

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



**“COMPORTAMIENTO DEL CAUDAL Y LA PRECIPITACIÓN EN
LA CUENCA DE LOS RÍOS TARMA Y TULUMAYO POR
EFECTO DE LA INCURSIÓN DE FRENTES FRÍOS - FRIAJES”**

Presentada por:

Eduardo Martín Valeriano Marzano

Trabajo monográfico para Optar el Título de:

INGENIERO METEORÓLOGO

Lima - Perú

2018

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS DEL PRESENTE TRABAJO.....	2
II. REVISION BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. LA ATMÓSFERA	3
2.2. PRESIÓN Y SISTEMAS DE PRESIÓN	4
2.2.1. Ecuación Hidrostática	4
2.2.2. Carta Sinóptica	5
2.3. CIRCULACIÓN GENERAL DE LA ATMÓSFERA	8
2.4. TEORÍA CUASIGEOSTRÓFICA.....	9
2.5. ECUACIÓN DE CONTINUIDAD.....	10
2.6. ECUACIÓN DE MOMENTO.....	11
2.7. ECUACIÓN DE ESTADO.....	11
2.8. ECUACIÓN TERMODINÁMICA.....	12
2.9. VORTICIDAD.....	13
2.10. INCURSIÓN DE FRENTE FRÍOS (FRIAJES) EN LA AMAZONÍA PERUANA.....	15
2.11. SATÉLITE TERRA	17
2.12. SATÉLITE GOES 13.....	18
2.13. FRENTE	19
2.14. FORMACIÓN DE PRECIPITACIONES	21
2.15. AIRE HÚMEDO.....	22
2.16. CUENCA HIDROGRÁFICA.....	24
2.17. REANÁLISIS – NCEP/NCAR REANALYSIS	25
III. DESARROLLO DEL TEMA	26
3.1. MATERIALES Y EQUIPOS	26
3.1.1. ÁREA DE ESTUDIO	26
3.1.2. Periodo de estudio del evento.....	29
3.1.3. Información meteorológica e hidrológica observadas	30
3.1.4. Imágenes de Satélites	31

3.1.5. Información de Reanálisis de NCEP-NCAR	31
3.1.6. Materiales	32
3.2. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTOS	32
3.2.1. Metodología para Determinar la Relación del Frente Frío y el Incremento Súbito del Caudal en los Ríos Tarma y Tulumayo	32
3.2.2. Metodología para Determinar las Condiciones Sinópticas sobre la Incursión del Frente Frío en la Selva Peruana	34
3.3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	35
3.3.1. Análisis Meteorológico de las Estaciones de la Selva	35
3.3.2. Análisis Hidrológico y Pluviométrico de las Cuencas de los Ríos Tarma y Tulumayo	51
3.3.3. Relación de la Incursión del Frente Frío (Friaje) en los Caudales de los Ríos Tarma y Tulumayo	54
3.3.4. Análisis Sinóptico del Frente Frío - Friaje	61
3.3.5. Análisis de Imágenes Satelitales	67
IV. CONCLUSIONES	69
V. RECOMENDACIONES	71
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
VII. ANEXOS	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Relación de bandas del Satélite GOES 13.....	19
Tabla 2: Periodo del evento.....	30
Tabla 3: Datos de variables meteorológicas diarias por estación – Año 2013.....	30
Tabla 4: Data hidrológica de caudales promedios diarios recopilada – Año 2013	30
Tabla 5: Estaciones Meteorológicas	31
Tabla 6: Estaciones Hidrológicas	31
Tabla 7: Imágenes de Satelitales GOES 13 y TERRA – 15:00 Z	31
Tabla 8: Variación mensual climática de la temperatura mínima (1965-2008).....	36
Tabla 9: Comportamiento estadístico de la temperatura mínima de las estaciones de Pto. Maldonado, Pucallpa, Tarapoto e Iquitos. Meses: Abril - Setiembre 2013	37
Tabla 10: Comportamiento estadístico multianual de la temperatura mínima (1966-2000) en la estación de Pto. Maldonado. Mes: Julio	40
Tabla 11: Comportamiento estadístico de la temperatura mínima. Mes: Julio 2013	41
Tabla 12: Variación horaria de las variables meteorológicas. Estación de Pto. Maldonado. Mes: 22 al 26 de Julio 2013	44
Tabla 13: Variación de la temperatura mínima (°C) en las estaciones de Pto. Maldonado, Pucallpa, Tarapoto e Iquitos en los días 21 al 28 de julio del 2013	49
Tabla 14: Variación mensual climática de caudales (2000-2013).....	51
Tabla 15: Casos centrados de descensos de la temperatura mínima con incrementos del caudal	55
Tabla 16: Variación de la precipitación (mm) y caudal (m ³ /s) de las estaciones pluviométricas e hidrométricas en los días 22 al 28 de julio del 2013	57
Tabla 17: Análisis estadístico de Saltos.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura de la atmósfera.....	3
Figura 2: Convergencia en un centro de baja presión.....	6
Figura 3: Divergencia en un centro de alta presión	7
Figura 4: Vaguada y dorsal en altura media (500 hPa)	7
Figura 5: Circulación General de la Atmósfera	9
Figura 6: Esquema cuña-vaguada relativo a la advección de vorticidad en zonas de convergencia y divergencia (Nivel= 500 hPa)	14
Figura 7: Trayectorias de sistemas anticiclónicos migratorios antárticos e invernales .	15
Figura 8: Trayectoria de un frente migratorio antártico e invernal	17
Figura 9: Ejemplo de combinación de tres bandas espectrales del sensor MODIS	18
Figura 10: Frente frío.....	20
Figura 11: Frente cálido	20
Figura 12: Formación por convección térmica	21
Figura 13: Formación por ascenso orográfico.....	22
Figura 14: Cuenca hidrográfica.....	25
Figura 15: Mapa de Sudamérica donde se realizará las corridas del Reanálisis NCEP-NCAR.....	27
Figura 16: Mapa con las estaciones meteorológicas de la selva baja.....	29
Figura 17: Mapa de ubicación de las estaciones pluviométricas e hidrométricas en las cuencas de los ríos Tarma y Tulumayo.....	29
Figura 18: Variación mensual climática de la temperatura mínima (1965-2008) de las estaciones de Pto. Maldonado, Pucallpa, Tarapoto e Iquitos	36
Figura 19: Variación diaria de la temperatura mínima (línea roja) y precipitación (línea verde). Meses: Abril – Septiembre 2013.....	39
Figura 20: Variación multianual de la temperatura mínima (1966-2000) de la estación de Pto. Maldonado. Mes: Julio	40
Figura 21: Variación diaria de las temperaturas extremas (mínima y máxima) y precipitación. Mes: Julio 2013.....	42
Figura 22: Variación diaria de la temperatura del aire, presión atmosférica, velocidad del viento y dirección del viento. Estación Pto. Maldonado. Mes: Julio 2013	43

Figura 23: Variación horaria de la temperatura del aire, presión atmosférica y humedad relativa. Estación Pto. Maldonado. Mes: 22 al 26 de Julio 2013.....	45
Figura 24: Variación diaria de la temperatura del aire, presión atmosférica, velocidad del viento y dirección del viento. Estación Pucallpa. Mes: Julio 2013.....	46
Figura 25: Variación diaria de la temperatura del aire, presión atmosférica, velocidad del viento y dirección del viento. Estación Tarapoto. Mes: Julio 2013	46
Figura 26: Variación diaria de la temperatura del aire, presión atmosférica, velocidad del viento y dirección del viento. Estación Iquitos. Mes: Julio 2013	47
Figura 27: Variación de la temperatura mínima por medio del Satélite GOES 13. Imagen visible del 22 al 25 de julio del 2013.....	48
Figura 28: Variación de la temperatura mínima por medio del Satélite GOES 13. Imagen visible del 26 al 27 de julio del 2013.....	50
Figura 29: Variación mensual climática de caudales (1965-2008) de los ríos Tarma (línea roja) y Tulumayo (línea azul)	51
Figura 30: Variación diaria del caudal promedio del río Tarma (EH Toma Tarma) durante el año 2013.....	52
Figura 31: Variación diaria del caudal promedio del río Tulumayo (EH Toma Chimay) durante el año 2013.....	52
Figura 32: Variación diaria de caudales y de precipitaciones en las cuencas de los ríos Tarma y Tulumayo. Meses de abril a setiembre del 2013	53
Figura 33: Variación diaria de caudales y de precipitaciones en las cuencas de los ríos Tarma y Tulumayo. Mes: Julio del 2013	54
Figura 34: Variación diaria de caudales (ríos Tarma y Tulumayo), precipitaciones (Huasahuasi, Tarma, Ricrán, Comas y Runatullo) y temperatura mínima de Pto. Maldonado. Meses de abril a setiembre del 2013.....	55
Figura 35: Variación diaria de caudales (ríos Tarma y Tulumayo), precipitaciones (Huasahuasi, Tarma, Ricrán, Comas y Runatullo) y temperatura mínima de Pto. Maldonado. Mes de julio del 2013	56
Figura 36: Seguimiento de las precipitaciones (mm) versus caudal (m ³ /s) en las cuencas de los ríos Tarma y Tulumayo por medio del Satélite TERRA. Días: 22 al 28 de julio del 2013	58
Figura 37: Curva Doble Masa – Río Tarma (EH Toma Tarma)	60
Figura 38: Curva Doble Masa – Río Tulumayo (EH Toma Chimay)	60
Figura 39: Análisis sinóptico de superficie desde 20 al 23 de julio del 2013.....	62

Figura 40: Campos de presión a nivel del mar (líneas colores - hPa) y espesor 1000-500 (líneas negras - mgp). Análisis: 1200Z desde el 20 al 23 de julio del 2013	64
Figura 41: Campos de temperatura del aire (°C) y vientos (nudos) – Nivel 850 hPa. Análisis: 1200Z desde el 20 al 23 de julio del 2013	65
Figura 42: Campos de temperatura del aire (°C) y vientos (nudos) – Niveles de 700 hPa y 850 hPa. Análisis: 1200Z desde el 23 al 24 de julio del 2013.....	66
Figura 43: Satélite GOES 13. Imagen visible del 21 al 22 de julio del 2013	67

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Comportamiento diario de variables meteorológicas	74
Anexo 2: Ubicación de la zona de estudio.....	78
Anexo 3: Información meteorológica diaria	79
Anexo 4: Cálculo de relación de mezcla	80
Anexo 5: Información estadística.....	81

RESUMEN

En el presente trabajo monográfico se analizará la incursión del frente frío (friaje) en el territorio peruano y su impacto en el incremento súbito de los caudales de los ríos Tarma y Tulumayo, entre los días 22 al 28 de julio del 2013.

En el periodo que ocurre la incursión del frente frío sobre la selva peruana se realiza un análisis climático mensual e información diaria del 2013 de la temperatura mínima de 4 estaciones como Pto. Maldonado, Pucallpa, Tarapoto e Iquitos. A partir del día 22 de julio - por medio de las imágenes de los satélites GOES 13 y TERRA - se observará el efecto de la incursión del frente frío, como la intensificación de las lluvias, fuertes vientos, descenso de la temperatura del aire, así también el incremento de la presión atmosférica.

A los dos días de la incursión del frente frío, sobre la selva sur y su avance hacia el norte, se intensifican las precipitaciones sobre las cuencas de los ríos Tarma y Tulumayo, ubicadas en la región central de la cordillera oriental de los Andes; paralelamente a ello las temperaturas mínimas en Pto. Maldonado descienden a 9.5°C (24 de julio del 2013) y se incrementan los caudales diarios de los ríos Tarma y Tulumayo.

Dos días antes al ingreso del frente frío por la selva peruana, se observa la migración de un alta migratoria (una dorsal) por el sur de Chile y en niveles altos un sistema cuña – vaguada en dirección de oeste a este, desde el Océano Pacífico al Océano Atlántico.

El descenso de la temperatura superficial en la selva peruana está asociada a la advección de masa de aire polar, la que también afectó el flanco oriental de los andes, con intensificación de las precipitaciones, y producto de ello el incremento súbito de los caudales de los ríos Tarma y Tulumayo.

Palabras clave: Friaje, frente, advección.

ABSTRACT

In this paper we will analyze the incursion of the cold front in the Peruvian territory and its impact on the sudden increase of the flows of the Tarma and Tulumayo rivers, from July 22 to 28, 2013.

In the period of the cold front incursion into the Peruvian jungle, a monthly climate analysis and daily information of the minimum temperature of 4 stations such as Pto. Maldonado, Pucallpa, Tarapoto and Iquitos. From July 22 - through the images of the GOES 13 and TERRA satellites - the effect of the incursion of the cold front will be observed, as the intensification of the rains, strong winds, descent of the air temperature, also the increase in atmospheric pressure.

Two days after the incursion of the cold front over the south jungle and its advance towards the north, precipitation raise over the basins of the Tarma and Tulumayo rivers, located in the central region of the eastern cordillera of the Andes; parallel to this, the minimum temperatures in Pto. Maldonado fell to 9.5 ° C (July 24, 2013) and, at same time, the daily flows of the Tarma and Tulumayo rivers increase.

Two days before the arrival of the cold front in the Peruvian jungle, the migration of a high migratory (a dorsal) is observed in the south of Chile and in high levels a wedge - trough system in a direction from west to east, from the Pacific Ocean to the Atlantic Ocean.

The decrease in surface temperature in the Peruvian rainforest is associated with the advection of the polar air mass, which also affected the eastern flank of the Andes, with an intensification of precipitation, and as a result the sudden increase in the flows of the Tarma and Tulumayo rivers.

Key words: Friaje, front, advection.

I. INTRODUCCIÓN

Unos de los grandes tributarios de los ríos de la selva son los ríos de la vertiente oriental, también conocidos como la vertiente andina. Las montañas andinas son poseedoras de una de las geologías más diversas y complejas de la cuenca amazónica. Entre tantos tributarios de los ríos cuyas fuentes se originan en los Andes tenemos a los ríos Tarma y Tulumayo, que comparten dos de las tres regiones naturales como son la sierra y la selva.

En la selva peruana como las zonas altas y bajas se ven afectadas por la actividad frontal antes mencionados, debido al encuentro de masas locales cálidas y de masas invasoras frías, que no sólo producen un efecto en la temperatura del aire en perjuicio a las actividades agrícolas y silviculturales de la selva peruana, también se produce otro efecto como el incremento de la inestabilidad en la atmósfera a lo largo de la ceja de selva peruana y los Andes orientales.

La cordillera oriental de los Andes, es un gran obstáculo para el flujo normal de los vientos desde la selva hacia la sierra en los diferentes niveles de la atmósfera. El ascenso forzado de la humedad (proceso orográfico) genera una gran inestabilidad en la vertiente oriental central de los Andes; con intensas precipitaciones en esta parte de la cordillera y como producto de ello se incrementan los niveles de los ríos Tarma y Tulumayo de un día a otro.

Para el presente trabajo se estudiará la relación que hay entre la masa de aire polar conocido como Friaje y el incremento de los caudales de los ríos Tarma y Tulumayo, entre los días 22 al 28 de julio del 2013. Se analizará la información climática en superficie de estaciones meteorológicas en la selva baja y de estaciones pluviométricas e hidrométricas sobre el entorno de los ríos Tarma y Tulumayo, los que se ubican en el departamento de Junín. Así mismo, se realizará un seguimiento satelital por medio de

los satélites GOES 13 y TERRA, y además se hará un análisis sinóptico del frente frío en Sudamérica y Perú, para lo cual se recurrió a la información de Reanálisis procedente del proyecto NCEP/NCAR.

1.1. OBJETIVOS DEL PRESENTE TRABAJO

- Determinar la relación que hay entre los incrementos de caudales de los ríos Tarma y Tulumayo con la incursión de una masa de aire frío polar del 22 al 28 de julio del 2013.
- Determinar las condiciones sinópticas que influyen en la incursión de una masa de aire frío polar en Sudamérica y Perú.

II. REVISION BIBLIOGRÁFICA

2.1. LA ATMÓSFERA

El término atmósfera se refiere a la envoltura gaseosa que envuelve la Tierra sostenida por la acción gravitacional del planeta. En constante movimiento rotacional se extiende desde la superficie terrestre hasta el límite que conecta al espacio. La atmósfera actúa como un fluido de baja conducción de calor capaz de albergar vida solo en sus niveles más bajos. Aun cuando su densidad decrece con la altura su composición no se ve mayormente afectada hasta los 60 km., sobre este límite el ozono y otras trazas atmosféricas se ven afectados por reacciones químicas. Principalmente está compuesta por Nitrógeno, Oxígeno, Argón y CO₂ (ver figura 1).

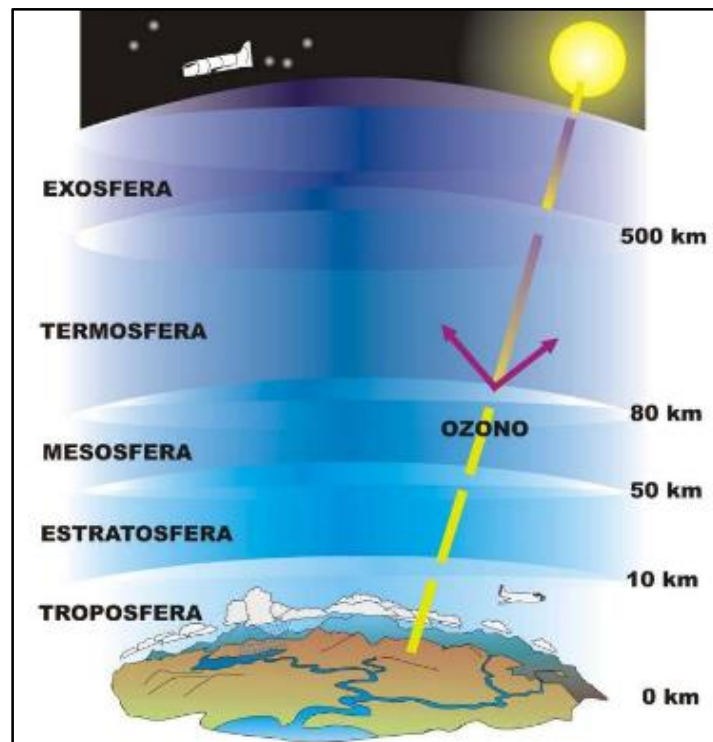


Figura 1: Estructura de la atmósfera

De la estructura de la Atmósfera se presenta las siguientes capas:

- Tropósfera: es la capa de la atmósfera en contacto directo con la superficie terrestre y se extiende hasta una altura promedio de 11 km. Dentro de ella la temperatura es inversamente proporcional con la altura llegando hasta los -65°C en promedio. Por efectos gravitatorios contiene el 75% de la masa total de la atmósfera.
- Estratósfera: se extiende desde la tropopausa hasta los 50 km de altitud. En los niveles bajos su temperatura es constante para luego subir hasta los 0°C debido a la absorción de la radiación ultravioleta (UV) en el ozono residente en la capa baja y posterior retransmisión radiactiva en forma de calor (Infrarrojo).
- Mesósfera: región donde la temperatura disminuye con la altura llegando hasta los -90°C entre los 80 y 90 km.
- Termósfera: capa más externa de la atmósfera la cual sostiene la exósfera en la región superior (> 700 km.) y a la ionósfera en su parte baja.
- Ionósfera: región donde el aire es ionizado por la radiación solar.

2.2. PRESIÓN Y SISTEMAS DE PRESIÓN

Al estar la atmósfera constituida por partículas con momentum ejercen una fuerza sobre una determinada superficie, es decir presión. A la presión que ejerce la atmósfera se le denomina Presión Atmosférica (PA) la cual medido sobre el nivel del mar es en promedio 760 mmHg o bien 1013.25 hPa.

2.2.1. Ecuación Hidrostática

La presión en la atmósfera, al comportarse como un fluido y regida por la ecuación hidrostática, es función lineal de la profundidad por lo que disminuye a medida que nos alejamos de la superficie.

$$dp = -g\rho dz \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Donde:

p = presión atmosférica

ρ = densidad del aire

g = aceleración de gravedad

z = profundidad medida desde el borde de la atmósfera

2.2.2. Carta Sinóptica

Cuando revisamos una carta sinóptica nos encontramos ciertos patrones que hacen referencia a sistemas de presión que caracterizan un espacio y tiempo determinado. Estos sistemas del tipo sinóptico lideran la meteorología local y a través de dicha información se pueden elaborar pronósticos meteorológicos.

Dentro de los más comunes podemos distinguir los siguientes sistemas de presión:

a. Centro de Baja Presión

También llamados depresión o ciclón corresponden a áreas de baja presión atmosférica en superficie, donde a medida que nos alejamos de su centro la presión en las isóbaras comienzan a subir. La baja presión en el centro produce que al aire fluya hacia él (convergencia) para luego ascender niveles más altos provocando un centro de alta presión en altura (ver Figura 2).

El ascenso de aire genera la nubosidad característica de los centros de baja presión asociados al mal tiempo. Debido a la rotación terrestre, en el hemisferio sur, el aire converge al centro de baja presión girando en sentido horario (en el hemisferio norte lo hace en sentido antihorario).

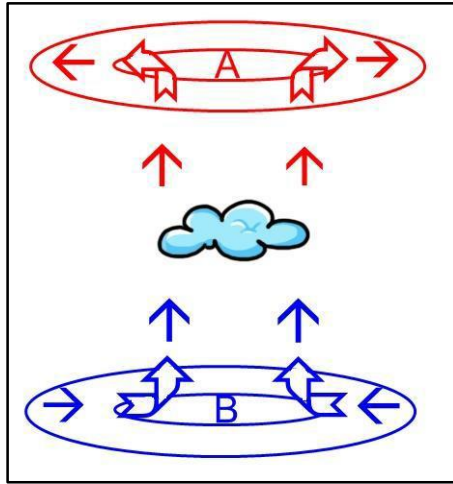


Figura 2: Convergencia en un centro de baja presión

b. Centro de Alta Presión

También llamados anticiclón son centros de alta presión relativa la cual disminuye a medida que nos alejamos de él.

La sobrepresión en el centro produce que el aire fluya hacia afuera (dispersión), así por el principio de conservación de masa en un fluido se fuerza el descenso de aire cálido desde la altura en un proceso llamado subsidencia provocando allí un centro de baja presión relativo (ver Figura 3).

En el hemisferio sur el viento diverge desde el centro de alta presión en sentido antihorario (caso contrario en el hemisferio norte). Debido a la constante subsidencia predominan los cielos despejados asociados al buen tiempo.

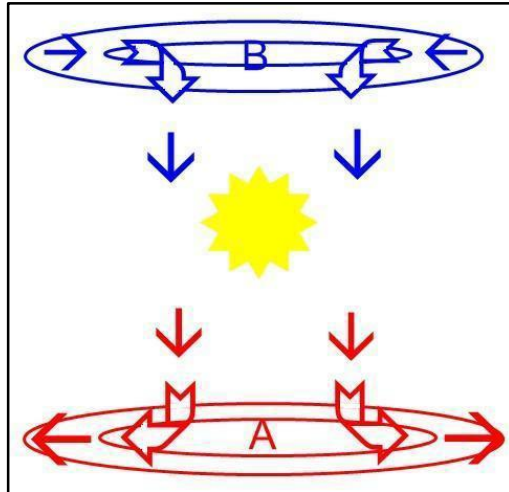


Figura 3: Divergencia en un centro de alta presión

c. Dorsal y Vaguada en Altura

Corresponden a la línea que marca la curvatura máxima cuya dirección traza una ruta de isohipsas en acenso o disminución (ver Figura 4). En superficie y frente al eje de una dorsal en altura forma un centro de alta presión y, para el caso de una vaguada en altura, un centro de baja presión.

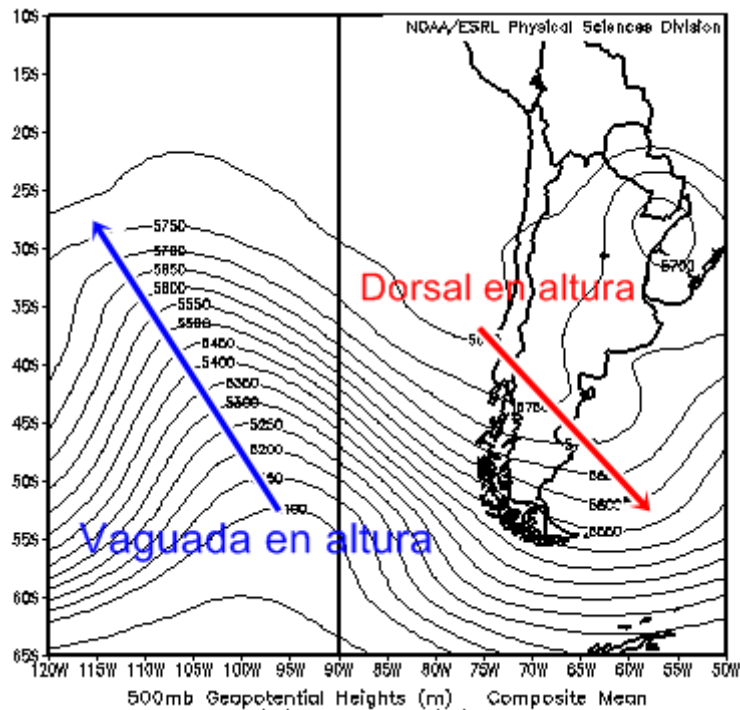


Figura 4: Vaguada y dorsal en altura media (500 hPa)

2.3. CIRCULACIÓN GENERAL DE LA ATMÓSFERA

Desde la línea ecuatorial del planeta ascienden masas de aire al ser calentadas por la intensa radiación solar. La masa de aire perdida es compensada desde la zona intertropical por vientos que adquieren una componente oeste debido a la rotación planetaria generando los conocidos vientos alisios que convergen en una zona denominada Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT).

El exceso de aire en altura que rodea la ZCIT es transportado hacia los polos por corrientes en altura. A medida que la latitud aumenta, su temperatura va disminuyendo, incrementando su densidad hasta que finalmente convergen por gravedad en torno a los 30° de latitud en ambos hemisferios en un proceso conocido como subsidencia. El aire descendente se caracteriza por ser seco y a medida que se acerca a la superficie su temperatura aumenta por compresión. En especial en zonas oceánicas o costeras se encuentra con una capa de aire más fría y húmeda, generando así una marcada inversión térmica conocida como de subsidencia.

En la zona que rodea los 30° de latitud se forman en superficie un cinturón de centros de alta presión atmosférica que se localizan preferentemente sobre los océanos. El centro de alta presión es llamado Anticiclón del Pacífico Sur ubicado sobre el océano entre los 20°S a 35°S en invierno y 20°S a 40°S en verano. En superficie, parte del aire proveniente del proceso de subsidencia es transportado nuevamente hacia la ZCIT, cerrando un circuito conocido como Celda de Hadley, mientras otra parte es transportada hacia los polos para compensar las zonas de baja presión relativa.

En los polos existe un circuito atmosférico de características opuestas al mencionado anteriormente. La escasa insolación recibida genera la subsidencia de aire seco y denso generando un centro de alta presión en superficie o Alta Polar produciendo la divergencia de aire hacia latitudes menores (60°S) dando lugar a la interacción de las corrientes de aire subtropical marítimas con las subpolares y subantárticas. Es allí donde se produce la forzada divergencia de aire hacia niveles más altos formando un cinturón de centros de baja presión que a diferencia de los del ZCIT son dinámicos,

desplazándose de oeste a este por todo el globo. Esta región de convergencia es conocida como Frente Polar y da origen a la mayoría de los sistemas frontales que afectan el sur y centro de Chile. El frente polar que es más frío y denso que el aire subtropical y tropical, se mueve desde el sur empujando hacia el norte produciendo una masa de aire frío en el continente conocido también como Anticiclón Migratorio de núcleo frío.

