

NOTA TÉCNICA

IDENTIFICACIÓN DE EVENTOS DE FRIAJES EN LA AMAZONÍA PERUANA

Marzo 2024

www.gob.pe/senamhi



RESUMEN

La presente Nota Técnica tiene por objetivo definir los criterios para la identificación de eventos de friaje en la Amazonía peruana para fines de contabilización y emisión de avisos meteorológicos y notas de prensa sobre los mismos. En el Perú, los friajes se caracterizan por la disminución de la temperatura del aire en la Amazonía, el cual suele ir precedido de un aumento de la presión superficial y una reducción de la humedad atmosférica. La temperatura del aire comienza a descender a medida que la masa de aire frío se desplaza de sur a norte mientras aumenta la presión atmosférica; además, previo a la incursión de la masa de aire frío se suelen presentar lluvias fuertes acompañadas de descargas eléctricas y ráfagas fuertes de viento. Para la identificación de friajes y el desarrollo de los casos de estudio se utilizaron datos de estaciones meteorológicas ubicadas en la selva peruana entre los años 2008 y 2022; además, se analizaron los datos del Análisis del modelo de pronóstico Global Forecast System (GFS) e imágenes satelitales del Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES).

INTRODUCCIÓN

La selva peruana normalmente presenta temperaturas cálidas con humedad abundante durante gran parte del año, las temperaturas mínimas oscilan entre los 17 y 25 °C y las temperaturas máximas, entre los 29 y 33 °C, en promedio; sin embargo, puede presentar episodios de descensos bruscos de temperaturas que suele estar precedidos de intenso viento y lluvia. A este fenómeno meteorológico se le denomina friaje o “friagem”, como se le denomina en Brasil.

Marengo (1983) definió al friaje como “un frente frío que avanza sobre la Amazonía central en la época de menor precipitación. La temperatura del aire decrece en horas disminuyendo entre 10 °C a 20 °C, pudiendo alcanzar valores de hasta 10 °C o incluso 5 °C, que son extremadamente bajos para el trópico; generalmente estos friajes están asociados a vientos de alta velocidad”. Así mismo, Villarejo (1979) indica que estos eventos suelen ocurrir año a año con mayor frecuencia entre junio y agosto.

En Perú, las caídas térmicas suelen presentarse en pocas horas, usualmente iniciando desde la selva sur (Madre de Dios) y desplazándose hacia el norte de la Amazonía peruana (Loreto). Este desplazamiento de la masa de aire frío de latitudes altas, polar o subpolar, de sur a norte, va propiciando diferentes fenómenos meteorológicos a su paso, iniciando con el incremento de la velocidad del viento para luego presentar lluvias de ligera a fuerte intensidad acompañadas de descargas eléctricas, produciendo, conjuntamente, el descenso de la temperatura del ambiente. Culminado este episodio de lluvias, la temperatura del aire puede continuar descendiendo hasta llegar al punto de saturación en superficie generando neblinas y/o nieblas, en especial en horas de la mañana, para luego disiparse hacia el mediodía. Esta situación de bajas temperaturas suele extenderse pocos días después de su máxima caída debido a la pérdida radiativa de la superficie, invadida por una masa de aire fría y seca, la cual favorece el cielo despejado durante la noche y madrugada.

Los friajes pueden afectar a diferentes especies forestales y cultivos, entre ellos el café; además de otros procesos biológicos (Brinkmann y Goes, 1971, 1972, en Marengo 1983) impactando en la economía de diversos países amazónicos; asimismo, estos eventos pueden dañar la infraestructura, e inclusive, repercutir en la salud de la población.

En ese sentido, es importante determinar e identificar los patrones de circulación atmosférica característicos de un friaje para una oportuna identificación y contabilización de estos eventos, pero también, para la emisión oportuna de avisos meteorológicos y/o notas de prensa con días de antelación en salvaguarda de la población.

MODELO CONCEPTUAL DE UN FRIAJE

La circulación atmosférica asociada a los friajes se inicia con el desarrollo e incursión al continente de un sistema de alta presión migratoria (AM), denominado también anticiclón migratorio, desde el Pacífico suroccidental. La etapa precursora para la formación de este AM es una perturbación baroclínica (dorsales¹ y vaguadas²) en el Pacífico suroccidental que favorece el desplazamiento de un sistema de vaguada hacia el oriente en niveles altos y medios de la atmósfera, el cual al posicionarse sobre el Anticiclón del Pacífico Sur (APS), generará al AM (Campetella 2005, Quispe 2005). El esquema de la evolución de un evento de friaje se muestra en la **Figura 1**.

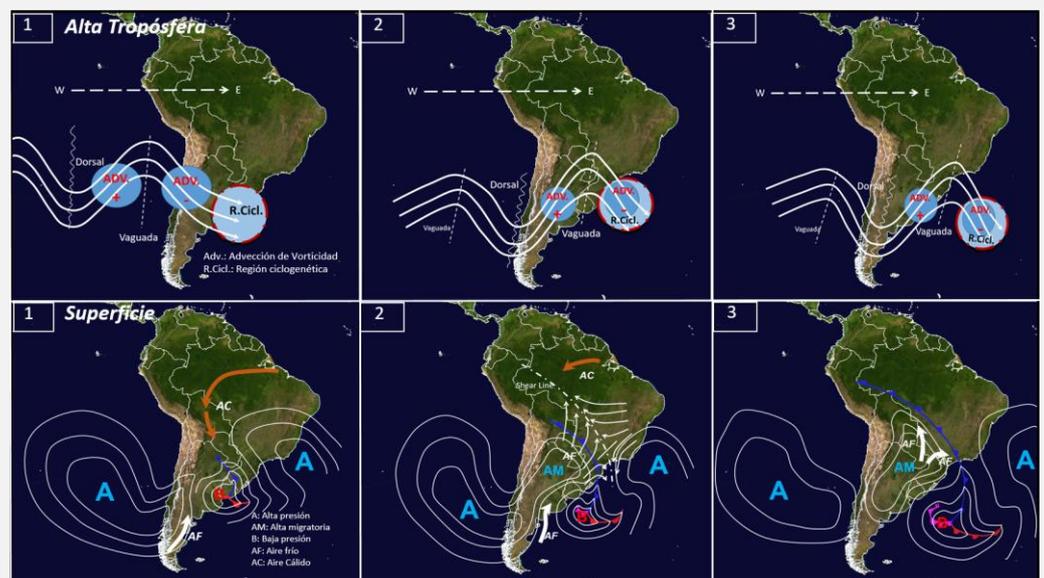


Figura 1. Evolución de la incursión de un friaje en alta troposfera (paneles superiores) y superficie (paneles inferiores). Adaptado de Quispe (2005).

1 Según el glosario de términos meteorológicos (SENAMHI, 2018), el término dorsal se refiere a una área alargada de presión atmosférica relativamente alta, claramente identificada como una área de máxima curvatura anticiclónica del flujo de viento.

2 Las vaguadas se refiere a áreas alargadas de presión atmosférica relativamente baja, el opuesto a una dorsal.

En la fase inicial del desarrollo de un friaje se observa una vaguada profunda en el Pacífico oriental propiciando el ingreso de aire frío sobre el APS, que se caracteriza por ser un sistema de núcleo cálido; esta inyección de aire frío transforma al APS en un sistema de núcleo frío conocido como Anticiclón Migratorio (AM), el cual, posteriormente, se desplaza hacia continente producto de la subsidencia en altura y de la advección de vorticidad anticiclónica, generado por la dorsal posterior a la vaguada en altura. Una vez posicionado el AM sobre continente, la subsidencia en la zona sur de la región de entrada del jet subtropical y la advección de vorticidad anticiclónica incentivan la amplificación del AM y el desplazamiento hacia el norte de este sistema, hasta latitudes subtropicales; mientras que, la advección de vorticidad ciclónica en la parte delantera de la vaguada en altura propicia la ciclogénesis (generando y/o profundizando un sistema de baja presión asociado a un frente frío por delante del AM). Una vez que el AM y el frente frío se encuentran en la zona tropical del continente, el desplazamiento hacia el norte de estos sistemas se verá favorecido principalmente por la advección de temperatura sobre la superficie, generado a su vez por la intensificación del gradiente zonal de presión sobre superficie (Garreaud, 1999; Marengo et al., 1997). Por su parte Calle (1991), observó la presencia de un bloqueo anticiclónico ocasionado por la corriente en Chorro inestable en alta tropósfera (300 hPa)

que favorece la presencia del AM en superficie y el desarrollo y desplazamiento del frente frío hacia la región tropical.

