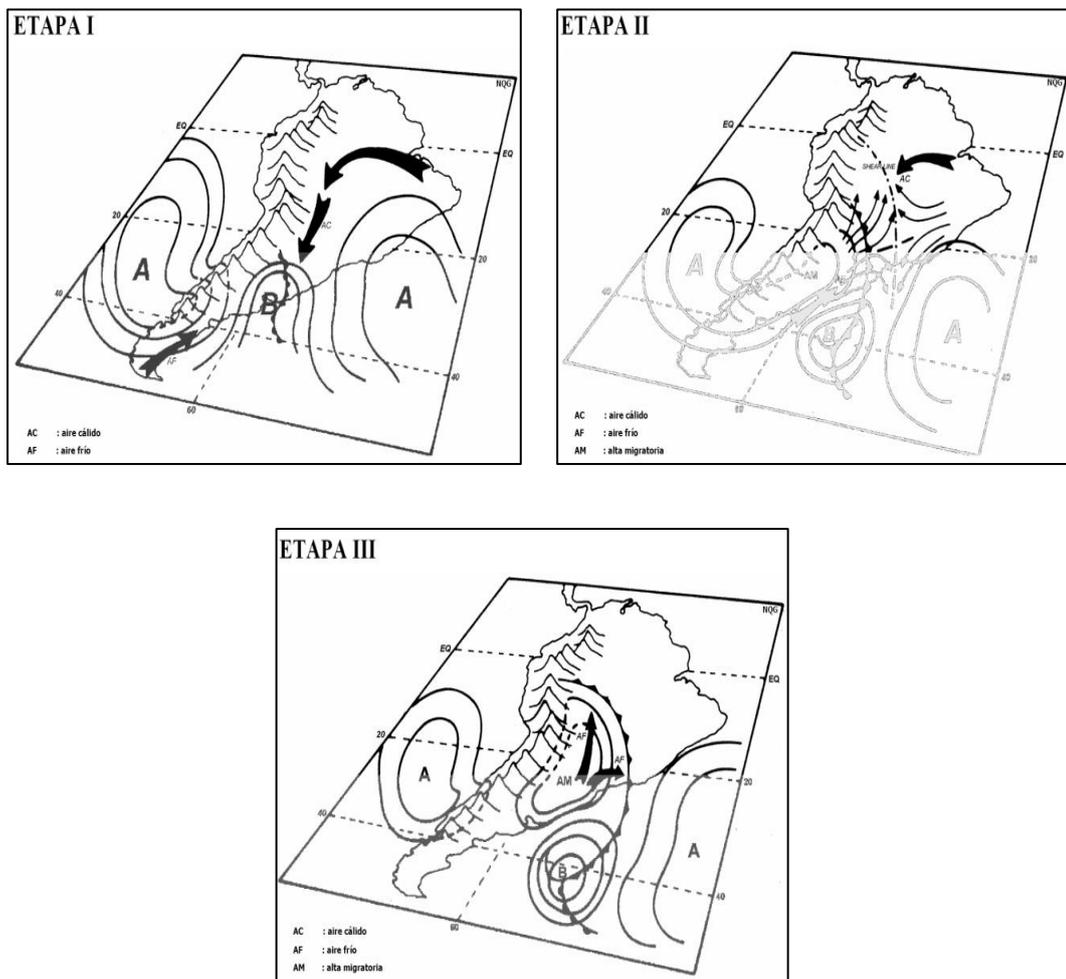


Figura 02. Patrones sinópticos en baja atmósfera para la formación de un friaje
FUENTE: Quispe (2006)

2.3. 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, que fue publicado mediante la Resolución Ministerial N°049-2020-PCM de 13 de febrero del 2020. (SENAMHI, 2020)

2.3.1. Emisión de avisos meteorológicos (SENAMHI 2021)

El aviso meteorológico deberá publicarse con 24 horas de anticipación al inicio del evento adverso.

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 extendido, finalizado o cancelado; siempre y cuando, sea con 24 horas de anticipación del inicio del periodo del evento. Además, el aviso meteorológico podrá ser actualizado, con 24 horas de anticipación del inicio del periodo del evento; siempre que el área a modificar involucre como mínimo a dos DZ.

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 4 días de duración (96 horas), considerando un mapa por día de aviso.

2.3.2. Los niveles de 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. Es así que los niveles son los siguientes:

Tabla 01: Niveles de peligro de eventos meteorológicos adversos.

Nivel de peligro	Descripción del nivel	Recomendaciones
Blanco	Sin fenómenos meteorológicos peligrosos.	No es necesario tomar precauciones especiales.
Amarillo	Pueden ocurrir fenómenos meteorológicos peligrosos que, sin embargo, son normales en esta 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.
Naranja	Se predicen fenómenos meteorológicos peligrosos.	Manténgase al corriente del desarrollo de la situación y cumpla los consejos e instrucciones dados por las autoridades.
Rojo	Se predicen fenómenos meteorológicos de gran magnitud.	Sea extremadamente precavido. Esté al corriente en todo momento del desarrollo de la situación y cumpla los consejos e instrucciones dados por las autoridades.

FUENTE: Protocolo de elaboración de avisos del SENAMHI (2020)

2.3.3. Umbrales para los niveles de avisos según el evento o fenómeno meteorológico

Consideramos dos eventos principales asociados al friaje. Las precipitaciones y el descenso de temperatura (propriadamente friaje).

2.3.3.1. Umbrales de peligro para precipitaciones (incluye lluvia y llovizna)

Para la determinación de los umbrales de los avisos de precipitaciones (incluye avisos de lluvia y llovizna), se opta por considerar los percentiles de los acumulados de precipitación diarios:

Tabla 02: Niveles de peligro de precipitaciones, según percentiles

Tipo	Acumulado de precipitaciones en 24 horas (mm)		
Nivel	Amarillo	Naranja	Rojo
Rango	p90<PP≤p95	p95<PP≤p99	p99<PP

FUENTE: Protocolo de elaboración de avisos del SENAMHI (2020)

2.3.3.2. Umbrales de peligro para Friaje

Para determinar los umbrales de un friaje se considerarán los siguientes percentiles de temperatura mínima:

Tabla 03: Niveles de peligro de friajes, según percentiles

Tipo	Temperatura mínima (°C)		
Nivel	Amarillo	Naranja	Rojo
Rango	p10>TN≥p05	p05>TN≥p01	p01>TN

FUENTE: Protocolo de elaboración de avisos del SENAMHI (2020)

2.3.4. Difusión de los avisos

La información se distribuye directamente a diversos organismos e instituciones del SINAGERD (la dirección zonal 12 transmite la información a los diferentes COER y COEL, correspondientes a las zonas afectadas) así como a los distintos medios de comunicación. Así mismo, se difunde al público en general a través de la página web institucional del SENAMHI y sus redes sociales.

Los requerimientos para la elaboración de avisos meteorológicos

- Sistemas de observación operativos (Información satelital, estaciones meteorológicas, etc.)
- Sistemas de comunicación operativos (Intranet, internet, plataforma de videoconferencia, telefonía móvil y fija)
- Análisis de las condiciones observadas y pronosticadas.
- Modelos de pronósticos operativos (ETA-SENAMHI, WRF, GFS, ECMWF, etc.).
- Software para la visualización de modelos numéricos.
- Registro de fenómenos meteorológicos adversos
- Umbrales de variables meteorológicas
- Notas técnicas
- Sistema de Información Geográfica (SIG).

2.3.5. Verificación de los avisos de friajes.

La verificación de pronósticos es el proceso y la práctica para determinar la calidad de las previsiones, y representa un componente esencial de cualquier sistema de predicción científica. De tal manera que, la verificación de pronósticos sirve para muchos propósitos importantes. Entre éstos se incluyen, la evaluación del estado de arte de pronósticos meteorológicos y climáticos, las tendencias más recientes en calidad de previsión, y, por último, los propios pronósticos, así como proporcionar a los usuarios la información necesaria para hacer un uso eficaz de la previsión (Murphy and Winkler 1987). De acuerdo a la Organización Meteorológica Mundial, las razones más importantes para verificar pronósticos son: monitorear la calidad de previsión, mejorar la calidad de previsión y comparar la calidad de diferentes sistemas o modelos de pronóstico.

Hay muchos tipos de pronósticos, para cada uno de éstos aplican diferentes métodos de verificación.

Tabla 04: Algunos tipos de pronóstico y sus métodos potenciales de verificación.

Tipo de pronóstico	Ejemplo	Métodos de verificación
Determinístico o de respuesta única	Pronóstico cuantitativo de precipitación, velocidad de viento, etc.	Visual, dicotómico, multicategoría, continuo, espacial.
Probabilístico	Probabilidad de precipitación o granizo, tornado, etc.	Visual, probabilístico, por conjuntos.
Cualitativo	Perspectiva de génesis de un ciclón tropical.	Visual, dicotómico, multicategoría.

FUENTE: Davydova-Belitskaya et al. (2016)

Puesto que los eventos que se evalúan son finalmente dicotómicos: SI/NO aviso, el procedimiento de verificación descansa sobre la evaluación de tablas de contingencias y de algunos indicadores de calidad.

Para calcular los índices de interés se requiere organizar la información pronosticada y observada mediante frecuencias absolutas agrupadas en forma de tabla de contingencia como se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 05: Estructura de tabla de contingencia para la verificación de pronósticos determinísticos.

		OBSERVADO		TOTAL
		SI	NO	
PRONOSTICADO	SI	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a + b</i>
	NO	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>c + d</i>
		<i>a + c</i>	<i>b + d</i>	<i>n = a + b + c + d</i>

FUENTE: Davydova-Belitskaya et al. (2016)

Donde:

- *a* es un evento observado y pronosticado, también conocido como “aciertos”,
- *b* es un evento no observado pero pronosticado o un evento tipo “falsa alarma”,
- *c* es un evento observado, pero no pronosticado, es decir un evento “perdido” o error,
- *d* es un evento no observado y no pronosticado o un evento “negativo correcto”.

A partir de estos valores (a, b, c y d) se pueden calcular los siguientes índices para evaluar la calidad de pronósticos categóricos.

Emplearemos los índices PD, PFA y CSI. Son adecuados para realizar estadísticas cuando cada una de las predicciones se evalúan de forma categórica, como buenas o malas. La definición de estos índices es la siguiente:

El coeficiente PD (Panofsky y Brier, 1965), es la probabilidad de detección (ecuación 1). Se calcula realizando el cociente entre los avisos que han sido correctamente previstos (a) y el número total de avisos observados (tanto los que habían sido previstos “a”, como los que no lo habían sido, “c”):

$$PD = \frac{a}{a+c} \quad (1)$$

Evalúa la fracción de eventos pronosticados correctamente. Sin embargo, ignora las falsas alarmas es por eso que debe utilizarse junto con la proporción de falsas alarmas. Varía entre 0 a 1 con un valor de 1 como puntuación perfecta.