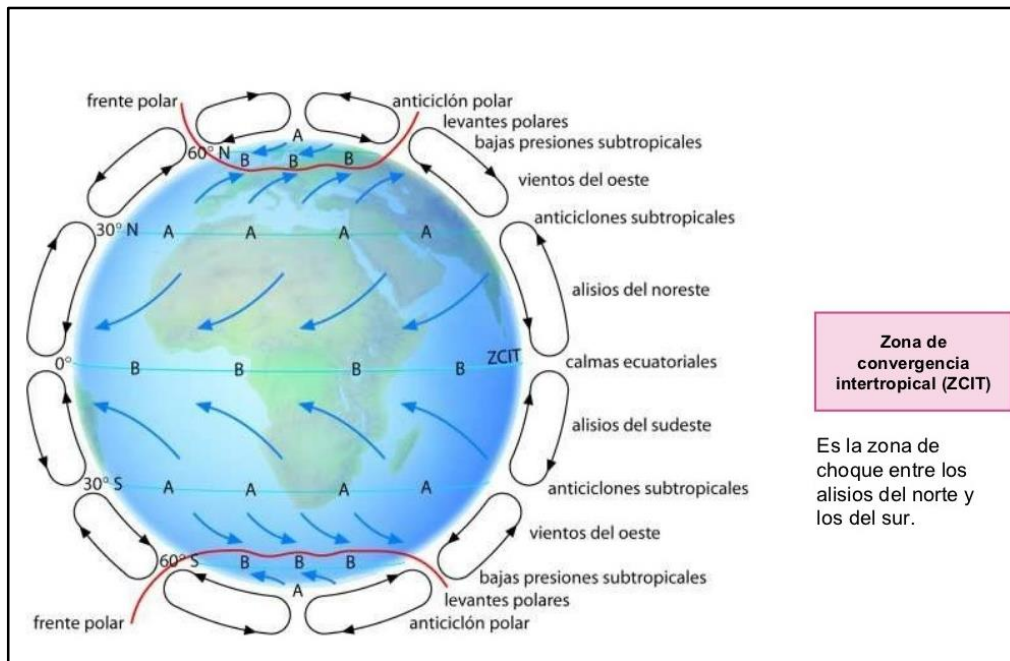


Figura 5: Circulación General de la Atmósfera

2.4. TEORÍA CUASIGEOSTRÓFICA

Cuando nos enfrentamos a las ecuaciones que gobiernan a la atmósfera, la primera impresión es que son ecuaciones muy complejas (ecuaciones en derivadas parciales que no admiten soluciones exactas si queremos resolverlas).

Las ecuaciones que gobiernan a la atmósfera son ecuaciones muy complejas y para comprender los procesos básicos que rigen la dinámica de la atmósfera se suelen hacer unas aproximaciones y suposiciones básicas. Estas suposiciones permiten obtener expresiones físico-matemáticas que son más fáciles de comprender, simular y nos señalan cuales son los mecanismos que controlan a los fenómenos atmosféricos a gran

escala o escala sinóptica.

Una de las aproximaciones más simples es la proporcionada por la teoría cuasigeostrófica. En ella se estudia, se analiza y obtienen unos resultados suponiendo una atmósfera cuasigeostrófica (ideal). (Medina, 1984).

Esta atmósfera ideal se supone que cumple unas condiciones singulares:

- No existen nubes (atmósfera seca) y fuentes de calor al sistema considerado (atmósfera adiabática).
- No existe rozamiento, por ejemplo, entre el aire y otras superficies (tierra, mar, etc.).
- El viento y el geopotencial están relacionados por una ecuación muy simple. Existe una relación muy simple entre la presión y la densidad del aire (aproximación hidrostática).

2.5. ECUACIÓN DE CONTINUIDAD

Según Medina M (1984), expresa que, si un conjunto de partículas de un fluido ocupa, en un instante determinado, un volumen V limitado por una superficie fluida, esa superficie se comporta impenetrable, aunque deformable; de manera que la masa del fluido que hay en interior (ρV) no varía, aunque dicha superficie sufra deformaciones que hagan variar el volumen que delimita; de modo que si dicho V , la densidad ρ del fluido disminuye, y recíprocamente, se cumple:

$$\rho V = \text{constante} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$\text{y derivando } d(\rho V) / dt = 0 \dots \dots \dots (2.3)$$

$$\text{se tiene } \rho dV/dt + V d\rho/dt = 0 \dots \dots \dots (2.4)$$

y se divide la ecuación a entre b y resolviendo obtendremos:

$$\nabla \cdot \vec{V}_h = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{\partial \omega}{\partial p} \dots\dots\dots (2.5)$$

2.6. ECUACIÓN DE MOMENTO

La ecuación de momento horizontal según la segunda ley de Newton “las aceleraciones de una partícula son iguales al vector suma de las fuerzas que actúan sobre un campo”, y está escrita en su forma vectorial.

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla p - f\hat{k} \times \vec{V}. \dots\dots\dots (2.6)$$

2.7. ECUACIÓN DE ESTADO

En física y química, una ecuación de estado es una ecuación constitutiva para sistemas hidrostáticos que describe el estado de agregación de la materia como una relación matemática entre la temperatura, la presión, el volumen, la densidad, la energía interna y posiblemente otras funciones de estado asociadas con la materia.

En las siguientes ecuaciones las variables están definidas como aparece a continuación; se puede usar cualquier sistema de unidades aunque se prefieren las unidades del Sistema Internacional de Unidades:

P = Presión (atmósferas)

V = Volumen

n = Número de moles

$v = V/n$ = Volumen molar, el volumen de una mol de gas

T = Temperatura (K)

R = constante de los gases ideales (8,314472 J/mol·K) o
(0,0821 atm·L/gmol·K)

Tomando las aproximaciones anteriores, la ley de gases ideales puede escribirse

$$Pv_m = RT \dots\dots\dots (2.7)$$

v es el volumen específico, que se define como el volumen total sobre la masa (con unidades en gramos, kilogramos, libras, etc.) o como el volumen total sobre la cantidad de materia (medida en gramos moles, libras moles, etc.). El primero se denomina volumen específico másico y el segundo volumen específico molar. Para la expresión anterior se utiliza el volumen específico molar. Si se quiere expresar en función del volumen total, se tiene lo siguiente:

$$PV = nRT \dots\dots\dots (2.8)$$

2.8. ECUACIÓN TERMODINÁMICA

Un sistema termodinámico puede intercambiar energía con su entorno en forma de trabajo y de calor, y acumula energía en forma de energía interna. La relación entre estas tres magnitudes viene dada por el principio de conservación de la energía.

$$Q = W + \Delta U \dots\dots\dots (2.9)$$

Este enunciado del principio de conservación de la energía aplicado a sistemas termodinámicos se conoce como Primer Principio de la Termodinámica.

- ΔU = Cambio de energía interna
- W = Trabajo realizado por el sistema
- Q = Calor neto

2.9. VORTICIDAD

Es una magnitud ligada a las partículas de aire de su propio movimiento; es, por tanto, una propiedad másica que se propagará de unas capas a otras por simple mezcla turbulenta. Tendrá por ello, una especial facilidad para propagarse de arriba hacia abajo y viceversa, lo cual tiene una notable importancia en la formación de la ciclogénesis, sobre todo desde sistemas de alta hacia bajo tropósfera (Medina, 1984).

Cuando las partículas del aire son arrastradas por el viento, a lo largo de las distintas cuñas y vaguadas, presentan no sólo un movimiento de traslación, sino también un movimiento de giro sobre sí mismas (vorticidad) a lo largo de su trayectoria. La vorticidad surge en una corriente siempre que el vector velocidad no sea constante a lo largo del recorrido ya sea por cambios en la velocidad (módulo) o en la dirección.

Entonces, en una corriente en que el vector velocidad del viento es constante (en módulo y dirección), las partículas de aire no girarán sobre sí mismas. Si permanece constante la dirección, pero no el módulo de la velocidad, existirá una cortante o variación lateral de la velocidad del viento. Entonces, a mayor cortante, mayor vorticidad (efecto de la cortante).

Por otra parte, si el módulo permanece constante, pero varía la dirección, también habrá vorticidad. Esta será directamente proporcional al módulo de la velocidad e inversamente proporcional al radio de curvatura (efecto de curvatura). Sumando ambos efectos, se obtiene la vorticidad relativa, que resulta del giro de las partículas de aire en relación con una Tierra fija, que no rota. Si le agregamos el efecto de rotación de la Tierra (Coriolis), aparece la vorticidad absoluta.

Se llama advección de vorticidad en un punto, al cambio de vorticidad a través del tiempo, debido al arrastre de esa propiedad por efecto del viento. Por efecto de la advección de vorticidad ciclónica en el nivel de 500 hPa y en la vertical al punto de inflexión, existe máximo aumento, a través del tiempo, de la rotación ciclónica de las partículas. O sea que el viento trae partículas con rotación cada vez más ciclónica. En

cambio, en la parte delantera de una cuña, el aire trae partículas de aire con rotación cada vez más anticiclónica.

El aire es baroclínico cuando no existe relación entre la densidad (o temperatura) y la presión, las superficies isotérmicas se encuentran inclinadas y las isobáricas están prácticamente horizontales. En consecuencia, se cortan formando ángulos entre sí (quedan configurados así unos prismas de aire que reciben el nombre de solenoides).

Cuando en todo punto del espacio, la densidad (y por consiguiente la temperatura), está en función de la presión (las superficies isotérmicas e isobáricas son paralelas) se dice que el aire es barotrópico.

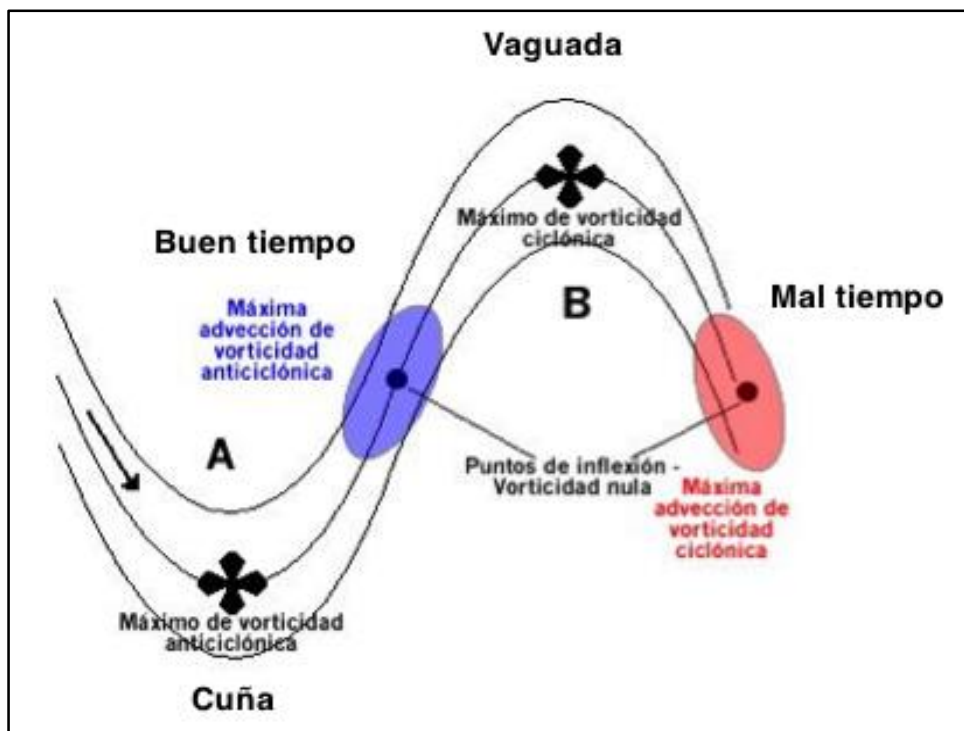
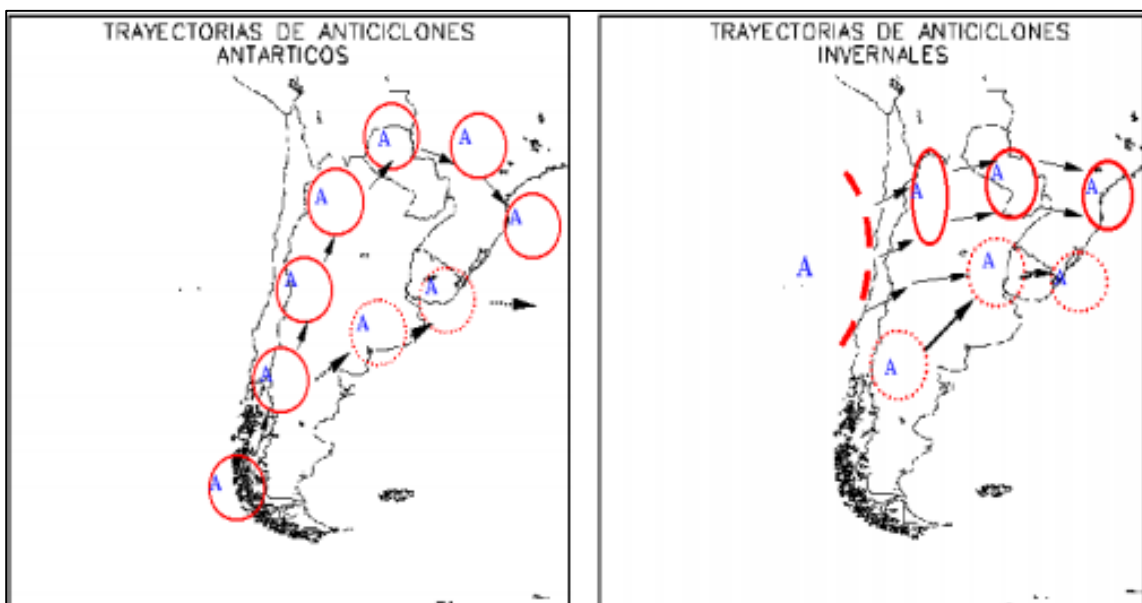


Figura 6: Esquema cuña-vaguada relativo a la advección de vorticidad en zonas de convergencia y divergencia (Nivel= 500 hPa)

2.10. INCURSIÓN DE FRENTE FRÍOS (FRIAJES) EN LA AMAZONÍA PERUANA

Friaje es definido como un frente frío que avanza sobre la Amazonía Central en la época de menor precipitación. La temperatura del aire decrece en horas, hasta valores de 10°C a 5°C, que son extremadamente bajos para los trópicos; generalmente estos friajes están asociados a vientos de alta velocidad. El evento tiene efecto sobre las actividades agrícolas y silviculturales de la zona.

Los friajes están asociados a anticiclones migratorios que durante la estación de invierno ingresan al continente por los Andes del sur de Chile. En la figura 7, se describe una típica trayectoria de un Anticiclón Antártico (transporta aire frío y seco que ingresa desde el extremo sur de la Patagonia y se desplaza hacia el norte de Argentina y si las condiciones no son favorables se desplaza hacia el noreste de la Patagonia ingresando rápidamente al Atlántico); mientras que, en situaciones invernales lo más común es la presencia del Anticiclón semipermanente del Pacífico, que genera un Anticiclón migratorio que se mueve directamente hacia centro de Argentina, luego prosigue en marcha hacia el noreste (ver Figura 7).



**Figura 7: Trayectorias de sistemas anticiclónicos migratorios antárticos e
invernales**

Hamilton y Tarifa (1978), describieron que el episodio de la helada de 1972 afectó las plantaciones de café en Paraná y alrededores. En este evento observaron una oclusión del aire frío de origen polar sobre la región. Enfatizaron la importancia del centro frío de un anticiclón en bajos niveles, que siguió una trayectoria continental desde el sur de Argentina hacia latitudes tropicales. Asimismo, observaron la formación explosiva de una ciclogénesis sobre el sur de Brasil y posteriormente este ciclón se movió al sureste de su ubicación de formación en dirección al Océano Atlántico.

Marengo (1983), en la zona de Jenaro Herrera ($4^{\circ}39' S$, $73^{\circ}30' W$), encontró cambios característicos en el estado del tiempo, viento fuerte del sur, descenso de humedad, incremento de presión, variación de nubosidad y temperaturas mínimas de hasta $11.4^{\circ} C$ en julio de 1975, que corresponden a las características en superficie del paso de un frente frío sobre la Amazonia Central en estos días.

Seluchi M. (1997), manifiesta que durante el invierno los frentes fríos adquieren una mayor intensidad y velocidad, pudiendo arribar en ocasiones hasta latitudes ecuatoriales tal como documentaron Myers (1964) y Parmeter (1976). Sin duda la consecuencia más perjudicial de este tipo de intercambio de masas de aire es la generación de heladas que dañan especialmente a los cultivos tropicales.

La incursión de un frente frío (friaje) por el sur de la selva peruana, se inicia con el ingreso de un anticiclón migratorio de masa de aire polar por el sur de Chile, la cual se desplaza en dirección este y noreste de la Patagonia en Argentina. Pasa por latitudes templadas llegando hasta los trópicos (ver Figura 8).

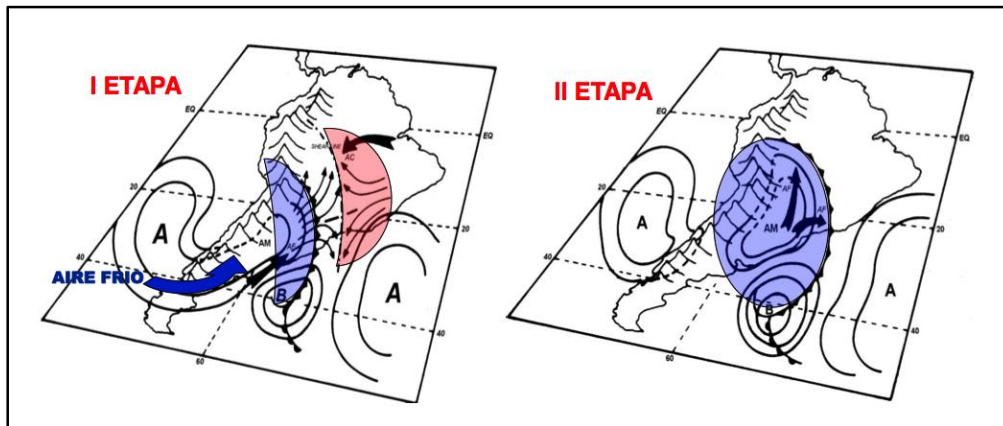


Figura 8: Trayectoria de un frente migratorio antártico e invernal

2.11. SATÉLITE TERRA

Terra (EOS AM-1) es un satélite multinacional de la NASA de investigación científica por satélite. Funciona en una órbita polar alrededor de la Tierra sincronizada con el Sol. Esto significa que recorre una trayectoria que pasa por ambos polos caracterizada por aparecer cada día sobre un punto dado del ecuador siempre a la misma hora local.

El nombre de "Terra" viene del latín y significa tierra. El satélite fue lanzado desde Vandenberg Air Force Base el 18 de diciembre de 1999, a bordo de un vehículo Atlas IAS y comenzó a recoger datos el 24 de febrero de 2000.

Terra lleva una carga útil de cinco sensores remotos destinados a supervisar el estado de la Tierra del medio ambiente y los cambios climáticos.

- ASTER (espacial avanzado de emisiones térmicas y reflexión Radiométrica)
- CERES (nubes y la Tierra, energía radiante del sistema)
- MISR (multiángulo de imágenes espectro radiométricas.)
- MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectro radiometer)
- MOPITT (mediciones de la contaminación en la tropósfera)

El satélite TERRA con el sensor MODIS-MODIS cubren la superficie de la tierra cada 1 a 2 días, adquiriendo datos en 36 bandas espectrales, con rangos de longitudes de

ondas desde 0.405 a 14.385 μm .

La imagen de verdadero color es una combinación de tres bandas como la banda 1(620 – 670 nm), banda 4 (545-565 nm) y la banda 3 (459-479) en el RGB.

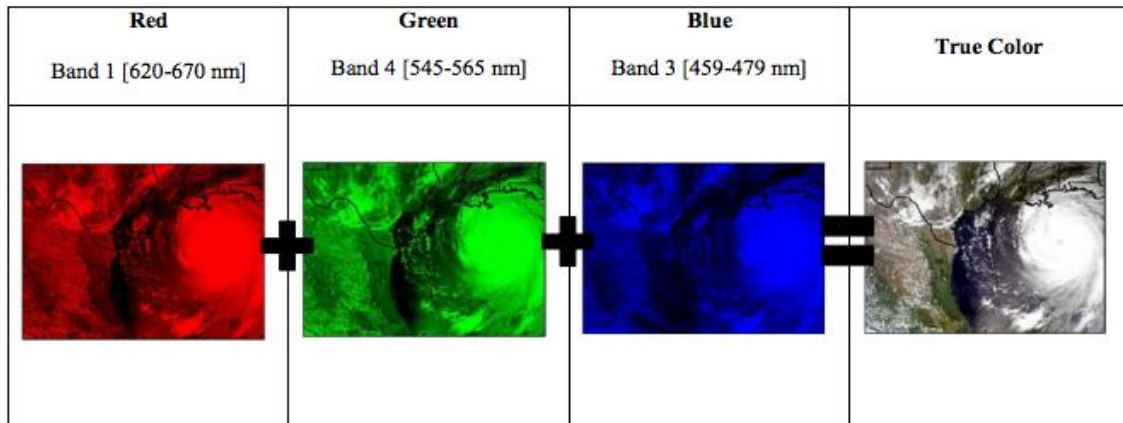


Figura 9: Ejemplo de combinación de tres bandas espectrales del sensor MODIS

FUENTE: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>.

2.12. SATÉLITE GOES 13

El satélite GOES-13, fue lanzado desde el Centro Espacial Kennedy el 24 de mayo de 2006 a bordo de un cohete Delta IV, es un satélite meteorológico que proporcionan datos actualizados permanentemente, de las condiciones meteorológicas que afectan a grandes áreas geográficas. Los servicios de predicción meteorológica dependen del flujo constante de imágenes tomadas por estos satélites.

El satélite GOES, es la abreviación de Geostationary Operational Environmental Satellite que significa Geoestacionario Operacional Ambiental. Diseñado para operar en órbita geoestacionaria, a 35.790 km sobre la tierra, permaneciendo estacionario (respecto a un punto sobre el suelo), la nave GOES I–M continuamente a la vista de EE. UU. Continental, y los vecinos ambientes de los océanos Pacífico y Atlántico, América Central y Sudamérica. Sus tres ejes, con un diseño de satélite estabilizado conectan sus sensores para "vigilar" la tierra monitoreando nubes, temperatura superficial y vapor de agua, y sondeando los perfiles verticales de estructuras térmicas y de vapor.

GOES-13, ha estado sirviendo activamente como GOES-Este desde abril de 2010. En diciembre de 2007, fue llamado para proporcionar cobertura de la costa este de los Estados Unidos durante una interrupción del GOES 12 debido a una fuga del propulsor. Después de que el problema con el GOES 12 se despejó, reanudó las operaciones y el GOES 13 se desactivó de nuevo. También se activó brevemente a mediados de mayo de 2009, cuando el GOES 12 desarrolló otro problema de empuje, sin embargo no tuvo que asumir las operaciones y se desactivó a finales de mes. En abril de 2010, GOES-13 reemplazó GOES-12 como GOES-Este en 75 ° Oeste.

Tabla 1: Relación de bandas del Satélite GOES 13

<i>Banda</i>	<i>Resolución espectral</i>	<i>Resolución espacial</i>	<i>Descripción</i>
1	0,52-0,72 μm	1 km	Visible (VIS)
2	3,78-4,03 μm	4 km	Infrarrojo cercano (NIR)
3	6,47-7,02 μm	8 km	Vapor de agua (WV)
4	10,2-11,2 μm	4 km	Infrarrojo térmico (TIR1)
5	12,9-13,8 μm	4 km	Absorción (TIR2)

2.13. FRENTE

Un frente es una franja de separación entre dos masas de aire de diferentes temperaturas. En la Tropósfera una masa de aire caliente cargada de humedad se encuentra con una masa de aire frío más seco, entran en contacto sin que se produzca una mezcla. Como consecuencia, la masa de aire cálido asciende, se enfría, alcanza su punto de saturación originando precipitaciones.

La palabra “frente” está tomada del lenguaje militar, dado que el choque entre las dos masas produce una actividad muy dinámica similar a una batalla, con tormentas eléctricas, ráfagas de viento y aguaceros.

a. Tipos de frentes

Los frentes fríos, se producen cuando una masa de aire frío avanza hacia latitudes menores ya que al ser más pesado ocupa las capas bajas de la atmósfera. Su borde delantero se introduce como una cuña entre el suelo y el

aire caliente que pesa menos, impulsándolo hacia arriba. Al subir en altura, el vapor de agua se enfría y condensa, forman nubes de desarrollo vertical (cumulonimbos) y se provocan intensas precipitaciones en forma de lluvias torrenciales y fuertes aguaceros.

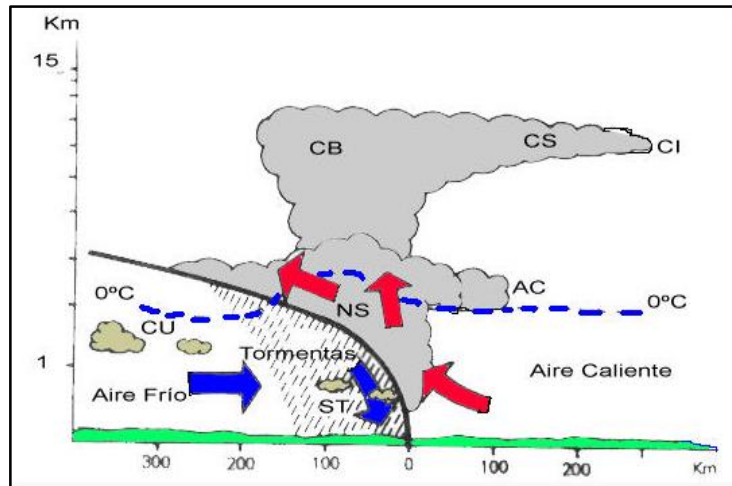


Figura 10: Frente frío

Los frentes cálidos, se forma por el contacto o choque de dos masas de aire muy húmedo y cálido que se desplaza con otras masas de aire frío. El aire cálido es menos denso y asciende sobre el frío, más pesado. Al subir en altura el vapor de agua del frente cálido se enfría y condensa en altura, finalmente precipita provocando lloviznas y lluvias moderadas.

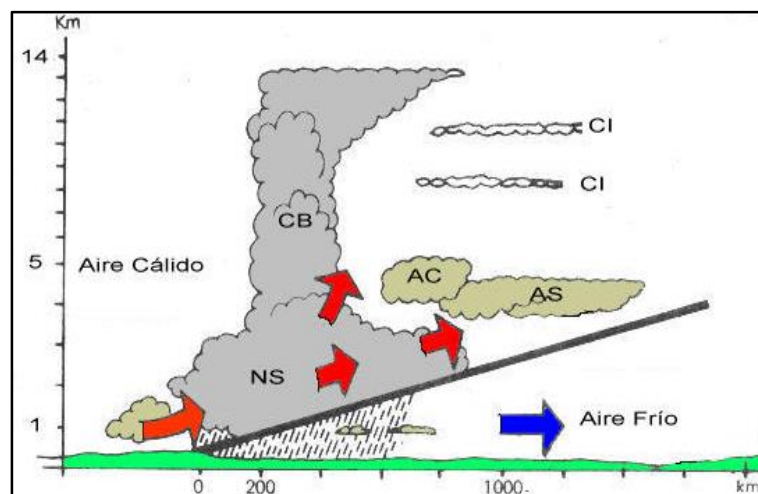


Figura 11: Frente cálido

2.14. FORMACIÓN DE PRECIPITACIONES

Las precipitaciones están constituidas por agua líquida o sólida que cae a nivel del suelo. Es necesario que, previamente, el aire haya alcanzado el punto de saturación de agua para que ésta se condense.

a. Tipos de formación de precipitaciones

Por convección térmica, se produce por el calentamiento del aire (sobre todo en verano) que hace que se cree una corriente de convección que arrastra a toda la masa de aire húmedo hacia arriba hasta alcanzar la condensación formando cúmulos a cumulonimbos.



Figura 12: Formación por convección térmica

Por ascenso orográfico (Efecto Foehn), las precipitaciones se producen a partir de vientos cargados de humedad, los cuales se encuentran con una barrera montañosa. Los vientos se ven obligados a ascender se comprimen y se enfrían, y la humedad que contienen, se condensan y se producen las precipitaciones.

Estas abundantes precipitaciones, concentradas en una ladera, facilitan la formación de densas selvas o bosques, como ocurre en los andes orientales. En la otra cara de la montaña, hay ausencia de nubes y precipitaciones.

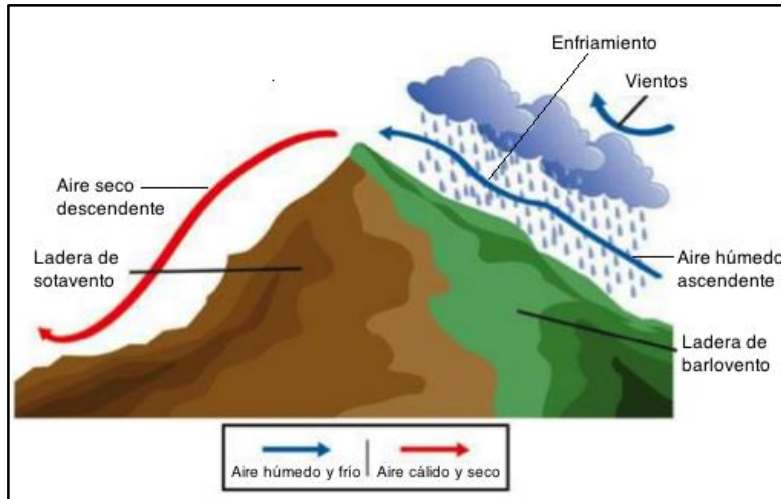


Figura 13: Formación por ascenso orográfico

Por elevación frontal, si una masa de aire frío entra en contacto con una masa cálida, ésta última asciende sobre la fría y se produce la lluvia (ver figura13).