Cuando el AM inicia su desplazamiento desde el Pacífico suroriental e ingresa a continente por la parte más baja de los Andes (extremo sur de Sudamérica), desde Chile hacia Argentina, genera el ingreso de aire frío desde la región polar y subpolar hacia latitudes medias, incluso llegando a la zona tropical del continente (Marengo, 1983; Marengo et al., 1997; Quispe, 2005; Avalos y Quispe, 2000; Espinoza et al., 2012; Garreaud, 1999; Vera y Vigliarolo, 2000).

Estas incursiones de aire frío hacia la zona subtropical del continente tienen un impacto significativo en el descenso de las temperaturas durante el invierno austral, dado que el frente frío suele ser más intenso y de rápido desplazamiento en esta temporada del año, llegando en ocasiones a latitudes tropicales, incluso ecuatoriales. Estos episodios también pueden ocurrir durante el verano, sin embargo, las variaciones de temperatura no son tan drásticas, pero tienden a presentar convección profunda en forma de bandas de nubosidad convectiva a escala sinóptica a lo largo de la zona delantera del aire frío. Asimismo, este frente frío puede fusionarse con la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS) volviéndose más intenso (Garreaud, 2000 y Seluchi et al., 2000).

CRITERIOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE FRIAJES EN EL PERÚ

3 Las estaciones meteorológicas convencionales registran la temperatura mínima a las 07 hora local y la temperatura máxima a las 19 hora local.

4 El sensor de temperatura de las estaciones meteorológicas automáticas registran las temperaturas extremas (diurnas/nocturnas)

5 Los datos de CORPAC están disponibles en: www.ogimet.com

6 Datos del Análisis del GFS:
<https://www.ncei.noaa.gov/data/global-forecast-system/access/grid-003-1.0-degree/analysis/>

Para la identificación de friajes en la Amazonía peruana se utilizaron los datos de temperatura mínima (nocturna) desde el 2008 hasta el 2022 de las estaciones meteorológicas (convencionales³ y automáticas⁴) ubicadas en la región de Madre de Dios. Adicionalmente, se emplearon datos de la estación de Puerto Maldonado de la Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial (CORPAC)⁵ para el mismo periodo.

La ciudad de Puerto Maldonado (región de Madre de Dios), dispone de dos estaciones meteorológicas (SENAMHI/CORPAC). Ambas estaciones presentan diferencias notables en los registros de temperatura debido a su ubicación, puesto que la estación de CORPAC se encuentra alejada de la ciudad; y la estación del SENAMHI se encuentra en la ciudad (campus de la Universidad Nacional de la Amazonía) a una distancia aproximada de 3 km de la estación de CORPAC.

El criterio para la identificación de un evento de friaje establece que al menos una de las tres estaciones meteorológicas de Madre de Dios (dos en Puerto Maldonado y una en Iñapari) registre un descenso significativo en la temperatura mínima del aire por debajo de sus valores normales mensuales. Adicionalmente a ello, se debe corroborar el ingreso a continente y desplazamiento hacia el norte del AM, asociado a la vaguada en altura, y la formación de un sistema de baja presión delante del AM y el frente frío asociado a la baja presión. Para la identificación de estos mecanismos físicos se utilizaron datos del Análisis de GFS (GFS-ANL)⁶ de 1° de resolución espacial del Centro Nacional de Predicción Ambiental (NCEP) de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA).

Asimismo, cuando se contó con imágenes del satélite geostacionario GOES de las series 10, 12, 13 y 16, se identificó las masas de aire asociado al sistema frontal y al aire frío y seco por el ingreso del AM, así como su desplazamiento hacia la zona tropical.

Finalmente, esta nota técnica presenta el análisis de dos casos de estudio de friajes seleccionados siguiendo los criterios mencionados; para lo cual se utilizaron datos de seis estaciones meteorológicas, entre convencionales y automáticas, de la red del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI ubicadas en la Amazonía y por debajo de los 700 m s. n. m. (Figura 2 y Tabla 1). Se analizó el descenso de las temperaturas extremas respecto al valor normal y los percentiles mensuales.⁷



Figura 2. Ubicación de estaciones meteorológicas del SENAMHI y CORPAC en la Amazonía peruana.

Tabla 1. Descripción de las estaciones meteorológicas

| Estación | Departamento | Provincia | Distrito | Altitud (m s. n. m.) | Latitud (°S) | Longitud (°O) |
|---------------------------|---------------|------------|----------------|----------------------|--------------|---------------|
| Tamshiyacu | Loreto | Maynas | Fernando Lores | 94 | 4.0036 | 73.1611 |
| Las Palmeras de Ucayali | Ucayali | Padre Abad | Curimaná | 170 | 8.5825 | 74.8661 |
| Iñapari | Madre de Dios | Tahuamanu | Iñapari | 244 | 10.9559 | 69.5780 |
| Salvación | Madre de Dios | Manu | Manu | 531 | 12.8312 | 71.3645 |
| Puerto Maldonado | Madre de Dios | Tambopata | Tambopata | 200 | 12.5836 | 69.2003 |
| Puerto Maldonado (CORPAC) | Madre de Dios | Tambopata | Tambopata | 200 | 12.6000 | 69.2167 |

7 Alfaro, L. (2014). Estimación de umbrales de precipitaciones extremas para la emisión de avisos meteorológicos

FRECUENCIA ANUAL E INTERANUAL DE FRIAJES EN EL PERÚ

Considerando los criterios descritos, entre el 2008 y 2022 se identificaron 273 eventos de friaje en la Amazonía peruana, ocurriendo, en promedio, 18 friajes al año (Figura 3). Los años que superaron el promedio anual fueron el 2008, 2010, 2011, 2013, 2016, 2022; siendo el 2022 el año con la mayor frecuencia, con un total de 28 eventos identificados.

La incursión de friajes en la Amazonía peruana puede producirse durante todo el año (Figura 4). La mayor frecuencia mensual de los mismos se suele presentar en los meses de invierno, entre junio y agosto, donde en promedio se presentan 2.5 eventos por mes; siendo julio el mes con el mayor número de friajes. La menor frecuencia de friajes ocurre en los meses de verano, entre enero y marzo, con un promedio de 0.2 friajes por mes; enero es el mes con menor ocurrencia de friajes.



Figura 3. Variación interanual de los friajes en el Perú entre 2008 y 2022. La línea horizontal continua representa el número promedio de los friajes al año.

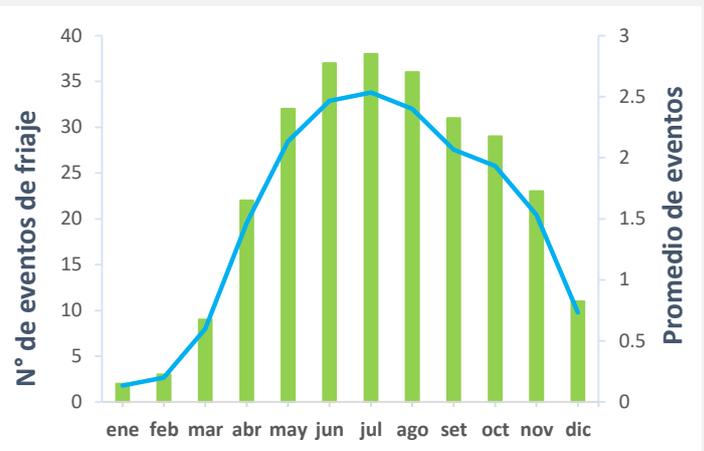


Figura 4. Número total mensual de los friajes en el Perú entre 2008 y 2022 (barras). Promedio mensual de los friajes entre el 2008 y 2022 (línea celeste).