La PFA es la probabilidad de falsas alarmas (ecuación 2), utilizando el acrónimo usado 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 (b) y el número total de avisos emitidos (tanto los mal previstos, b, como los bien previstos, a):

$$PFA = \frac{b}{b+a} \quad (2)$$

Indica cuales eventos en realidad no ocurrieron, es sensible a las falsas alarmas y para una mejor interpretación debe usarse junto con la probabilidad de detección. Fluctúa entre 0 a 1, con 0 como puntuación perfecta.

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 (ecuación 3). El CSI se puede calcular a partir de los anteriores con la siguiente fórmula, fácilmente deducible:

$$CSI = \frac{a}{a+b+c} = \frac{PD(1-PFA)}{1+PFA(PD-1)} \quad (3)$$

Este índice no distingue la fuente del error de pronóstico. Depende de la frecuencia climatológica de los eventos (puntuaciones más bajas para los eventos más raros), ya que algunos impactos pueden ocurrir simplemente debido al azar. Varía 0 a 1, 0 indica que no hay habilidad y 1 puntuación perfecta.

III. DESARROLLO DEL TRABAJO

El trabajo de suficiencia profesional se centra en la experiencia como analista meteorológico de la dirección zonal 12 de SENAMHI, que geográficamente corresponde a las regiones de Apurímac, Cusco y Madre de Dios. El evento a analizar son los friajes acontecidos en el año 2021.

Los criterios para la consideración de un friaje se dan a continuación:

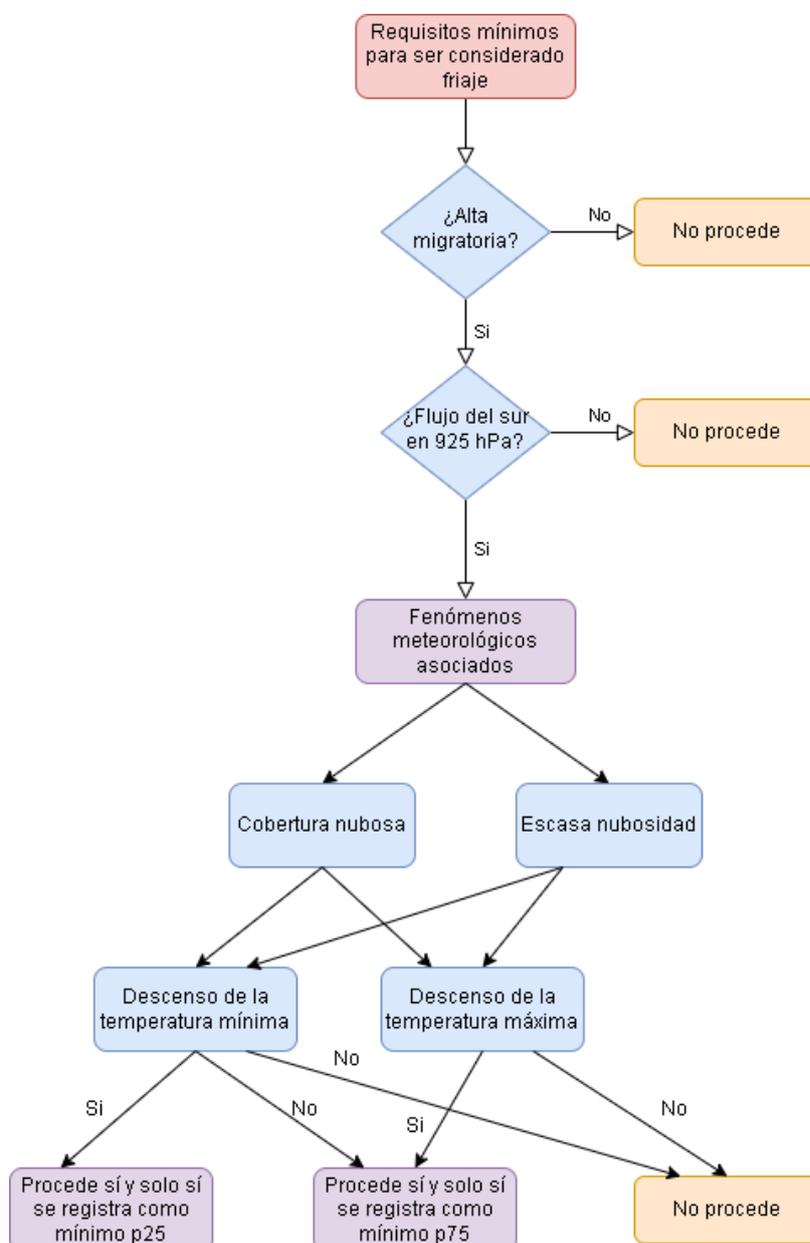


Figura 03. Flujograma para considerar si un evento es considerado friaje o no.

3.1. Análisis de datos, imágenes de satélite y modelos numéricos para el pronóstico de friaje.

La dirección zonal 12 de SENAMHI genera un reporte diario del monitoreo de los datos correspondientes a las estaciones que se encuentran en la jurisdicción.



Figura 04. Resumen de condiciones meteorológicas durante 24 horas.
FUENTE: SENAMHI DZ12

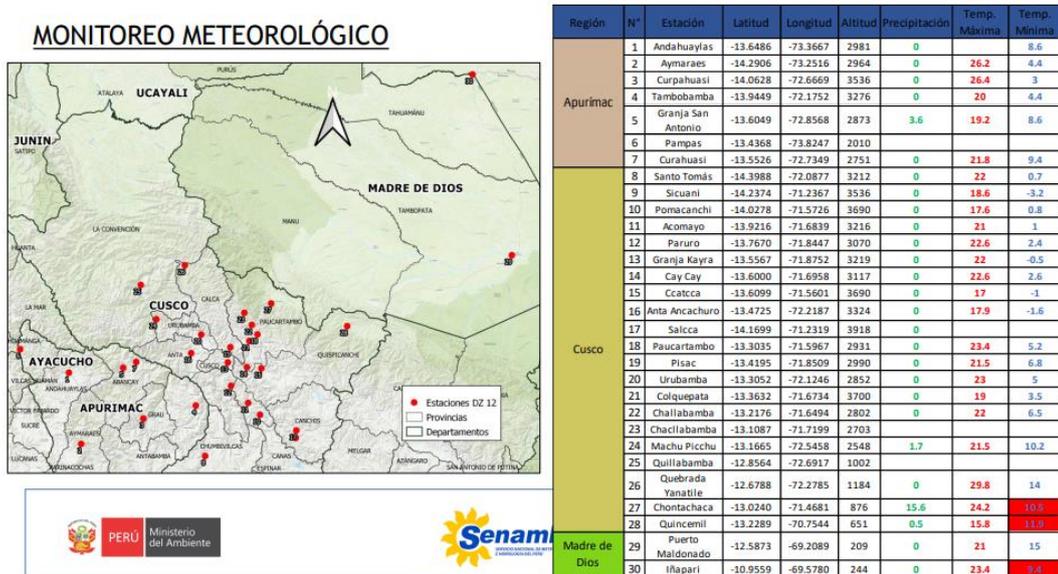


Figura 05. Reporte de registros de las estaciones en la DZ12
FUENTE: SENAMHI DZ12

En este monitoreo diario se reportan las condiciones del tiempo y se caracterizan en función a los percentiles de las variables precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima.

En este ejemplo se observan 3 estaciones (Chontachaca y Quincemil en Cusco, Iñapari en Madre de Dios) que tuvieron un descenso de la temperatura mínima llegando a nivel rojo (por debajo del percentil 1).

3.1.1. Análisis de imágenes de satélite.

3.1.1.1. Análisis de vapor de agua

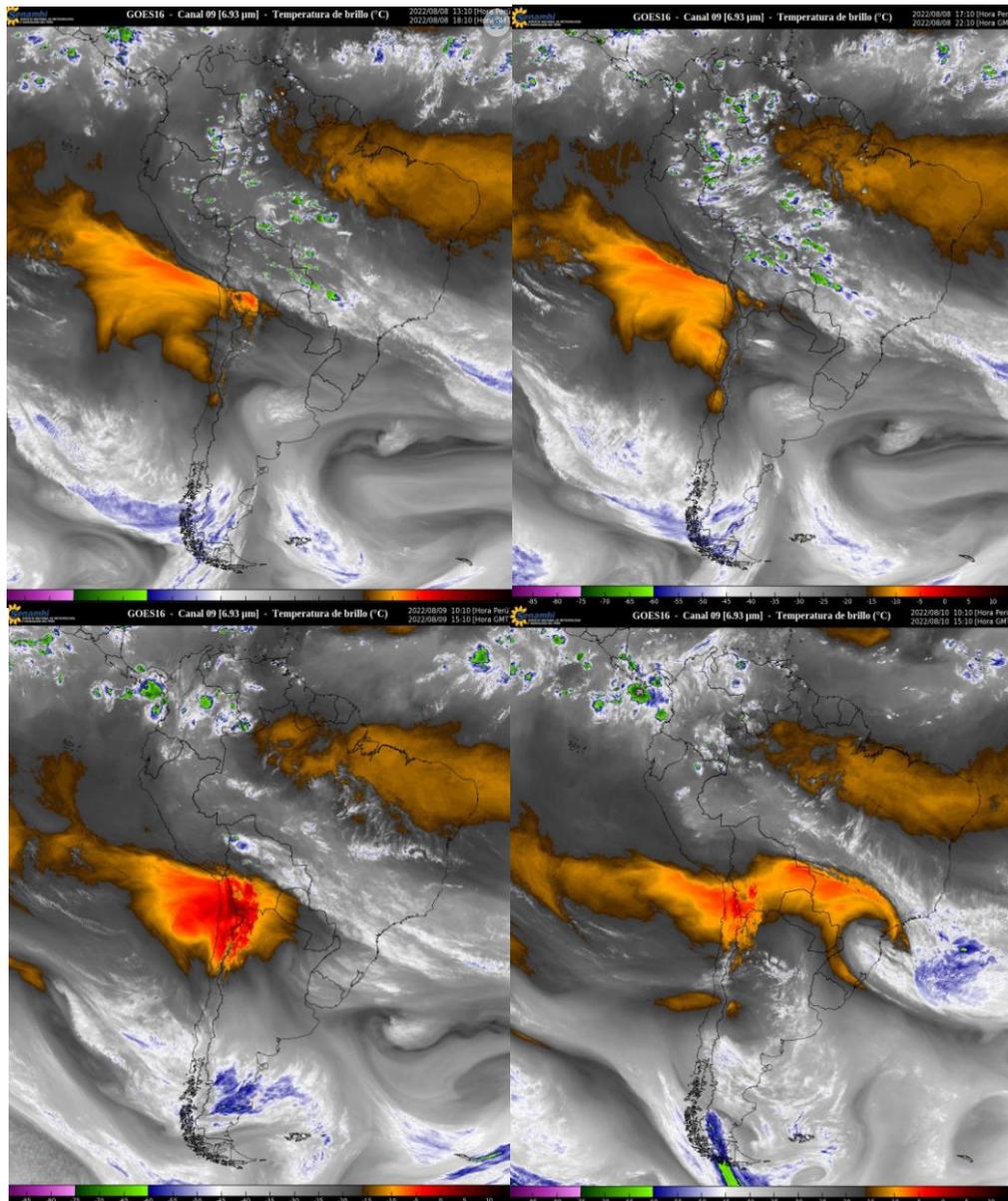


Figura 06. Imágenes de vapor de agua a niveles medios (Canal 9) del GOES 16
FUENTE: SENAMHI

