

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



**“IDENTIFICACIÓN DE OLAS DE CALOR EN LA COSTA
DEL DEPARTAMENTO DE PIURA 2010-2019”**

Trabajo de Suficiencia Profesional para Optar el Título de:

INGENIERO METEORÓLOGO

MATT NELSON NIETO HUAYTA

Lima – Perú

2024

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

IDENTIFICACIÓN DE OLAS DE CALOR EN LA COSTA DEL DEPARTAMENTO DE PIURA 2010-2019

ORIGINALITY REPORT

15%

SIMILARITY INDEX

14%

INTERNET SOURCES

4%

PUBLICATIONS

4%

STUDENT PAPERS

MATCH ALL SOURCES (ONLY SELECTED SOURCE PRINTED)

3%

★ **docplayer.es**

Internet Source

Exclude quotes On

Exclude bibliography On

Exclude matches < 10 words

ASESORA: Msc.Victoria Calle

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS

**“IDENTIFICACIÓN DE OLAS DE CALOR EN LA COSTA
DEL DEPARTAMENTO DE PIURA 2010-2019”**

Trabajo de Suficiencia Profesional para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO METEORÓLOGO

Presentado por:

MATT NELSON NIETO HUAYTA

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

Mg. Sc. Franklin Delio Unsihuay Tovar
PRESIDENTE

Ing. Héctor Ladislao Huisacaina Soto
MIEMBRO

Mg. Sc. Julio Alfonso Arakaki Kiyán
MIEMBRO

Mg. Sc. Victoria Doris Calle Montes
ASESORA

DEDICATORIA

A mi madre Fernanda por su persistencia, sus consejos y resiliencia. Decirle que siempre estaré para ella.

AGRADECIMIENTOS

A mí estimada profesora Victoria, por su amistad y su asesoría. Al SENAMHI por brindarme información para la realización del trabajo, a Rodrigo y Sergio por su apoyo y conocimiento estadístico. Finalmente, a Karlita por contagiarme de energía para continuar y luchar por mis sueños.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	xii
ABSTRACT	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PROBLEMÁTICA	1
1.2. OBJETIVOS	3
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	3
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
II. REVISIÓN LITERARIA	4
2.1. DESCRIPCIÓN DEL DEPARTAMENTO DE PIURA.....	4
2.1.1. Población	4
2.1.2. Clima	4
2.1.3. Actividades económicas	4
2.2. TEMPERATURA MÁXIMA.....	4
2.2.1. Definición	4
2.2.2. Comportamiento de la Temperatura máxima en el departamento de Piura.....	5
2.2.3. Tendencias a futuro.....	6
2.3. OLAS DE CALOR	7
2.4. CAMBIO CLIMÁTICO Y EVENTOS EXTREMOS	8
2.5. EL NIÑO OSCILACIÓN SUR	8
2.6. EL NIÑO COSTERO.....	9
2.7. TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR	9
2.8. CALOR SENSIBLE	10
2.9. DINÁMICA DE LA ATMÓSFERA	10
2.9.1. Divergencia y Convergencia	10
2.9.2. Subsistencia.....	10
2.9.3. Advección.....	10
2.10. PATRONES SINÓPTICOS.....	11