CASOS DE ESTUDIO

Friaje de mayo de 2020

Según los criterios ya mencionados para la identificación de un evento de friaje, se analizó el evento ocurrido entre el 22 y 25 de mayo del 2020 en la Amazonía peruana. El 23 de mayo, se registró una caída brusca de la temperatura del aire, logrando descender hasta 7 °C en dos horas aproximadamente (entre las 9:00 y 11:00 horas), tal como se observa en los datos horarios de las estaciones automáticas en Madre de Dios (Figura 5).

La disminución de la temperatura del aire se debió al incremento de la cobertura nubosa producto del ingreso del frente frío en horas de la mañana. Asimismo, se evidenció el continuo descenso de la temperatura del aire a lo largo del día alcanzando valores de 13.2 °C en Salvación y 15.5 °C en Iñapari a las 23:00 hora local. Esta disminución de la temperatura del aire suele producir una sensación de frío en la población de la selva peruana, no acostumbrada a dichos valores.

Además, se registraron ráfagas de viento entre 37 y 44 km/h aproximadamente durante el periodo comprendido entre las 10:00 y 13:00 hora local en la estación meteorológica ubicada en el aeropuerto internacional de Puerto Maldonado (CORPAC).

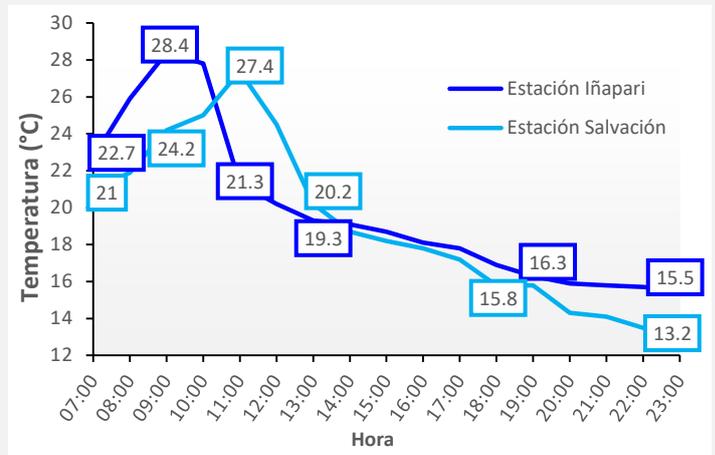


Figura 5. Comportamiento de los datos horarios de temperatura del aire en las estaciones automáticas de Iñapari (línea azul) y Salvación (línea celeste) en Madre de Dios el 23 de mayo de 2020.

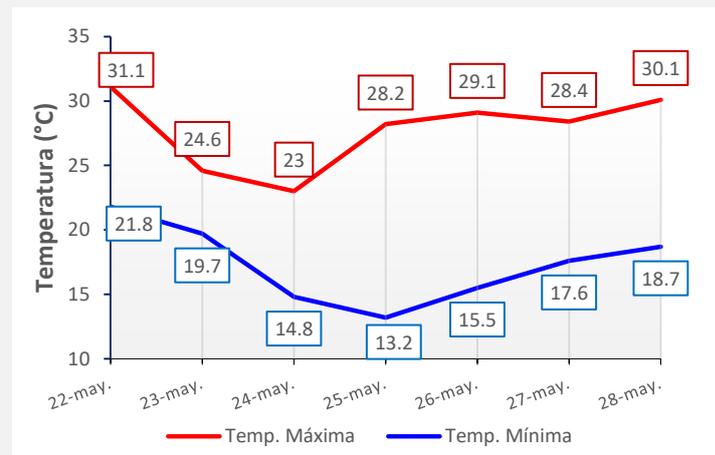


Figura 6. Comportamiento diario de las temperaturas mínimas (línea azul) y máximas (línea roja) entre el 22 y 28 de mayo de 2020 en la estación de CORPAC ubicada en el aeropuerto de Puerto Maldonado (Madre de Dios)

Además, analizando los datos diarios de temperatura de la estación ubicada en el aeropuerto de la ciudad de Puerto Maldonado (**Figura 6**), se apreció la caída de la temperatura mínima (nocturna) entre el 23 y 25 de mayo, alcanzando los 13.2 °C este último día; posterior a ello, se observó la recuperación paulatina de la misma hasta finales del mes. En tanto, la temperatura máxima (diurna) mostró un descenso entre los días 23 y 24 debido a la cobertura nubosa, con valores de hasta 23 °C el día 24. El 25 de mayo se observó el incremento de la temperatura máxima debido a la escasa nubosidad.

En la selva central, teniendo en cuenta como referencia para este evento a la estación convencional Las Palmeras de Ucayali (Ucayali) (Figura 7a), se observó la brusca caída de la temperatura mínima del aire del 23 al 24 de mayo, alcanzando los 16.2 °C, este último, y ubicándose por debajo de su percentil 5; de este modo se caracterizó como “una noche muy fría”. En los siguientes días, las temperaturas mínimas continuaron por debajo del percentil 10 caracterizándose como “una noche fría”.

En la selva norte, la estación convencional de Tamshiyacu (Loreto) (Figura 7b) presentó un descenso de la temperatura mínima hacia el 25 de mayo alcanzando el percentil 1 y caracterizándose como “una noche extremadamente fría”, debido al ingreso de la masa de aire frío hasta la selva norte.

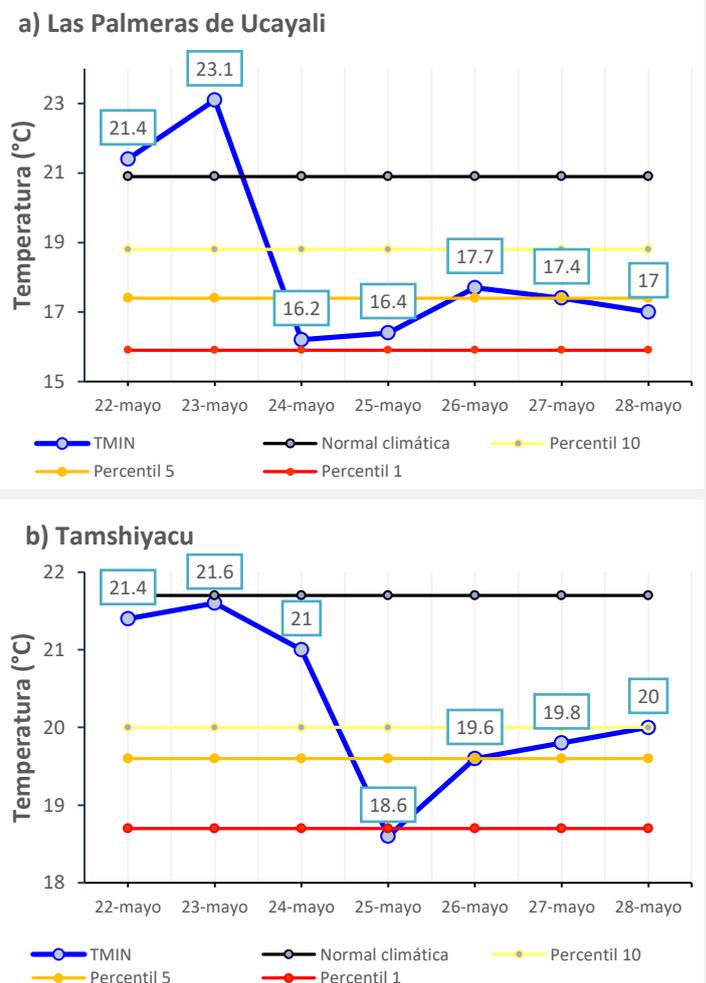


Figura 7. Comportamiento de la temperatura mínima del aire (línea azul continua) en las estaciones de a) Las Palmeras de Ucayali (Ucayali) y b) Tamshiyacu (Loreto) entre el 22 al 28 de mayo del 2020. La línea negra representa la normal climática, la línea amarilla representa el percentil 10, la línea naranja representa el percentil 5 y la línea roja representa el percentil 1, correspondientes a mayo.