En la figura 6 podemos observar el contraste entre la masa de aire húmeda y la masa de aire seco que ingresa hacia la amazonia y permite el descenso de temperatura (friaje). Las imágenes de vapor de agua también nos apoyan en la observación del ingreso de la vaguada

sobre argentina que apoya la formación de la baja al este de Brasil que servirá como un bloqueo (“baja de bloqueo”) para que la “Alta migratoria” permanezca en continente sudamericano advectando aire frío hacia la amazonia.

3.1.1.2. Análisis de imágenes visibles

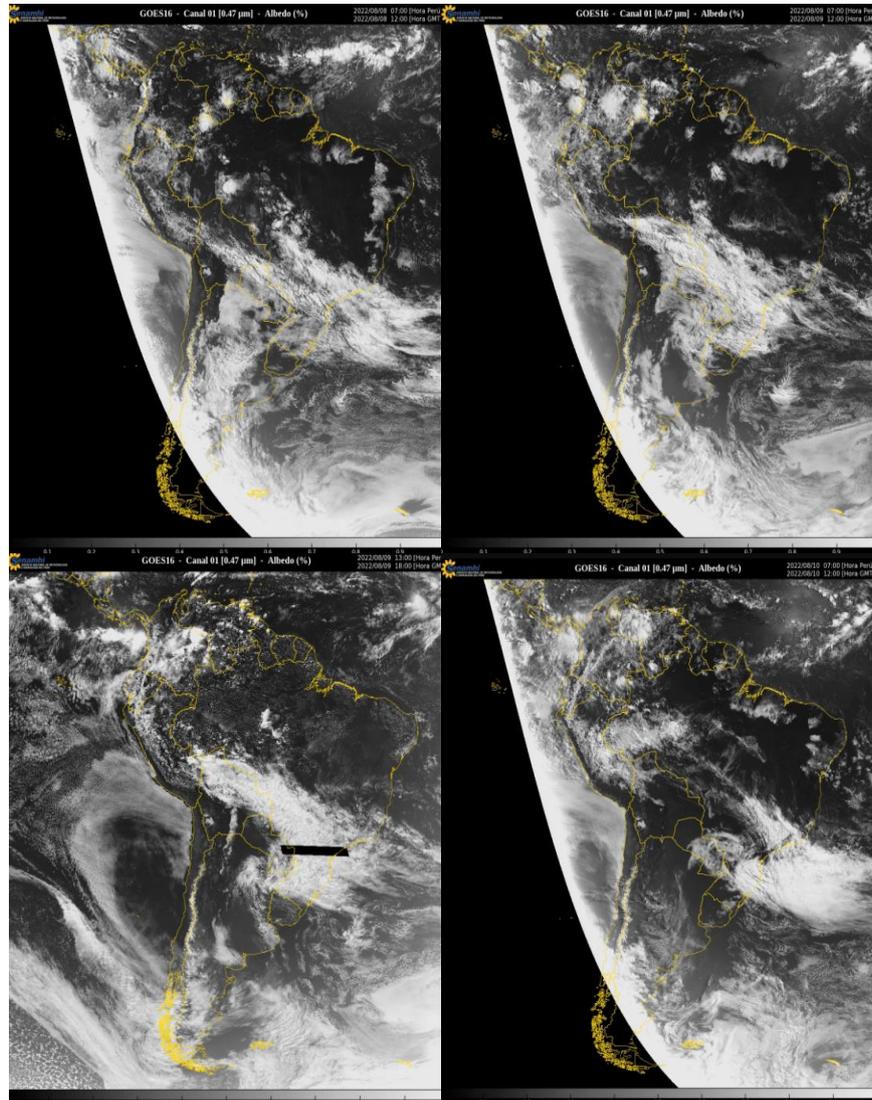


Figura 07. Imágenes visibles (Canal 1) del GOES 16
FUENTE: SENAMHI

La figura 7 muestra imágenes visibles que nos permiten monitorear la trayectoria del friaje, es una de las herramientas mas importantes. Se puede distinguir facilmente la banda nubosa del frente frío que se forma por la convergencia de los vientos frío del sur y el aire cálido en la zona amazónica, este ingreso de nubosidad genera descenso de temperatura diurna, lluvias y vientos fuertes.

3.1.1.3. Análisis de imagen infrarroja

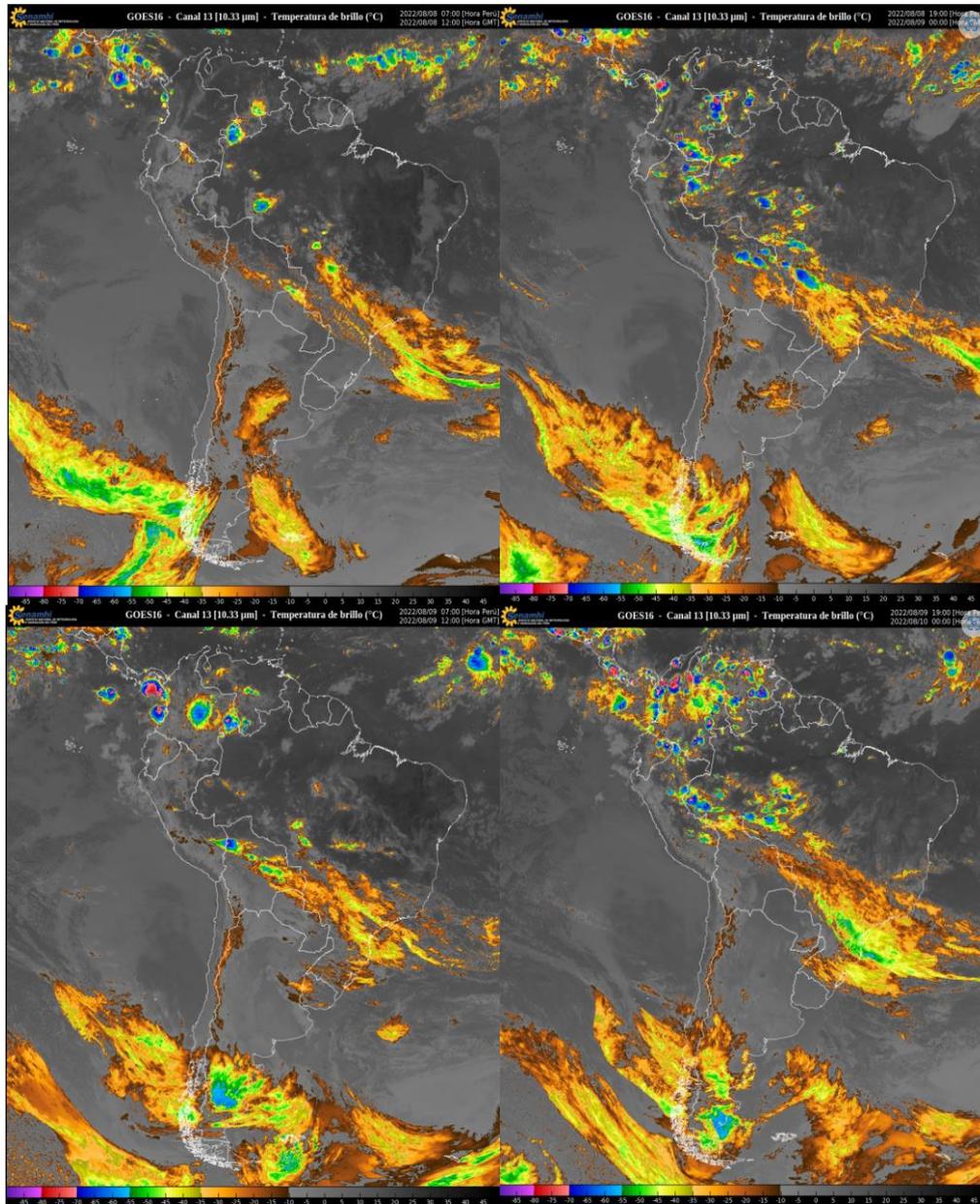


Figura 08. Imágenes infrarrojas (Canal 13) del GOES 16
FUENTE: SENAMHI

La figura 8 son de imágenes infrarrojas que apoyan en la visualización de los convectivos que se forma previo al ingreso de friaje, puede visualizarse por los topes fríos de las nubes que se forman delante del frente frío, las que generan lluvias y vientos fuertes en la selva peruana. Las nubes de tormenta generalmente se distribuyen en gran parte de la región Madre de Dios, por lo que el monitoreo constante es importante.