2.11. MODELO DE CIRCULACIÓN GLOBAL	11
2.11.1. ERA5	11
2.12. CONTROL DE CALIDAD DE DATOS METEOROLÓGICOS	12
2.12.1. Límites nacionales.....	12
2.12.2. Coherencia interna.....	12
2.12.3. Coherencia temporal.....	13
2.12.4. Percentiles	13
2.12.5. Climatol	14
2.12.6. Serie de tiempo.....	15
2.13. IMPACTOS EN EL PERÚ Y EN EL MUNDO.....	16
2.13.1. Impactos en la agricultura.....	16
2.13.2. Impactos en la salud y mortalidad.....	16
III. DESARROLLO DEL TRABAJO	18
3.1. ÁREA DE ESTUDIO	18
3.2. MATERIALES	19
3.2.1. Datos meteorológicos de estación.....	19
3.2.2. Datos meteorológicos de modelo.....	19
3.2.3. Imágenes satelitales	20
3.2.4. Software	20
3.3. MÉTODOS.....	21
3.3.1. Establecer los umbrales de temperatura máxima de las estaciones de la costa de Piura para la identificación de olas de calor, en el trimestre enero-marzo del periodo 2010-2019.	21
3.3.2. Identificar configuraciones atmosféricas a escala sinóptica usando información del modelo de re análisis ERA5, para los periodos de Olas de Calor previamente identificadas.	25
3.3.3. Diseñar un modelo conceptual atmosférico con las configuraciones atmosféricas predominantes, previamente identificadas en los periodos de ocurrencia de Olas de Calor para el periodo de estudio en la costa de Piura.	26
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28

4.1. Determinación de los Umbrales de temperatura máxima e identificación de Olas de Calor en la costa de Piura, para el trimestre enero-marzo del periodo 2010-2019.	28
4.1.1. Resultados del Control de Calidad y Completación de Datos.....	28
4.1.2. Umbrales de las Olas de Calor	32
4.1.3. Identificación de Olas de Calor	33
4.1.4. Caracterización de los eventos de olas de calor previamente identificados.	35
4.1.5. Validación del modelo Era5.	36
4.2. Identificación de configuraciones atmosféricas predominantes usando información de re-análisis del ERA5 que favorecieron los eventos de Olas de Calor identificados en la costa de Piura, para el trimestre enero-marzo del periodo 2010-2019.	37
4.2.1. Configuración atmosférica 1, que favoreció el evento (4) de ola de calor del 19 de febrero al 01 de marzo del 2013.	37
4.2.2. Configuración atmosférica 2, que favoreció el evento (5) de ola de calor del 16 al 25 de febrero del 2016.	45
4.2.3. Configuración atmosférica 3, que favoreció el evento (7) de ola de calor del 16 al 18 de enero de 2017.....	54
4.3. Modelo conceptual para la ocurrencia de Olas de Calor.....	61
4.3.1. Configuración 1 (evento 4 de ola de calor)	61
4.3.2. Configuración 2 (evento 5 de ola de calor)	62
4.3.3. Configuración 3 (evento 7 de ola de calor)	63
V. CONCLUSIONES	64
VI. RECOMENDACIONES	65
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
VIII. ANEXOS.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tendencia y niveles de significancia de la temperatura máxima.....	6
Tabla 2: Valores vigentes a nivel nacional para los límites blandos de la temperatura del aire	12
Tabla 3: Criterio de coherencia interna para la temperatura del aire.....	13
Tabla 4: Criterio de coherencia temporal para la temperatura del aire.....	13
Tabla 5: Ubicación geográfica de las estaciones de monitoreo.....	19
Tabla 6: Descripción de etapas para la identificación de olas de calor	23
Tabla 7: Descripción de factores necesarios para la caracterización de una ola de calor	24
Tabla 8: Principales variables meteorológicas del modelo de reanálisis ERA5 a utilizar.....	25
Tabla 9: Control de Calidad mediante la Clasificación por Banderines	29
Tabla 10: Comparación del Error Cuadrático Medio para datos completados mediante Climatol, con y sin control de calidad.....	31
Tabla 11: Percentil 90 decadiario para el primer trimestre (enero, febrero y marzo) en cada estación meteorológica	33
Tabla 12: Evento 1 identificado como ola de calor durante el periodo del 10 al 15 de marzo de 2011	34
Tabla 13: Evento 2 identificado como ola de calor durante el periodo del 29 al 31 de marzo de 2011	34
Tabla 14: Evento 3 identificado como ola de calor durante el periodo del 10 al 16 de febrero de 2013	34
Tabla 15: Evento 4 identificado como ola de calor durante el periodo del 19 de febrero al 01 de marzo de 2013	34
Tabla 16: Evento 5 identificado como ola de calor durante el periodo del 16 al 25 de febrero de 2016	34