Las imágenes de satélite (Figura 8) muestran la incursión de este friaje desde latitudes medias hacia la región tropical de Sudamérica. El ingreso de la masa de aire frío está asociado a la presencia de un frente frío, vinculado a su vez a un sistema de baja presión generado por la ciclogénesis al sureste de Sudamérica, y la presencia del AM que se extiende sobre Argentina y que se desplaza hacia el norte hasta llegar a la zona tropical.

Asimismo, el análisis sinóptico en niveles bajos y altos de la tropósfera (Figuras 9 y 10) muestra para el 22 de mayo el ingreso del AM sobre continente, posicionado sobre Argentina, y al sistema de baja presión ubicado sobre Paraguay, el cual fue generando

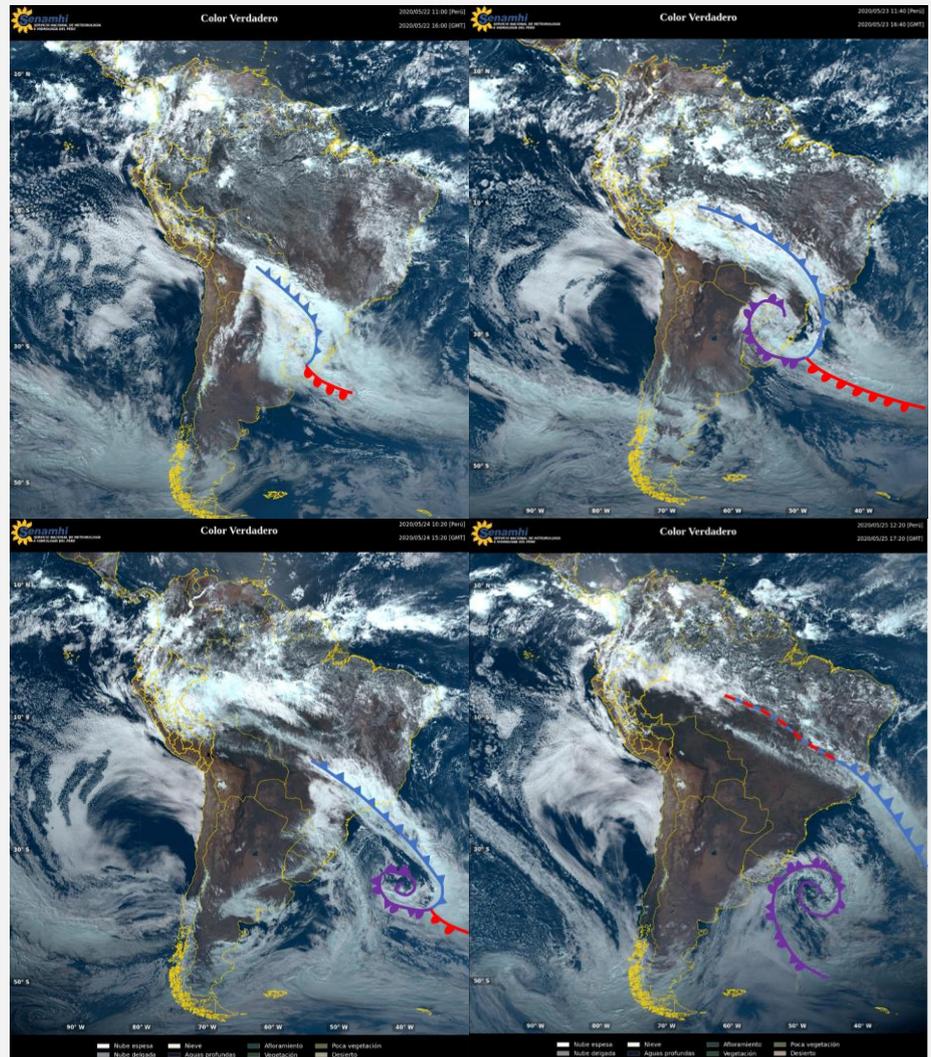


Figura 8. Imágenes de satélite del GOES 16 de color verdadero, para el periodo del 22 al 25 mayo de 2020.

la ciclogénesis asociada a la vaguada en altura; para este día el frente frío se extiende desde el sur de Paraguay hasta el sur de Bolivia. El avance del frente frío hacia el norte de Bolivia ocurre en las siguientes 24 horas, influenciado por el desplazamiento hacia el norte del AM, asociado a la advección de la vorticidad anticiclónica en la parte delantera de la dorsal ubicada detrás de la vaguada, la cual en conjunto con la subsidencia generada en la zona sur de la región de entrada del jet subtropical ayuda a mantener el AM al este de los Andes; mientras que, el núcleo de la baja presión se desplaza lentamente hacia el sureste de Brasil, camino hacia el Atlántico, siguiendo el desplazamiento del flujo en altura. Para el tercer día del evento (24 de mayo) se evidencia el ingreso del AM sobre el sur del Perú, mientras que, el frente frío avanza con fuertes vientos debido a la intensificación del gradiente horizontal de la presión, por lo que se advecta aire frío hacia la región central de la Amazonía peruana, repercutiendo en el incremento de la nubosidad baja y la disminución de la temperatura del aire. Para esto, el núcleo de la baja presión se encuentra sobre el Atlántico entre el AM y el Anticiclón del Atlántico Sur (AAS). Hacia el 25 de mayo, el

AM aún posicionado sobre el centro y sureste de Sudamérica mantiene la masa de aire frío sobre esta región, la cual además alcanza el norte de la Amazonía peruana y brasileña, dejando condiciones estables y de cielo despejado; delante de este sistema aún se aprecia cobertura nubosa asociada al frente estacionario que se extiende sobre gran parte de Brasil.

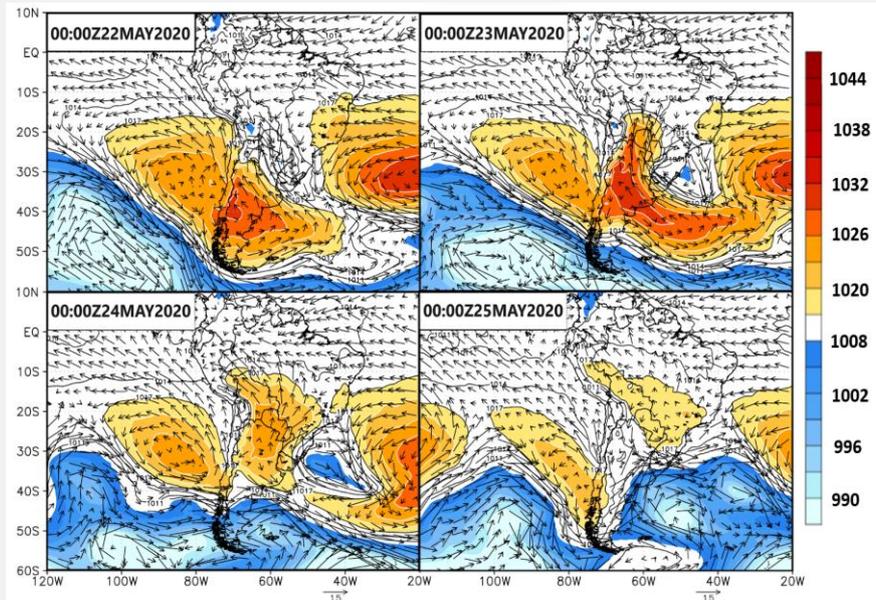


Figura 9. Evolución de la presión atmosférica a nivel medio del mar (hPa) (colores y líneas sólidas) y vientos (m/s) (vectores) a 1000 hPa del 22 al 25 de mayo de 2020.