2.15. AIRE HÚMEDO

El aire húmedo en contacto con agua líquida se describe con arreglo a las idealizaciones siguientes:

- El aire seco y el vapor se comportan como gases ideales independientes.
- El equilibrio de las fases líquida y gaseosa del agua no está afectada por la presencia de aire.

El aire atmosférico, es una mezcla de gases, compuesta fundamentalmente por nitrógeno y oxígeno, junto con cantidades mucho menores de; argón, dióxido de carbono, vapor de agua, y trazas de otras sustancias. Todos estos constituyentes del aire, excepto el vapor de agua, se encuentran siempre en la misma proporción y en estado gaseoso. Si se separa de la mezcla el vapor de agua y se considera únicamente el resto de los gases, se tendrá el denominado aire seco.

a. Variables de húmeda

La ley de Dalton afirma que la presión total de una mezcla de gases es igual la suma de las presiones ejercidas por cada gas constituyente. Cuando el vapor de agua entra en la atmósfera, las moléculas de agua se dispersan rápidamente, mezclándose con los otros gases y contribuyendo para la presión total ejercida por la atmósfera. La presión de vapor (e) es simplemente la parte de la presión atmosférica total debida al contenido de vapor de agua y es directamente proporcional a la concentración de vapor en el aire.

La humedad absoluta es definida como la masa de vapor de agua (usualmente en gramos) por unidad de volumen (usualmente en m³). Sería la densidad de vapor de agua.

$$\rho_v = \frac{m_v}{V} \dots\dots\dots (2.10)$$

- m_v = masa de vapor de agua
- V = volumen del aire atmosférico

Como las variaciones en la presión y la temperatura pueden alterar el volumen, tales variaciones pueden alterar la humedad absoluta sin que vapor de agua sea adicionado o removido. Consecuentemente, es difícil describir el contenido de vapor de agua de una masa de aire móvil si usamos la humedad absoluta. Por lo tanto, el índice más usado es la relación de mezcla.

La relación de mezcla es la cantidad de masa de vapor de agua (usualmente en gramos) existente por unidad de masa de aire seco (usualmente kg.).

$$r = \frac{m_v}{m_d} = \frac{622 e}{P - e} \dots\dots\dots (2.11)$$

- m_v = masa de vapor de agua
- m_d = masa de aire seco

e = presión de vapor

P = presión atmosférica

2.16. CUENCA HIDROGRÁFICA

Una cuenca hidrográfica es un territorio vaciado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que sus aguas dan al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago. Una cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas. El uso de los recursos naturales se regula administrativamente separando el territorio por cuencas hidrográficas, y con miras al futuro las cuencas hidrográficas se perfilan como una de las unidades de división funcionales con mucha más coherencia, permitiendo una verdadera integración social y territorial por medio del agua.

Una cuenca hidrográfica y una cuenca hidrológica se diferencian en que la primera se refiere exclusivamente a las aguas superficiales, mientras que la cuenca hidrológica incluye las aguas subterráneas (acuíferos).

a. Algunos conceptos básicos

- Cuenca, sistema integrado por varias subcuencas o microcuencas.
- Quebradas, es toda área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una microcuenca.
- Divisoria de aguas, la divisoria de aguas o divortium aquarium es una línea imaginaria que delimita la cuenca hidrográfica. Una divisoria de aguas marca el límite entre cuencas hidrográficas y las cuencas vecinas.
- Afluentes, corresponde a un curso de agua, también llamado tributario, que desemboca en otro río más importante con el cual se une en un lugar llamado confluencia. En principio, de dos ríos que se unen es considerado como afluente el de menor importancia (por su caudal, su longitud o la superficie de su cuenca).

- Efluentes, lo contrario de un afluente es un efluente, es decir, una derivación (natural o artificial) que se desprende fuera de la corriente principal de un río mayor a través de otro menor.
- Río principal, el río principal suele ser definido como el curso con mayor caudal de agua (medio o máximo) o bien con mayor longitud. Tanto el concepto de río principal como el nacimiento del río son arbitrarios, como también lo es la distinción entre el río principal y afluente. Sin embargo, la mayoría de cuencas de drenaje presentan un río principal bien definido desde la desembocadura hasta cerca de la divisoria de aguas.
- Caudal, volumen de agua que pasa por una determinada sección transversal en la unidad de tiempo, generalmente se expresan en m^3/s .

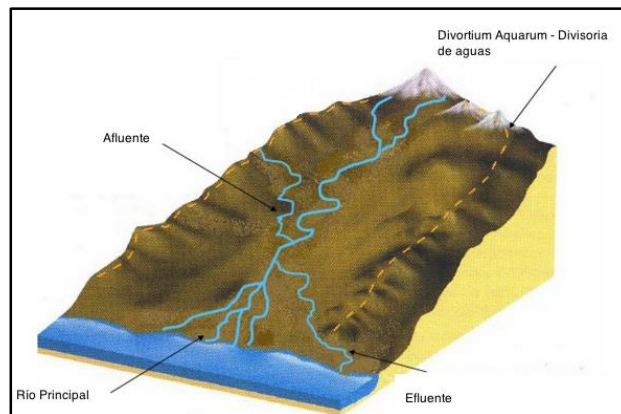


Figura 14: Cuenca hidrográfica

2.17. REANÁLISIS – NCEP/NCAR REANALYSIS

El conjunto de datos del Reanálisis del NCEP / NCAR es actualizado continuamente (1948-presente) que representa el estado de la atmósfera terrestre, incorporando observaciones y predicción numérica del tiempo (NWP) desde 1948 hasta la actualidad. Es un producto conjunto de los Centros Nacionales de Predicción Ambiental (NCEP) y el Centro Nacional de Investigación Atmosférica (NCAR). Esta información se encuentra disponible a nivel mundial en retículas uniformes de 2.5 grados de altitud por 2.5 grados de longitud (278.3 km por 278.3 km.).

III. DESARROLLO DEL TEMA

3.1. MATERIALES Y EQUIPOS

3.1.1. ÁREA DE ESTUDIO

El continente Sudamérica es uno de los continentes que conforman el continente América. Está atravesada por la línea ecuatorial en su extremo norte, quedando así con la mayor parte de su territorio, comprendida dentro del hemisferio sur. Se encuentra entre el Océano Atlántico y el Océano Pacífico, quienes delimitan los extremos Este y Oeste respectivamente.

Topográficamente, América del Sur se divide en tres secciones: la cordillera, las tierras bajas del interior, y el escudo continental. La cordillera de los Andes destaca por ser la cadena montañosa más larga y joven del mundo, así como la más alta después de los Himalaya. Naciendo en las profundidades oceánicas, se yergue desde el sudeste del archipiélago de Tierra del Fuego, siguiendo un trazo paralelo a la costa del Pacífico, para diversificarse en el norte, abriéndose en dos brazos, uno hacia el istmo de Panamá y otro bordeando la costa caribeña. El origen de la cordillera es el resultado de la subducción de la placa de Nazca bajo la placa suramericana a una velocidad cercana a los 9 cm/año. Pasa por Argentina, Chile, Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia y Venezuela. Varios de sus picos más altos superan los 6000 msnm, como el Aconcagua (6961 msnm), el Nevado Ojos del Salado (6893 msnm), el Nevado Huascarán (6768 msnm), el Nevado Sajama (6542 msnm) o el Volcán Chimborazo (6310 msnm).



Figura 15: Mapa de Sudamérica donde se realizará las corridas del Reanálisis NCEP-NCAR

En la figura 15, se aprecia el continente Sudamericano, y el área de estudio para la corrida del reanálisis de NCEP-NCAR, la cual se extiende desde los 120° W a 30° W y de los 160° S a 15° N.

El Perú, es un país Sudamericano y su característica más importante es su topografía, debido a la presencia de la cordillera tropical más elevada del mundo: la Cordillera de los Andes; cuyo efecto es obstaculizar o desviar los flujos predominantes de niveles bajos y medios de la Atmósfera, así mismo divide al territorio peruano en tres macroregiones naturales: La Costa que comprende el 10% del territorio total, la Sierra constituida por el paso de la cordillera de los Andes, que abarca el 31%, y la Selva o región Amazónica que abarca el 59% del territorio nacional, cuyos relieves determinan el tiempo, el clima local y por ende el régimen de precipitación.

Para el presente estudio, el área de trabajo de la información meteorológica e hidrológica está centrada en la región Amazónica, cuyo territorio tiene un área de más de 782.800 km², desde las estribaciones orientales de la cordillera de los Andes hasta los límites políticos con Ecuador, Colombia, Brasil y Bolivia en el llano amazónico. La cuenca del Amazonas, que nace en las cumbres de los Andes, ocupa un territorio mucho mayor de 967.922,47 km², un 16,13% del área total de la cuenca.

En los meses de abril a septiembre, esta región es afectada por el ingreso de masas de aire frío provenientes de latitudes altas, las que provocan descensos bruscos de la temperatura del aire, así como también el incremento de las precipitaciones en la sierra central oriental.

Cuencas de los Ríos Tarma y Tulumayo, ubicados en la sierra central oriental, circunscrito en el departamento de Junín. La Empresa de Generación Eléctrica de Lima S.A. (EDEGEL), en las cuencas antes mencionadas empezaron a operar en el 2000 las centrales hidroeléctricas CH Yanango en el río Tarma y CH Chimay en el río Tulumayo, con una potencia instalada de 42.5 MW y 149 MW respectivamente; produciendo una energía media anual conjunta que sobrepasa el millón de GWh. En ambas cuencas, la empresa EDEGEL no es la única que produce energía por medio de estas dos centrales; también hay asentadas otras empresas de generación produciendo energía eléctrica, aprovechando las aguas de los ríos Tarma y Tulumayo.

Las cuencas de los ríos Tarma y Tulumayo, son ríos que nacen en la cordillera central oriental, que está caracterizada por tener cerros de menor altitud que los de la cordillera Occidental, tiene un clima lluvioso que le da una vegetación exuberante, recibiendo los húmedos vientos amazónicos, siendo más lluviosos como es el caso de la cuenca del río Tulumayo.

De ambas cuencas, el del río Tulumayo presenta mayor vegetación (es más selva alta) y su área total hasta el punto de control: estación hidrométrica EH Toma Chimay (1340 msnm) es de 2325.9 km², con una longitud del río de 67.7 km. Mientras que el punto de control del río Tarma es la estación hidrométrica EH Toma Tarma (1722 msnm) y presenta un área de drenaje de 2111.1 km², con una longitud del río hasta la estación hidrométrica (EH) de 65.18 km. (Ver figuras 16 y 17).

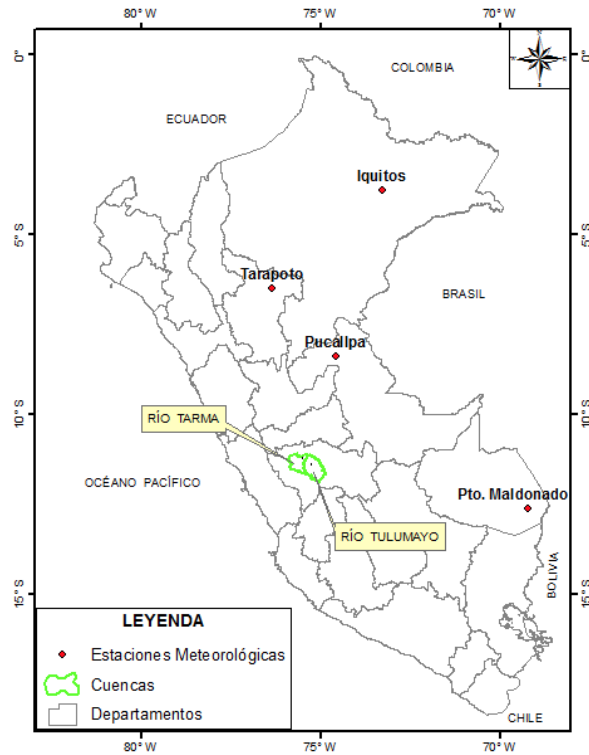


Figura 16: Mapa con las estaciones meteorológicas de la selva baja

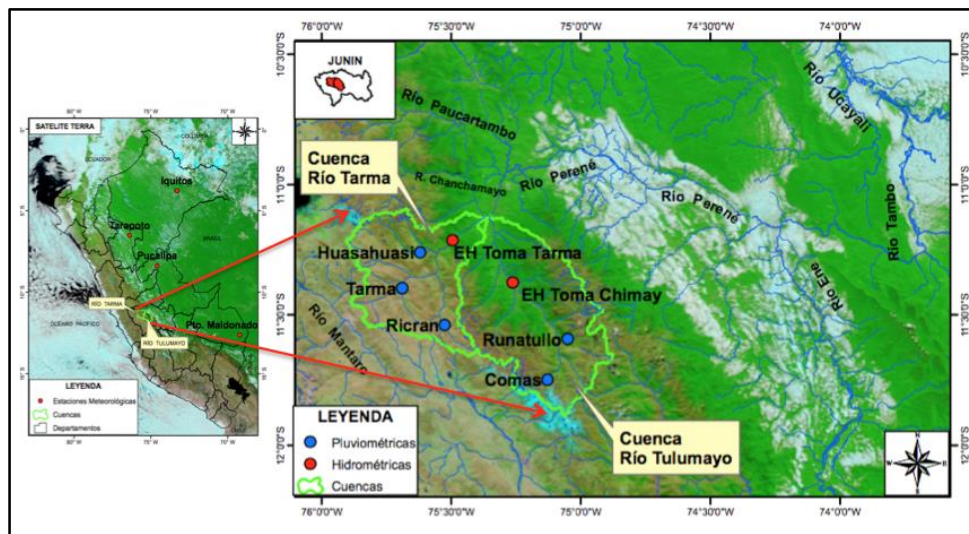


Figura 17: Mapa de ubicación de las estaciones pluviométricas e hidrométricas en las cuencas de los ríos Tarma y Tulumayo

3.1.2. Periodo de estudio del evento

Para el presente trabajo se escogió el evento de incursión de masa de aire frío en la estación de invierno del año 2013.

Tabla 2: Periodo del evento

Estación	Año	Periodo de Estudio
Invierno	2013	22 al 28 de julio

3.1.3. Información meteorológica e hidrológica observadas

Para el presente trabajo se recopiló información diaria de temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación total de 24 horas perteneciente a la Red de Observaciones del SENAMHI y de CÓRPAC. También se recurrió a información diaria del mes de julio del 2013 y horaria del 22 al 26 de julio de la estación de Pto. Maldonado operado por CÓRPAC. Así mismo, se recopiló información hidrológica diaria (caudales) de las estaciones hidrométricas EH Toma Tarma y EH Toma Chimay del año 2013. La ubicación de las estaciones meteorológicas e hidrológicas las encontramos en las figuras 16 y 17.

Tabla 3: Datos de variables meteorológicas diarias por estación – Año 2013

Estaciones	Entidad	Variable (mm.)	Variable (°C)	Variable (°C)
Pto. Maldonado	CORPAC	Precipitación	Temperatura Mínima	Temperatura Máxima
Pucallpa	CORPAC	Precipitación	Temperatura Mínima	Temperatura Máxima
Tarapoto	CORPAC	Precipitación	Temperatura Mínima	Temperatura Máxima
Iquitos	CORPAC	Precipitación	Temperatura Mínima	Temperatura Máxima
Huasahuasi	SENAMHI	Precipitación		
Tarma	SENAMHI	Precipitación		
Ricrán	SENAMHI	Precipitación		
Comas	SENAMHI	Precipitación		
Runatullo	SENAMHI	Precipitación		

Tabla 4: Data hidrológica de caudales promedios diarios recopilada – Año 2013

Estaciones	Entidad	Variable (m ³ /s)
EH Toma Tarma	EDEGEL	Caudal
EH Toma Chimay	EDEGEL	Caudal

Tabla 5: Estaciones Meteorológicas

Estaciones	Entidad	Latitud (° S)	Longitud (° W)	Altura (msnm.)
Pto. Maldonado	CORPAC	-12.63	-69.23	265
Pucallpa	CORPAC	-8.39	-74.58	149
Tarapoto	CORPAC	-6.51	-76.37	282
Iquitos	CORPAC	-3.78	-73.30	126
Runatullo	SENAMHI	-11.59	-75.05	3475
Comas	SENAMHI	-11.75	-75.13	3640
Ricran	SENAMHI	-11.54	-75.52	3687
Tarma	SENAMHI	-11.40	-75.69	3200
Huasahuasi	SENAMHI	-11.26	-75.62	3359

Tabla 6: Estaciones Hidrológicas

Estaciones	Entidad	Latitud (° S)	Longitud (° W)	Altura (msnm.)
Toma Tarma	EDEGEL	-11.22	-75.50	1720
Toma Chimay	EDEGEL	-11.38	-75.26	1340

3.1.4. Imágenes de Satélites

Se utilizó imágenes de los satélites GOES 13 y TERRA.

Tabla 7: Imágenes de Satelitales GOES 13 y TERRA – 15:00 Z

GOES 13	Cana I	TERRA	Modis
	Imagen Visible		Verdadero Color
21 - 27 Jul 2013	7 imágenes	22 - 28 Jul 2013	6 imágenes

FUENTE: CPTEC – INPE, BRASIL. <http://www.cptec.inpe.br/>

EARTHDATA–NASA, USA. <https://www.earthdata.nasa.gov/>

3.1.5. Información de Reanálisis de NCEP-NCAR

La información binaria de Reanálisis NCEP-NCAR se utilizó para los días 20 – 26 de julio del 2013.

Características:

Área: Sudamérica

Hora de Análisis: 1200 UTC.

Niveles isobáricos: 1000, 925, 850, 700, 500 y 200 hPa.

Variables	Unidad
Presión a nivel medio del mar	hPa
Temperatura del aire	°C
Viento meridional	nudos
Viento zonal	nudos
Altura geopotencial	mgp

3.1.6. Materiales

Laptop personal HP icores 5 e impresora

Software visualizador Grads

Hojas de cálculo y procesadores de texto

Materiales de escritorio

3.2. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTOS

Para cumplir el objetivo planteado se seguirá las siguientes metodologías:

3.2.1. Metodología para Determinar la Relación del Frente Frío y el Incremento Súbito del Caudal en los Ríos Tarma y Tulumayo

Para determinar la relación del frente frío con el incremento súbito de los caudales en los ríos Tarma y Tulumayo, se utilizó información meteorológica de 4 estaciones de la selva baja y de 5 estaciones de la sierra central oriental.

a. Análisis Meteorológico de las Estaciones de la Selva

Se parte de un análisis climático de las temperaturas mínimas de las 4 estaciones en estudio (Pto. Maldonado, Pucallpa, Tarapoto e Iquitos) para luego centrarnos en el análisis con datos observados en los meses de abril a septiembre del 2013 y

es donde se dan las incursiones de los frentes fríos sobre el territorio nacional en especial sobre la selva peruana. En esta época de otoño e invierno, se realiza un análisis de los parámetros estadísticos de la temperatura mínima y observar en qué estación el efecto de la incursión del friaje es más intenso.

Se analiza el caso estudio de la incursión del frente frío del 22 de julio del 2013 y su efecto en las 4 estaciones meteorológicas, paralelamente se realiza un análisis estadístico de la temperatura mínima para el mes de julio, con información climática de Pto. Maldonado de 1966 al 2000 comparándolas con julio del 2013.

También se hace un seguimiento satelital por medio del satélite GOES 13, desde el 22 al 27 de julio, para observar el avance del frente frío y ver las áreas que son afectadas; asimismo observar las variaciones diarias de las temperaturas mínimas y de relaciones de mezclas de las estaciones de Pto. Maldonado, Pucallpa, Tarapoto e Iquitos.

b. Análisis Hidrológico y Pluviométrico de las estaciones de las Cuencas de los Ríos Tarma y Tulumayo

Se parte de un análisis climático del caudal promedio mensual comparándolo con el caudal promedio diario del año 2013 de los ríos Tarma y Tulumayo, para luego realizar un análisis del comportamiento del caudal en los meses de abril a septiembre de ambos ríos con información pluviométrica de las estaciones Huasahuasi, Tarma, Ricrán, Comas y Runatullo. Con ambos análisis nos permitirá identificar en qué momento o días se dan los incrementos significativos del caudal en ambos ríos, previo a una intensificación de las precipitaciones.

c. Seguimiento del Frente Frío (Friaje) por Medio de la Temperatura Mínima y su Relación con los Caudales de los Ríos Tarma y Tulumayo

El efecto del incremento súbito del caudal y previo a ello se da una intensificación de las precipitaciones dentro del ámbito de las cuencas de los ríos

Tarma y Tulumayo, cuando los caudales están en sus mínimos históricos y unas de las causas que puede provocar este comportamiento en la escorrentía, son las sucesivas e intensas incursiones de frentes fríos conocidos como friajes.

Se analizará el comportamiento de la temperatura mínima de la estación de Pto. Maldonado versus el comportamiento de los caudales de los ríos Tarma y Tulumayo, así como también las precipitaciones de las estaciones de Huasahuasi, Tarma, Ricrán, Comas y Runatullo entre los meses de abril a setiembre del 2013.

Luego, se realizará un seguimiento del incremento de la nubosidad por medio del Satélite Terra y la variación diaria de la precipitación de las 5 estaciones pluviométricas y las 2 estaciones hidrométricas dentro del entorno de las cuencas de los ríos Tarma y Tulumayo del 22 al 28 de julio de 2013.

Por último, se realiza un análisis estadístico de salto a la información de caudales promedios diarios de los ríos Tarma y Tulumayo del mes de julio de 2013 y así saber estadísticamente el efecto del incremento del caudal promedio diario de ambos ríos.

3.2.2. Metodología para Determinar las Condiciones Sinópticas sobre la Incursión del Frente Frío en la Selva Peruana

La información por utilizar es la proveniente del Reanálisis del NCEP-NCAR y de las cartas de presión a nivel del mar de la Marina de Brasil – Centro de Hidrografía de la Marina de los días 20, 21, 22 y 23 de julio del 2013.

Con la presente información se realizarán los análisis de vientos, temperatura del aire, isobárico y frontal en superficie y en niveles de 700 hPa y 800 hPa sobre Sudamérica y Perú.

Por medio de las imágenes visibles del satélite GOES 13, se observará el avance del frente frío y las formaciones de las líneas cortantes (shear line) sobre Sudamérica y en especial sobre Perú.

También se realiza un análisis de niveles medios de la tropósfera, en donde se observará el desplazamiento del sistema cuña-vaguada desde el Océano Pacífico hacia el Océano Atlántico, afectando centro de Chile, la Patagonia Argentina, norte de Argentina, Bolivia, Paraguay, Uruguay y sur de Brasil.

3.3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

3.3.1. Análisis Meteorológico de las Estaciones de la Selva

a. Análisis Mensual Climático de la Temperatura Mínima

Por la ubicación de las estaciones en estudio - que es en la zona tropical - se esperaría un comportamiento más homogéneo en cada una de las estaciones de la selva peruana. Según la tabla 8 y la figura 18, se observa una gran variabilidad térmica en las cuatro estaciones, siendo mayor en los meses de otoño e invierno y con mayor amplitud en la selva sur, como se aprecia en la estación de Pto. Maldonado y de menor amplitud en la estación de Iquitos.

Los frentes fríos incursionan sobre Sudamérica durante todo el año, siendo más intensas y frecuentes en los meses de otoño e invierno y en especial en el mes de julio, que están asociados a la incursión de masas de aire frío proveniente de latitudes templadas y polares, y que producen descensos en la temperatura del aire, produciendo grandes rangos térmicos diarios con días despejados y noches frías que son propias del paso de una perturbación frontal (Marengo, 1983).

En la figura 18 se observa la variación mensual climática de la temperatura mínima de las cuatro estaciones de la selva peruana. En ella se aprecia un descenso continuo hasta el mes de julio, en donde se dan las menores temperaturas mínimas climáticas de cada estación.

La estación de Iquitos como promedio climático en el mes de julio no baja de 21°C, y el resto de las estaciones están por debajo de los 20 °C; siendo la estación de Pto. Maldonado la de menor valor climático con 17.1 °C (ver tabla 8).

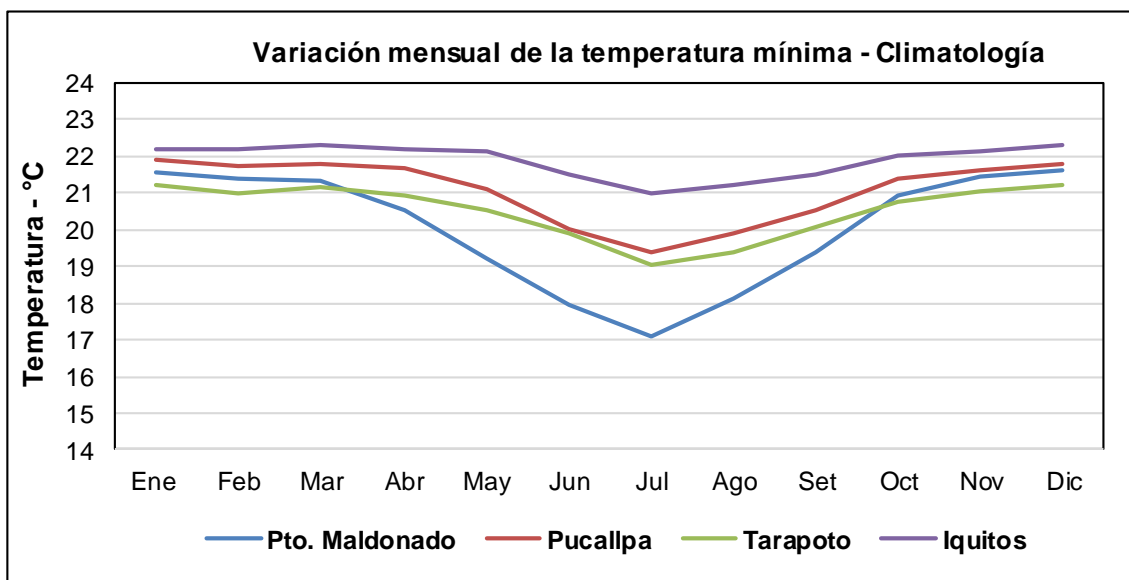


Figura 18: Variación mensual climática de la temperatura mínima (1965-2008) de las estaciones de Pto. Maldonado, Pucallpa, Tarapoto e Iquitos

Según los valores climáticos de la temperatura mínima, la incursión de los frentes en la selva peruana es más intenso durante el mes de julio y en especial en la selva sur. En la selva central y en la selva norte el efecto de la incursión de los frentes fríos es menor.

Al observar que los frentes fríos, llamados también friajes se intensifican en las estaciones de otoño e invierno; entonces para los próximos análisis nos centraremos en los meses de abril a setiembre.

Tabla 8: Variación mensual climática de la temperatura mínima (1965-2008)

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Pto. Maldonado	21.6	21.4	21.3	20.5	19.2	17.9	17.1	18.1	19.4	20.9	21.4	21.6
Pucallpa	21.9	21.7	21.8	21.7	21.1	20.0	19.4	19.9	20.6	21.4	21.6	21.8
Tarapoto	21.2	21.0	21.2	20.9	20.5	19.9	19.0	19.4	20.1	20.8	21.1	21.2
Iquitos	22.2	22.2	22.3	22.2	22.1	21.5	21.0	21.2	21.5	22.0	22.2	22.3

b. Análisis Diario de la Temperatura Mínima durante Abril a Setiembre del 2013

En la figura 19, se aprecia el comportamiento diario de la temperatura mínima y precipitación de las estaciones de Iquitos, Tarapoto, Pucallpa y Pto. Maldonado desde abril a setiembre del 2013. Según la tabla 9, el comportamiento de las temperaturas mínimas diarias se hacen más homogéneo cuando más al norte de la selva estemos y lo observamos en el estaciones de Iquitos y Tarapoto. En las estaciones de Pto. Maldonado y Pucallpa, la dispersión es mayor siendo el primero más intenso y se encuentra en la selva sur.