Tabla 17: Evento 6 identificado como ola de calor durante el periodo del 10 al 12 de enero de 2017	34
Tabla 18: Evento 7 identificado como ola de calor durante el periodo del 16 al 18 de enero de 2017	35
Tabla 19: Evento 8 identificado como ola de calor durante el periodo del 02 al 05 de enero de 2019	35
Tabla 20: Evento 9 identificado como ola de calor durante el periodo del 23 al 27 de enero de 2019	35
Tabla 21: Evento 10 identificado como ola de calor durante el periodo del 25 de febrero al 01 de marzo de 2019	35
Tabla 22: Evento 11 identificado como ola de calor durante el periodo del 10 al 13 de marzo de 2019	35
Tabla 23: Criterios estimados para la caracterización de Olas de Calor	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Temperaturas máximas históricas durante el trimestre DEF en la estación Miraflores.	5
Figura 2: Temperaturas máximas históricas durante el trimestre MAM en la estación Miraflores.....	6
Figura 3: Diagrama de funcionamiento que presenta los procesos iterativos del Climatol.	15
Figura 4: Área de estudio y ubicación de las estaciones meteorológicas.	18
Figura 5: Espectro del ABI del GOES-R.	20
Figura 6: Modelo conceptual de ocurrencia de nevadas en los Andes peruanos	27
Figura 7: Revisión de planillas meteorológicas en la Dirección Zonal 1 del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología	29
Figura 8: Ubicación espacial de las estaciones meteorológicas distribuidas en dos grupos.....	30
Figura 9: Coeficiente de correlación de las estaciones meteorológicas respecto a la distancia entre estaciones	30
Figura 10: Diagrama de Gantt para el periodo 2005 – 2019 por estación meteorológica	31
Figura 11: Serie temporal del modelo ERA5 vs datos observados con control de calidad para la estación Miraflores.	37
Figura 12: Líneas de corriente y magnitud de viento promedio (kt) en los niveles de 200 hPa, 250 hPa y 300 hPa (a y c) y divergencia horizontal ($10 - 5(s - 1)$) a 300 hPa (b y d) para el 24 y 27 de febrero a las 18Z durante la Ola de Calor del 2013.....	40
Figura 13: Líneas de corriente y magnitud de viento (kt) a nivel de 850 hPa (a y c) y espesor de altura geopotencial (m _g p) 1000/500 hPa (b y d) para el 25 y 26 de febrero a las 18Z durante la Ola de Calor del 2013.....	41