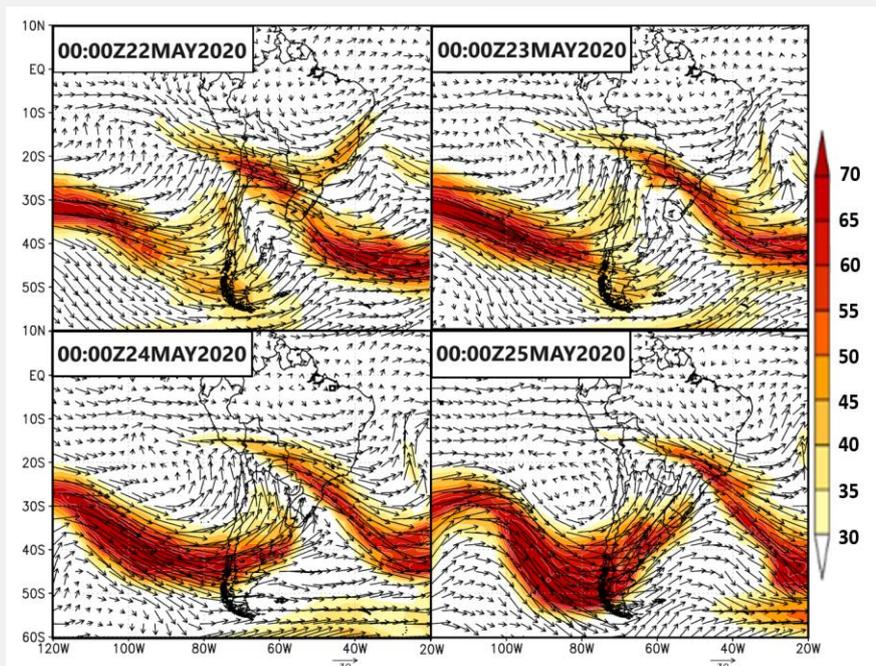


Figura 10. Evolución de los vientos (m/s) a 200 hPa (colores y vectores) del 22 al 25 de mayo de 2020.

Friaje de diciembre de 2014

Este evento ocurrió durante el verano de 2014, entre el 21 y 24 de diciembre. El comportamiento de las temperaturas mínimas y máximas de la estación de CORPAC ubicada en el aeropuerto de Puerto Maldonado (**Figura 11**) mostró la disminución de sus valores por debajo de su normal mensual, registrando 19 °C de temperatura mínima el 24 de diciembre, para luego recuperarse progresivamente; por otro lado, la temperatura máxima registró el valor más bajo el 23 de diciembre con 28 °C. Además, se registraron lluvias entre los días 22 y 23, siendo el acumulado más alto de 29.4 mm en la estación de Iñapari el día 23, coincidiendo con el valor más bajo de temperatura diurna durante el evento de friaje.

Además, la temperatura mínima de las estaciones del Senamhi ubicadas en Puerto Maldonado y en Iñapari registraron 20 °C el 24 de diciembre alcanzando, en ambos casos, el percentil 10 y caracterizándose como “noches frías”. En los días posteriores se observó el rápido incremento de la misma (**Figuras 12**, paneles superiores).

Respecto a la temperatura máxima, el valor más bajo fue de 26.8 °C y se registró el 23 de diciembre en Puerto Maldonado; mientras que en Iñapari, el valor más bajo alcanzó los 25.6 °C el 24 de diciembre, caracterizándose en ambos casos como “días fríos”. (**Figuras 12** paneles inferiores).

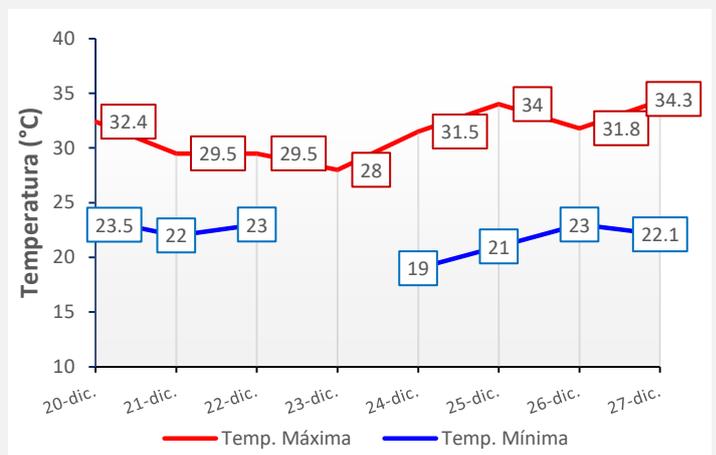


Figura 11. Comportamiento diario de las temperaturas mínimas (línea azul) y máximas (línea roja) en la estación de CORPAC ubicada en el aeropuerto de Puerto Maldonado (Madre de Dios) entre el 20 y el 27 de diciembre de 2014.

Tabla 2. Datos de precipitación (mm/día) de las estaciones de Iñapari y Puerto Maldonado ubicadas en Madre de Dios.

| Fecha | Iñapari | Puerto Maldonado |
|------------|---------|------------------|
| 21/12/2014 | 24 | 0 |
| 22/12/2014 | 2 | 7.3 |
| 23/12/2014 | 29.4 | 11.9 |
| 24/12/2014 | 0 | 0 |
| 25/12/2014 | 0 | 0 |

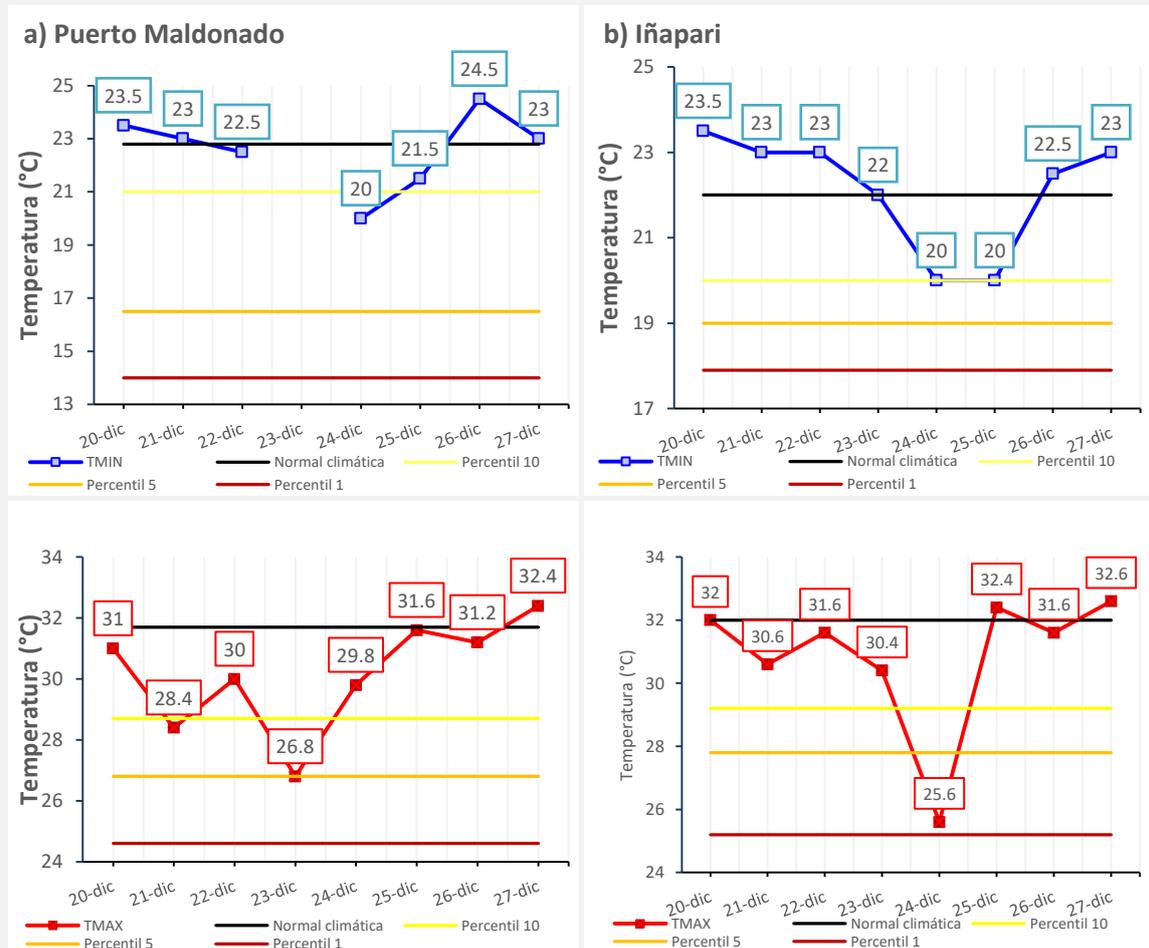


Figura 12. Comportamiento diario de las temperaturas mínimas (línea azul) y máximas (línea roja) en las estaciones del Senamhi de a) Puerto Maldonado e b) Iñapari, en Madre de Dios, entre el 20 y 27 de diciembre de 2014. La línea negra representa la normal climática, la línea amarilla representa el percentil 10, la línea naranja representa el percentil 5 y la línea roja representa el percentil 1 correspondientes a diciembre.