3.1.2. Análisis de modelos numéricos

3.1.2.1. Análisis isobárico en niveles altos y medios

a. Líneas de corriente 200 hPa

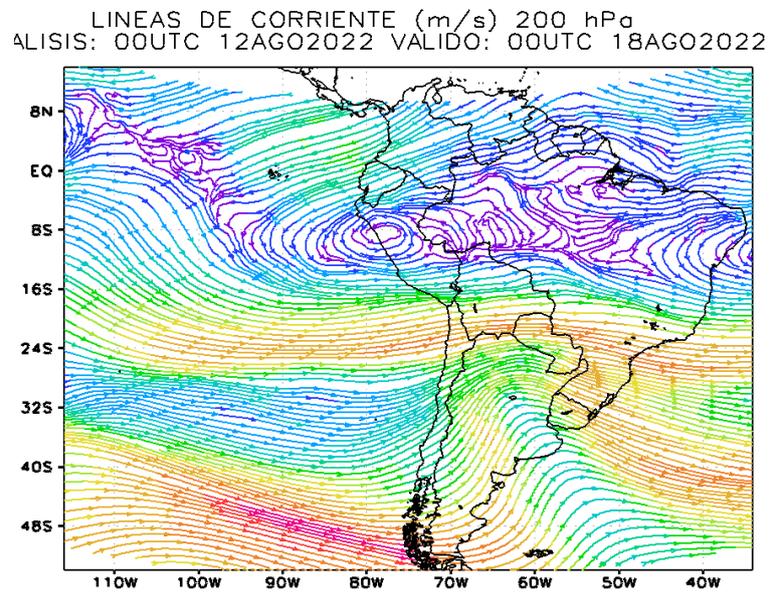


Figura 09. Líneas de corriente en 200 hPa
FUENTE: Modelo ETA-SENAMHI

La figura 9 nos muestra las líneas de corriente en nivel de 200 hPa, donde se observan vientos del oeste que afectan el sector sur del Perú. Así mismo, la formación de una vaguada hacia el norte de Argentina que impulsaría la formación de una alta migratoria por la advección de vorticidad anticiclónica en la parte posterior de la vaguada.

b. Vorticidad relativa a 200 hPa

ζ . REL $\cdot 10^{-5}$ (s^{-1}), VIENTO (m/s), ALT. GEOP(mgp) 200 hPa
ANALISIS: 00UTC 12AGO2022 VÁLIDO: 00UTC 18AGO2022

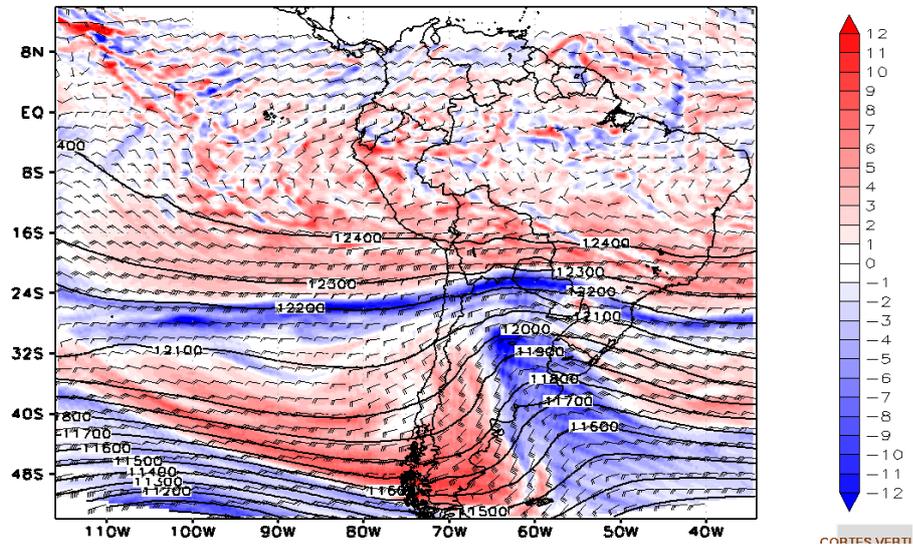


Figura 10. Vorticidad relativa y viento en 200 hPa
FUENTE: Modelo ETA-SENAMHI

En el gráfico de vorticidad relativa, se observan valores altos de vorticidad anticiclónica que impulsa a la alta migratoria, así mismo, en la figura 10 podemos ver valores de vorticidad ciclónica que apoyarían a la formación de la baja de bloqueo en el atlántico.

c. Corriente en chorro

CORRIENTE EN CHORRO (m/s) 200 hPa
ANALISIS: 00UTC 12AGO2022 VÁLIDO: 00UTC 18AGO2022

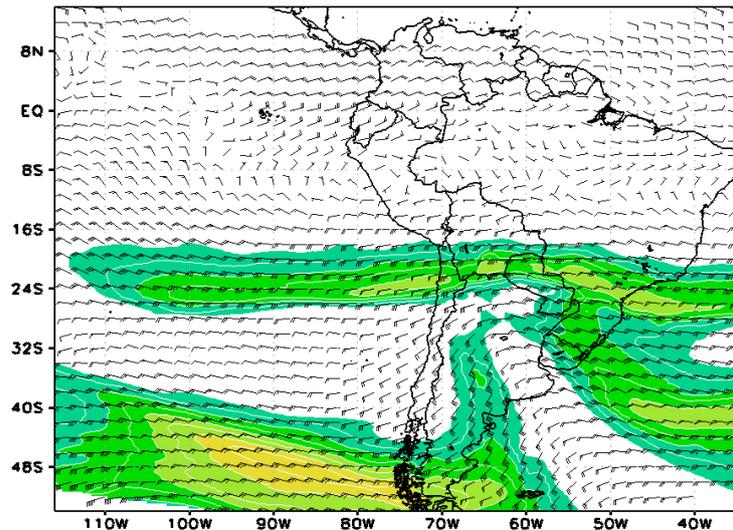


Figura 11. Corriente en chorro en 200 hPa

Las perturbaciones en la alta atmósfera vienen a definir la formación y el comportamiento de los sistemas en superficie. En la figura 11, se puede observar la formación meridional de la corriente en chorro, generando una vaguada pronunciada, esta intensificación apoya en el desarrollo de los sistemas en superficie para la formación del “friaje”.

d. Líneas de corriente a nivel de 500 hPa

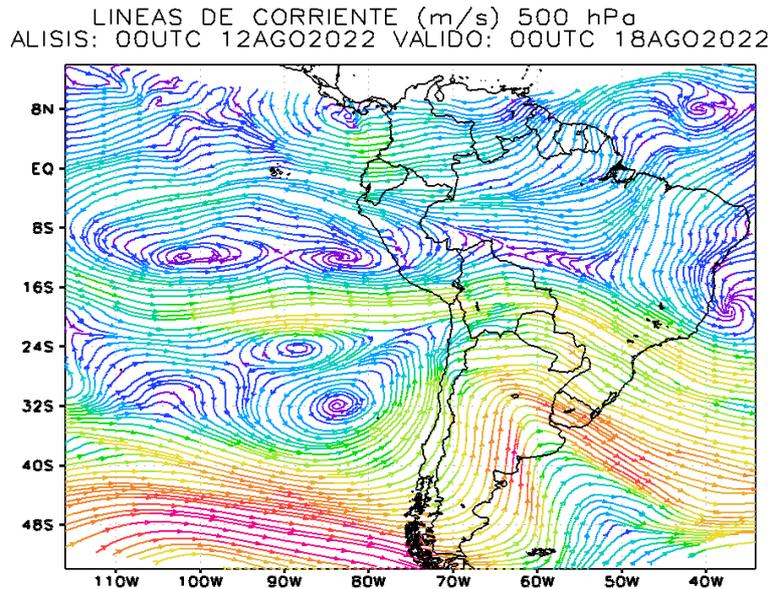


Figura 12. Líneas de corriente en 500 hPa
FUENTE: Modelo ETA-SENAMHI

En la figura 12 se observan las líneas de corriente a nivel de 500 hPa, el modelo muestra a este nivel la vaguada que se encontraba en 200 hPa de manera que esta profundización apoya en el desarrollo de los sistemas en superficie que llevarán a formación del evento “friaje”.

3.1.2.2. Análisis isobárico en niveles bajos

a. Líneas de corriente 925 hPa

La figura 13 muestra las líneas de corriente en nivel de 925 hPa donde el modelo reproduce el ingreso de los viento del sur, también, podemos observar la zona de convergencia que se forma (frente) que irá avanzando hacia la amazonia.

LINEAS DE CORRIENTE (m/s) 925 hPa
 ANALISIS: 00UTC 12AGO2022 VALIDO: 06UTC 18AGO2022

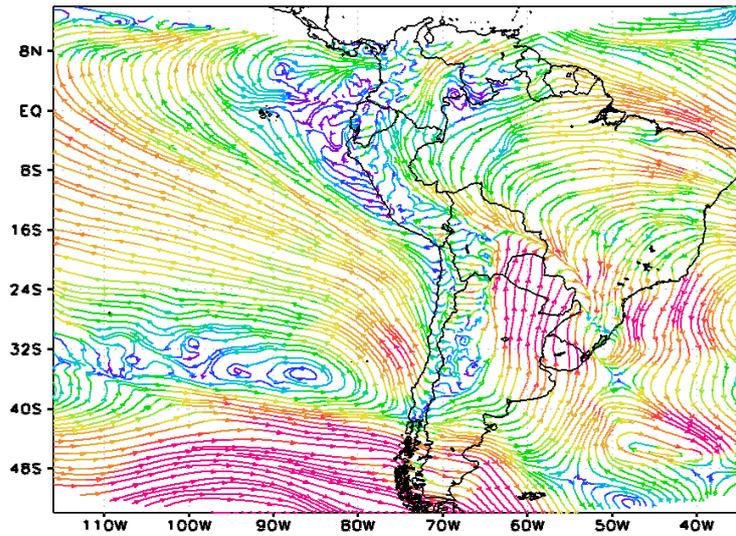


Figura 13. Líneas de corriente en 925 hPa
 FUENTE: Modelo ETA-SENAMHI

La figura 13 muestra las líneas de corriente en nivel de 925 hPa donde el modelo reproduce el ingreso de los viento del sur, también, podemos observar la zona de convergencia que se forma (frente) que irá avanzando hacia la amazonia.