Figura 14: Interpolación de datos de temperatura máxima observada (°C) (a y c) y temperatura (°C) a 2 m, vector y velocidad de viento (m/s) a 10 m (b y d) para el 25 y 26 de febrero a las 18Z durante la Ola de Calor del 2013.....	42
Figura 15: Anomalía de la Temperatura Superficial del Mar (°C) promedio para toda la Ola de Calor desde el 19 de febrero al 01 de marzo del 2013.....	43
Figura 16: Hovmoller a 85°W para la presión atmosférica reducida a nivel del mar (hPa) para la Ola de Calor desde el 19 de febrero al 01 de marzo del 2013.....	43
Figura 17: Corte de sección latitudinal promedio entre 4°S – 6°S de la humedad relativa (%) y movimiento vertical (m/s) para el 25 de febrero de 2013 a las 18Z.....	44
Figura 18: Hovmoller promedio entre 4°S – 6°S y 81.5°W – 79.5°W para la humedad relativa (%) y movimiento vertical (m/s) para la Ola de Calor desde el 19 de febrero al 01 de marzo del 2013	44
Figura 19: Líneas de corriente y magnitud de viento promedio (kt) en los niveles de 200 hPa, 250 hPa y 300 hPa (a y c) y divergencia horizontal ($10 - 5(s - 1)$) a 200 hPa (b y d) para el 20 y 21 de febrero a las 18Z durante la Ola de Calor del 2016.....	48
Figura 20: Líneas de corriente y magnitud de viento promedio (kt) en los niveles de 500 y 600 (a), temperatura de rocío (°C), vector y velocidad de viento (m/s) a 500 hPa (b) y relación de mezcla ($g * Kg - 1$) con flujo de relación de mezcla <i>mayor a</i> $2g * Kg - 1 * m * s - 1$ en el nivel de 500 hPa (c) para el 22 de febrero a las 18Z durante la Ola de Calor del 2016.	49
Figura 21: Líneas de corriente y magnitud de viento (kt) a nivel de 850 hPa (a, c y e) y espesor de altura geopotencial (m _{gp}) 1000/500 hPa (b, d, f) para el 19, 20 y 21 de febrero a las 18Z durante la Ola de Calor del 2016.	50
Figura 22: Interpolación de datos de temperatura máxima observada (°C) (a, c y e) y temperatura (°C) a 2 m, vector y velocidad de viento (m/s) a 10 m (b, d, f) para el 19, 20 y 21 de febrero a las 18Z durante la Ola de Calor del 2016.....	51

Figura 23: Anomalía de la Temperatura Superficial del Mar (°C) promedio para toda la Ola de Calor desde el 16 al 25 de febrero del 2016.....	52
Figura 24: Hovmoller a 85°W para la presión atmosférica reducida a nivel del mar (hPa) para la Ola de Calor desde el 16 al 25 de febrero del 2016.	52
Figura 25: Corte de sección latitudinal promedio entre 4°S – 6°S de la humedad relativa (%) y movimiento vertical (m/s) para el 19 de febrero de 2016 a las 18Z.....	53
Figura 26: Hovmoller promedio entre 4°S – 6°S y 81.5°W – 79.5°W para la humedad relativa (%) y movimiento vertical (m/s) para la Ola de Calor desde el 16 al 25 de febrero del 2016.....	53
Figura 27: Líneas de corriente y magnitud de viento promedio (kt) en los niveles de 200 hPa, 250 hPa y 300 hPa (a) y divergencia horizontal ($10 - 5(s - 1)$) a 200 hPa (b) para el 17 de enero a las 18Z durante la Ola de Calor del 2017.....	56
Figura 28: Líneas de corriente y magnitud de viento promedio (kt) en los niveles de 500 y 600 (a), temperatura de rocío (°C), vector y velocidad de viento (m/s) a 500 hPa (b) y relación de mezcla ($g * Kg - 1$) con flujo de relación de mezcla <i>mayor a</i> $2g * Kg - 1 * m * s - 1$ en el nivel de 500 hPa (c) para el 18 de enero a las 18Z durante la Ola de Calor del 2017.	57
Figura 29: Líneas de corriente y magnitud de viento (kt) a nivel de 850 hPa (a) y espesor de altura geopotencial (m _g p) 1000/500 hPa (b) para el 18 de enero a las 18Z durante la Ola de Calor del 2017.....	58
Figura 30: Interpolación de datos de temperatura máxima observada (°C) (a) y temperatura (°C) a 2 m, vector y velocidad de viento (m/s) a 10 m (b) para el 18 de enero a las 18Z durante la Ola de Calor del 2017.....	58
Figura 31: Anomalía de la Temperatura Superficial del Mar (°C) promedio para toda la Ola de Calor desde el 16 al 18 de enero del 2017.	59
Figura 32: Hovmoller a 85°W para la presión atmosférica reducida a nivel del mar (hPa) para la Ola de Calor desde el 16 al 18 de enero del 2017.....	59