Los datos estadísticos, que en resumen nos muestran que la estación de Pto. Maldonado presenta una gran variabilidad con respecto al resto de las estaciones de la selva que se encuentra más al norte. Una de las variables estadísticas como es el coeficiente de variabilidad nos muestra que en Pto. Maldonado es de 14.9% y es casi tres veces más que la estación de Iquitos (5.8%) y casi el doble de las estaciones de Pucallpa (8.7%) y Tarapoto (6.8%). El coeficiente de variabilidad de Pto. Maldonado, está más asociado a una mayor frecuencia de las incursiones de los frentes fríos (Friajes) durante las estaciones de otoño e invierno (ver Tabla 9).

Tabla 9: Comportamiento estadístico de la temperatura mínima de las estaciones de Pto. Maldonado, Pucallpa, Tarapoto e Iquitos. Meses: Abril - Setiembre 2013

Meses: Abril - Setiembre	Estaciones			
Estadística	Pto. Maldonado	Pucallpa	Tarapoto	Iquitos
Media	19.6	21.7	20.7	22.0
Valor Mínimo	9.5	14.0	15.0	15.4
Valor Máximo	24.0	25.0	24.0	24.5
Desviación Estandar	2.9	1.9	1.4	1.3
Variancia	8.6	3.6	2.0	1.6
Coeficiente de Variabilidad	14.9%	8.7%	6.8%	5.8%
N (Cantidad de datos)	182.0	167.0	158.0	167.0

c. Análisis Diario de la Temperatura Mínima durante el Mes de Julio del 2013

El presente trabajo está centrado en los efectos de los frentes fríos (friaje) en el mes de julio del 2013, donde son más intensos. Como se aprecia en la figura 21, el comportamiento temporal de las temperaturas mínimas y máximas, como

también de la precipitación en los cuatros estaciones de la selva peruana tiene un efecto muy marcado en la disminución de las temperaturas extremas (mínimas y máximas) y en el incremento de la precipitación, variando en magnitud desde la selva sur hacia la selva norte.

Entre los días 22 al 26 de julio de 2013, se observa el efecto de la incursión de un frente frío (friaje) desde el sur de la selva peruana, afectando primero a la estación de Pto. Maldonado con una fuerte disminución de la temperatura mínima a 9.5°C , siendo su climático mensual de 17.1°C . Este mismo comportamiento lo observamos en el resto de las estaciones como en Pucallpa con 14.0°C de temperatura mínima y de 19.4°C de climático mensual, en Tarapoto con 15.0°C de temperatura mínima y de 19.0°C de climático mensual y en Iquitos con 15.4°C de temperatura mínima y de 21.0°C de climático mensual (ver tablas 8 y 11).

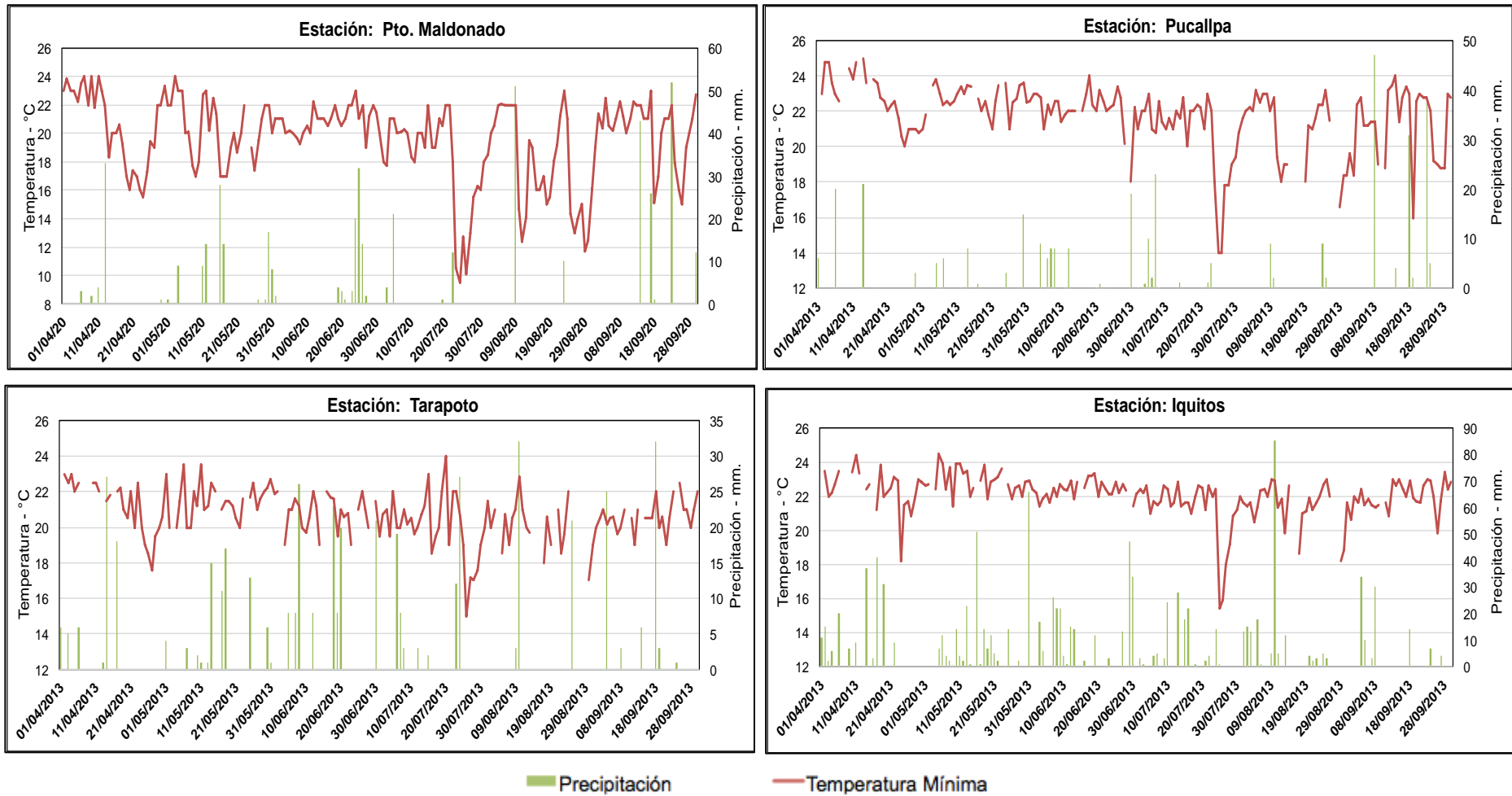


Figura 19: Variación diaria de la temperatura mínima (línea roja) y precipitación (línea verde). Meses: Abril – Septiembre 2013

En la tesis del Ing. Quispe Gutiérrez, sobre “Condiciones Sinópticas de la Incurción de una Masa de Aire Frío en Sudamérica y su Impacto en los Cultivos de la Selva Caso específico: Verano de 1996 e Invierno del 2000”, se substraen la figura 20 y la tabla 10, donde nos muestran la variación multianual diaria del mes de julio de la temperatura mínima desde el año 1966 al 2000 para la estación de Pto. Maldonado y la información estadística de este mismo periodo. En la cual se observa que la temperatura mínima más baja fue 4.5°C reportado en el año 1975, considerado como el friaje más intenso producido a la fecha (Marengo, 1997).

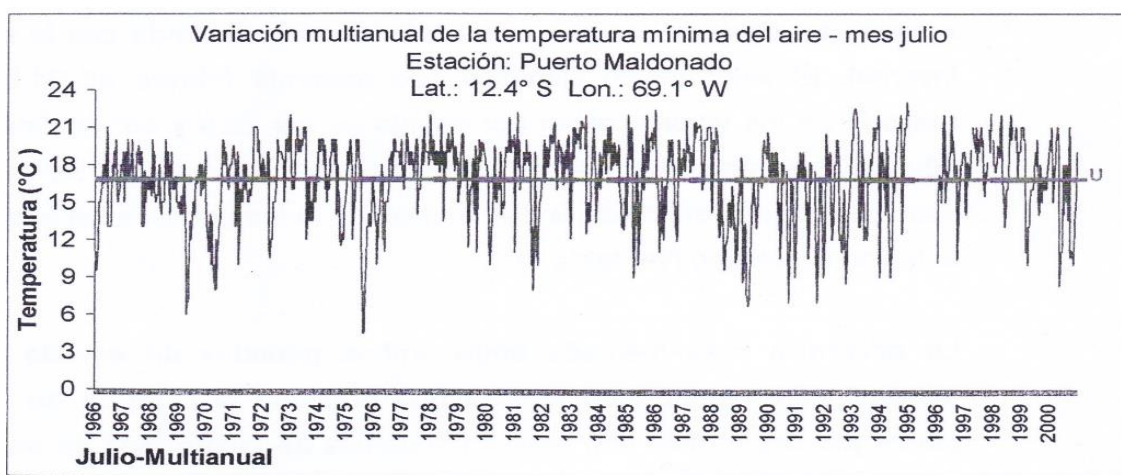


Figura 20: Variación multianual de la temperatura mínima (1966-2000) de la estación de Pto. Maldonado. Mes: Julio

FUENTE: Quispe (2006)

Tabla 10: Comportamiento estadístico multianual de la temperatura mínima (1966-2000) en la estación de Pto. Maldonado. Mes: Julio

Estadígrafo	Valor
Media	16.8
Desviación Estándar	3.3
Variación	10.7
Coefficiente De Variabilidad	19.5%
Mediana	17.2
Valor Máximo	23
Valor Mínimo	4.5
N (Cantidad de datos)	1045

FUENTE: Quispe (2006)

Tabla 11: Comportamiento estadístico de la temperatura mínima. Mes: Julio 2013

Mes: Julio	Estaciones			
Estadística	Pto. Maldonado	Pucallpa	Tarapoto	Iquitos
Media	18.0	20.7	20.0	21.3
Valor Mínimo	9.5	14.0	15.0	15.4
Valor Máximo	22.0	23.0	24.0	22.8
Desviación Estandar	3.5	2.3	1.8	1.8
Variancia	12.4	5.3	3.3	3.2
Coficiente de Variabilidad	19.5%	11.1%	9.1%	8.5%
N (Cantidad de datos)	31.0	31.0	31.0	31.0

Según la estadística desde 1966 al 2000, el valor medio climático del mes de julio es de 16.8°C y es menor al mes de julio del 2013 que es de 18.0°C. Con respecto a la desviación estándar y al coeficiente de variabilidad sus diferencias no son tan significativas entre la estadística de 1966-2000 versus julio del 2013, indicando que la dispersión se mantiene constante con el tiempo (ver tablas 10 y 11).

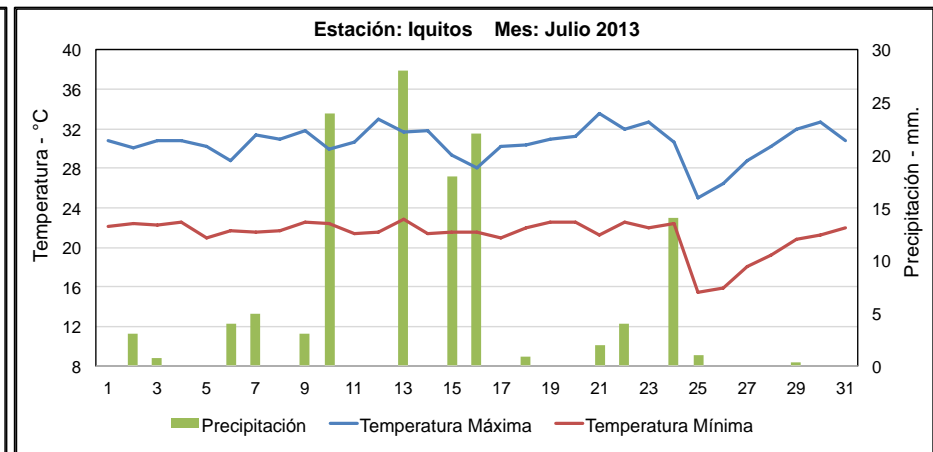
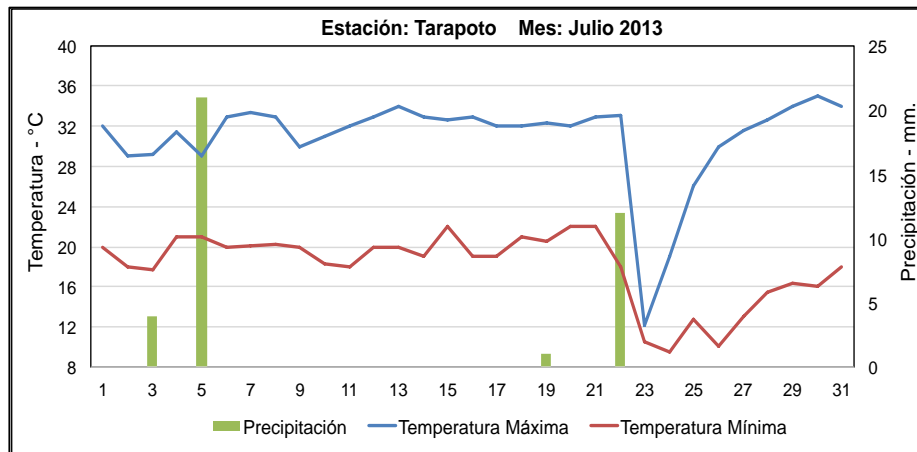
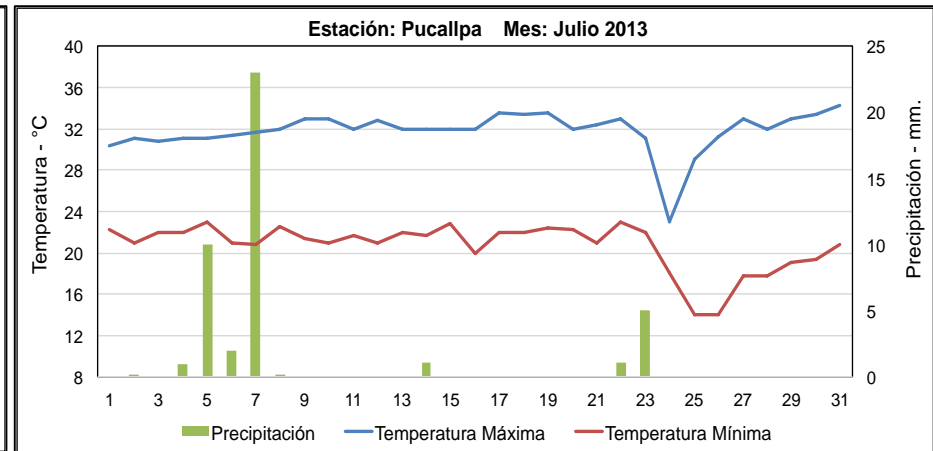
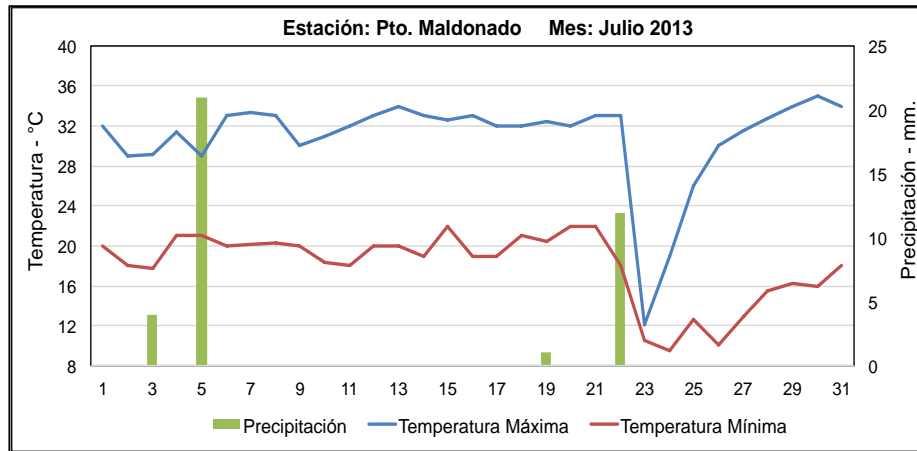


Figura 21: Variación diaria de las temperaturas extremas (mínima y máxima) y precipitación. Mes: Julio 2013

d. Análisis de la Incursión del Frente Frío (Friaaje) del 22 de Julio del 2013 en la Selva Peruana

Uno de los casos de friajes ocurridos en la selva peruana es la de julio del 2013, en especial entre los días 22 al 26 de julio. El día 22 de julio, la estación de Pto. Maldonado reportó una caída en la temperatura del aire llegando a 18°C a las 06:00 pm., así mismo se registró una intensificación de la velocidad del viento de 5.6 km/hr a 18.5 km/hr; con respecto a la dirección del viento, pasó de ONO a media mañana a NNO y ESE a medio día y primeras horas de la tarde (ver figura 23 y tabla 12). La presión atmosférica se incrementa desde 1012 hPa a 1023 hPa de un día a otro, mientras tanto la humedad relativa disminuye considerablemente a 36% el día 25 de julio (ver figuras 22 y 23).

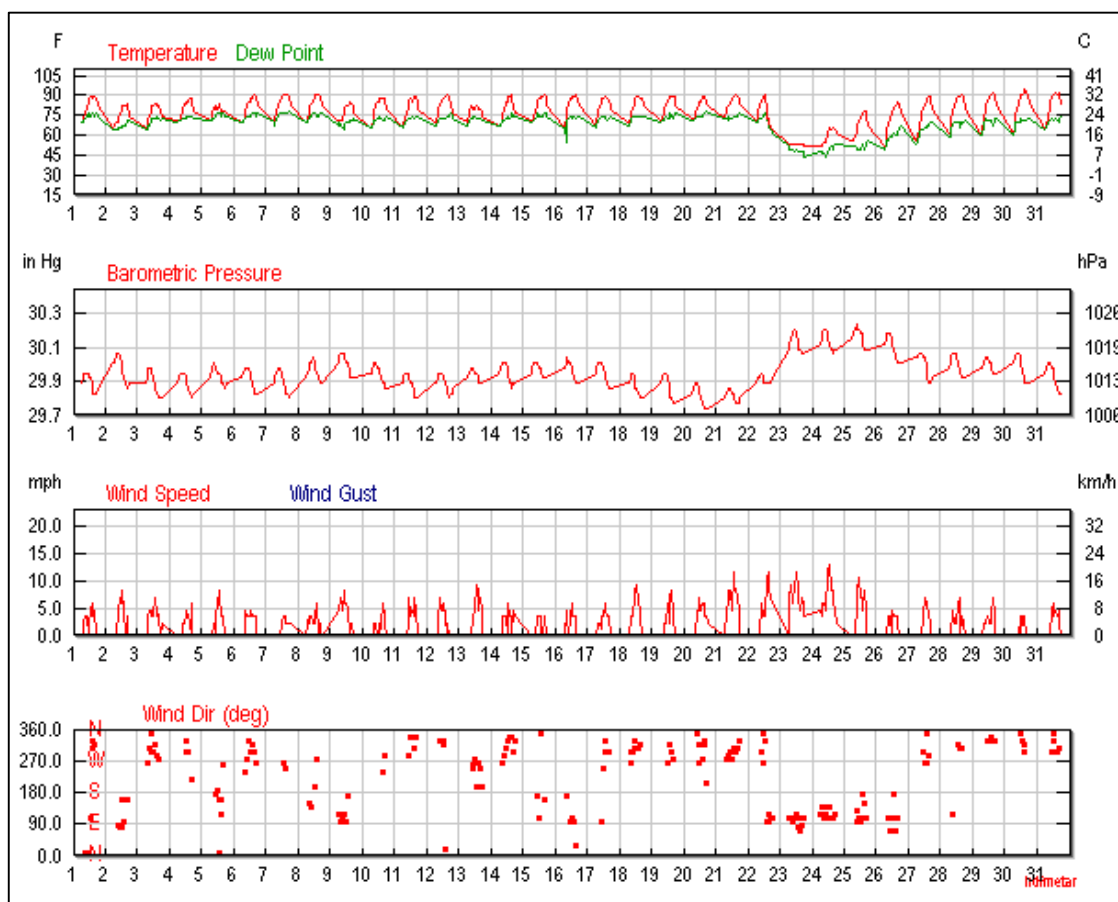


Figura 22: Variación diaria de la temperatura del aire, presión atmosférica, velocidad del viento y dirección del viento. Estación Pto. Maldonado. Mes: Julio 2013

FUENTE: Weather Underground - <https://www.wunderground.com>

En Pto. Maldonado para el día 24 de julio la temperatura mínima llega a su mínimo valor del año de 9.5°C. El comportamiento de las variables meteorológicas variará con el avance del frente frío hacia el norte de la selva (Ver figura 23 y tabla 12). Este mismo comportamiento también lo podemos observar en las estaciones de Pucallpa, Tarapoto e Iquitos. (Ver figuras 24, 25 y 26).

Tabla 12: Variación horaria de las variables meteorológicas. Estación de Pto. Maldonado. Mes: 22 al 26 de Julio 2013

Días	Horas	Temperatura del aire	Temperatura de rocío	Humedad Relativa	Presión (hPa)	Visibilidad	Wind Dir	Velocidad del viento	Eventos	Condiciones
22	6:00 a.m.	22.0	21.0	94%	1012	-	Sin viento	Sin viento		Despejado
	7:00 a.m.	22.0	21.0	94%	1013	-	Sin viento	Sin viento		Despejado
	8:00 a.m.	25.0	22.0	83%	1013	-	Sin viento	Sin viento		Despejado
	9:00 a.m.	28.0	23.0	74%	1013	-	Sin viento	Sin viento		Despejado
	10:00 a.m.	30.0	23.0	66%	1014	-	ONO	9.3 km/h / 2.6 m/s		Despejado
	11:00 a.m.	31.0	24.0	66%	1013	10.0 km	Oeste	5.6 km/h / 1.5 m/s		Nubes dispersas
	12:00 p.m.	32.0	24.0	62%	1012	10.0 km	Norte	5.6 km/h / 1.5 m/s		Nubes dispersas
	1:00 p.m.	33.0	25.0	63%	1012	10.0 km	NNO	5.6 km/h / 1.5 m/s		Muy nublado
	2:00 p.m.	26.0	22.0	78%	1012	10.0 km	Este	16.7 km/h / 4.6 m/s		Muy nublado
	2:30 p.m.	23.0	22.0	94%	1012	9.0 km	Este	16.7 km/h / 4.6 m/s	Lluvia	Lluvia
	3:00 p.m.	23.0	21.0	88%	1012	10.0 km	ESE	18.5 km/h / 5.1 m/s		Muy nublado
	4:00 p.m.	21.0	19.0	88%	1012	10.0 km	Este	13.0 km/h / 3.6 m/s		Muy nublado
	5:00 p.m.	19.0	18.0	94%	1012	10.0 km	ESE	11.1 km/h / 3.1 m/s		Nublado
	6:00 p.m.	18.0	17.0	94%	1013	10.0 km	ESE	9.3 km/h / 2.6 m/s		Nublado
	6:00 a.m.	12.0	11.0	94%	1019	10.0 km	Sin viento	Sin viento		Nublado
	7:00 a.m.	12.0	10.0	88%	1020	10.0 km	ESE	11.1 km/h / 3.1 m/s		Nublado
8:00 a.m.	12.0	10.0	88%	1021	10.0 km	ESE	14.8 km/h / 4.1 m/s		Nublado	
9:00 a.m.	12.0	10.0	88%	1022	10.0 km	Este	9.3 km/h / 2.6 m/s		Nublado	
10:00 a.m.	12.0	10.0	88%	1022	10.0 km	Este	11.1 km/h / 3.1 m/s		Nublado	
11:00 a.m.	12.0	9.0	82%	1023	6.0 km	ESE	13.0 km/h / 3.6 m/s		Nublado	
12:00 p.m.	12.0	10.0	88%	1022	5.0 km	ESE	18.5 km/h / 5.1 m/s		Llovizna débil	
1:00 p.m.	12.0	9.0	82%	1020	7.0 km	ESE	13.0 km/h / 3.6 m/s		Nublado	
2:00 p.m.	12.0	9.0	82%	1019	8.0 km	Este	11.1 km/h / 3.1 m/s		Nublado	
3:00 p.m.	12.0	9.0	82%	1019	8.0 km	ENE	7.4 km/h / 2.1 m/s		Nublado	
4:00 p.m.	12.0	9.0	82%	1018	8.0 km	Este	11.1 km/h / 3.1 m/s		Nublado	
5:00 p.m.	12.0	9.0	82%	1018	8.0 km	ESE	9.3 km/h / 2.6 m/s		Nublado	
6:00 p.m.	11.0	7.0	76%	1018	8.0 km	ESE	5.6 km/h / 1.5 m/s		Nublado	
6:00 a.m.	11.0	9.0	88%	1020	10.0 km	ESE	7.4 km/h / 2.1 m/s		Nublado	
7:00 a.m.	11.0	9.0	88%	1021	10.0 km	ESE	5.6 km/h / 1.5 m/s		Nublado	
8:00 a.m.	12.0	8.0	77%	1022	10.0 km	SE	9.3 km/h / 2.6 m/s		Nublado	
9:00 a.m.	13.0	8.0	72%	1023	-	ESE	9.3 km/h / 2.6 m/s		Despejado	
10:00 a.m.	13.0	7.0	67%	1023	-	ESE	7.4 km/h / 2.1 m/s		Despejado	
11:00 a.m.	16.0	8.0	59%	1022	-	ESE	18.5 km/h / 5.1 m/s		Despejado	
12:00 p.m.	17.0	9.0	59%	1021	-	SE	18.5 km/h / 5.1 m/s		Despejado	
1:00 p.m.	19.0	10.0	56%	1020	-	SE	20.4 km/h / 5.7 m/s		Despejado	
2:00 p.m.	18.0	11.0	64%	1019	-	ESE	13.0 km/h / 3.6 m/s		Despejado	
3:00 p.m.	19.0	10.0	56%	1019	-	ESE	13.0 km/h / 3.6 m/s		Despejado	
4:00 p.m.	19.0	11.0	60%	1018	-	ESE	9.3 km/h / 2.6 m/s		Despejado	
5:00 p.m.	18.0	12.0	68%	1019	-	ESE	7.4 km/h / 2.1 m/s		Despejado	
6:00 p.m.	17.0	12.0	72%	1019	-	Variable	3.7 km/h / 1.0 m/s		Despejado	
6:00 a.m.	14.0	11.0	82%	1021	10.0 km	Sin viento	Sin viento		Nublado	
7:00 a.m.	14.0	11.0	82%	1022	10.0 km	Sin viento	Sin viento		Nublado	
8:00 a.m.	15.0	11.0	77%	1023	10.0 km	Sin viento	Sin viento		Nublado	
9:00 a.m.	17.0	10.0	63%	1024	10.0 km	Este	9.3 km/h / 2.6 m/s		Nublado	
10:00 a.m.	20.0	10.0	52%	1023	10.0 km	SE	13.0 km/h / 3.6 m/s		Muy nublado	
11:00 a.m.	22.0	10.0	46%	1023	-	ESE	16.7 km/h / 4.6 m/s		Despejado	
12:00 p.m.	23.0	10.0	44%	1022	-	Este	11.1 km/h / 3.1 m/s		Despejado	
1:00 p.m.	25.0	11.0	41%	1022	10.0 km	ESE	11.1 km/h / 3.1 m/s		Muy nublado	
2:00 p.m.	25.0	12.0	44%	1020	10.0 km	Sur	7.4 km/h / 2.1 m/s		Muy nublado	
3:00 p.m.	26.0	10.0	36%	1019	-	SSE	13.0 km/h / 3.6 m/s		Despejado	
4:00 p.m.	26.0	12.0	42%	1019	-	ESE	7.4 km/h / 2.1 m/s		Despejado	
5:00 p.m.	23.0	13.0	53%	1019	-	Sin viento	Sin viento		Despejado	
6:00 p.m.	20.0	14.0	68%	1019	-	Sin viento	Sin viento		Despejado	
6:00 a.m.	11.0	10.0	94%	1020	-	Sin viento	Sin viento		Despejado	
7:00 a.m.	12.0	11.0	94%	1021	-	Sin viento	Sin viento		Despejado	
8:00 a.m.	18.0	14.0	77%	1022	-	Sin viento	Sin viento		Despejado	
9:00 a.m.	20.0	14.0	68%	1022	-	ESE	5.6 km/h / 1.5 m/s		Despejado	
10:00 a.m.	23.0	15.0	61%	1022	-	ENE	5.6 km/h / 1.5 m/s		Despejado	
11:00 a.m.	25.0	15.0	54%	1021	-	Sin viento	Sin viento		Despejado	
12:00 p.m.	26.0	16.0	54%	1020	-	ESE	7.4 km/h / 2.1 m/s		Despejado	
1:00 p.m.	27.0	17.0	54%	1019	-	Sur	5.6 km/h / 1.5 m/s		Despejado	
2:00 p.m.	28.0	16.0	48%	1017	-	ENE	5.6 km/h / 1.5 m/s		Despejado	
3:00 p.m.	29.0	16.0	45%	1016	-	ESE	5.6 km/h / 1.5 m/s		Despejado	
4:00 p.m.	30.0	17.0	45%	1016	-	Variable	3.7 km/h / 1.0 m/s		Despejado	
5:00 p.m.	28.0	18.0	54%	1016	-	Sin viento	Sin viento		Despejado	
6:00 p.m.	25.0	20.0	74%	1016	-	Sin viento	Sin viento		Despejado	

El frente frío, mientras avanza hacia el norte de la selva peruana, pierde fuerza por mantenerse en un ambiente más caliente de sus características de origen, que son de una zona polar y templada.