b. Temperatura potencial equivalente

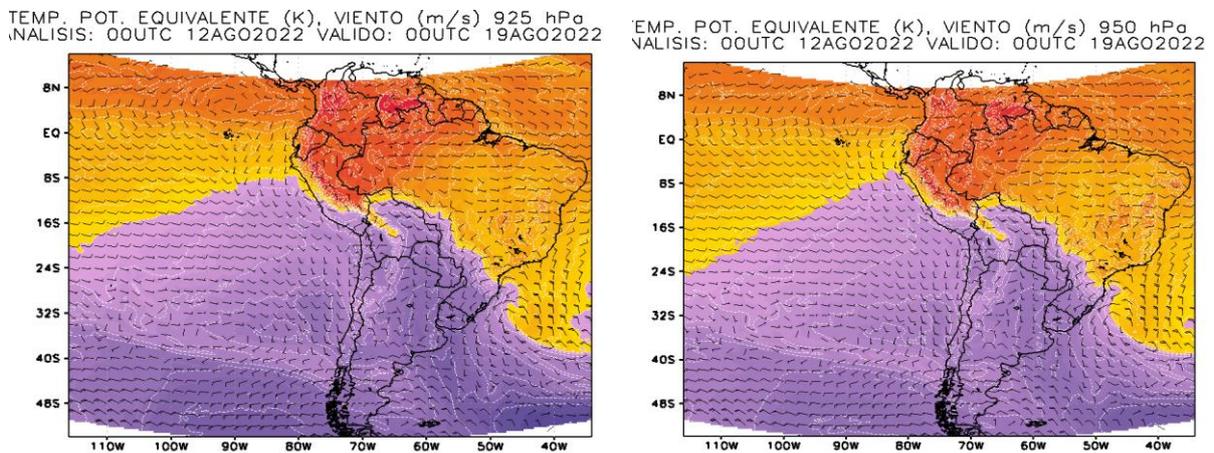


Figura 14. Temperatura potencial equivalente (TPE) en 925 y 950 hPa
 FUENTE: Modelo ETA-SENAMHI

La figura 14 muestra el mapa de temperatura potencial equivalente (TPE), este permite visualizar zonas dónde el aire es mas denso (menos denso) y mas seco (más húmedo). En este modelo, los valores color lila corresponden a zonas dónde tiene características más densas y secas (frío y seco) por lo que se puede observar tanto a nivel de 925 hPa y 950 hPa el ingreso de una lengua de este aire frío y seco hacia la zona de selva sur del Perú.

c. Jet de bajos niveles

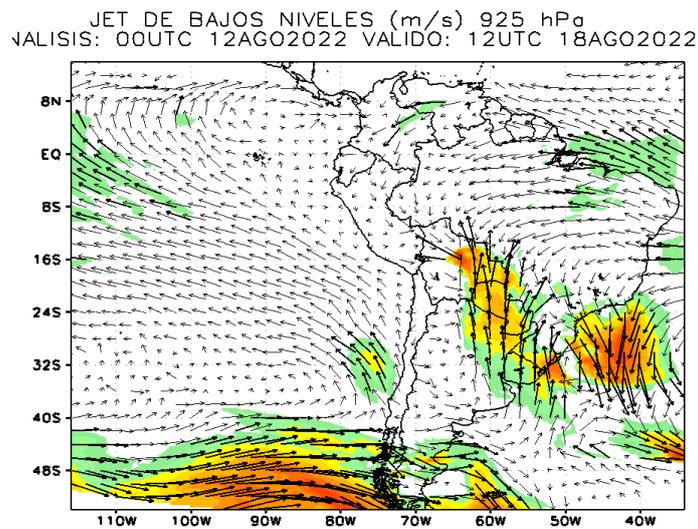


Figura 15. Jet de bajos niveles en 925 hPa
FUENTE: Modelo ETA-SENAMHI

La figura 15 muestra vientos del sur por encima de 12m/s en el nivel de 925 hPa, considerado como un jet de bajos niveles, este es un indicador de las velocidades que podrían afectar a la amazonia junto al desarrollo de tormentas, previo al ingreso del friaje.

d. Temperatura de rocío

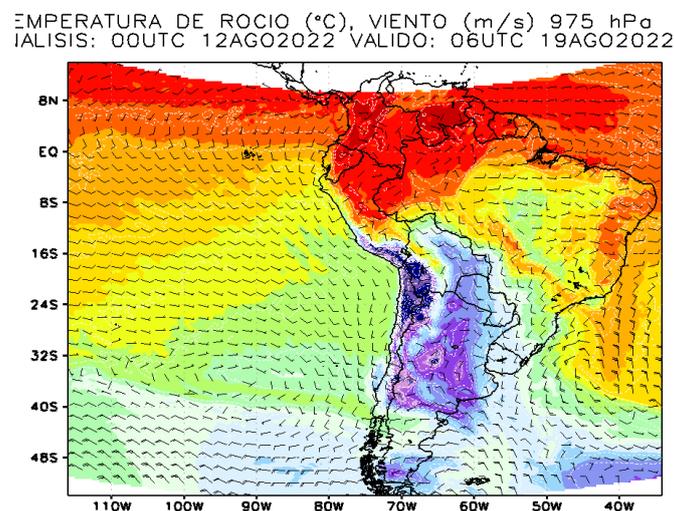


Figura 16. Temperatura de rocío a nivel de 975 hPa
FUENTE: Modelo ETA-SENAMHI

La temperatura de rocío, al ser una variable que depende de la humedad es más conservativa por lo que nos muestra valores hasta donde podría descender la temperatura del aire. La figura 16 muestra el análisis a niveles bajos de la humedad (T_d), esto es importante en la estimación del valor y el nivel de aviso que se va a emitir

e. Presión en superficie

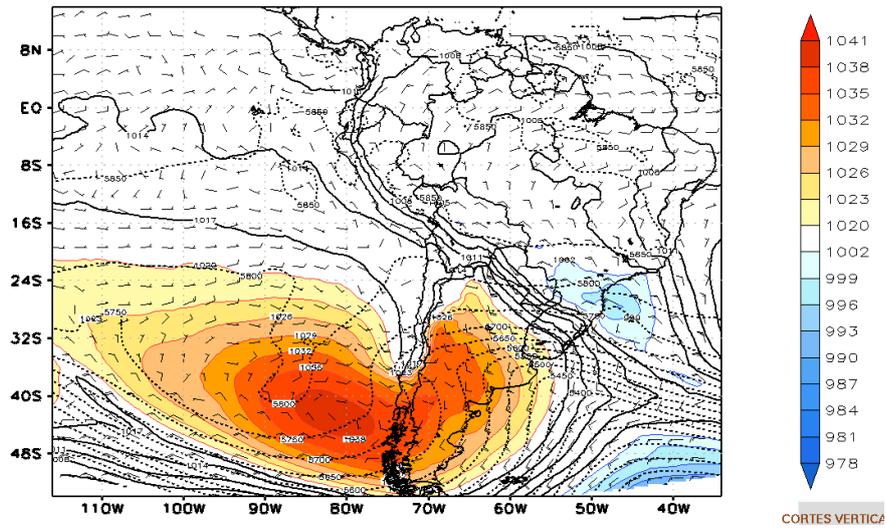


Figura 17. Presión en superficie
FUENTE: Modelo ETA-SENAMHI

La formación de la alta migratoria es primordial para que se den los vientos del sur que advectan aire frío hacia la amazonia, como se observa en la figura 17. Los centros de presión que ingresan a continente generalmente pueden permanecer entre 2 a 3 días, dependiente de la interacción con la baja de bloqueo.

3.1.2.3. Cortes transversales

a. Vorticidad relativa

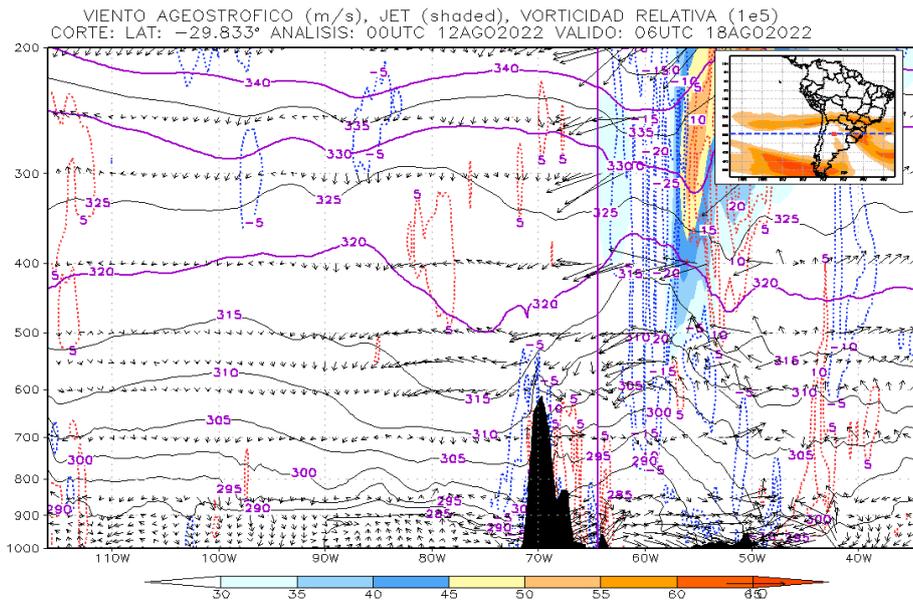


Figura 18. Corte transversal a 30°S, para observar el chorro y la vorticidad relativa

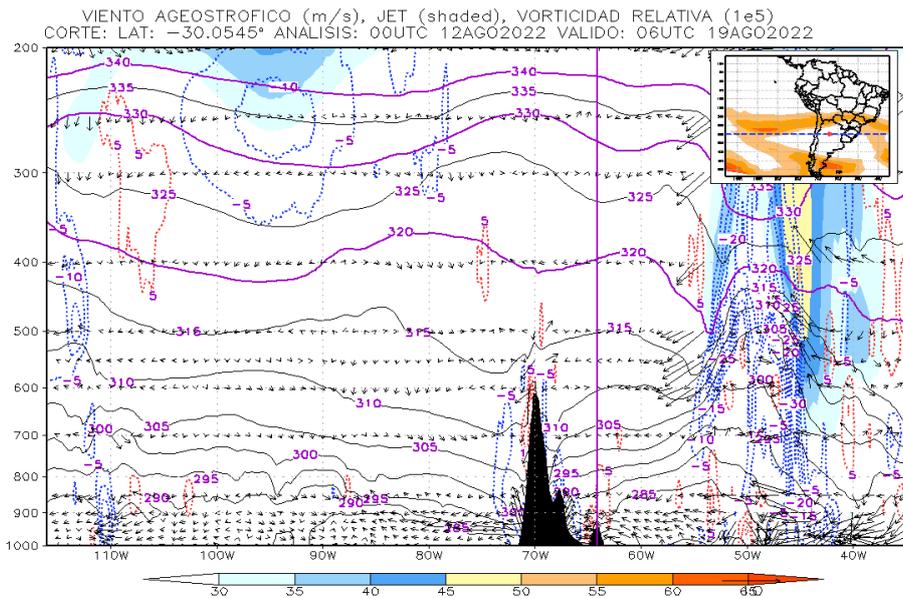


Figura 19. Corte transversal a 30°S, para observar el chorro y la vorticidad relativa
FUENTE: Modelo ETA-SENAMH

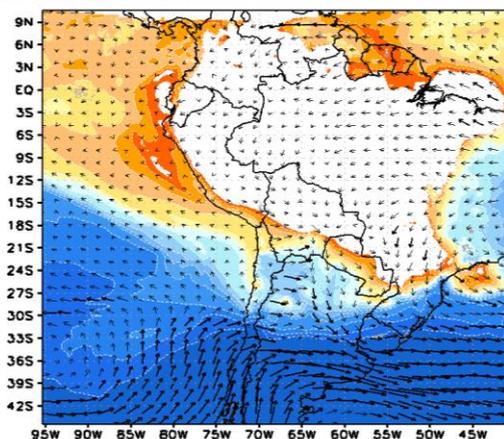
Los cortes transversales en latitud 30°S que se muestran en las figuras 18 y 19 nos permiten observar el posicionamiento de la corriente en chorro y su apoyo a la vaguada que producen advección de vorticidad ciclónica hacia superficie, generando la evolución de la baja de bloqueo que posteriormente permitirá que la alta migratoria permanezca en el continente, advectando aire frío hacia la amazonia propiciando el friaje.