En las imágenes de satélite (**Figura 13**), similar al evento anterior, se aprecia la incursión del frente frío desde latitudes medias y altas hacia la zona tropical del continente, ocasionando el incremento de la cobertura nubosa y precipitaciones en la Amazonía peruana y posteriormente la disminución de la temperatura del aire. Esta interacción descrita está asociada al desplazamiento del frente frío hacia la región amazónica que posteriormente se desplaza hacia el este, afectando en su paso la región sur de Brasil hasta su retiro hacia el océano Atlántico disipándose sobre el continente.

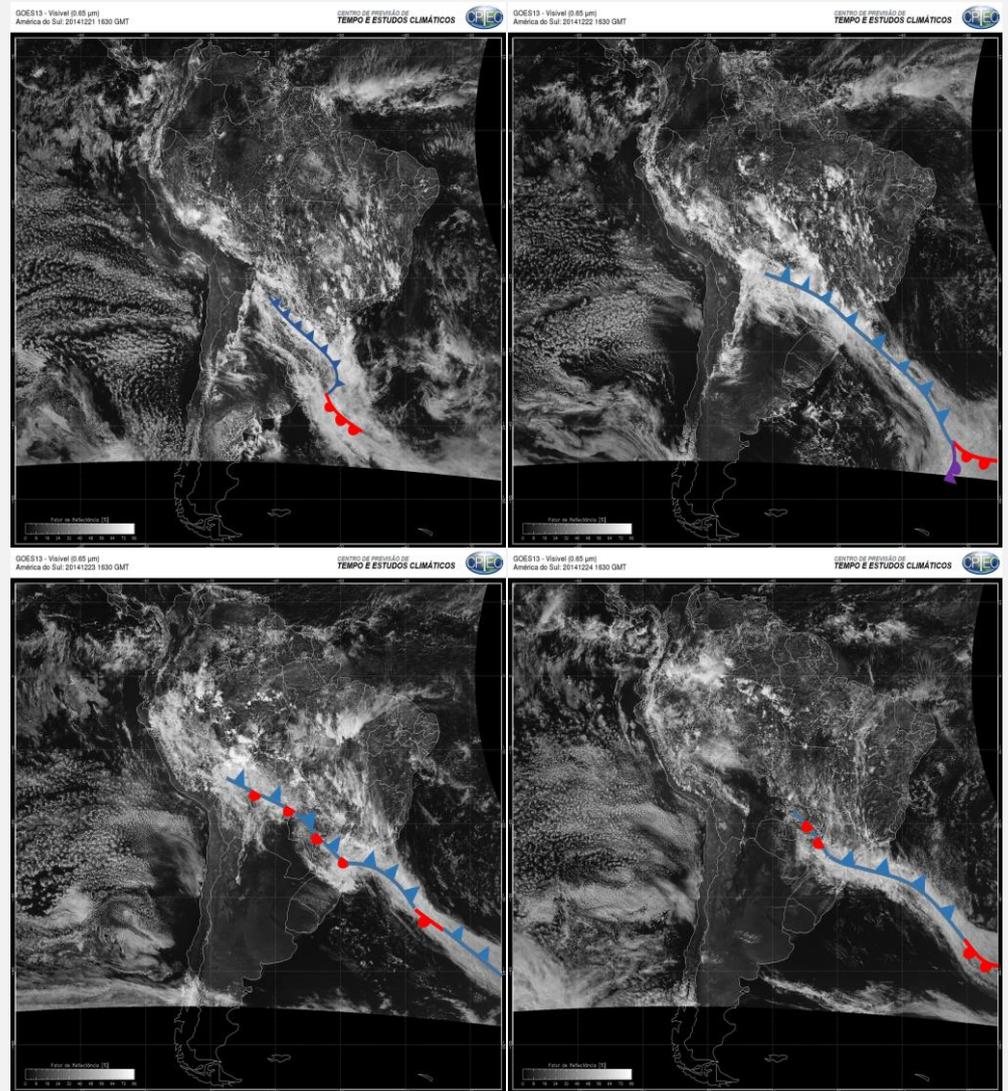


Figura 13. Imagen de satélite GOES-13 del canal visible entre el 21 (imagen superior izquierda) al 24 de diciembre (imagen inferior derecha) del Centro de Previsión del Tiempo y Estudios Climáticos (CPTEC).

Similar al evento ocurrido en invierno, la configuración atmosférica de este friaje muestra el ingreso del AM al continente (**Figura 14**), asociado a una onda baroclínica en niveles altos de la troposfera (**Figura 15**), en la que la subsidencia en la zona sur de la región de entrada del jet subtropical y la advección de vorticidad anticiclónica, delante de la dorsal en altura, incentivan la amplificación del AM y desplazamiento hacia el norte del AM; mientras que, la vaguada favorece la profundización del sistema de baja presión localizado sobre continente, desde el cual se extiende el frente frío hacia la zona tropical del continente.

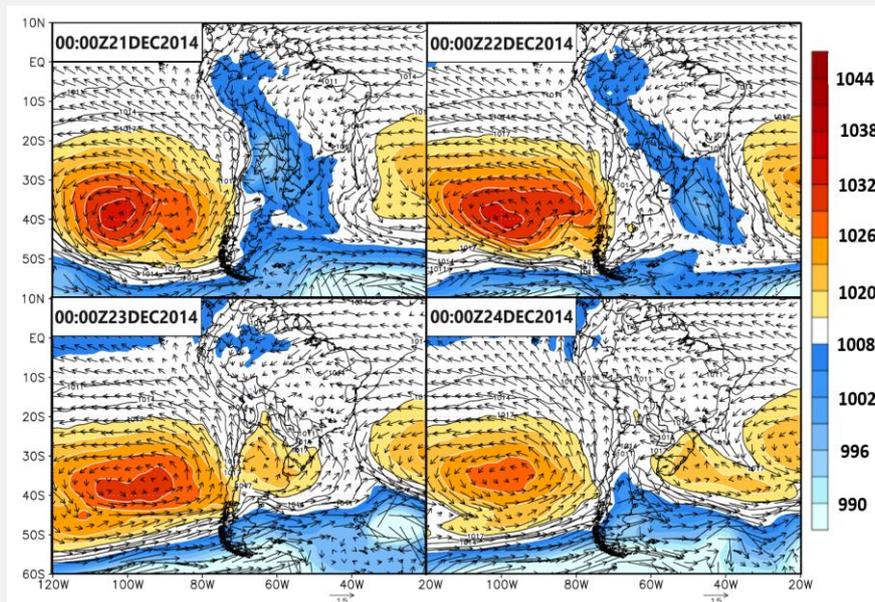


Figura 14. Evolución de la presión atmosférica a nivel medio del mar (hPa) (colores y líneas sólidas) y vientos (m/s) (vectores) a 1000 hPa del 21 al 24 de diciembre de 2014.