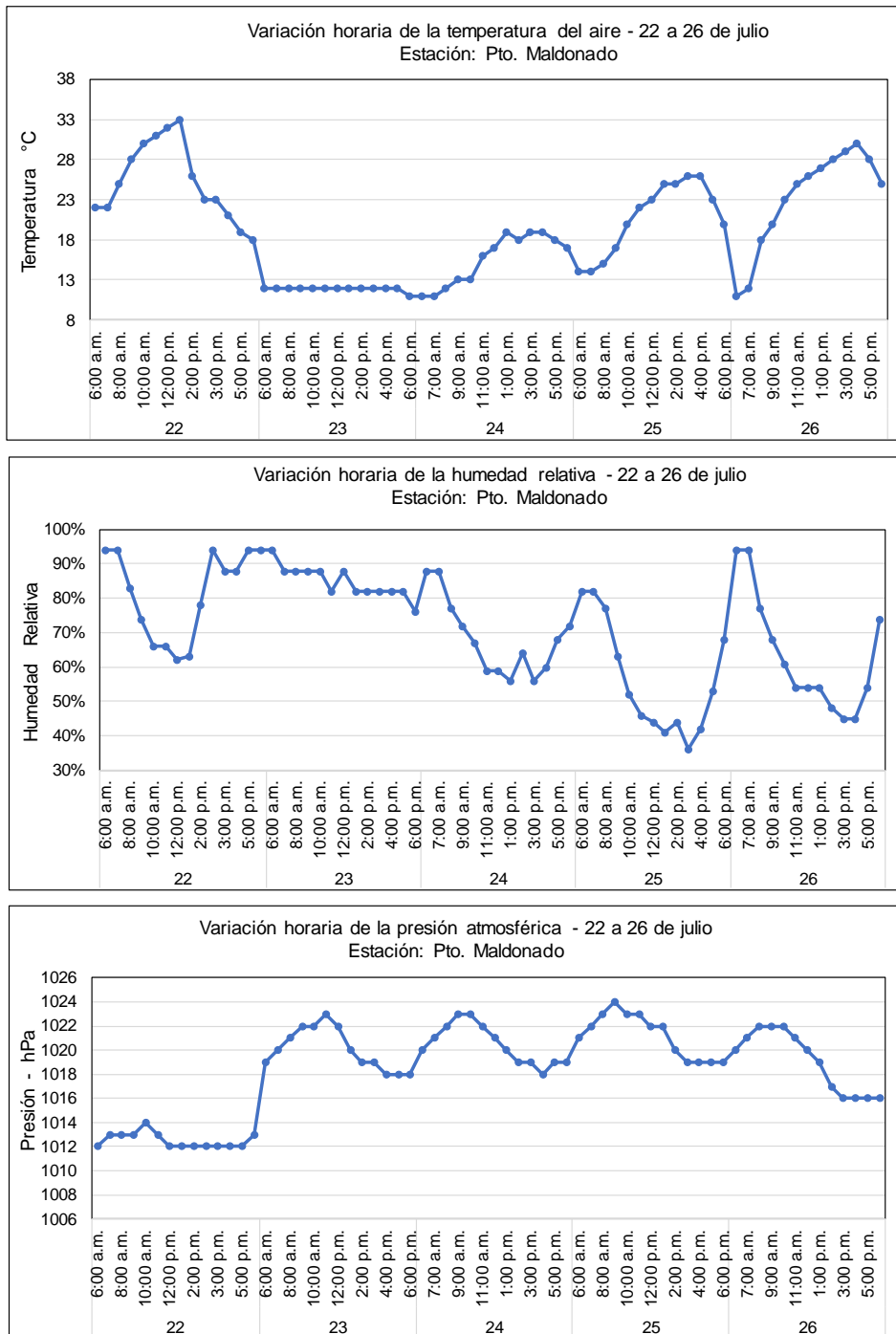


Figura 23: Variación horaria de la temperatura del aire, presión atmosférica y humedad relativa. Estación Pto. Maldonado. Mes: 22 al 26 de Julio 2013

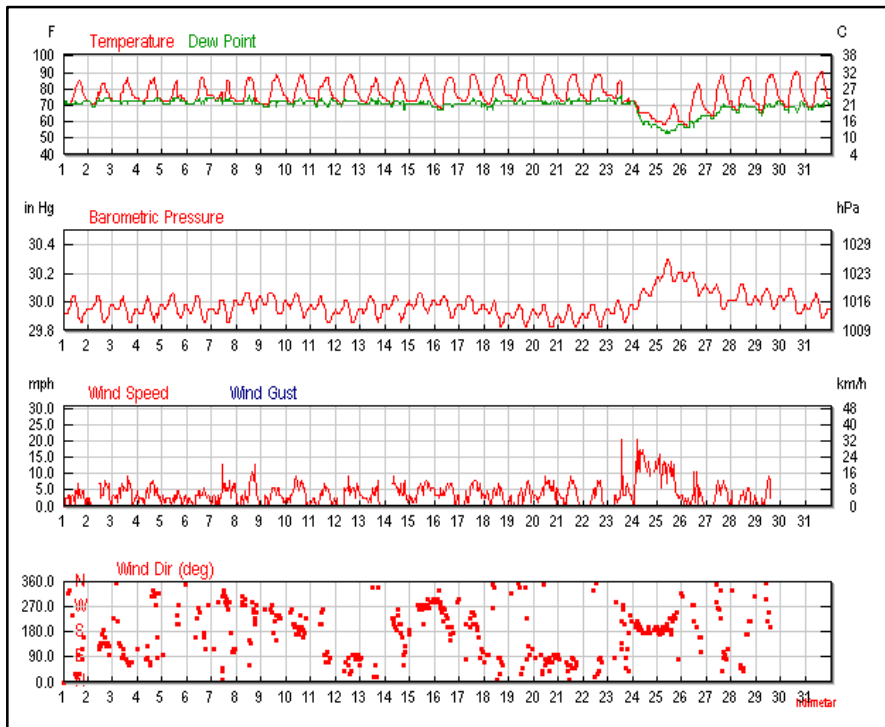


Figura 24: Variación diaria de la temperatura del aire, presión atmosférica, velocidad del viento y dirección del viento. Estación Pucallpa. Mes: Julio 2013

FUENTE: Weather Underground - <https://www.wunderground.com>

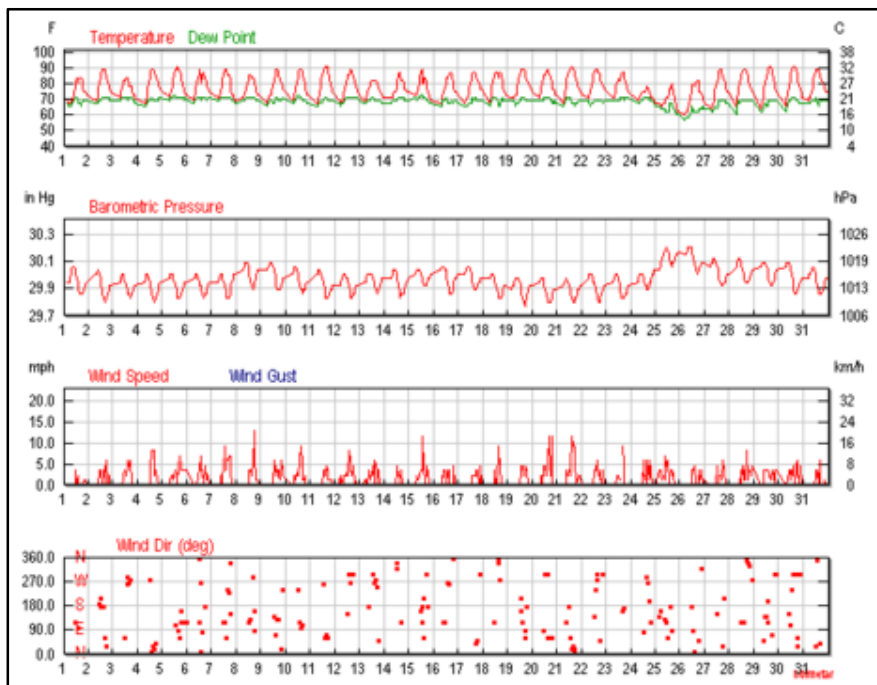


Figura 25: Variación diaria de la temperatura del aire, presión atmosférica, velocidad del viento y dirección del viento. Estación Tarapoto. Mes: Julio 2013

FUENTE: Weather Underground - <https://www.wunderground.com>

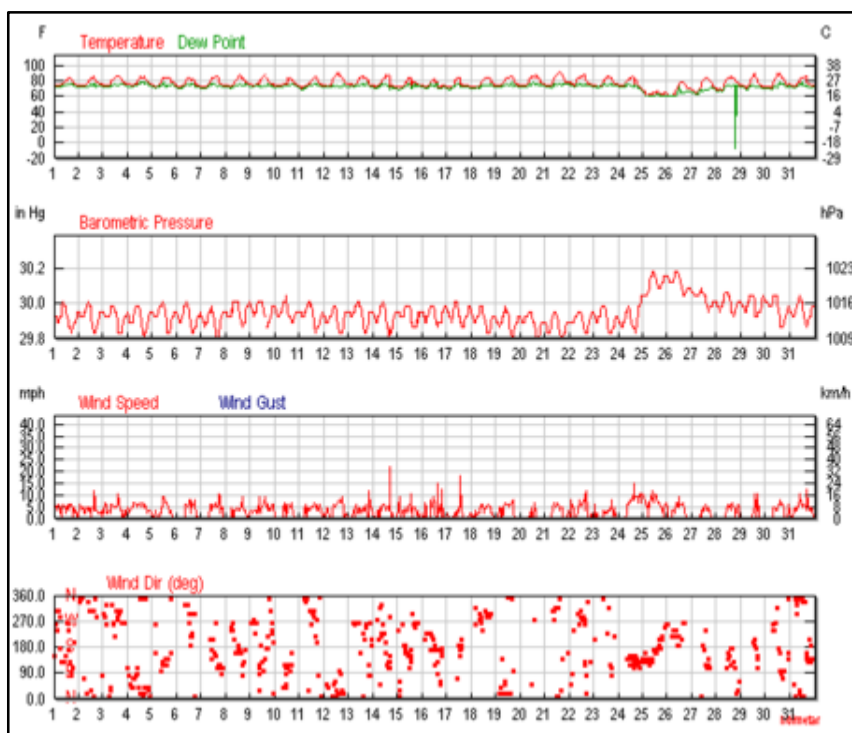
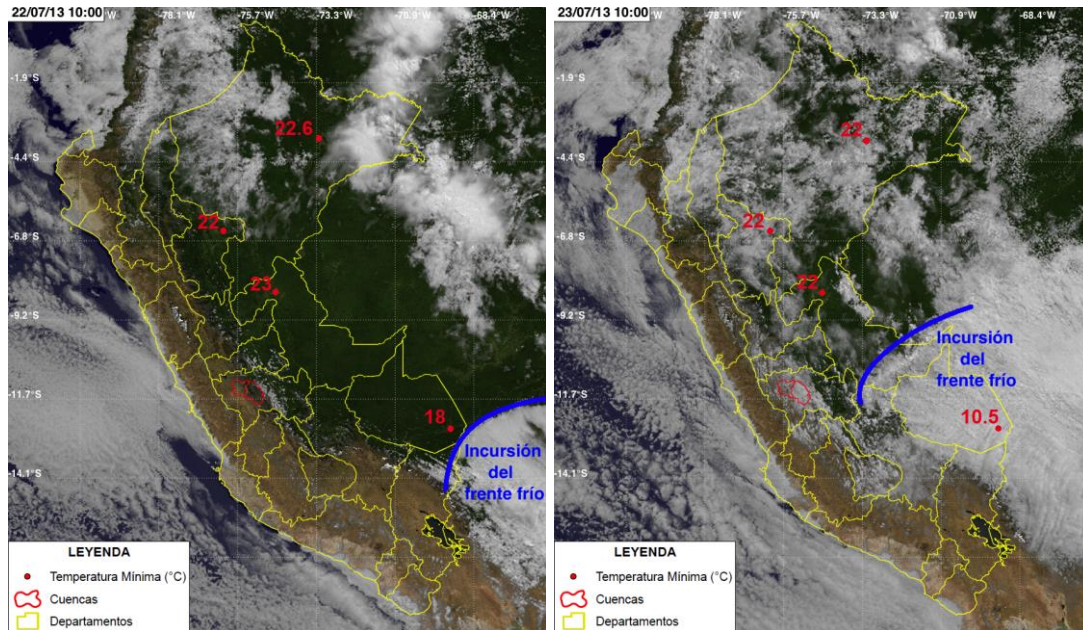


Figura 26: Variación diaria de la temperatura del aire, presión atmosférica, velocidad del viento y dirección del viento. Estación Iquitos. Mes: Julio 2013

FUENTE: Weather Underground - <https://www.wunderground.com>

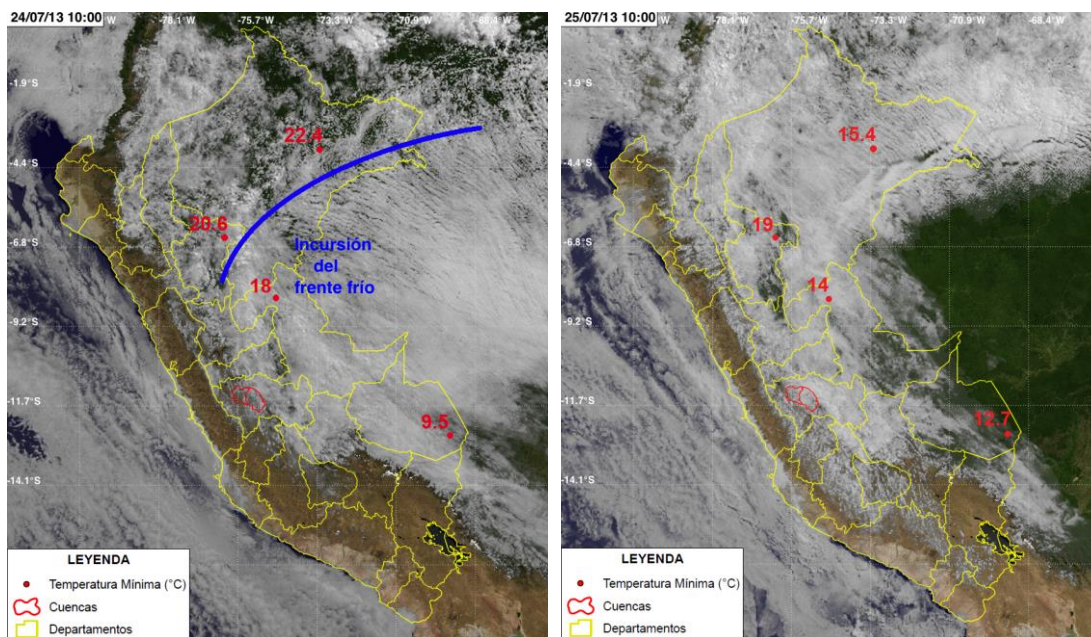
e. Seguimiento del Frente Frío (Friaje) por Medio del Satélite GOES 13 y su Efecto en la Temperatura del Aire

Para el día 21 de julio del 2013 (tabla 13), se aprecia un ambiente agradable donde las temperaturas mínimas y relaciones de mezclas de las estaciones de Pto. Maldonado, Pucallpa, Tarapoto e Iquitos no bajan de 19°C y 13.8 gr/kg respectivamente. Para el día 22 de julio del 2013, según la imagen visible del satélite GOES 13 de las 15:00Z (10:00 am.), se observa la incursión de un frente frío (friaje), representada en línea azul y detrás de ella se aprecia una nubosidad blanca moteada que, al ingresar por la selva sur, unas de las primeras ciudades afectadas es Pto. Maldonado, que en horas de la tarde reportó un aumento de la inestabilidad atmosférica en el aeropuerto de la ciudad, con un aumento de la velocidad del viento, descenso paulatino de la temperatura del aire y también incremento de la nubosidad con desarrollo de tormentas acompañados de lluvias. La temperatura mínima se registró en horas de la tarde y fue de 18.0°C (ver figura 27 del día 22 de julio).



22/07/13 10:00 am.

23/07/13 10:00 am.



24/07/13 10:00 am.

25/07/13 10:00 am.

Figura 27: Variación de la temperatura mínima por medio del Satélite GOES 13. Imagen visible del 22 al 25 de julio del 2013

Para los días 23 y 24 de julio del 2013, se aprecia en las imágenes del satélite GOES 13 el avance del frente frío (friaje –línea azul) sobre la selva sur y central, trayendo consigo características climáticas de zonas polares y templadas a la selva peruana y una de ellas es el descenso de la temperatura del aire y además

el incremento de la presión atmosférica por ser una masa más densa que su entorno. El aeropuerto de la ciudad de Pucallpa reporta para el día 24 de julio una temperatura mínima de 18.0°C con una relación de mezcla de 11.3 gr/kg. Así mismo, se observa que la masa de aire frío no sólo afecta a la selva baja, sino también afecta a la selva alta, a lo largo de la ceja de selva central y sur, inclusive la ceja de selva norte en los días 23, 24 y 25 de julio, con incremento de la nubosidad y lluvias moderadas reportadas por las 4 estaciones en el momento de la incursión del frente (ver figuras 21 y 27).

Las cuencas de los ríos Tarma y Tulumayo (polígonos en color rojo), a partir del día 23 de julio se ven afectadas por la incursión del frente frío que trajo mucha inestabilidad atmosférica delante de ella, y por flujos de vientos favorables de este a oeste en niveles de 850 hPa y 700 hPa (ver figura 42); favorecieron el transporte de la humedad desde la selva hacia los andes orientales centrales generando el incremento de la nubosidad y lluvias de ligera a moderada intensidad (ver figura 27 y tabla 16).

El día 25 de julio del 2013, el frente frío (según el satélite GOES 13) cubre gran parte de la selva peruana y el flanco oriental de la sierra. La temperatura mínima para este día en la ciudad de Iquitos es de 15.4°C y para la ciudad de Tarapoto sólo descendió a los 19.0°C (ver imagen del día 25 de julio de la figura 27 y tabla 13).

Tabla 13: Variación de la temperatura mínima (°C) en las estaciones de Pto. Maldonado, Pucallpa, Tarapoto e Iquitos en los días 21 al 28 de julio del 2013

Días	Pto. Maldonado		Pucallpa		Tarapoto		Iquitos	
	Tem. Min. (°C)	r* (g/Kg)	Tem. Min. (°C)	r* (g/Kg)	Tem. Min. (°C)	r* (g/Kg)	Tem. Min. (°C)	r* (g/Kg)
21	22.0	15.7	21.0	16.7	19.0	13.8	21.2	15.7
22	18.0	15.6	23.0	16.6	22.0	15.6	22.6	17.7
23	10.5	7.6	22.0	16.7	22.0	14.7	22.0	16.6
24	9.5	7.6	18.0	11.3	20.6	15.6	22.4	16.7
25	12.7	8.1	14.0	9.2	19.0	12.8	15.4	10.6
26	10.1	8.1	14.0	9.9	15.0	10.5	15.9	11.3
27	13.0	9.3	17.8	11.3	17.2	12.0	18.0	16.6
28	15.5	10.6	17.8	13.7	17.0	11.3	19.2	14.6

r* = r*(10^-3)

Para el día 26 de julio del 2013, se aprecia el día más frío de todo el evento, en donde las 4 estaciones como Pto. Maldonado, Pucallpa, Tarapoto e Iquitos reportan temperaturas mínimas menores a 16.0°C y relaciones de mezclas menores a 11.3 gr/kg. Además, en la imagen satelital GOES 13 se aprecia que el paso del frente frío deja tras de sí un ambiente despejado y frío. Para los días 27 y 28 de julio, el efecto del friaje se va disipando y con ello las temperaturas mínimas se van incrementando en el transcurso de los días (ver figuras 27 y 28, y tabla 13).

También podemos apreciar, el comportamiento de la cantidad de vapor de agua con el paso del frente frío, que está en función de la relación de mezcla. Mientras avanza el frente frío sobre la selva, la cantidad de vapor de agua disminuye paralelamente con el descenso de la temperatura mínima. En Pto. Maldonado la relación de mezcla disminuye desde 15.7 a 7.6 gr de vapor de agua por kilogramo de aire seco. Este mismo comportamiento también lo observamos en las estaciones de Pucallpa, Tarapoto e Iquitos (ver tabla 13).

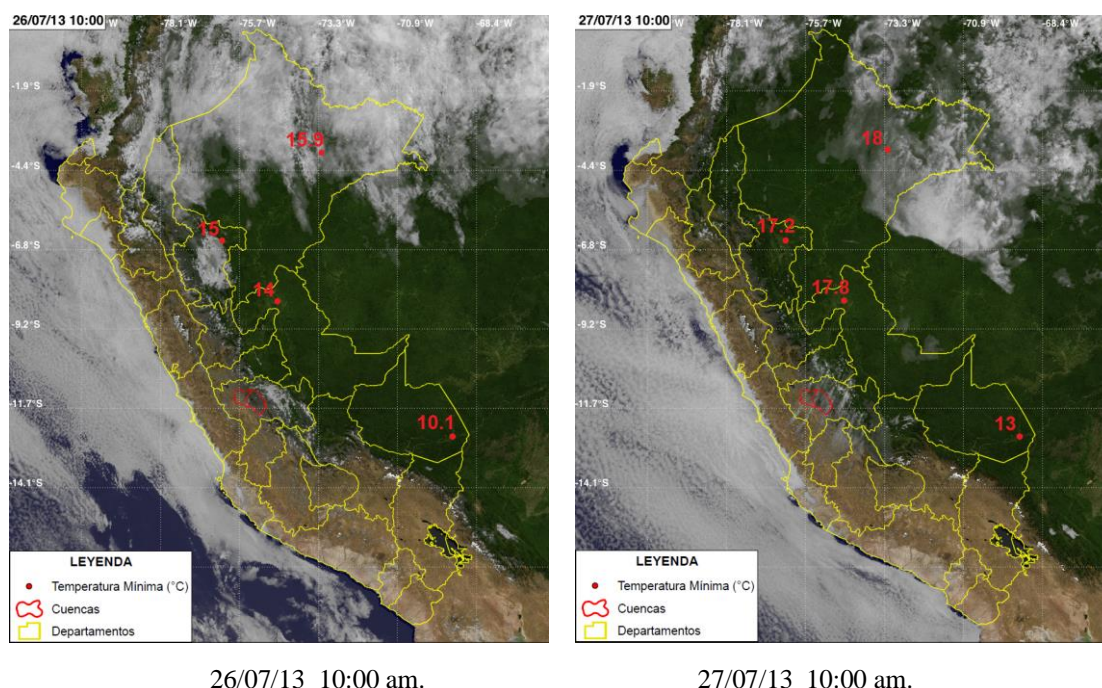


Figura 28: Variación de la temperatura mínima por medio del Satélite GOES 13. Imagen visible del 26 al 27 de julio del 2013

3.3.2. Análisis Hidrológico y Pluviométrico de las Cuencas de los Ríos Tarma y Tulumayo

a. Análisis Hidrológico de las Cuencas de los Ríos Tarma y Tulumayo durante el Año 2013

Las cuencas de los ríos Tarma y Tulumayo, son ríos que nacen en la cordillera central oriental y ambas cuencas están circunscritas en el departamento de Junín.

Para el presente caso de estudio, se va a analizar el comportamiento del caudal de los ríos Tarma y Tulumayo, que está centrado en el mes de julio del 2013, entre los días 22 al 28 de julio. Según la información recabada de caudales promedios diarios desde inicio del año del 2013 y además de tener la información climática mensual de caudales de ambos ríos se aprecian que los caudales empiezan a descender a partir del mes de abril. Desde el mes de mayo el descenso del caudal de ambos ríos es más débil.

Tabla 14: Variación mensual climática de caudales (2000-2013)

Ríos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Promedio
Río Tulumayo (m3/s)	132.2	172.7	166.2	113.7	58.9	39.3	35.6	29.7	34.4	58.8	71.5	110.2	85.3
Río Tarma (m3/s)	28.6	38.5	40.4	30.9	15.3	10.2	9.0	7.5	7.3	11.3	12.3	22.0	19.4

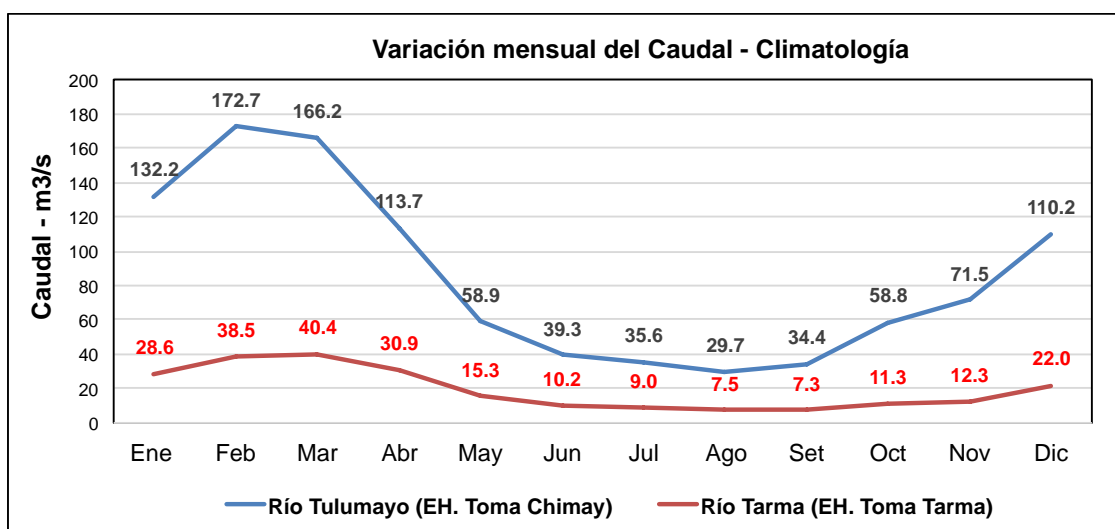


Figura 29: Variación mensual climática de caudales (1965-2008) de los ríos Tarma (línea roja) y Tulumayo (línea azul)

Los mínimos climáticos se dan en setiembre para el río Tarma con 7.3 m³/s y en agosto para el río Tulumayo de 29.7 m³/s (ver tabla 14 y figura 29). Asimismo, se aprecia en la época de estiaje del 2013, súbitos incrementos en los caudales de los ríos Tarma y Tulumayo de uno a dos días que se dan en los meses de mayo a setiembre, que en algunos casos llegan a comportarse como un caudal en época de lluvias y este tipo de comportamiento se repite con intensidades diferentes y de modo más espaciado en días, hasta fines del mes de setiembre, quizás en otros años podrían abarcar más meses (ver figuras 30 y 31).