3.1.2.4. Análisis isentrópico

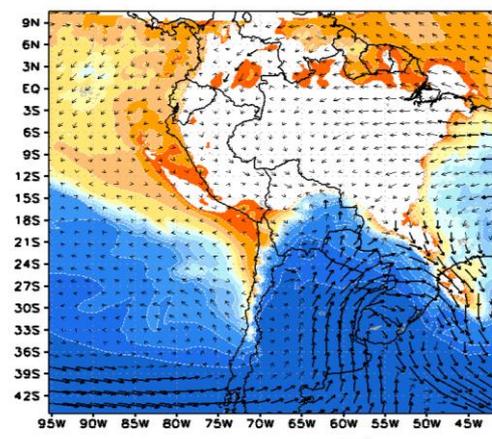
a. Temperatura del aire

En el análisis isentrópico, las coordenadas de temperatura potencial favorecen para la observación del ingreso del aire frío. La figura 20 nos muestra el análisis isentrópico en el nivel de 303°K que es el más adecuado a la hora de estudiar un friaje, según la experiencia en los friajes que se han podido observar.

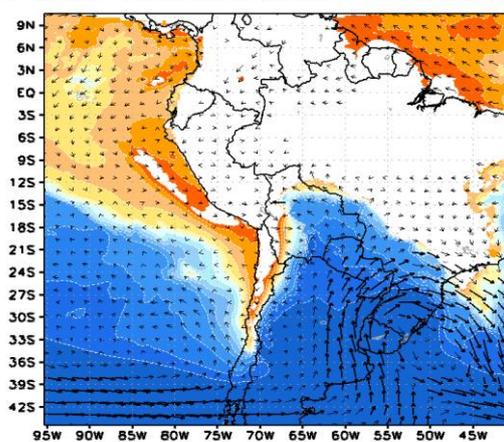
TEMPERATURA DEL AIRE (°C), (m/s) 303°K
 SIS: 00UTC 12AGO2022 VALIDO: 06UTC 17AGO2022



TEMPERATURA DEL AIRE (°C), (m/s) 303°K
 SIS: 00UTC 12AGO2022 VALIDO: 12UTC 18AGO2022



TEMPERATURA DEL AIRE (°C), (m/s) 303°K
 SIS: 00UTC 12AGO2022 VALIDO: 18UTC 18AGO2022



TEMPERATURA DEL AIRE (°C), (m/s) 303°K
 SIS: 00UTC 12AGO2022 VALIDO: 06UTC 19AGO2022

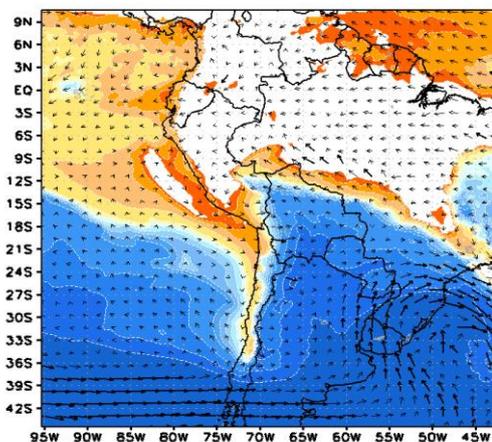


Figura 20. Temperatura del aire en coordenadas isentrópicas 303°K
FUENTE: Modelo ETA-SENAMHI

3.2. Elaboración de los avisos.

Para la emisión de un aviso meteorológico, se necesitan el consenso de 2 o más direcciones zonales y ello se lleva a cabo en el briefing meteorológico diario, donde se reúne a todos los pronosticadores del SENAMHI y se discuten sobre las condiciones atmosféricas de los próximos días.

Si se concluye que el evento va a generar condiciones que cumplan con los requisitos para emitir avisos, es decir, para aviso de friaje que el descenso de temperatura mínima llegue a ser menor del percentil 10 y para aviso de lluvia que este se presente por encima del percentil 90, entonces se procede a generar el mapa nacional para la emisión de los avisos meteorológicos.

Los avisos son emitidos a nivel nacional y posteriormente cada dirección zonal (DZ) debe de generar una regionalización correspondiente a su zona. En este caso, la DZ12 tiene como

región a cargo a los departamentos de Apurímac, Cusco y Madre de Dios. Los eventos de friajes y las lluvias asociadas tienen incidencia sobre la selva de Cusco y Madre de Dios, por lo que la regionalización del aviso corresponde a ambas regiones.

La elaboración de los avisos principalmente se realiza mediante un software de sistema de información geográfica, en este caso se utiliza el QGIS 2.18, software libre que nos permite realizar esta tarea, como se muestra en la figura 21. Se genera un mapa de la zona de la región de la DZ12 que será afectada por el ingreso de las lluvias y el friaje.

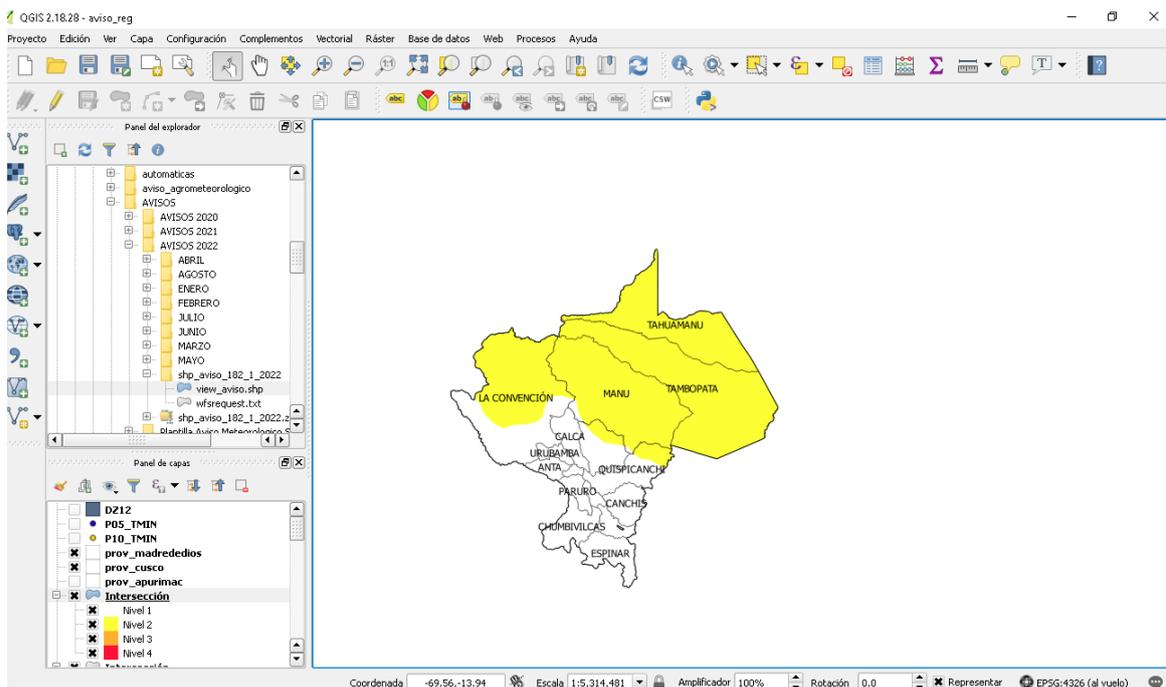


Figura 21. Elaboración de los avisos en la DZ12, usando el software QGIS 2.18

3.3. Emisión de los avisos



Figura 22. Modelo de aviso de lluvias emitido en la DZ12
FUENTE: SENAMHI



Figura 23. Modelo de aviso de friaje emitido en la DZ12
FUENTE: SENAMHI

La emisión de los avisos va dirigido a las entidades competentes, así como al público en general por medio de los canales de difusión como: redes sociales, WhatsApp, correo, etc (avisos emitidos en las figuras 22 y 23)

Los avisos emitidos son de importancia para los GORE's y COER's que se encargan de gestionar y la prevención de los eventos meteorológicos que sucederán, por ello contamos con una oficina de enlace de SENAMHI en Madre de Dios, que se encarga de la difusión a nivel local en dicha región, como las coordinaciones correspondientes.

Las actividades de evaluación y actividades operativas que se realizan por parte de los COER's tienen a los avisos meteorológicos como un insumo muy importante para generar sus planes a la hora de actuar frente a los efectos que puedan generar los eventos meteorológicos.

3.4. Verificación de avisos.

La verificación de avisos se encuentra asociado a la ocurrencia o no ocurrencia del evento. Se recopilaron los percentiles 90, 95 y 99 para los avisos de lluvias y los percentiles 10, 5 y 1 para los avisos de friaje. Se generaron las tablas de verificación para cada aviso con las estaciones que cumplieran con tener un récord que permita tener percentiles para avisos.

Se utilizaron 5 estaciones convencionales y 2 automáticas.

Con las tablas de contingencia generadas, se pasa a calcular los estadísticos para poder describir la verificación de los avisos durante el año 2021.

Tabla 06: Resultados de las pruebas estadísticas del aviso 096

AVISO 098 (día 1)	OBSERVADO		Total
	SI	NO	
PRONOSTICADO	SI	3	6
	NO	1	2
Total	4	4	8

A partir de la Tabla 06, con las ecuaciones (1), (2) y (3) se obtuvieron los siguientes índices:

$PD = 0.75$:

Lo que significa que el 75% de eventos friaje fueron pronosticados correctamente.

$PFA = 0.5$:

Lo que significa que el 50% de eventos de friaje pronosticados, no se observaron.