Figura 33: Corte de sección latitudinal promedio entre 4°S – 6°S de la humedad relativa (%) y movimiento vertical (m/s) para el 17 de enero de 2017 a las 18Z.....	60
Figura 34: Imágenes satelitales del Goes-13 en la banda visible (0.65 μm) para las fechas y eventos 4, 5 y 7 correspondientes: 27 de febrero de 2013 (a), 19 de febrero de 2016 (b) y 18 de enero de 2017 (c) a las 18Z.....	61
Figura 35: Configuración en niveles altos (200-300 hPa) de los flujos de vientos (a) y configuración en niveles bajos y superficiales (b).....	62
Figura 36: Configuración en niveles altos de los flujos de vientos (a), configuración en niveles medios (b) y configuración en niveles bajos y superficiales (c).....	63
Figura 37: Configuración en niveles altos de los flujos de vientos (a), configuración en niveles medios (b) y configuración en niveles bajos y superficiales (c).....	63

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Serie de tiempo de temperaturas máximas para la estación Morropón en el periodo 2005 – 2019.....	70
Anexo 2: Serie de tiempo de temperaturas máximas para la estación Chulucanas en el periodo 2005 – 2019.....	70
Anexo 3: Serie de tiempo de temperaturas máximas para la estación Malacasi en el periodo 2005 – 2019	71
Anexo 4: Serie de tiempo de temperaturas máximas para la estación Miraflores en el periodo 2005 – 2019.....	71
Anexo 5: Serie de tiempo de temperaturas máximas para la estación San Miguel en el periodo 2005 – 2019.....	72
Anexo 6: Serie de tiempo de temperaturas máximas para la estación Partidor en el periodo 2005 – 2019	72
Anexo 7: Serie de tiempo de temperaturas máximas para la estación Bernal en el periodo 2005 – 2019	73
Anexo 8: Serie de tiempo de temperaturas máximas para la estación Chusis en el periodo 2005 – 2019	73
Anexo 9: Serie de tiempo de temperaturas máximas para la estación Lancones en el periodo 2005 – 2019	74
Anexo 10: Serie de tiempo de temperaturas máximas para la estación Mallares en el periodo 2005 – 2019	74
Anexo 11: Serie de tiempo de temperaturas máximas para la estación El Alto en el periodo 2005 – 2019	75
Anexo 12: Serie de tiempo de temperaturas máximas para la estación La Esperanza en el periodo 2005 – 2019.....	75
Anexo 13: Variación de los pesos para distintos valores de wd.....	76

Anexo 14: Percentil 95 decadiario para el primer trimestre (enero, febrero y marzo)	
en cada estación meteorológica	76
Anexo 15: Percentil 99 decadiario para el primer trimestre (enero, febrero y marzo)	
en cada estación meteorológica	77

RESUMEN

Este estudio presenta un enfoque para identificar y analizar olas de calor en la costa del departamento de Piura durante el periodo de enero a marzo entre 2010 y 2019. Se utilizó información diaria de temperatura máxima de doce estaciones meteorológicas convencionales, sometidas por un control de calidad, homogeneización y completación de datos. Posteriormente, se calculó y se utilizó el percentil 90 (decadiario y global) de la temperatura máxima diaria, permitiendo identificar once eventos de olas de calor. Estos fueron caracterizados por tener un mayor valor de temperatura máxima, una duración más prolongada y un mayor número de estaciones meteorológicas afectadas en comparación con otros eventos de ola de calor. Seguidamente, se analizaron tres configuraciones atmosféricas utilizando datos del modelo ERA5 para diferentes niveles de presión. Se observó que en niveles altos de presión, los flujos del oeste sobre el Pacífico oriental y la convergencia horizontal sobre la costa de Piura son determinantes para el aumento de la temperatura máxima en superficie. Esta condición fue más significativa cuando, en niveles medios de presión, ingresan flujos del oeste con bajo contenido de humedad; así también la predominancia de vientos del norte, en niveles bajos de presión, usualmente relacionados a la ausencia, alejamiento o debilitamiento del Anticiclón del Pacífico Sur. Un factor adicional son los contextos de Niño Costero, donde la temperatura superficial del mar presenta anomalías positivas en la región Niño 1+2 (frente a la costa de Piura), lo que favorece el incremento de la temperatura máxima. Con lo anterior, se determinó tres modelos conceptuales que sistematizan las configuraciones atmosféricas necesarias para ocurrencia de eventos de olas de calor. Este estudio proporciona información relevante para el pronóstico de eventos cálidos extremos en la región norte, lo que podría ser de utilidad para el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), específicamente en la Dirección Zonal 1.