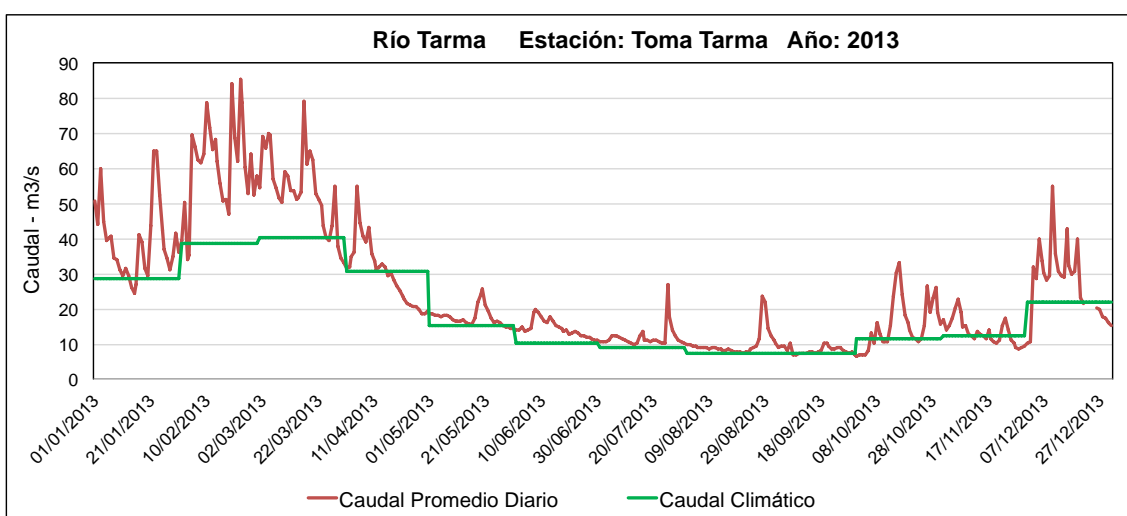


Figura 30: Variación diaria del caudal promedio del río Tarma (EH Toma Tarma) durante el año 2013

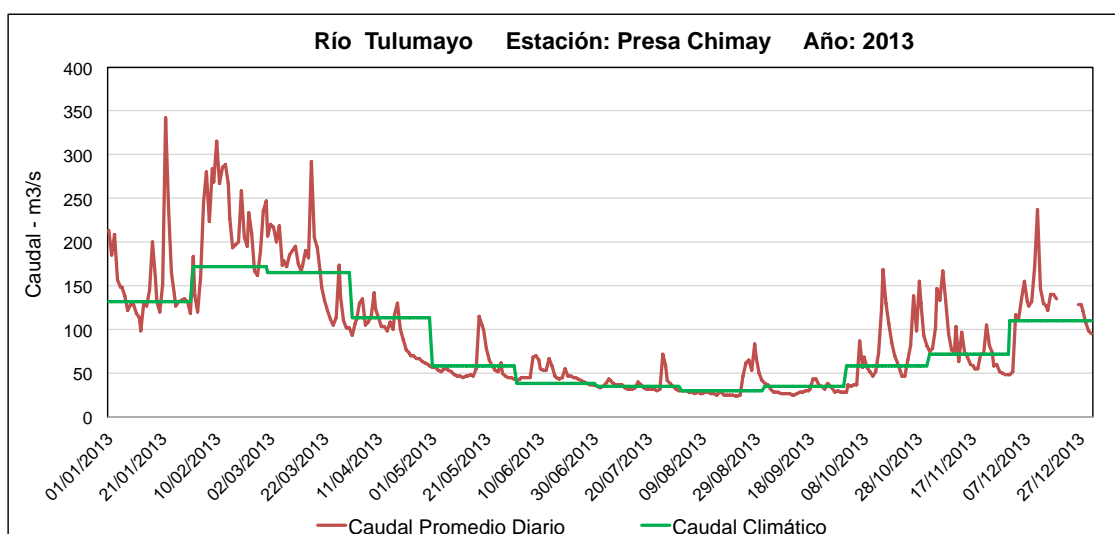


Figura 31: Variación diaria del caudal promedio del río Tulumayo (EH Toma Chimay) durante el año 2013

a. Análisis Hidrológico y Pluviométrico de las Cuencas de los Ríos Tarma y Tulumayo. Meses de Abril a Setiembre del 2013

Ambos ríos son casi paralelos y se observa que registran un mismo patrón de comportamiento, siendo el caudal del río Tulumayo el más intenso. Además de tener información de caudales, también se tiene información pluviométrica de las estaciones meteorológicas del SENAMHI de Tarma, Huasahuasi, Ricrán, Runatullo y Comas para esta misma época del año; observando que las precipitaciones se incrementan o son más continuas en días previos al incremento súbito del caudal de los ríos Tarma y Tulumayo, y ello se aprecia en los días centrados el 18 de mayo, 8 de junio, 25 de julio, 28 de agosto y 19 de setiembre (ver figura 32).

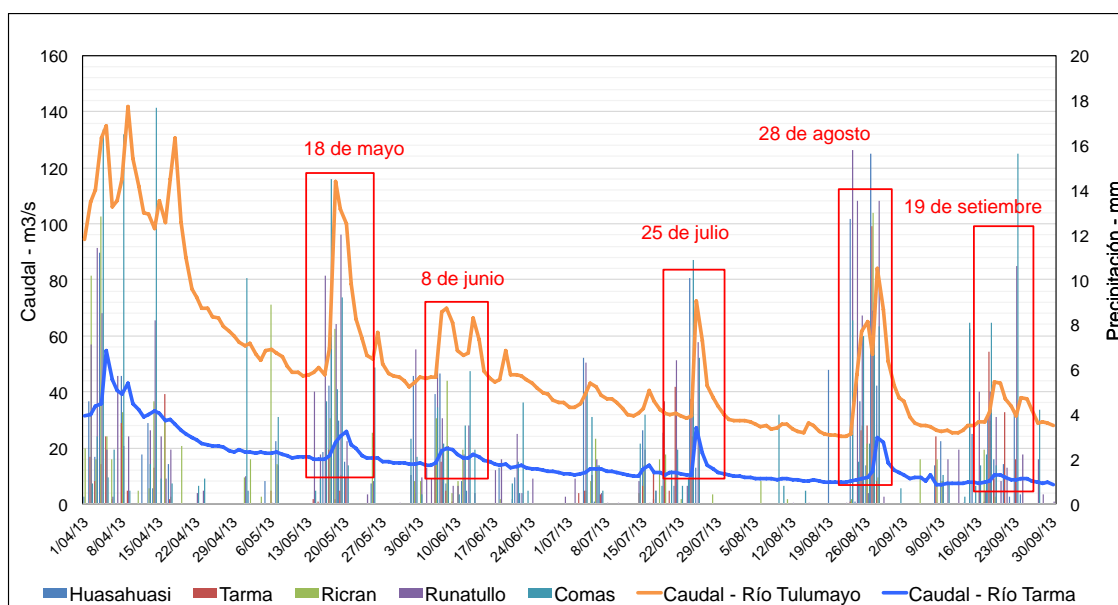


Figura 32: Variación diaria de caudales y de precipitaciones en las cuencas de los ríos Tarma y Tulumayo. Meses de abril a setiembre del 2013

Para el mes de julio del 2013, a partir del día 23 de julio, hay una intensificación de las precipitaciones en las 5 estaciones; Tarma con 4.7 mm, Huasahuasi con 10.0 mm, Ricrán con 3.0 mm, Runatullo con 4.0 mm y Comas con 10.9 mm. Esta intensificación de las precipitaciones en las cuencas de los ríos Tarma y Tulumayo producen para el día siguiente un significativo incremento del caudal en ambos ríos de 10.3 m³/s a 27.0 m³/s en el río Tarma y de 31.6 a 72.4 m³/s en el río Tulumayo (ver figuras 32 y 33 y tabla 15).

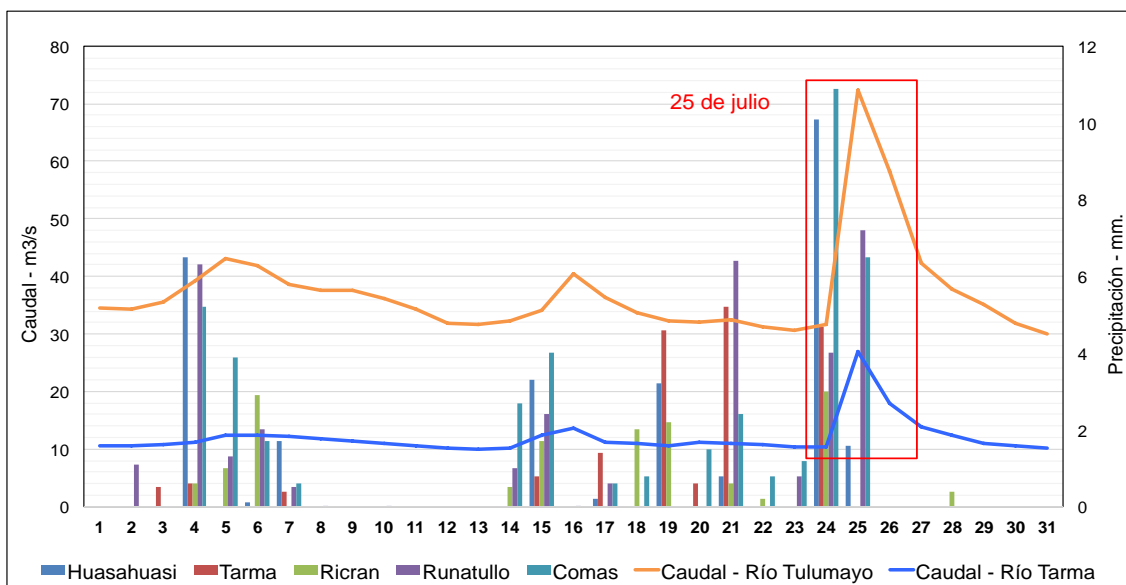


Figura 33: Variación diaria de caudales y de precipitaciones en las cuencas de los ríos Tarma y Tulumayo. Mes: Julio del 2013

3.3.3. Relación de la Incursión del Frente Frío (Friaaje) en los Caudales de los Ríos Tarma y Tulumayo

a. Seguimiento del Frente Frío (Friaaje) por Medio de la Temperatura Mínima de Pto. Maldonado y su Relación con los Caudales de los Ríos Tarma y Tulumayo

Para que ocurra un incremento súbito del caudal y en días previos a la intensificación de la precipitación en época de estiaje; debería de entrar un sistema que inestabilice esta parte de la región de la sierra y selva central. Los frentes fríos más conocido como friaajes, que se conoce como la incursión de masa de aire frío, que viene de las zonas polar y templadas e invaden la zona tropical y llegan hasta la línea ecuatorial, trayendo consigo inestabilidad como intensificación de los vientos, fuertes lluvias, incremento de la presión atmosférica y por ende el descenso de la humedad relativa; el más importante y perjudicial a la agricultura y silvicultura como es el descenso de la temperatura del aire llegando en ciertos casos a mínimos históricos, como sucedió el 19 de julio de 1975 en Pto. Maldonado, donde la temperatura mínima llegó a 4.5°C.

En los primeros capítulos se analizó el comportamiento de la temperatura mínima de la estación de Pto. Maldonado con respecto a la incursión de los

frentes fríos y su efecto más importante se da en la variable de temperatura del aire. En la figura 34 y la tabla 15, se aprecian desde el mes de mayo del 2013 cinco casos de incrementos súbitos del caudal de los ríos Tarma y Tulumayo, acompañados de cuatro de ellos con descensos en la temperatura mínima menores a 17.5°C en la estación de Pto. Maldonado.

Los incrementos más significativos se dan en los días centrados del 25 de julio y 28 de agosto con una anomalía (con respecto a su climatología mensual) que va desde 200.1 % a 218.9% en el río Tarma y de 103.2% a 182.5% en el río Tulumayo respectivamente. En estos dos casos, la temperatura del aire desciende significativamente llegando a valores mínimos de 9.5°C y 11.7°C (ver tabla 15).

Tabla 15: Casos centrados de descensos de la temperatura mínima con incrementos del caudal

Casos Centrados	Pto. Maldonado T. Mínima °C	Anonalia	Río Tarma Caudal - m3/s	Anonalia	Río Tulumayo Caudal - m3/s	Anonalia
1º. 18/05/2013	17.0	-11.4%	23.9	56.7%	115.0	95.1%
2º. 8/06/2013	19.3	7.6%	19.8	94.5%	69.7	77.2%
3º. 25/07/2013	9.5	-44.3%	27.0	200.1%	72.4	103.2%
4º. 28/08/2013	11.7	-35.4%	23.8	218.9%	83.9	182.5%
5º. 19/09/2013	15.1	-22.1%	10.2	40.2%	43.5	26.6%

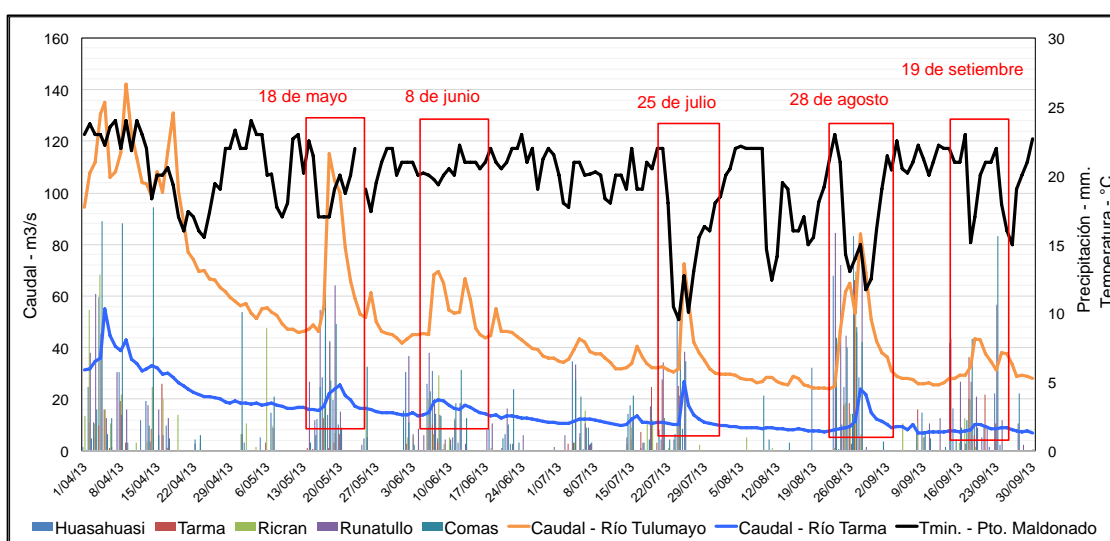


Figura 34: Variación diaria de caudales (ríos Tarma y Tulumayo), precipitaciones (Huasahuasi, Tarma, Ricrán, Comas y Runatullo) y temperatura mínima de Pto.

Maldonado. Meses de abril a setiembre del 2013

En la figura 35, se aprecia claramente el descenso de la temperatura mínima que se mantiene de dos a tres días al ingreso del frente frío por Pto. Maldonado ocurrido el 22 de julio del 2013. El 24 de julio, dos días después del ingreso del frente frío se incrementa la inestabilidad en las cuencas de los ríos Tarma y Tulumayo, con una intensificación de las precipitaciones en ambas cuencas (ver figura 27, 35 y 36). Para el día 25 de julio se aprecia un incremento significativo del caudal promedio diario de los ríos Tarma y Tulumayo, llegando a 27.0 m³/s y 72.4 m³/s respectivamente, con una anomalía con respecto a su medias mensual climáticas de 200.1% en el río Tarma y de 103.2% en el río Tulumayo.

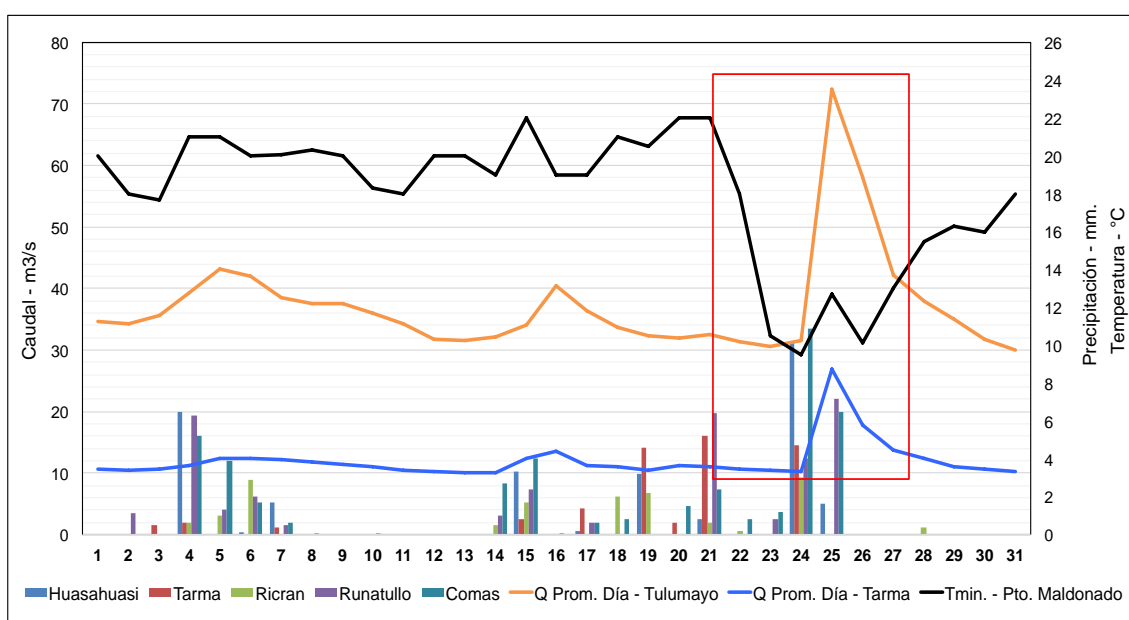


Figura 35: Variación diaria de caudales (ríos Tarma y Tulumayo), precipitaciones (Huasahuasi, Tarma, Ricrán, Comas y Runatullo) y temperatura mínima de Pto. Maldonado. Mes de julio del 2013

Maldonado. Mes de julio del 2013

b. Seguimiento del Frente Frío (Friaje) por Medio del Satélite Terra y su Efecto en los Caudales de los Ríos Tarma y Tulumayo

Al observar las imágenes Terra de verdadero color desde el 22 al 26 de julio del 2013, en donde se aprecian las cuencas de los ríos de Tarma (RT1) y del río Tulumayo (RT2) limitadas en color verde y además se aprecian los puntos de control del caudal en ambos ríos en color rojo. Así mismo, observamos puntos de color celeste que son reportes de precipitación diaria de las estaciones de

Huasahuasi, Tarma, Ricrán, Comas y Runatullo. En cada imagen del satélite Terra, desde el 22 de julio se van a observar paralelamente el comportamiento del caudal en ambos puntos de control, así como también la precipitación diaria acaecida en las 5 estaciones.

Tabla 16: Variación de la precipitación (mm) y caudal (m³/s) de las estaciones pluviométricas e hidrométricas en los días 22 al 28 de julio del 2013

Días	Estaciones Pluviométricas (mm.)					Estaciones Hidrométricas (m ³ /s)	
	Runatullo	Comas	Ricrán	Tarma	Huasahuasi	EH. Toma Tarma	EH. Toma Chimay
22	0.0	0.8	0.2	0.0	0.0	10.7	31.3
23	0.8	1.2	0.0	0.0	0.0	10.4	30.6
24	4.0	10.9	3.0	4.7	10.1	10.3	31.6
25	7.2	6.5	0.0	0.0	1.6	27.0	72.4
26	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.9	58.2
27	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.8	42.2
28	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	12.4	37.9

El frente frío, ingresa por la selva sur el día 22 de julio, y en la sierra oriental central se aprecia condiciones más estables en la cuenca de los ríos Tarma y Tulumayo con caudales de 10.7 m³/s y 31.3 m³/s respectivamente (ver figura 36 y tabla 16). Los reportes de lluvias son escasas en Huasahuasi, Tarma y Runatullo, y de modo débil en las estaciones de Ricrán (0.2 mm) y Comas (0.8 mm).

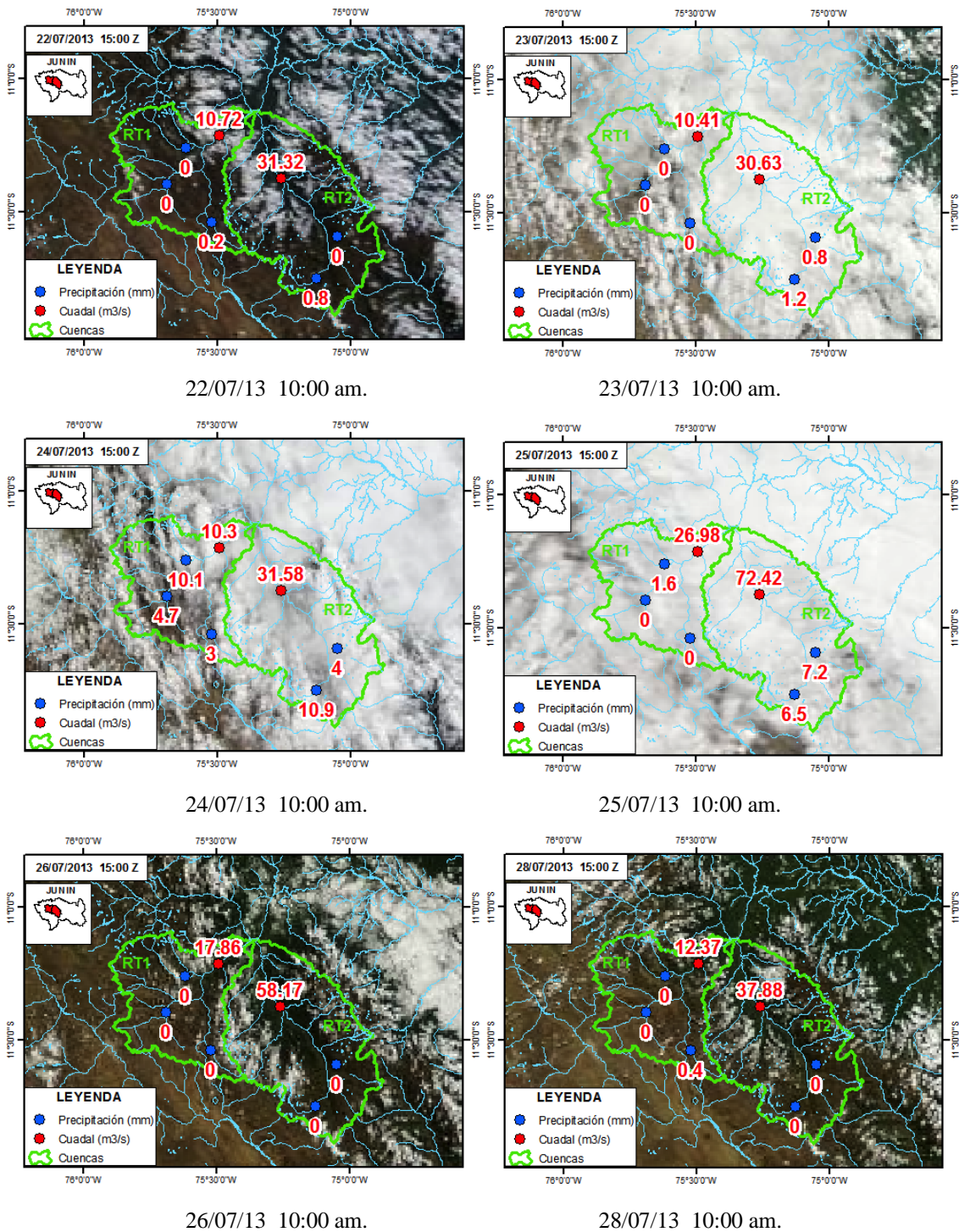


Figura 36: Seguimiento de las precipitaciones (mm) versus caudal (m3/s) en las cuencas de los ríos Tarma y Tulumayo por medio del Satélite TERRA. Días: 22 al 28 de julio del 2013

Según el reanálisis (NCEP/NCAR) de flujos de vientos en niveles de 850 hPa y 700 hPa (ver figura 41), se ven favorables para el transporte de la humedad desde la selva hacia los andes orientales (de este a oeste) en especial sobre el

tercio central en donde se encuentran ubicadas las cuencas de los ríos Tarma y Tulumayo generando precipitaciones por procesos orográficos (ver figuras 27 y 36).

Para los días 23 y 24 de julio, se incrementa la inestabilidad debido al paso del frente frío en donde las precipitaciones más intensas se dan el día 24 de julio del 2013 con valores de 10.1 mm en Huasahuasi, 4.7 mm en Tarma, 3.0 mm en Ricrán, 10.9 mm en Comas y 4.0 mm en Runatullo. Los caudales no se ven afectado en estos días. (Ver tabla 16).

El día 25 de julio del 2013, una vez ya saturado el suelo por la lluvia se incrementa la escorrentía y según los reportes; los caudales aumentaron considerablemente de 10.3 m³/s a 27.0 m³/s en el río Tarma y de 31.6 a 72.4 m³/s en el río Tulumayo. Pasado el efecto del frente, la inestabilidad atmosférica disminuye y los caudales descienden constantemente y para el día 28 de julio los reportes son 12.4 m³/s en el río Tarma y 37.9 m³/s en el río Tulumayo (ver figura 36 y tabla 16).

c. Análisis Estadístico de los Caudales de los Ríos Tarma y Tulumayo. Mes: Julio del 2013

Al realizar el análisis de doble masa de los caudales promedios diarios de los ríos Tarma y Tulumayo (ver figuras 37 y 38), se detectan saltos o quiebres en ambos ríos, identificando dos muestras de comportamiento diferentes (ver tabla 17). La muestra M1 representa la información de caudales desde el 1 al 23 de julio y la muestra M2 representa la información de caudales desde el 24 al 31 de julio. Por la coincidencia de las fechas a un evento de incursión de un frente frío sobre la selva, la cual sería el fenómeno natural más probable para ocurrencia del incremento de los caudales diarios en ambos ríos (Tarma y Tulumayo).

De la tabla 17, se resume las pruebas estadísticas de ambas muestras (M1 y M2) en los ríos Tarma y Tulumayo; encontrándose diferencias estadísticas en la media y en la desviación estándar de ambas muestras. El efecto de la incursión

del frente frío al incremento súbito de los caudales de los ríos Tarma y Tulumayo que sucede el día 25 de julio es temporal. A partir del día 28 de julio del 2013, los caudales de ambos ríos tienden a normalizarse.

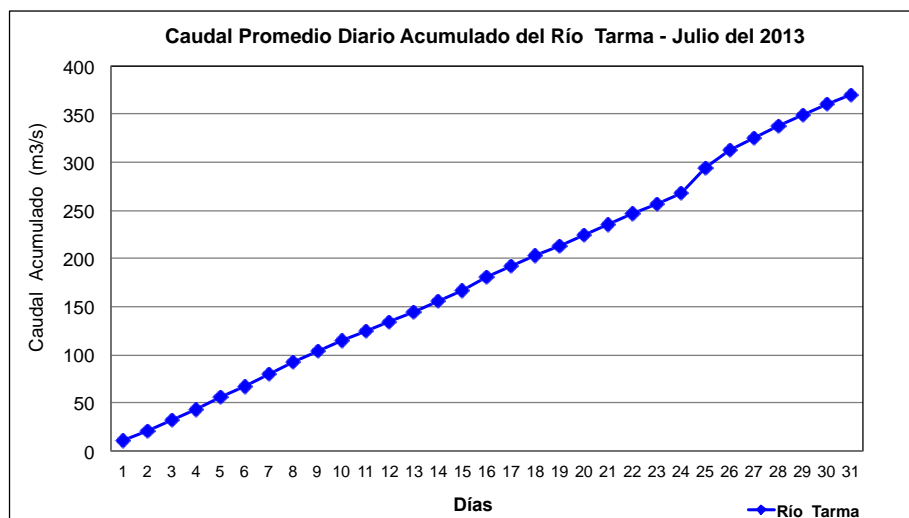


Figura 37: Curva Doble Masa – Río Tarma (EH Toma Tarma)

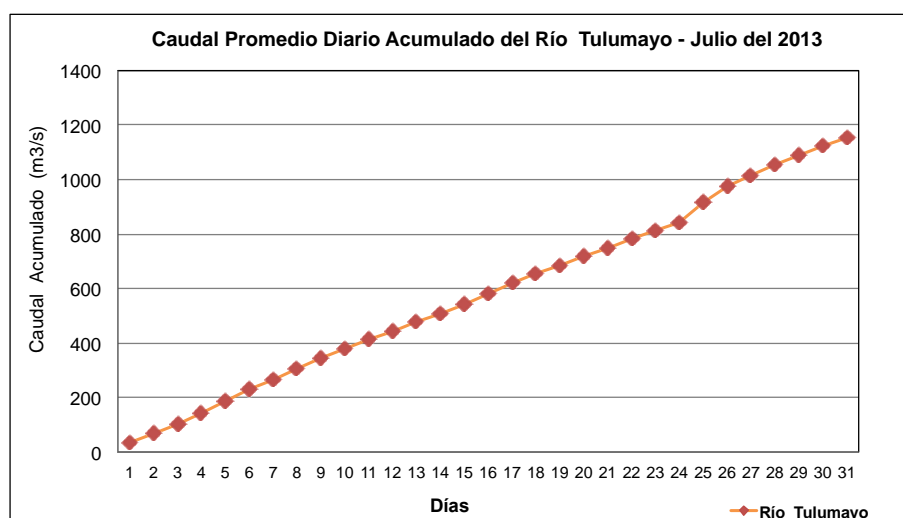


Figura 38: Curva Doble Masa – Río Tulumayo (EH Toma Chimay)

Tabla 17: Análisis estadístico de Saltos

Ríos	Muestras		Desviación Estandar		Media	
	M1	M2	Fcalculado	Ftabulado	Tcalculado	Ttabulado
Río Tarma	Días (1 - 23)	Días (24 - 31)	40.6	2.5	2.4	2.0
Río Tulumayo	Días (1 - 23)	Días (24 - 31)	18.0	2.5	2.1	2.0

NOTA: Rojo (Azul) indican significancia 5% (no significancia).