$CSI = 0.43$:

Es decir, el 43% de eventos de friajes se pronosticaron correctamente.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Pronóstico de friajes y emisión de avisos.

4.1.1. Análisis y pronóstico

Se han podido encontrar algunos resultados interesantes en base a la experiencia de pronosticar los eventos de friajes.

Respecto a las diferencias entre los eventos que tuvieron la necesidad de emisión de avisos y los que se comunicaron mediante nota de prensa, se encuentran principalmente las configuraciones que pueden o no ser favorables a dicha ocurrencia.

En niveles altos y medios se da que la formación de la corriente en chorro en posición meridional favorece la profundización de la vaguada (en niveles medios), ya que apoya en la advección de vorticidad ciclónica y se ha encontrado que valores de advección de vorticidad negativa menores a $3 \cdot 10^{-9} (1/s^2)$ apoya a que la formación de la baja de bloqueo permita que la alta migratoria permanezca en el continente por mayor tiempo, generando vientos del sur más intensos y fríos.

En niveles bajos (925 hPa y 950 hPa), valores de TPE menores a 314K son favorables para la ocurrencia de un descenso significativo que puede llevar a la emisión de un aviso meteorológico. Así mismo, la ocurrencia de vientos del sur con velocidades por encima de 12 m/s (formación de un jet del sur en 925 hPa) permiten un ingreso de aire frío que puede afectar toda la selva peruana. También se tiene que los centros de alta presión que ingresan a continente con núcleos mayores a 1030 hPa generan mejores condiciones para la buena configuración de un friaje.

Al analizar la caída de la temperatura mínima, se utiliza el comportamiento de la temperatura de punto de rocío ya que como es una variable que depende de la humedad, representa mejor a qué nivel puede llegar dichas caídas de temperatura mínima.

Se ha observado que en coordenadas isentrópicas el nivel de 303K puede representar mejor el comportamiento de la temperatura del aire, así como, la intensidad de los vientos que puedan afectar la selva sur del Perú.

De igual manera se necesita profundizar en el estudio de los patrones atmosféricos y los valores característicos de las variables que generan eventos de distintos niveles de peligro.

4.1.2. Emisión de avisos

Durante el año 2020 se presentaron 22 friajes, de los cuales 17 merecieron emisión de avisos, sin embargo, 5 friajes solo se comunicaron mediante una nota de prensa, debido a que la evaluación no presentaba condiciones para llegar a los umbrales mencionados para considerar la emisión de un aviso.

Respecto a la elaboración de los avisos de SENAMHI, estos han ido en aumento los últimos años, debido a que se han abierto plazas de personal especializado (meteorólogos), esto ha generado una mayor cobertura de los eventos meteorológicos adversos a la actividad humana.

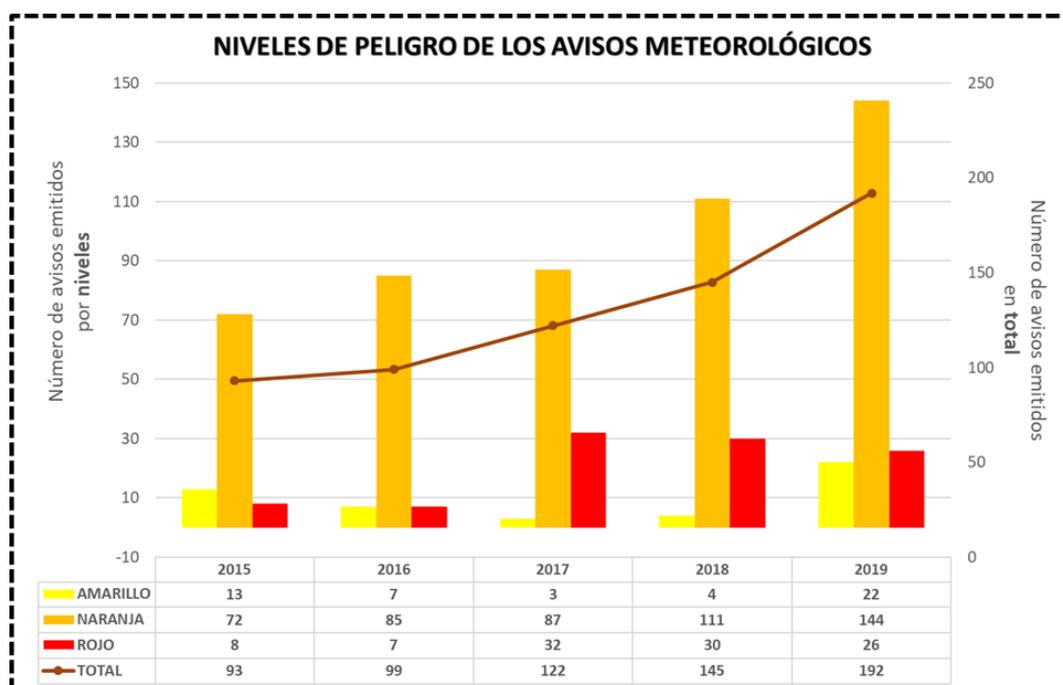


Figura 24. Avisos emitidos durante los años 2015 a 2019, según nivel de peligro.
FUENTE: SENAMHI

En la figura 23 se puede observar el incremento de los avisos emitidos a nivel nacional y los niveles de estos.

El análisis de lluvias y friajes para la elaboración de los avisos, se ha visto reforzado por la experiencia en la observación de estos eventos, así como, el constante aprendizaje con todos los aspectos que involucra el análisis sinóptico y el conocimiento de la climatología local.

4.2. Verificación de los avisos.

Respecto a la verificación de los avisos, se han generado las tablas de contingencia para los 17 avisos de friajes emitidos durante el 2021 y los 14 avisos de lluvias asociados a estos friajes. Así mismo, se realizó el cálculo de los estadísticos para dichos avisos.

Los resultados son los siguientes:

Tabla 07: Avisos de lluvias

AVISO METEOROLÓGICO				PRUEBAS ESTADÍSTICAS		
Número	Nombre	Nivel	Día	PD	PFA	CSI
010	Lluvia en la selva	Naranja	18/01	0.75	0.50	0.43
		Amarillo	19/01	0.60	0.40	0.43
		Amarillo	20/01	0.23	0.58	0.17
074	Lluvia en la selva	Amarillo	11/04	0.45	0.65	0.25
		Naranja	12/04	0.29	0.28	0.26
		Naranja	13/04	0.86	0.59	0.38
084	Lluvia en la selva	Naranja	25/04	0.32	0.19	0.29
		Naranja	26/04	0.04	0.16	0.04
		Naranja	27/04	0.50	0.15	0.46
091	Lluvia en la selva	Naranja	06/05	0.67	0.66	0.29
		Naranja	07/05	0.11	0.92	0.05
		Naranja	08/05	0.49	0.79	0.17
097	Lluvia en la selva	Amarillo	12/05	0.28	0.45	0.23
		Amarillo	13/05	0.54	0.56	0.32
		Naranja	23/05	0.47	0.30	0.39
105	Lluvia en la selva	Naranja	24/05	0.46	0.65	0.25
		Naranja	25/05	0.92	0.90	0.10
		Naranja	11/06	0.16	0.17	0.15
117	Lluvia en la selva	Naranja	12/06	0.22	0.83	0.11
		Amarillo	13/06	0.23	0.05	0.23
		Amarillo	27/06	0.6	0.41	0.59
130	Lluvia en la selva	Naranja	28/06	0.32	0.08	0.31
		Naranja	29/06	0.68	0.60	0.34
		Naranja	30/06	0.01	0.90	0.01
139	Lluvia en la selva	Naranja	17/07	0.09	0.63	0.08
		Naranja	18/07	0.09	0.65	0.08
		Naranja	19/07	0.60	0.07	0.58
147	Lluvia en la selva	Naranja	28/07	0.70	0.80	0.18
		Naranja	29/07	0.34	0.40	0.28
		Amarillo	30/07	0.41	0.55	0.27
175	Lluvia en la selva	Naranja	9/09	0.56	0.98	0.02
		Naranja	10/09	0.14	0.95	0.04
		Naranja	11/09	0.53	0.11	0.49
187	Lluvia en la selva	Amarillo	4/10	0.74	0.88	0.11
		Naranja	5/10	0.95	0.03	0.93
		Amarillo	6/10	0.70	0.50	0.43
200	Lluvia en la selva	Naranja	24/10	0.60	0.40	0.43
		Naranja	25/10	0.23	0.58	0.17
		Naranja	26/10	0.45	0.65	0.25
216	Lluvia en la selva	Amarillo	27/10	0.90	0.40	0.56
		Naranja	17/11	0.80	0.45	0.48
		Naranja	18/11	0.25	0.70	0.16
		Amarillo	19/11	0.33	0.60	0.22

Tabla 08: Avisos de friajes

Número	AVISO METEOROLÓGICO			PRUEBAS ESTADÍSTICAS		
	Nombre	Nivel	Día	PD	PFA	CSI
011	Primer friaje en la selva	Amarillo	19/01	0.75	0.50	0.43
075	Segundo friaje en la selva	Amarillo	12/04	0.80	0.45	0.48
		Amarillo	13/04	0.25	0.70	0.16
085	Cuarto friaje en la selva	Naranja	26/04	0.33	0.60	0.22
		Naranja	27/04	0.40	0.95	0.05
087	Cuarto friaje en la selva (extensión)	Amarillo	28/04	0.33	0.73	0.17
		Amarillo	29/04	0.38	0.88	0.10
092	Quinto friaje en la selva	Amarillo	07/05	0.50	0.60	0.29
		Naranja	08/05	0.75	0.50	0.43
098	Sexto friaje en la selva	Amarillo	09/05	0.80	0.40	0.52
		Amarillo	13/05	0.75	0.50	0.43
106	Séptimo friaje en la selva	Amarillo	14/05	0.60	0.75	0.21
		Amarillo	24/05	0.45	0.60	0.27
118	Noveno friaje en la selva	Naranja	12/06	0.80	0.45	0.48
		Naranja	13/06	0.75	0.50	0.43
		Amarillo	14/06	0.38	0.50	0.27
122	Décimo friaje en la selva	Amarillo	16/06	0.33	0.60	0.22
		Amarillo	17/06	0.40	0.65	0.23
		Amarillo	18/06	0.75	0.50	0.43
		Rojo	28/06	0.50	0.15	0.46
129	Undécimo friaje en la selva	Rojo	29/06	0.67	0.66	0.29
		Amarillo	30/06	0.45	0.65	0.25
		Amarillo	01/07	0.90	0.40	0.56
133	Undécimo friaje en la selva (extensión)	Amarillo	02/07	0.80	0.45	0.48
		Amarillo	03/07	0.60	0.40	0.43
		Amarillo	18/07	0.4	0.88	0.18
140	Duodécimo friaje en la selva	Naranja	19/07	0.75	0.50	0.43
		Naranja	20/07	0.38	0.50	0.27
		Amarillo	21/07	0.33	0.60	0.22
		Amarillo	28/07	0.40	0.65	0.23
148	Décimo tercer friaje en la selva	Naranja	29/07	0.75	0.50	0.43
		Rojo	30/07	0.40	0.60	0.25
		Amarillo	31/07	0.88	0.25	0.68
151	Décimo cuarto friaje en la selva	Amarillo	01/08	0.75	0.50	0.43
		Amarillo	02/08	1.00	0.25	0.75
176	Décimo séptimo friaje en la selva	Amarillo	03/08	0.38	0.63	0.23
		Amarillo	10/09	0.75	0.50	0.43
201	Vigésimo friaje en la selva	Amarillo	11/09	0.75	0.50	0.43
		Amarillo	25/10	0.38	0.50	0.27
		Naranja	26/10	0.75	0.50	0.43
217	Vigésimo segundo friaje en la selva	Amarillo	27/10	0.63	0.50	0.38
		Amarillo	18/11	0.38	0.75	0.18
		Amarillo	19/11	0.75	0.50	0.43