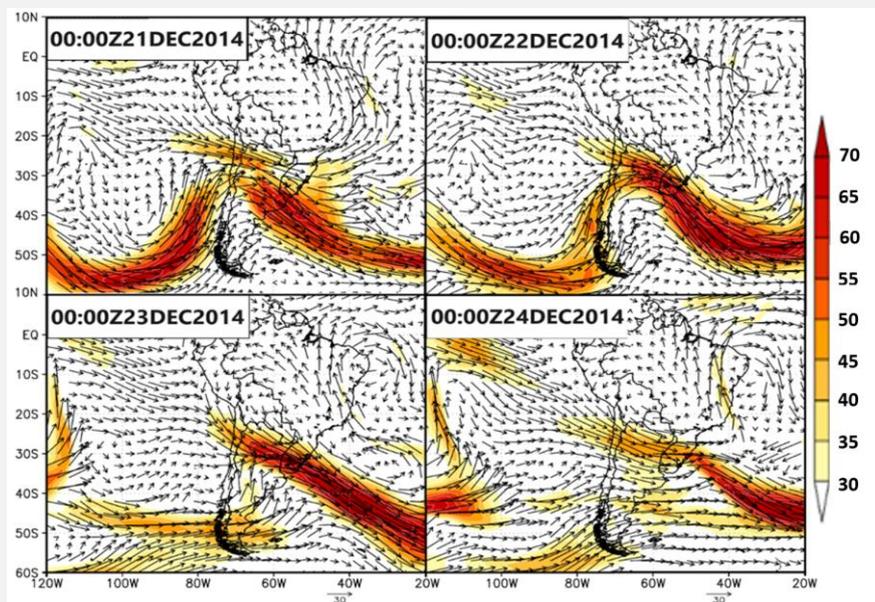


Figura 15. Evolución de los vientos (m/s) a 200 hPa (colores y vectores) del 21 al 24 de diciembre de 2014.

PROCEDIMIENTO PARA LA EMISIÓN DE AVISOS METEOROLÓGICOS

El diagrama de flujo (**Figura 16**) describe el proceso para identificar y contabilizar un evento de friaje para la emisión de avisos meteorológicos y notas de prensa ante la ocurrencia de estos eventos.

Para la emisión de un aviso meteorológico por friaje se deben cumplir dos criterios establecidos: primero, el criterio del análisis sinóptico tanto en alta troposfera (vaguada en altura) como a nivel de superficie (formación del AM); y segundo, el criterio de disminución de la temperatura mínima del aire por debajo de los umbrales de peligro establecidos (percentil 10, percentil 5 y percentil 1). Mientras que una nota de prensa se emitirá cuando, además de los criterios sinópticos, la temperatura mínima del aire descienda por debajo de su normal climática⁸, pero no por debajo de los umbrales de peligro. Cabe mencionar que, como lo muestran los casos de estudio, la temperatura máxima del aire también puede descender de forma conjunta con la temperatura mínima, incluso por debajo de los umbrales de peligro; no obstante, no siempre es el caso, por lo cual para la identificación de friajes solo se utilizará la temperatura mínima del aire y la temperatura máxima no será un condicionante. Finalmente, se contabilizarán los eventos de friaje que cumplan los criterios establecidos tanto para la emisión de avisos meteorológicos como notas de prensa.

A continuación, en la **Tabla 3** se muestra los umbrales de peligro basados en el documento del Procedimiento de Elaboración de Avisos Meteorológicos Versión 2 (SENAMHI, 2024) y su caracterización:

Tabla 3. 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 | $p10 > TN \geq p05$ | $p05 > TN \geq p01$ | $p01 > TN$ |
| Caracterización | Frío | Muy Frío | Extremadamente Frío |

Finalmente, el flujograma (**Figura 16**) muestra en el panel superior los patrones sinópticos más relevantes en alta troposfera y en superficie asociados a eventos de friaje que afectan a la Amazonía peruana y que constituyen el criterio sinóptico para la identificación de estos eventos. Mientras que en el panel inferior, se detallan los pasos seguidos, considerando el criterio de la disminución de la temperatura mínima del aire descrito en la sección anterior, que conllevarán o no a la emisión de avisos meteorológicos y notas de prensa por friajes.

8 Normal climática se define como el valor medio de los datos climatológicos calculados para periodos consecutivos de 30 años actualizables cada 10 años (SENAMHI, 2010).

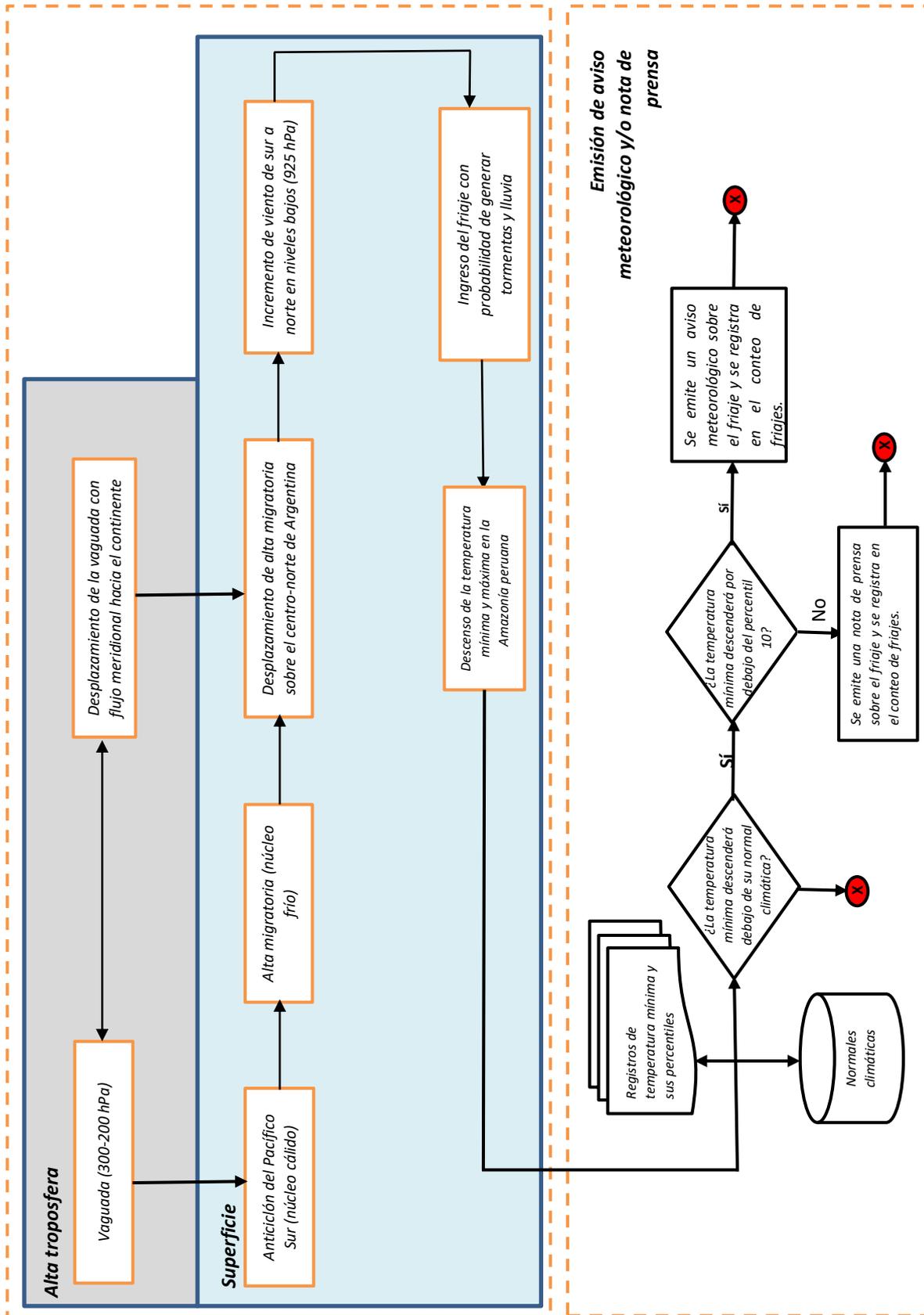


Figura 16. Diagrama de flujo para el proceso de identificación de un evento de friaje y la emisión de aviso meteorológico o nota de prensa.