3.3.4. Análisis Sinóptico del Frente Frío - Friaaje

a. Análisis Isobárico y Frontal en Sudamérica

En la figura 39, del día 20 de julio del 2013, se aprecia un sistema de alta presión de 1040 hPa, a la altura de la latitud 40°S y longitud 90°W, y próxima a la costa chilena se observa el ingreso de una cuña de 1032 hPa, así mismo se aprecia un sistema de baja presión llamado Baja del Chaco, que apoya la incursión de aire cálido y húmedo del norte.

Para los días 21 y 22 de julio, ya es evidente el ingreso de la cuña al continente como el centro y sur de Chile, la Patagonia y norte de Argentina. Estas incursiones extienden su dorsal hasta el norte de Argentina con núcleos de 1040 hPa para el día 21 de julio y de 1032 hPa para el día 22 de julio. Esta dorsal favorecerá la predominancia de flujos meridionales del sur en bajos niveles. Así mismo se observa al núcleo de baja presión - asociado a una ciclogénesis - desplazarse desde la costa de Uruguay hacia el Océano Atlántico (al este de Uruguay).

Entre los días 22 y 23 de julio, la alta migratoria se posiciona sobre Argentina central, Bolivia, sur de Paraguay, Uruguay y sur de Brasil con un núcleo de 1032 hPa entre los 25°S y 60°W, para el día 23 de julio. También se aprecia la extensión de la dorsal hasta los 12°S con isobaras de 1016 hPa, para el día 22 de julio y 1020 hPa para el día 23 de julio. Por otro lado, la ciclogénesis se profundiza desplazándose hacia el este con núcleo de 980 hPa entre los 47°S y 30°W. El efecto del alta migratoria y la ciclogénesis, con el incremento del gradiente isobárico da lugar a la intensificación del viento meridional del sur, con propiedades características de una masa de aire frío y seco polar, que promueven su incursión hacia latitudes tropicales en especial sobre la selva peruana durante el día 22 de julio del 2013, que produjo un efecto térmico en el descenso de la temperatura del aire como es el caso de la estación de Pto. Maldonado, donde la temperatura mínima descendió hasta los 9.5°C.

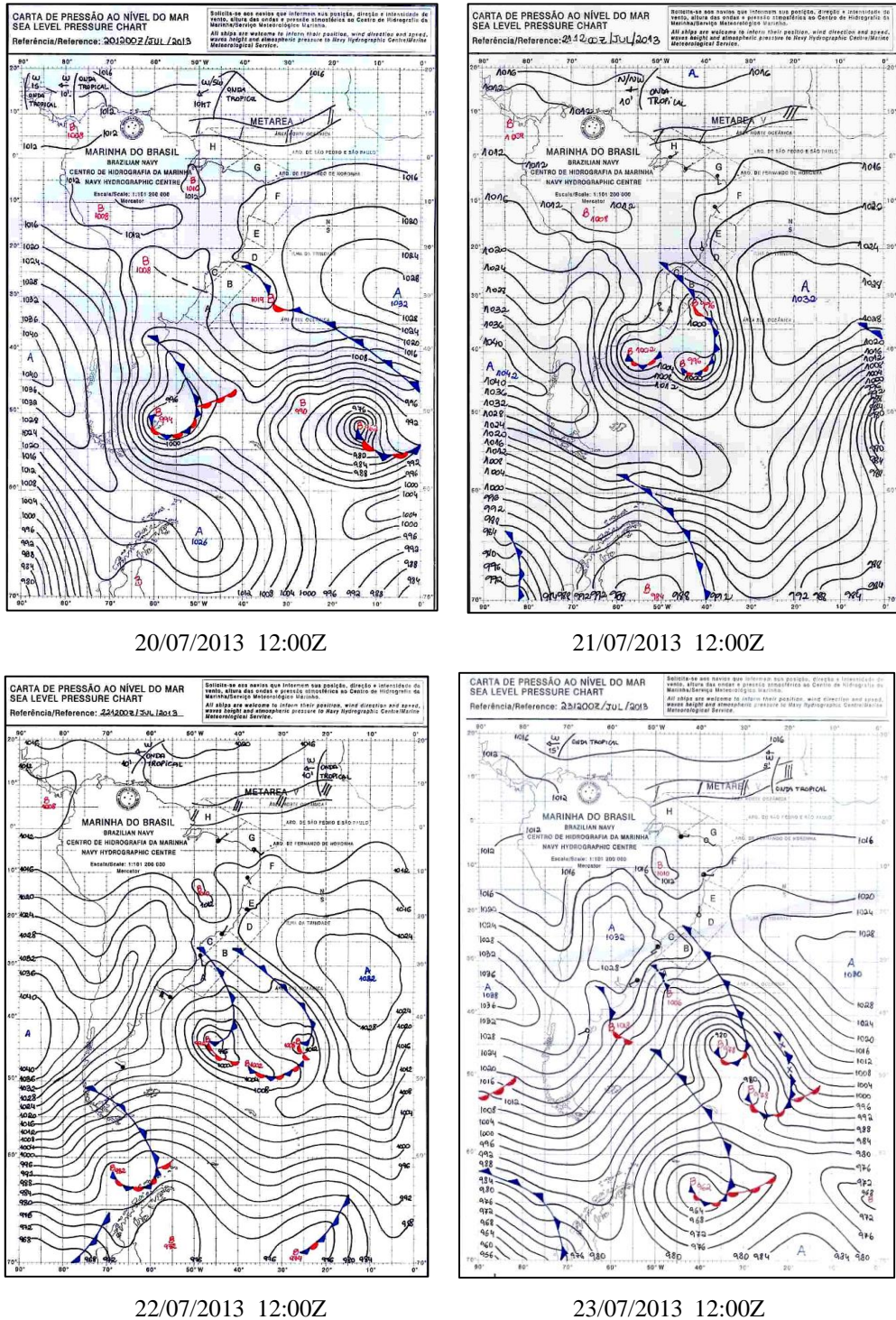


Figura 39: Análisis sinóptico de superficie desde 20 al 23 de julio del 2013

FUENTE: Marina de Brasil-Centro de Hidrografía de la Marina

b. Análisis de Niveles Medios de la Tropósfera

Para el presente caso de estudio, la inclusión de frentes fríos tiene una estructura casi definida en niveles medios como es el caso de un sistema de cuña-vaguada, desplazándose desde el Océano Pacífico hacia el este, cruzando la cordillera de

los Andes hacia el Océano Atlántico.

En la figura 40, para los días 20 y 21 de julio se aprecian el desplazamiento de una vaguada de núcleo frío sobre la cordillera de los Andes, que presenta una mayor compresión desde niveles altos a medios (caída del geopotencial), produciendo un mayor hundimiento de la tropopausa (Holton, 1979), posteriormente al lograr pasar los andes, ganará mayor vorticidad ciclónica, canalizando el aire frío sobre el lado oriental de los andes, cuyo eje se encuentra entre 30°S 70°W a 40°S 60°W. (Ver Figura 40).

Para los días 22 y 23 de julio, el desplazamiento del sistema cuña – vaguada es lento favoreciendo la retroalimentación de aire frío de niveles bajos y su lenta transformación de masa en su incursión hacia el norte mantendrá una vaguada profunda abarcando el sur de Bolivia, Norte de Argentina, Paraguay, Uruguay y sur de Brasil.

Mientras avanza el frente frío al este por el centro de la costa de Chile hacia el oeste y norte de Argentina, los espesores de 1000-500 hPa en línea negra disminuyen con el paso de la masa fría, como se aprecia en el punto de 30°S 70°W para el día 21 de julio del 2013, el espesor es de 550 mgp., (dividido entre 10 para una mejor lectura) y esta disminuye a 535 mgp al día siguiente. Lo mismo sucede en el punto de 15°S 65°W, para los días del 20 al 23 de julio del 2013, donde el espesor de 575 mgp., se ve desplazada más hacia el norte, debido al avance del frente frío por Bolivia y sur de Perú (selva sur) y es reemplazada por el espesor de 567 mgp. La masa de aire frío polar que incursiona por Bolivia y sur de Perú es más pesada que el aire cálido que se encuentra al frente y es por ello que el espesor disminuye.

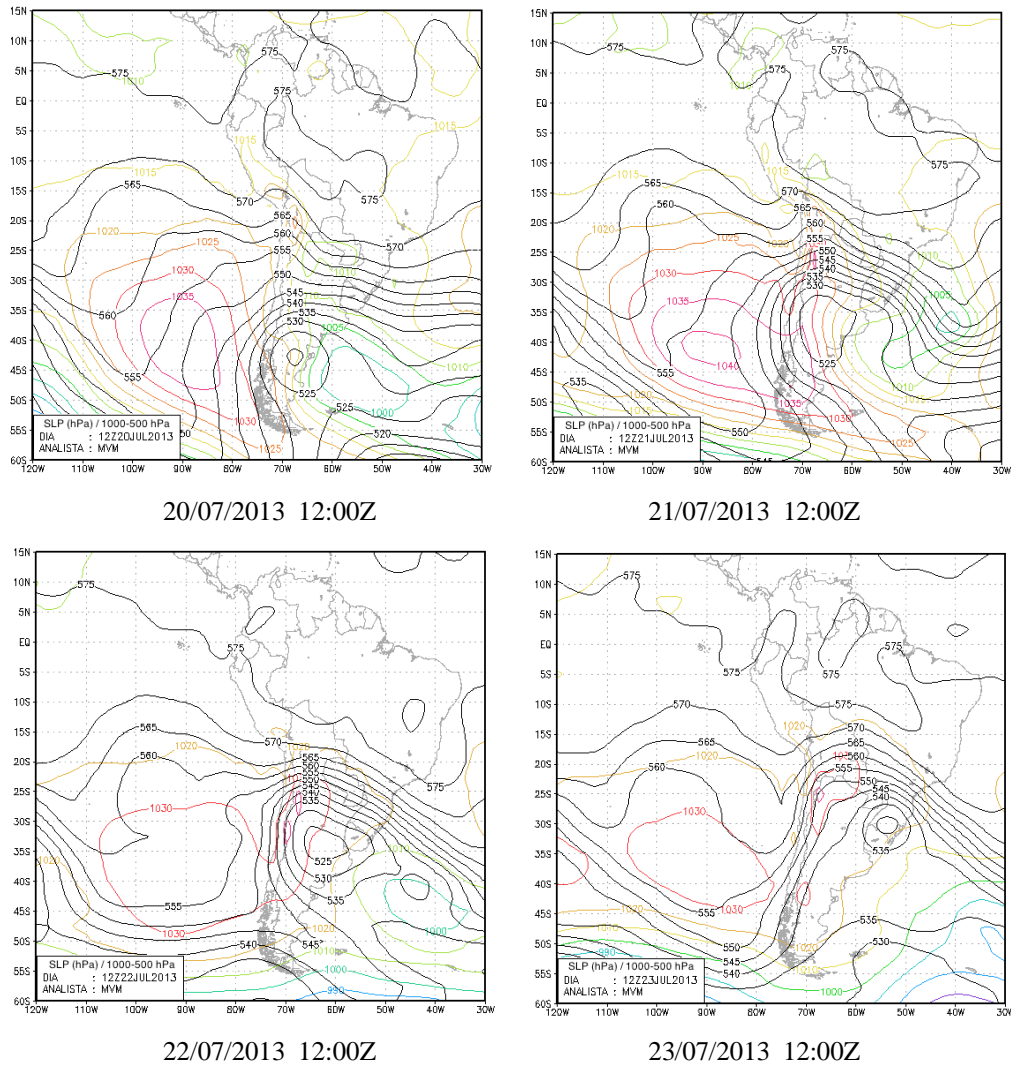
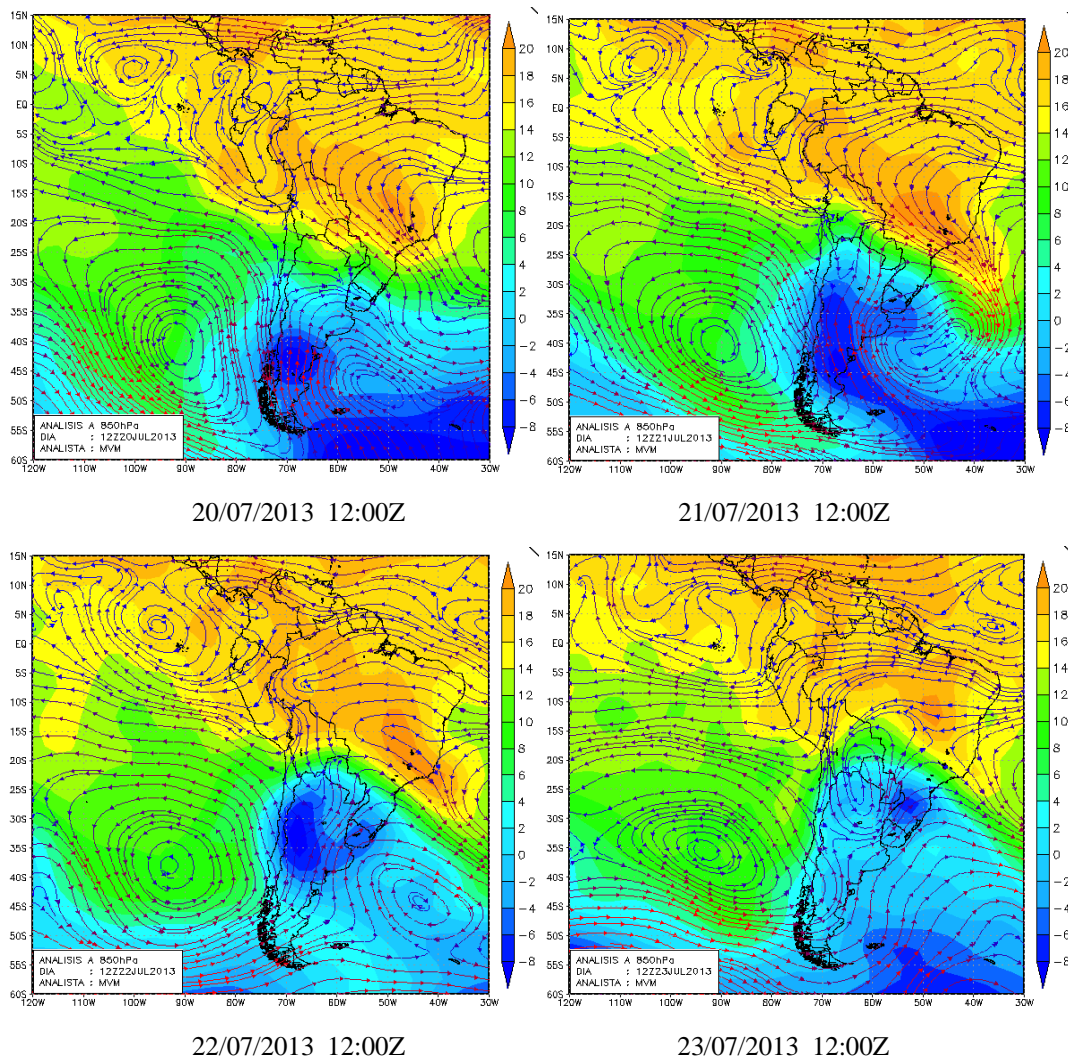


Figura 40: Campos de presión a nivel del mar (líneas colores - hPa) y espesor 1000-500 (líneas negras - mgp). Análisis: 1200Z desde el 20 al 23 de julio del 2013

c. Análisis de Flujos de Vientos y Temperatura del Aire en Niveles Bajos

En la figura 41, para los días 20 y 21 de julio del campo de temperatura del aire y del viento, se observa como la masa de aire frío ingresa por el sur de Chile (color azul) con una temperatura aproximada de 8°C, posicionándose sobre el centro y norte de Argentina, apoyándose por los vientos meridionales que transportan el aire frío hacia la región tropical, ocasionando la disminución de la temperatura del aire. Para el día 21 de julio, también se aprecia próximo al punto 20°S 50°W flujos de vientos del norte entre 18 a 22 nudos, apoyando la incursión de aire cálido y húmedo, asociados al Jet de Bajos Niveles (LLJ, siglas en inglés – flecha de color rojo).



Leyenda:  Nudos.

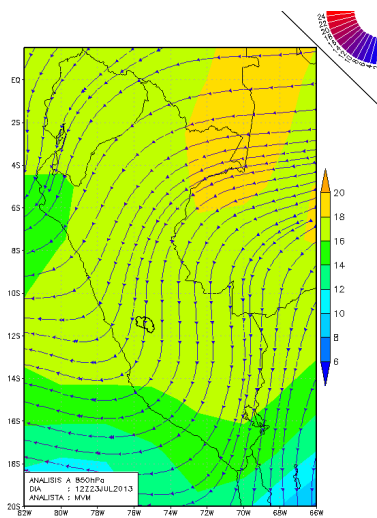
**Figura 41: Campos de temperatura del aire (°C) y vientos (nudos) – Nivel 850 hPa.
Análisis: 1200Z desde el 20 al 23 de julio del 2013**

Entre los días 21 y 22 de julio, el avance del frente frío sobre Argentina central en dirección hacia norte y oeste, favorece la intensificación de los vientos del sur, que llegan a tener características de Jet de Bajos Niveles del Sur (SJ), que se extiende desde la frontera entre Argentina y Uruguay hasta el sur de Bolivia, favoreciendo la incursión del frente frío hacia latitudes más bajas. También podemos apreciar un collado sobre Bolivia, la que nos da ubicación aproximada, donde se encuentra el frente frío y es donde se origina la línea cortante (shear line), que se encuentra delante del frente y se caracteriza por el cambio rápido de la dirección y velocidad del viento, así como también de la temperatura del aire

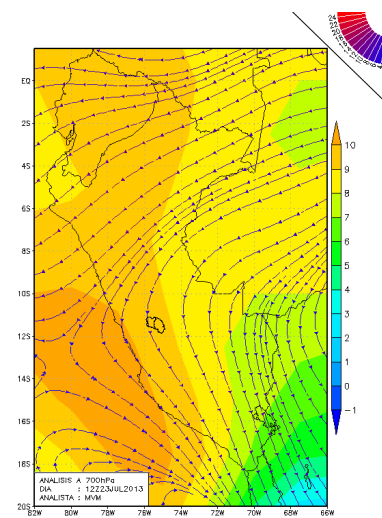
de 2°C a 14°C (ver frontera entre Bolivia, Brasil y Paraguay).

d. Análisis de Flujos de Vientos y Temperatura del Aire en Perú

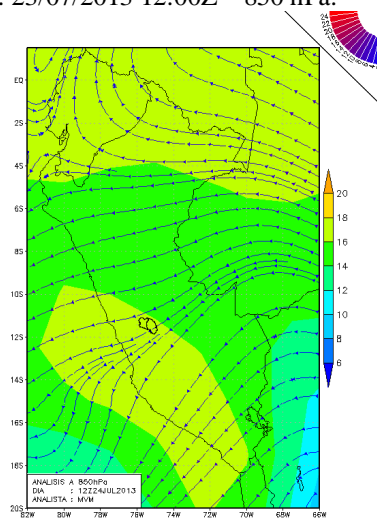
El ingreso del frente frío sobre la selva sur del Perú, se hace sentir en los días 23 y 24 de julio, con la disminución de la temperatura del aire en los niveles de 700 hPa y 850 hPa. Así mismo se puede observar en el nivel de 850 hPa, el cambio de la dirección del viento de noreste a sureste, entre la frontera de Perú y Bolivia, que son efectos de la advección fría, trayéndonos propiedades atmosféricas de zonas templadas y polares (temperatura, presión y humedad) a la selva sur del Perú, siendo ésta más fría y seca (ver figura 42).



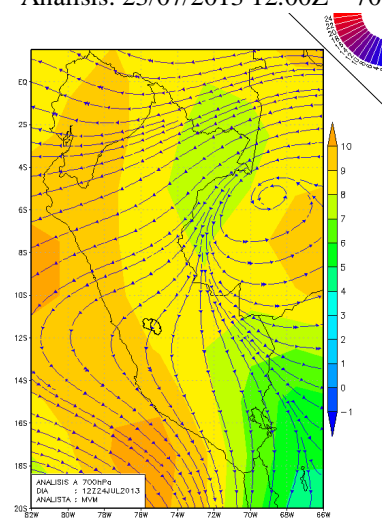
Análisis: 23/07/2013 12:00Z – 850 hPa.



Análisis: 23/07/2013 12:00Z – 700hPa.



Análisis: 24/07/2013 12:00Z – 850 hPa.



Análisis: 24/07/2013 12:00Z – 700hPa.

Figura 42: Campos de temperatura del aire (°C) y vientos (nudos) – Niveles de 700 hPa y 850 hPa. Análisis: 1200Z desde el 23 al 24 de julio del 2013

También podemos observar flujos de vientos del este y noreste desde Brasil en ambos niveles (700 hPa y 850 hPa) y éstas son favorables para el transporte de humedad desde la selva central y norte hacia el flanco oriental de los andes (central y norte), en donde se encuentra ubicada las cuencas de los ríos Tarma y Tulumayo.

3.3.5. Análisis de Imágenes Satelitales

Según las imágenes satelitales GOES 13, de los días 21 y 22 de julio de las 10:00 AM (15:00Z) se observan formaciones nubosas de gran desarrollo vertical asociados al sistema frontal (ver línea negra continua) que se extiende desde el sur de Perú, Bolivia, Paraguay, sur de Brasil, al norte de Argentina y de Uruguay, desplazándose hacia el noreste e incursionando por el sureste del Perú el día 22 de julio (ver figura 43).

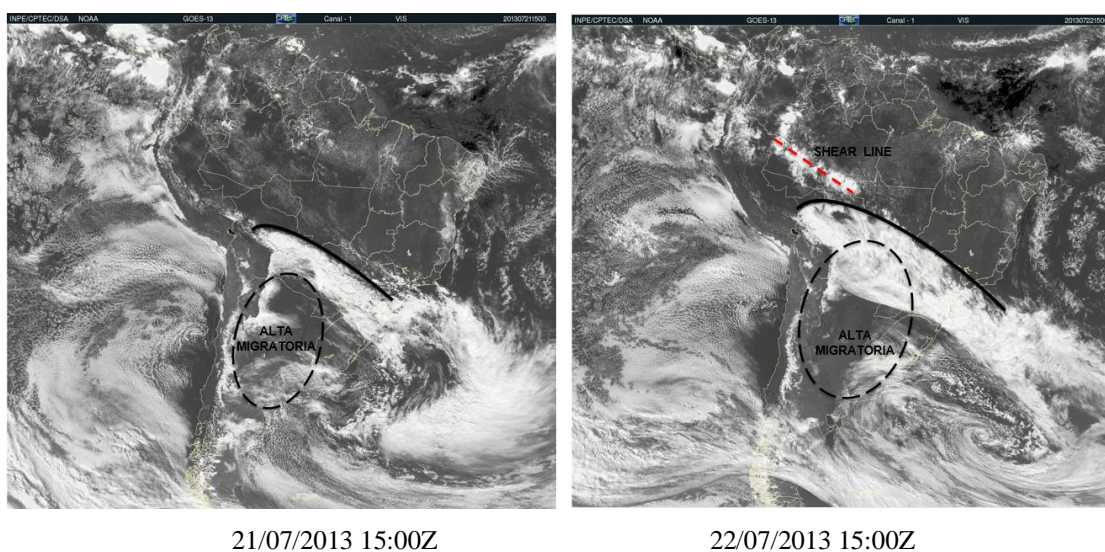


Figura 43: Satélite GOES 13. Imagen visible del 21 al 22 de julio del 2013

Así mismo, se puede apreciar la línea frontal (ver línea continua de color negro) del frente frío, que divide las masas de aire cálido y húmedo proveniente de la Cuenca Amazónica y de la masa de aire frío asociado a la incursión del alta migratoria (ver línea discontinua de color negro).

Más al norte, próximo a las fronteras de Brasil, Perú (al norte del departamento de Loreto) y Colombia se observa una banda de nubosidad convectiva (ver línea roja

discontinua) asociado a una línea cortante (llamada también shear line), que es una extensión de una asíntota confluyente que sale de un collado y se localiza delante del frente (ver figuras 27 y 43 del día 22 de julio).

La humedad generada por la línea cortante y el aire cálido es transportada por los vientos sobre la selva peruana hacia el flanco oriental central de los Andes, que por efectos orográficos la masa de aire cálido se ve obligado a ascender y a enfriarse, llegando a un nivel de condensación para luego producirse la precipitación en esta parte de los Andes y sobre las cuencas de los ríos Tarma y Tulumayo entre los días 23, 24 y 25 de julio, generando finalmente el incremento de los caudales de ambos ríos (ver figuras 27 y 36). La incursión del frente frío, en su avance hacia la selva central apoyó el incremento de la inestabilidad en la selva central y en el flanco oriental central de los Andes.

IV. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos, se tiene las siguientes conclusiones:

Las cuencas de los ríos Tarma y Tulumayo se ven afectados por la actividad frontal, debido al encuentro de dos masas de aire, una cálida (local) y otra fría (invasora), produciendo un incremento de inestabilidad; generando formaciones de tormentas (incremento de la nubosidad) y una intensificación de las lluvias para el día 24 de julio en las 5 estaciones, producto del cual la escorrentía se incrementa significativamente el día 25 de julio; con caudales promedios diarios reportados de 26.98 m³/s en el río Tarma y 72.42 m³/s en el río Tulumayo.

El día 24 de julio, el efecto del frente frío se hizo más evidente con la intensificación de las precipitaciones en las 5 estaciones dentro del ámbito de las cuencas de los ríos Tarma y Tulumayo, variando de 3.0 mm a 10.9 mm de intensidad para este día; producto de ello se incrementa la escorrentía de ambos ríos, produciéndose un aumento considerable para esta época de invierno.

La incursión del frente frío (advección de aire frío) sobre la selva peruana produjo un significativo descenso de la temperatura del aire entre los días 22 al 26 de julio del 2013; registrando mínimos de temperatura mínima de 9.5°C en Puerto Maldonado, siendo la primera estación en recibir el impacto de la advección térmica fría, y en comparación con las estaciones de Pucallpa, Tarapoto e Iquitos el descenso de la temperatura mínima es más significativo.

Por medio de los Satélites GOES 13 y Terra, se observan nubosidad asociadas al ingreso del frente frío (masa polar) sobre el territorio peruano, afectando en los próximos 4 días a la selva peruana (alta y baja) y a la sierra oriental, especialmente a las cuencas de los ríos Tarma y Tulumayo.

Las precipitaciones más intensas ocurren delante del frente, luego viene el descenso de la temperatura del aire y se estabiliza con el ingreso de la cuña del alta migratoria, provocando cielos cubiertos con nubosidad bajas, tipo estratiforme, neblinas y lloviznas.

Para los días 22 y 23 de julio, el ingreso de la advección de aire frío (frente frío) sobre la selva peruana es la causante de la disminución de la temperatura del aire sobre esta región.