V. CONCLUSIONES

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

- El pronóstico de los eventos de friaje, se desarrolla en función a las configuraciones sinópticas que son características del evento. La alta migratoria, la baja de bloqueo, la vaguada en niveles medios, vientos del sur en niveles bajos y otros aspectos importantes para tomar en consideración a la hora de evaluar y generar el pronóstico.
- La experiencia en la evaluación de los friajes es importante debido a que los efectos de los eventos pueden generar en algunos casos lluvia y descenso, solo descenso de temperatura sin lluvia o lluvia sin descenso de temperatura mínima.
- La emisión de los avisos se desarrolla en función al protocolo de avisos, se debe tener en consideración que los eventos que no figuran en los avisos se han advertido por medio de una nota de prensa.
- La difusión de los avisos se encuentra coordinado con la oficina de enlace de Madre de Dios del SENAMHI, así como, con los organismos involucrados en la gestión y prevención de los riesgos que pueden implicar los fenómenos meteorológicos asociados a los friajes.
- La verificación de avisos nos permite conocer la eficacia de estos avisos. Comparando los resultados de los estadísticos (PD, PFA y CSI) se obtiene que existe mayor acierto en los avisos que pronostican el descenso de temperatura (friaje) y menor acierto en los avisos de lluvias. Los avisos de nivel amarillo son los que tienen mayor acierto respecto a los de nivel naranja o rojo.
- Los avisos tienden a sobreestimar los eventos de precipitación y a subestimar los eventos de friaje.

VI. RECOMENDACIONES

De lo analizado en el presente trabajo, se pueden proponer las siguientes recomendaciones:

- Considerar a la temperatura diurna (pueden ser percentiles de temperatura máxima) a la hora de emisión de un aviso meteorológico, ya que es la condición que los pobladores perciben durante el día, a diferencia de la temperatura mínima que se da durante la madrugada.
- Mejorar el análisis para la emisión de los avisos meteorológicos de lluvias asociadas a los friajes.
- Realizar un estudio que caracterice valores de las variables atmosféricas que permiten el desarrollo de un friaje o lluvia de nivel amarillo, naranja o rojo.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEMET (2015). La dependencia de la calidad de los avisos con el tamaño de área para el que se emiten. Recuperado de:
https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/11442/1/XXXV_JAME_Torijo_p131.pdf
- Marcos, C. (2018). Satélites Meteorológicos: 88-91. Recuperado de:
https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/10088/3/07_Satelites_meteorologicos.pdf
- Marengo, J. (1984): Estudio Sinóptico Climático de los Friajes (Frijens) en la Amazonía Peruana. Revista Forestal del Perú.
- Del Pino, Juan de Dios. (2016). Análisis del uso operativo de los indicadores de verificación basados en tablas de contingencia en el pronóstico de fenómenos meteorológicos adversos.
- Quispe, N. (2006). Condiciones Sinópticos de la Incursión de una Masa de Aire Frío en Sudamérica y su Impacto en los Cultivos de la Selva.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. (2015). IDENTIFICACIÓN DE EVENTOS DE “OLAS DE FRÍO EXTREMO” EN LA AMAZONÍA PERUANA
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. (2020). Protocolo para la emisión de avisos, alertas y alarmas ante lluvias intensas y peligros asociados: 2- 4. Recuperado de:
https://www.senamhi.gob.pe/pdf/comunicados/resolucion_protocolo-avisos.pdf
- Universidad Agraria La Molina (UNALM) (Sin fecha). El Pronóstico Meteorológico. En UNALM, Guía Meteorológica: 6-8, 12-14. Recuperado de:
<http://200.58.146.28/nimbus/weather/pdf/cap13.pdf>
- Davydova-Belitskaya, V., Rosario de la Cruz, J. G. & Rodríguez-López, O. (2016). Un modelo de verificación de pronósticos de precipitación

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Cuadro de percentiles de temperatura mínima de las estaciones consideradas.

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	Percentil 10											
Puerto Maldonado	21.0	21.0	19.5	18.0	16.5	15.0	13.0	14.0	16.5	19.0	19.5	20.5
Iñapari	19.2	19.0	19.6	18.8	16.4	14.4	13.0	13.0	16.0	18.8	19.0	19.8
Chontachaca	17.5	17.6	16.9	16.0	14.9	14.0	13.5	13.4	14.4	15.9	16.6	17.0
Quincemil	18.2	18.0	17.8	17.3	16.0	15.6	15.0	15.3	16.0	17.1	17.4	18.0
Quillabamba	18.2	18.2	17.8	17.5	16.8	15.4	15.0	15.6	16.4	17.2	17.8	17.8
Quebrada Yanatile	17.4	17.4	17.0	16.4	15.4	14.0	13.2	13.8	14.8	16.2	16.8	17.2
	Percentil 5											
Puerto Maldonado	20.0	15.5	16.0	16.8	15.0	13.2	10.8	11.6	15.3	17.0	17.5	16.4
Iñapari	18.2	17.2	18.6	17.4	14.6	13.0	11.6	12.3	14.8	18.0	18.4	19.0
Chontachaca	17.0	17.0	16.1	15.4	14.0	13.4	12.6	12.4	13.9	15.4	16.0	16.0
Quincemil	17.6	17.5	16.8	16.5	15.3	14.9	14.3	14.7	15.4	16.6	16.9	17.0
Quillabamba	17.8	17.5	17.4	16.8	16.0	14.8	14.4	14.8	15.7	16.5	16.4	17.0
Quebrada Yanatile	16.8	16.8	16.4	15.8	15.0	13.4	12.6	13.2	13.9	15.4	16.0	16.6
	Percentil 1											
Puerto Maldonado	15.9	13.7	13.4	14.1	13.0	11.8	8.2	8.7	13.0	9.5	15.5	14.0
Iñapari	16.4	15.3	16.4	15.5	13.2	10.5	9.5	10.4	12.2	16.5	16.9	17.7
Chontachaca	15.5	15.6	14.8	14.0	12.6	12.4	11.0	10.2	12.6	13.8	15.0	15.0
Quincemil	15.9	16.2	15.4	15.0	14.2	14.0	12.0	12.9	14.5	15.4	15.7	15.0
Quillabamba	16.8	16.4	16.6	16.0	14.9	14.0	12.0	13.3	14.8	15.2	13.2	15.4
Quebrada Yanatile	15.4	14.9	15.6	15.0	13.8	12.6	11.8	12.0	13.1	14.2	15.0	15.1

FUENTE: SENAMHI

Anexo 2. Cuadro de los percentiles de precipitaciones de las estaciones consideradas.

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Percentil 90												
Puerto Maldonado	50.4	47.2	42.4	55.4	32.6	35.6	34.4	42.9	33.4	36.1	54.9	54.9
Iñapari	33.0	30.6	33.0	30.0	25.1	19.6	17.7	28.6	32.5	32.4	38.1	31.6
Chontachaca	55.5	57.2	63.4	50.5	43.5	43.0	44.7	43.8	47.9	52.2	54.4	55.9
Quincemil	80.7	75.1	72.0	56.6	43.0	50.0	58.4	42.2	46.9	60.8	63.9	76.3
Quillabamba	19.4	21.8	19.2	16.9	11.5	8.4	12.4	14.1	12.9	16.5	15.2	17.8
Quebrada Yanatile	22.4	24.6	22.5	16.8	14.3	9.8	12.8	16.1	13.6	21.2	19.0	20.9
Percentil 95												
Puerto Maldonado	68.7	64.1	60.4	65.8	46.6	45.4	58.7	51.6	39.1	48.5	68.0	67.6
Iñapari	40.4	42.0	39.0	40.0	32.6	26.8	23.7	38.2	39.1	41.0	45.0	41.3
Chontachaca	79.7	71.9	73.8	72.5	61.3	63.9	64.3	55.0	62.1	65.0	69.1	67.5
Quincemil	110.0	103.6	94.0	76.4	63.1	76.8	83.0	61.3	68.6	87.4	87.2	104.3
Quillabamba	25.1	30.7	24.9	24.9	17.1	10.5	17.2	20.0	16.7	21.2	24.7	25.0
Quebrada Yanatile	27.6	32.6	31.5	22.9	19.3	13.6	18.4	23.4	18.9	31.1	24.5	29.8
Percentil 99												
Puerto Maldonado	110.0	119.7	110.3	79.7	72.8	58.7	65.7	61.6	56.0	61.2	92.5	108.4
Iñapari	54.2	60.5	54.0	58.5	42.0	41.6	38.2	54.8	59.0	60.2	72.5	61.6
Chontachaca	124.7	104.2	108.1	103.0	95.6	89.4	92.9	95.5	86.6	91.8	108.2	106.0
Quincemil	195.4	158.5	136.0	114.6	116.9	115.0	146.4	117.1	123.8	132.6	131.8	165.7
Quillabamba	43.6	44.1	39.9	34.3	26.6	17.8	22.9	26.9	23.9	33.5	36.3	34.2
Quebrada Yanatile	51.9	51.1	43.3	40.7	38.0	29.6	25.3	35.1	29.1	51.0	38.5	46.6

FUENTE: SENAMHI