CONCLUSIONES

- Para identificar un evento de friaje en la Amazonía peruana es necesaria la incursión de un Anticiclón Migratorio (AM) proveniente del Pacífico suroriental, que ingresa al continente sudamericano asociado a una vaguada en media y alta troposfera.
- El evento de friaje inicia con el ingreso del AM por el extremo sur de Chile, además de la ciclogénesis o fortalecimiento de una baja presión hacia el sureste de Brasil o noreste de Argentina, al cual se asocia un frente frío; este sistema suele avanzar hacia la zona tropical acompañado de lluvias, ráfagas de viento, descargas eléctricas y disminución de las temperaturas extremas del aire (diurnas y nocturnas). Generalmente, la cobertura nubosa que ingresa a la Amazonía peruana durante el día, propicia la disminución de la temperatura del aire e incrementa la sensación de frío en pocas horas. Posterior al paso del frente frío, la selva, usualmente, presenta condiciones de cielo despejado en gran parte del día, con probabilidad de niebla o neblina y sensación de frío durante la madrugada y primeras horas de la mañana, junto al descenso de la temperatura mínima del aire.
- Los friajes pueden presentarse durante todos los meses del año, sin embargo, la mayor frecuencia de eventos se presenta en los meses de invierno, con la mayor periodicidad en junio y julio; donde también se suelen registrar los descensos más significativos de la temperatura del aire en la Amazonía peruana. Por otro lado, la menor frecuencia de eventos se suele presentar en los meses de verano; en estos meses el descenso de la temperatura del aire no es marcado, pero sí se suelen presentar lluvias intensas, las cuales son características durante estos eventos.
- Para la emisión de avisos meteorológicos y notas de prensa de friajes en la Amazonía peruana, se debe considerar el diagrama de flujo para el proceso de identificación de eventos de un evento de friaje (Figura 16), el cual se basa en dos criterios fundamentales. El primero es el criterio sinóptico (AM con la vaguada asociada en altura) y el segundo, es la disminución de la temperatura mínima (nocturna) del aire por debajo de su normal climática, e incluso por debajo de los umbrales de peligro (percentiles 10, 5 y 1) establecidos para las estaciones meteorológicas convencionales ubicadas en la selva peruana.

RECOMENDACIONES

- La presente nota técnica representa una guía inicial, útil y práctica para los pronosticadores con el objetivo de identificar los friajes que afecten a la Amazonía peruana. Este documento es factible de ser actualizado, incluyendo nuevas técnicas de análisis, para complementar información sobre la frecuencia, intensidad e impacto de estos eventos sobre el territorio nacional.
- Por otro lado, se ha evidenciado la necesidad de contar con registros horarios de la temperatura del aire y/o realizar mediciones adicionales a las ya establecidas para estaciones meteorológicas convencionales, dado que la incursión del friaje durante el día puede ocasionar que la temperatura mínima del aire se registre posterior a la hora de medición de esta variable (07:00 hora local). Por ello, se plantea la propuesta de realizar la medición de la temperatura mínima dos veces al día (7:00 y 19:00 hora local), como se viene realizando en otros servicios meteorológicos, para tener mayor precisión en el comportamiento diario de esta variable.

REFERENCIAS

- Alfaro, L. (2014). Estimación de umbrales de precipitaciones extremas para la emisión de avisos meteorológicos. Nota Técnica 001-SENAMHI-DGM-2014. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12542/345>
- Avalos, G. y Quispe, N. (2000). Condiciones sinópticas de la incursión de una masa de aire frío en Sudamérica: caso julio 2000 y su impacto en la Selva Peruana. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/200>
- Calle, V. (1991): Incursión de un Frente Frío en la Selva Peruana y su efecto en los Cultivos. Tesis para optar al título de Ing. Meteorólogo. UNALM, Lima-Perú.
- Campetella, C. (2005). (2005). "Influencia de la Cordillera de los Andes sobre las perturbaciones baroclínicas invernales". Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n3945_Campetella.pdf
- Espinoza, J.C., Ronchail, J., Lengaigne, M. *et al.* Revisiting wintertime cold air intrusions at the east of the Andes: propagating features from subtropical Argentina to Peruvian Amazon and relationship with large-scale circulation patterns. *Clim Dyn* **41**, 1983–2002 (2013). <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1639-y>
- Marengo, J., Cornejo, A., Satyamurty, P and Nobre., C. (1997). Cold Surges in tropical and Extratropical South America: The Strong Event in June 1994. *Monthly Weather Review* **125** (11): 2759-2783. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1997\)125%3C2759:CSITAE%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1997)125%3C2759:CSITAE%3E2.0.CO;2)
- Marengo, J. (1983). Estudio Agroclimático de la zona de Genaro Herrera (Requena - Loreto) y climático en la selva baja norte del Perú. Tesis de Ingeniero Meteorólogo UNALM, Lima – Perú.
- Marengo, J. (1984). Estudio sinóptico-climático de los Frijes en la Amazonía peruana (in Spanish). *Revista Forestal del Perú*, **12**, 55–80. [http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol12_no1-2_84_\(16\)/vol12_art5.pdf](http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol12_no1-2_84_(16)/vol12_art5.pdf)
- Quispe, N. (2005). Condiciones Sinópticas de la Incursión de una Masa de Aire Frío en Sudamérica y su Impacto en los Cultivos de la Selva; Caso específico: Verano de 1996 e Invierno de 2000. Tesis de Ingeniero Meteorólogo UNALM, Lima- Perú.
- Garreaud, R. (1999). Cold Air Incursions over Subtropical and Tropical South America: A Numerical Case Study. *American Meteorological Society. Monthly Weather Review*. **127**: 2823-19853. http://dggf.uchile.cl/rene/PUBS/csurges_case_MWR.pdf
- Garreaud, R. (2000) Cold Air Incursions over Subtropical South America: Mean Structure and Dynamics. *American Meteorological Society. Monthly Weather Review*. **128**: 2544-2559. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2000\)128%3C2544:CAIOSS%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2000)128%3C2544:CAIOSS%3E2.0.CO;2)
- Seluchi, M., and Marengo, J. (2000). Tropical-Midlatitude Exchange of air masses during summer and Winter in South America: climatic aspects and examples of intense events. *Royal Meteorological Society. International Journal of Climatology*. **20**: 1167-1190 (2000). [https://doi.org/10.1002/1097-0088\(200008\)20:10%3C1167::AID-JOC526%3E3.0.CO;2-T](https://doi.org/10.1002/1097-0088(200008)20:10%3C1167::AID-JOC526%3E3.0.CO;2-T)
- Senamhi (2010). Normales climáticas. <https://www.gob.pe/institucion/senamhi/informes-publicaciones/1198085-normales-climaticas>
- Senamhi (2018). Un buen clima-Glosario de términos meteorológicos. <https://hdl.handle.net/20.500.12542/255>
- Senamhi (2024). Elaboración de Avisos Meteorológicos. Procedimiento: PR-DMA-002. Versión 2. Subdirección de Meteorología. Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/00711SENA-108.pdf>
- Villarejo, A. (1979). Así es la Selva. Así es la selva. Estudio monográfico de la Amazonía peruana: departamento de Loreto., Iquitos (Perú). Ed. CETA.
- Vera, C. S., and Vigliarolo, P. K. (2000) A diagnostic study of cold air outbreaks over South America. *Mon. Wea. Rev.* [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2000\)128<0003:ADSOCA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2000)128<0003:ADSOCA>2.0.CO;2)

Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica:

Vannia Aliaga Nestares valiaga@senamhi.gob.pe

Subdirección de Predicción Meteorológica:

Kelita Quispe Vega kquispe@senamhi.gob.pe

Elaboración:

- Noelia Goicochea Díaz
- Nelson Quispe Gutiérrez
- Tania Ita Vargas
- Diego Rodríguez Zimmermann
- José Mesía Goto
- Vannia Aliaga Nestares
- Kelita Quispe Vega
- Paulo Lanchipa Cisneros
- Mitza Puza Rivas
- Cristian Dávila Vilca
- Donna Villena Acho

Agradecimiento:

- Félix Cubas Saucedo
- Juan Benito Valderrama
- Pronosticadores de la Subdirección de Predicción Meteorológica

Nota técnica: Identificación de eventos de friajes en la Amazonía peruana



Servicio Nacional de Meteorología
e Hidrología del Perú - SENAMHI
Jr. Cahuide 785, Jesús María
Lima 11 - Perú

Central telefónica: [51 1] 614-1414
Atención al cliente: [51 1] 470-2867
Pronóstico: [51 1] 614-1407 anexo 407
Climatología: [51 1] 614-1414 anexo 475

Consultas y sugerencias:
pronosticador@senamhi.gob.pe