V. RECOMENDACIONES

1. Realizar más estudios sinópticos acerca de los friajes y sus efectos en regiones diferentes a la selva baja.
2. Clasificar una climatología de frentes fríos (frijes) que incursionan el territorio peruano y sus efectos en diferentes regiones del país.
3. Implementar una mejor configuración del modelo (resolución y dominio) para una mejor previsión sobre áreas donde puedan ser afectadas por los friajes.
4. Tener una mejor accesibilidad a la información meteorológica de las instituciones del estado, para una buena caracterización del evento, implementado un sistema de asimilación de datos para el ajuste del campo inicial de los modelos regionales o de mesoescala.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

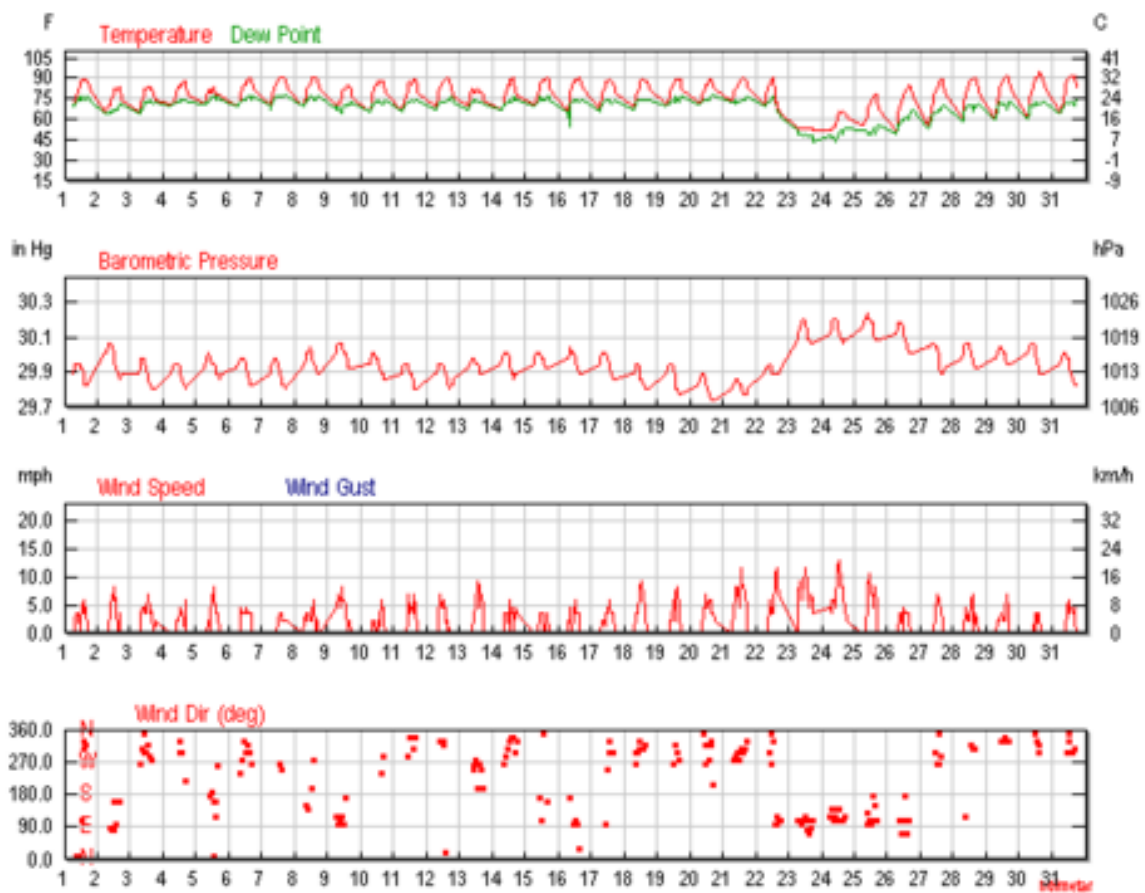
- Barry, R.G.; Chorley R. J. 1972. *Atmósfera Tiempo y Clima*. Ediciones Omega, sa. Barcelona, 395 p.
- Celemín, A. 1984 *Meteorología Práctica*. Servicio Meteorológico Nacional, Mar de Plata. Argentina, 311 p.
- Davies, H.; Rossa A. 1998. Pv Frontogenesis And Upper Tropospheric Fronts. *Monthly Weather Review*. En 126 (6): 1528 – 1539
- García, J. 1979. *Circulación Atmosférica Sudamericana*. Tesis Ingeniero Meteorólogo. UNALM, Lima – Perú.
- Garreaud, R. *et al.* 2002. Coastal Lows along the Subtropical West Coast of South America: Mean Structure and Evolution. *Bulletin of the American*.
- Garreaud, R. 2001. Subtropical cold surges: Regional aspects and Global Distribution *Int. J. Climatol.* 21:1181 – 1197.
- Girardi, C. 1983: El Pozo de los Andes. First International Congress on Southern Hemisphere Meteorology. San José dos Campos, Brazil. *American Meteorological Society*: 226-229.
- Haltiner, G. 1957. *Meteorología Dinámica y Física*. Edita Instituto Nacional de Meteorología, Prensa Hispanoamericana, 448 p.
- Holton, J.R. 1990. *An Introduction to Dynamic Meteorology*. Academic Press, New York 423 p.
- Kallnay *et al.* 1986. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77 (3): 437-471.
- Krishnamurty, T.N. 1997. Down Stream Amplification: A possible Precursor to Major Freeze Events over Southeastern Brasil. *Weather and Forecasting* 14:242-270.
- Marengo, J. 1984. Estudio Sinóptico Climático de los Frijajes (Frijajens) en la Amazonía Peruana. *Revista Forestal del Perú*, 80 p.

- Marengo, J. 1983. Estudio Agroclimático de la zona de Genaro Herrera (Requena – Loreto) y climático en la selva baja norte del Perú. Tesis Ingeniero Meteorólogo. UNALM, Lima – Perú.
- Marengo *et. al.* 2000. Identificación de casos de Jets en niveles bajos, del norte (SALLJ) y del sur (SJ) al este de los Andes durante el verano y otoño 1999, (CPTEC/INPE).
- Morán, F. 1984. 1944: Apuntes de Termodinámica de la Atmósfera. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid – España. 345 p.
- Quispe, N. 2006. 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 del 2000. Tesis de Ingeniero Meteorólogo. UNALM, Lima – Perú.
- Parmenter, F. 1976. Southern Hemisphere Cold Front Passage at Equator. Bulletin of the American Meteorological Society 57: 1435 – 1440.
- Seluchi M.; Chou, S.C. 1999. Intercambios de masas de aire entre latitudes tropicales y extra tropicales de Sudamérica: Validación del modelo regional ETA, Climanáli.

VII. ANEXOS

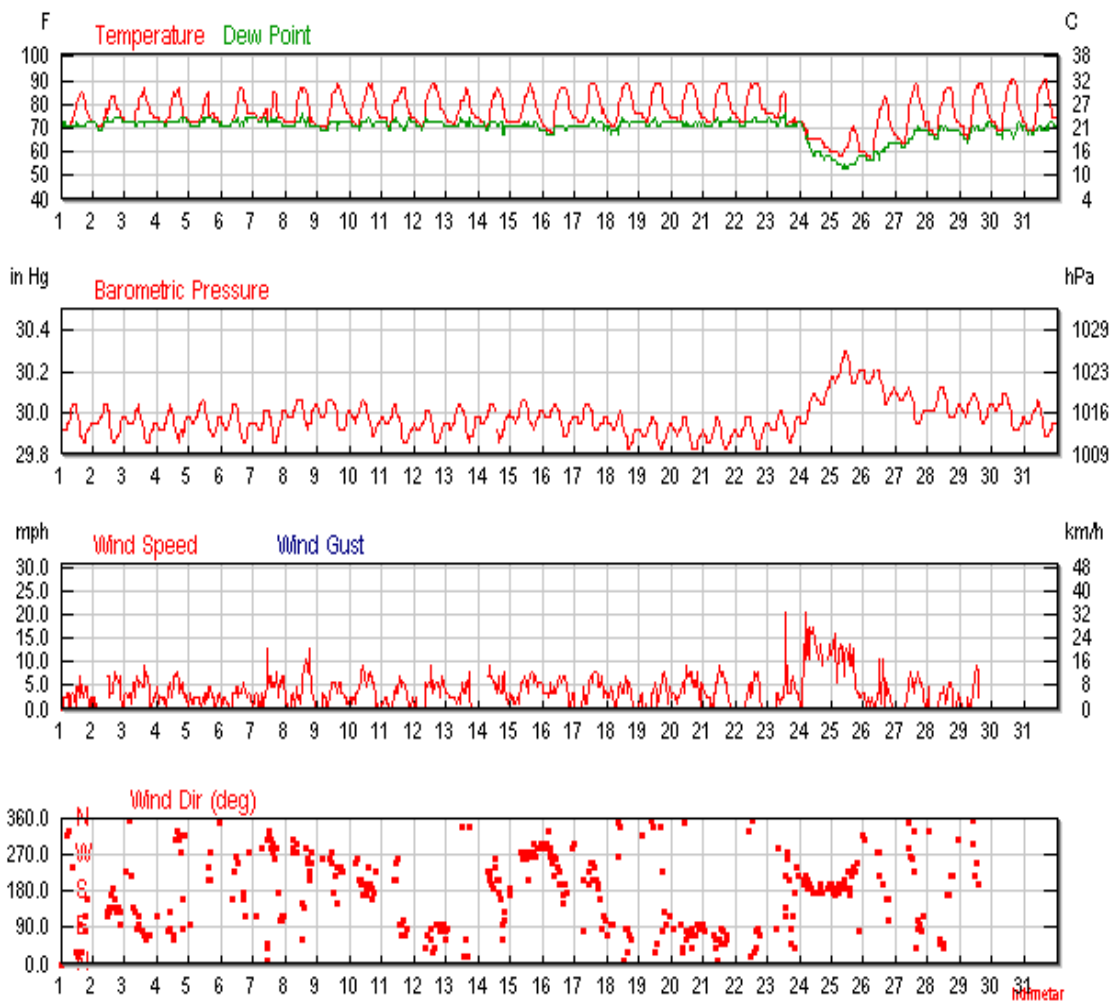
Anexo 1: Comportamiento diario de variables meteorológicas

Comportamiento diario de variables meteorológicas de la estación Pto. Maldonado



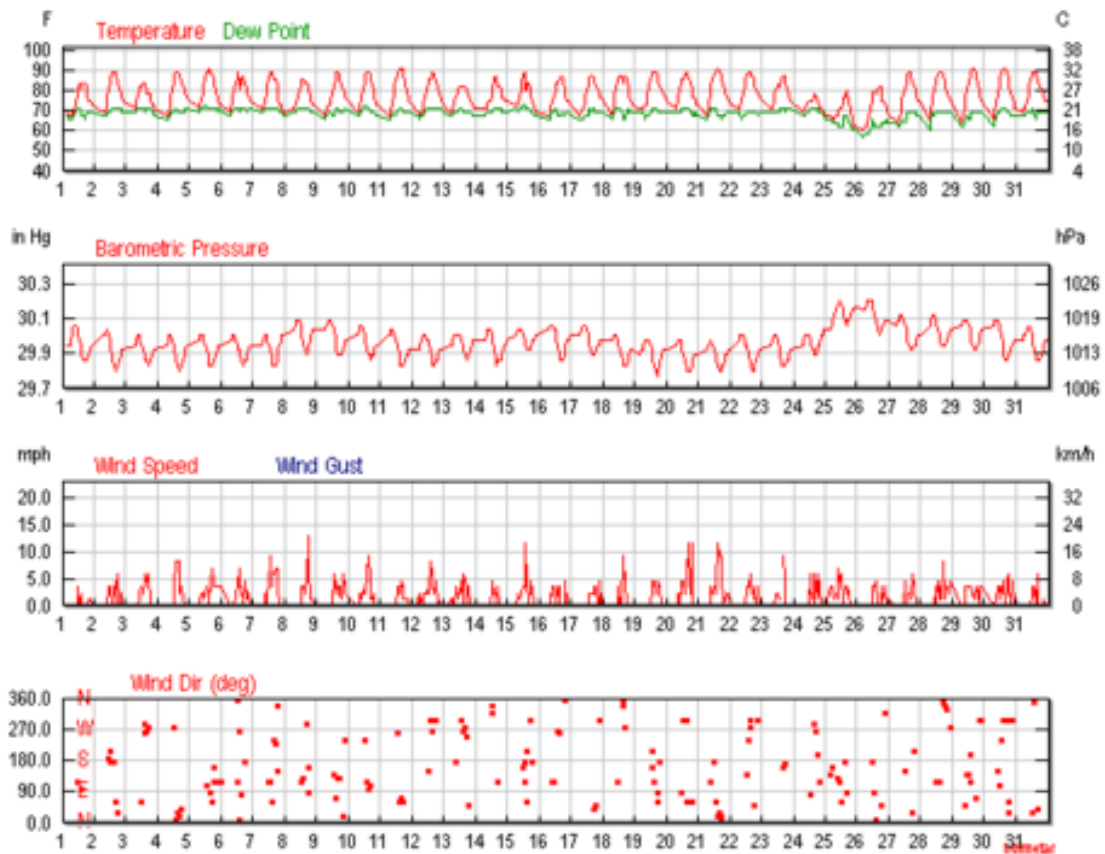
FUENTE: <https://www.wunderground.com/history/airport/>

Comportamiento diario de variables meteorológicas de la estación Pucallpa



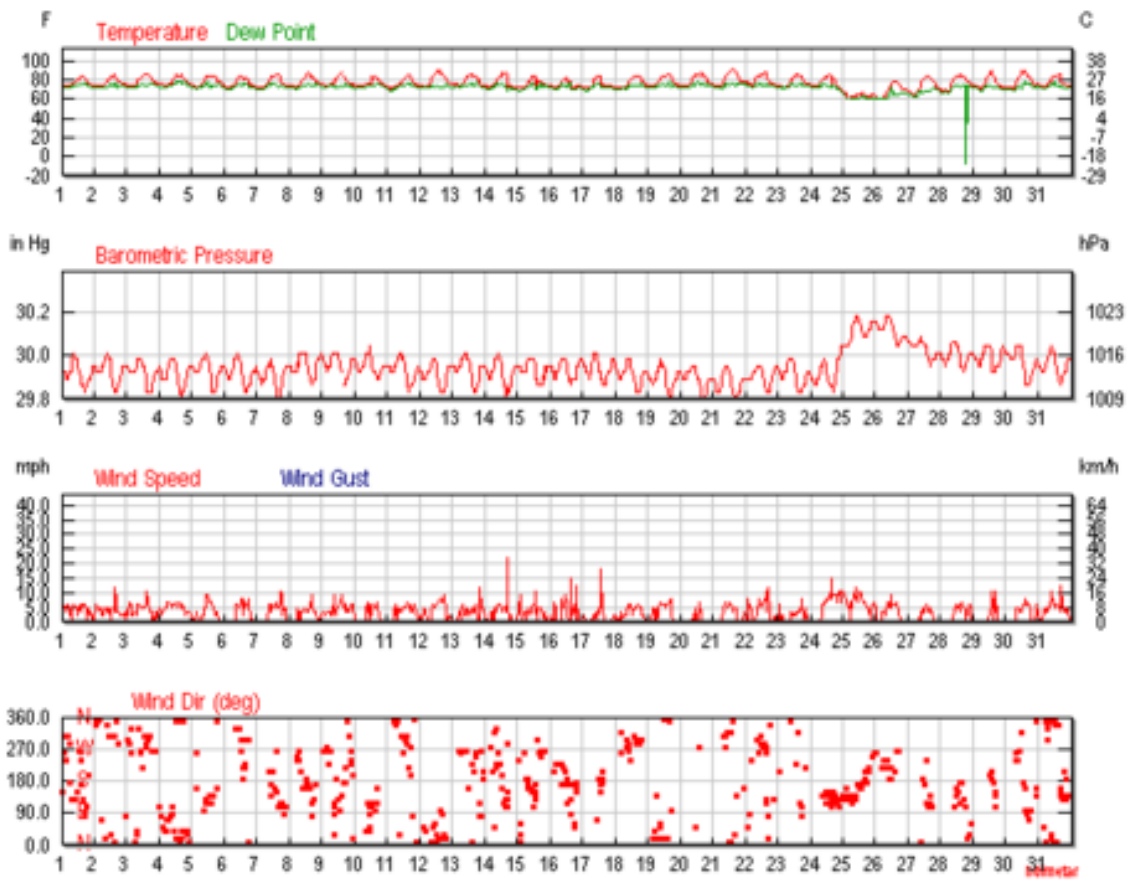
FUENTE: <https://www.wunderground.com/history/airport/>

Comportamiento diario de variables meteorológicas de la estación Tarapoto



FUENTE: <https://www.wunderground.com/history/airport/>

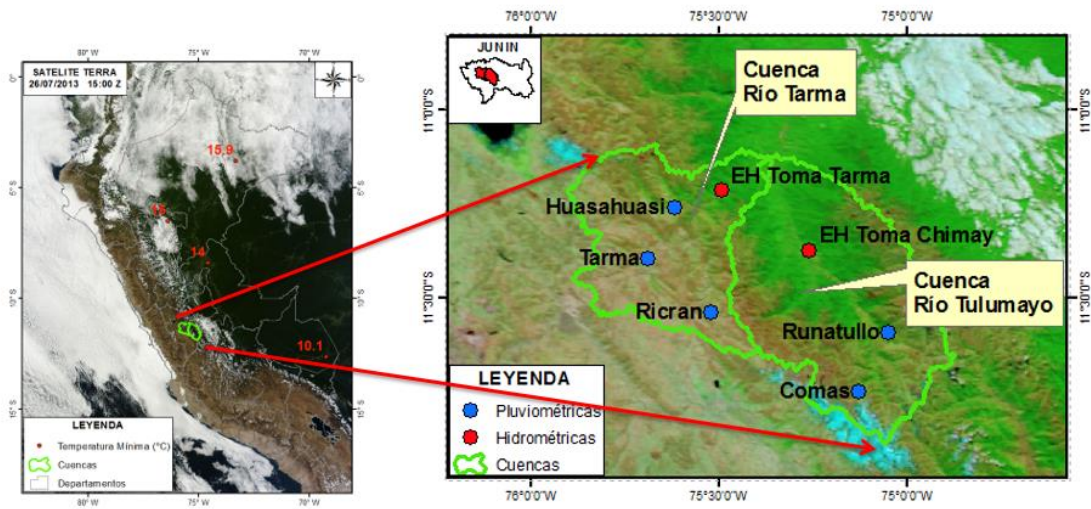
Comportamiento diario de variables meteorológicas de la estación Iquitos



FUENTE: <https://www.wunderground.com/history/airport/>

Anexo 2: Ubicación de la zona de estudio

Ubicación de la zona de estudio – Cuenca de los ríos Tarma y Tulumayo



Anexo 3: Información meteorológica diaria

Información meteorológica diaria del 22 al 27 de julio del 2013 de las estaciones Pto. Maldonado, Pucallpa, Tarapoto e Iquitos

Estación: Pto. Maldonado																				
2013	Temp. (°C)			Punto de rocío (°C)			Humedad (%)			Sea Level Press. (hPa)			Visibilidad (km)			Wind (km/h)		Precip. (mm)	Eventos	
Jul	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	sum		
21	33	27	22	25	23	22	100	75	59	1011	1009	1008	11	10	10	19	6	0		
22	33	26	18	25	22	17	94	80	54	1014	1012	1011	11	10	9	19	5	0	Lluvia	
23	12	11	10	11	9	7	94	83	73	1023	1020	1018	11	9	5	19	10	0		
24	19	14	9	12	9	7	92	67	44	1023	1021	1018	11	11	10	21	10	0		
25	26	19	12	14	11	10	82	56	30	1024	1021	1019	11	10	10	16	5	0		
26	30	20	10	20	15	10	94	63	42	1022	1019	1016	11	11	11	8	2	0		
27	32	22	13	21	18	12	90	63	43	1018	1015	1011	11	11	11	11	2	0		
Estación: Pucallpa																				
2013	Temp. (°C)			Punto de rocío (°C)			Humedad (%)			Sea Level Press. (hPa)			Visibilidad (km)			Wind (km/h)		Precip. (mm)	Eventos	
Jul	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	sum		
21	32	27	21	24	23	22	100	83	55	1015	1012	1010	10	8	0	14	5	0	Niebla	
22	33	28	23	24	23	22	94	78	55	1015	1013	1010	10	9	8	13	2	0		
23	31	26	22	25	23	22	100	89	66	1016	1013	1011	10	9	2	34	6	0	Lluvia	
24	23	19	16	23	17	14	100	88	74	1021	1017	1013	10	9	5	34	14	0	Niebla Lluvia	
25	22	18	14	15	13	12	94	78	46	1026	1023	1021	10	10	10	26	18	0		
26	29	22	14	18	16	14	100	76	42	1023	1021	1017	10	10	8	16	3	0		
27	33	26	18	22	19	17	94	76	45	1020	1017	1013	10	10	10	13	3	0		
Estación: Tarapoto																				
2013	Temp. (°C)			Punto de rocío (°C)			Humedad (%)			Sea Level Press. (hPa)			Visibilidad (km)			Wind (km/h)		Precip. (mm)	Eventos	
Jul	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	sum		
21	33	26	19	22	21	19	94	66	38	1015	1012	1008	10	9	2	19	3	0	Niebla	
22	33	27	22	21	21	19	94	65	44	1016	1012	1009	10	10	10	10	2	0		
23	31	27	22	22	22	21	94	71	46	1016	1013	1009	10	10	10	14	2	0		
24	26	23	21	22	21	20	94	88	78	1017	1015	1012	10	6	1	10	2	0	Niebla Lluvia	
25	27	22	17	20	18	16	94	81	54	1023	1020	1017	10	10	10	11	3	0		
26	28	21	15	19	17	14	88	68	46	1023	1020	1016	10	10	8	8	2	0		
27	32	24	17	21	19	17	94	70	45	1020	1016	1013	10	8	0	10	2	0	Niebla	
Estación: Iquitos																				
2013	Temp. (°C)			Punto de rocío (°C)			Humedad (%)			Sea Level Press. (hPa)			Visibilidad (km)			Wind (km/h)		Precip. (mm)	Eventos	
Jul	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	sum		
21	33	27	21	24	23	21	94	81	52	1015	1012	1009	10	10	8	11	2	0		
22	32	27	22	24	23	22	95	84	62	1018	1013	1010	10	9	3	19	5	0	Lluvia	
23	32	27	22	24	23	21	100	88	62	1019	1013	1010	10	6	0	13	3	0	Niebla	
24	30	26	21	24	22	20	97	86	62	1020	1013	1010	10	9	5	24	5	0	Niebla Lluvia	
25	20	18	15	19	16	15	94	91	82	1026	1020	1015	10	7	1	19	11	0	Lluvia	
26	26	21	16	22	17	15	94	82	57	1026	1021	1017	10	9	8	14	5	0		
27	28	23	18	22	19	17	100	82	53	1022	1017	1012	10	10	8	10	2	0	Niebla	

FUENTE: <https://www.wunderground.com/history/airport/>

Anexo 4: Cálculo de relación de mezcla

Estación:	Pto. Maldonado			Presión de vapor
Días	r (10 ⁻³) g/kg	Presión (P)	Temp Rocío (Td)	e (mb)
21/07/13	15.71	1009.00	21.00	24.85
22/07/13	15.64	1013.00	21.00	24.85
23/07/13	7.58	1019.00	10.00	12.28
24/07/13	7.57	1021.00	10.00	12.28
25/07/13	8.09	1022.00	11.00	13.12
26/07/13	8.11	1020.00	11.00	13.12
27/07/13	9.29	1017.00	13.00	14.97
28/07/13	10.61	1016.00	15.00	17.04
Estación:	Pucallpa			Presión de vapor
Días	r (10 ⁻³) g/kg	Presión (P)	Temp Rocío (Td)	e (mb)
21/07/13	16.67	1012.00	22.00	26.42
22/07/13	16.64	1014.00	22.00	26.42
23/07/13	16.65	1013.00	22.00	26.42
24/07/13	11.31	1018.00	16.00	18.17
25/07/13	9.24	1023.00	13.00	14.97
26/07/13	9.88	1022.00	14.00	15.98
27/07/13	11.31	1018.00	16.00	18.17
28/07/13	13.71	1018.00	19.00	21.96
Estación:	Tarapoto			Presión de vapor
Días	r (10 ⁻³) g/kg	Presión (P)	Temp Rocío (Td)	e (mb)
21/07/13	13.78	1013.00	19.00	21.96
22/07/13	15.61	1015.00	21.00	24.85
23/07/13	14.67	1014.00	20.00	23.36
24/07/13	15.63	1014.00	21.00	24.85
25/07/13	12.84	1020.00	18.00	20.63
26/07/13	10.55	1022.00	15.00	17.04
27/07/13	12.05	1019.00	17.00	19.37
28/07/13	11.31	1018.00	16.00	18.17
Estación:	Iquitos			Presión de vapor
Días	r (10 ⁻³) g/kg	Presión (P)	Temp Rocío (Td)	e (mb)
21/07/13	15.66	1012.00	21.00	24.85
22/07/13	17.73	1013.00	23.00	28.07
23/07/13	16.64	1014.00	22.00	26.42
24/07/13	16.65	1013.00	22.00	26.42
25/07/13	10.57	1020.00	15.00	17.04
26/07/13	11.27	1021.00	16.00	18.17
27/07/13	16.62	1015.00	22.00	26.42
28/07/13	14.64	1016.00	20.00	23.36

Anexo 5: Información estadística

Análisis de Saltos y Tendencias

El análisis estadístico da presencia de "saltos y tendencias" de la información pluviométrica a escala mensual; se realiza mediante los estadísticos "T" de Student para la comprobación de variaciones en la media, y "F" de Fisher en la evaluación de variancias. Estos test prueban si dos series de datos corresponden a una misma población. Se ha asumido períodos consistentes e inconsistentes luego de la correspondiente evaluación de los histogramas (análisis gráfico y de doble masa).

Los estadísticos T_c y F_c (calculados) están dados por las siguientes expresiones matemáticas:

$$T_c = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \qquad S = \sqrt{\frac{\left(\frac{S_1}{n_1}\right)^2 + \left(\frac{S_2}{n_2}\right)^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$
$$S_1 = \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (X_i - \bar{X}_1)^2 \qquad S_2 = \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{i=1}^{n_2} (X_{i+n_1} - \bar{X}_2)^2$$
$$F_c = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad ; \quad (n_1 + n_2 - 2) \text{ grados de libertad.}$$

Siendo: $n_1, n_2 =$ Número de datos de las series 1 y 2.

$S =$ Desviación estándar

En donde:

$\bar{X}_{m1}, \bar{X}_{m2} =$ Medias de los periodos consistente e inconsistente, respectivamente.

$S_1, S_2 =$ Desviaciones típicas de los periodos consistente e inconsistente respectivamente.

Al 95% de significancia estadística.

Fechas		Caudal - Río Tulumayo Q Prom. Día - Tulumayo	Caudal - Río Tarma Q Prom. Día - Tarma
1/07/13	1	34.6	10.6
2/07/13	2	34.3	10.5
3/07/13	3	35.5	10.7
4/07/13	4	39.3	11.3
5/07/13	5	43.2	12.3
6/07/13	6	42.0	12.4
7/07/13	7	38.6	12.3
8/07/13	8	37.6	11.8
9/07/13	9	37.6	11.5
10/07/13	10	36.1	11.0
11/07/13	11	34.2	10.5
12/07/13	12	31.8	10.2
13/07/13	13	31.6	10.0
14/07/13	14	32.2	10.1
15/07/13	15	34.0	12.4
16/07/13	16	40.4	13.6
17/07/13	17	36.4	11.1
18/07/13	18	33.7	11.0
19/07/13	19	32.3	10.5
20/07/13	20	32.0	11.2
21/07/13	21	32.5	11.0
22/07/13	22	31.3	10.7
23/07/13	23	30.6	10.4
24/07/13	24	31.6	10.3
25/07/13	25	72.4	27.0
26/07/13	26	58.2	17.9
27/07/13	27	42.2	13.8
28/07/13	28	37.9	12.4
29/07/13	29	35.1	11.0
30/07/13	30	31.8	10.6
31/07/13	31	30.0	10.2

Mes: Julio	Doble Masa Río Tulumayo	Doble Masa Río Tarma
1	34.6	10.6
2	68.9	21.1
3	104.4	31.8
4	143.7	43.0
5	186.9	55.4
6	228.9	67.7
7	267.5	80.0
8	305.0	91.8
9	342.7	103.2
10	378.7	114.3
11	413.0	124.8
12	444.7	135.0
13	476.3	145.0
14	508.5	155.1
15	542.5	167.4
16	582.9	181.0
17	619.3	192.2
18	653.0	203.2
19	685.3	213.7
20	717.3	224.9
21	749.8	235.9
22	781.1	246.6
23	811.7	257.0
24	843.3	267.3
25	915.7	294.3
26	973.9	312.2
27	1016.1	326.0
28	1054.0	338.3
29	1089.0	349.4
30	1120.9	359.9
31	1150.9	370.1

		Río Tulumayo	Río Tarma
		Diario	Diario
		Días (1 - 23)	Días (1 - 23)
M1			
CANTIDAD	n1	23	23
MEDIA		35.3	11.2
D.S.		3.6	0.9
VARIANCIA		12.8	0.8
		Días (24 - 31)	Días (24 - 31)
M2			
CANTIDAD	n2	8	8
MEDIA		42.4	14.1
D.S.		15.1	5.8
VARIANCIA		229.5	33.5
Alfa		0.05	0.05
N	n1+n2	31	31
VC		8.1	3.0
Tc		2.15	2.45
gl		29.0	29.0
Ttab(0,975,Gl)		2.05	2.05
		-2.05	-2.05
Intervalo		2.15	2.45
		2.05	2.05
		Ttab < Tc	Ttab < Tc
Ftab(0,95,N,n)		2.46	2.46
Fcal		18.00	40.59
N		22	22
n		7	7