Palabras clave: Ola de Calor, ERA5, Piura, Configuraciones atmosféricas

ABSTRACT

This study presents an approach to identify and analyze heatwaves on the coast of the Piura department during the period from January to March between 2010 and 2019. Daily maximum temperature data from twelve conventional meteorological stations were utilized, subjected to data quality control, homogenization, and missing data in-filling. Subsequently, the 90th percentile (decadal and global) of daily maximum temperature was calculated and used, allowing the identification of eleven heatwaves events. These were characterized by higher maximum temperature values, longer durations, and a greater number of affected meteorological stations compared to other heatwaves events. Next, three atmospheric configurations were analyzed using ERA5 model data for different pressure levels. It was observed that at high-pressure levels, westerly winds over the eastern Pacific and horizontal convergence over the Piura coast are influential in increasing surface maximum temperature. This condition was more significant when low-moisture westerly winds entered at mid-pressure levels, as well as the predominance of north winds at low-pressure levels, usually associated with the absence, distance, or weakening of the South Pacific Anticyclone. An additional factor is the Coastal El Niño contexts, where sea surface temperature anomalies are positive in the Niño 1+2 region (off the coast of Piura), favoring an increase in maximum temperature. Based on the above, three conceptual models were determined to systematize the atmospheric configurations necessary for the occurrence of heatwave events. This study provides relevant information for the forecast of extreme heat events in the northern region, which could be useful for the National Service of Meteorology and Hydrology of Peru (SENAMHI), specifically in Zone 1 Directorate.

Keywords: heatwave, ERA5, Piura, Atmospheric configurations

I. INTRODUCCIÓN

1.1. PROBLEMÁTICA

Una de las actividades y funciones principales de un meteorólogo en un servicio meteorológico nacional es la realización del pronóstico del tiempo, ello implica la anticipación de eventos meteorológicos adversos que tienen un impacto en la población y su ecosistema. Durante el tiempo de actividad laboral de mi persona en la Dirección Zonal 1 del SENAMHI, con jurisdicción en los departamentos de Piura y Tumbes, no se tenía una metodología o modelo conceptual de análisis de variables para el pronóstico de un determinado evento meteorológico. La región de Piura se caracteriza por ser una zona árida con deficiencia de humedad (SENAMHI, 2020) y por las altas temperaturas, principalmente en la estación del verano. Estas características permiten, sumado a otros factores, la susceptibilidad a eventos meteorológicos denominados Olas de Calor.

Una ola de calor se define como un período prolongado de temperaturas inusualmente altas, que superan los promedios históricos para una determinada región geográfica (Paredes, 2023). Las olas de calor son fenómenos climáticos extremos que se han vuelto cada vez más frecuentes y graves en las últimas décadas, generando preocupación a nivel global debido a sus impactos negativos en la salud humana, los ecosistemas y la economía. A medida que el cambio climático se acentúe, se prevé que las olas de calor sean más frecuentes, más intensas y más duraderas, lo que enfatiza la necesidad de comprender mejor este fenómeno y desarrollar estrategias efectivas de mitigación y adaptación.

En el Perú la situación es preocupante, puesto que es el tercer país en riesgo de sufrir las consecuencias del cambio climático (Aguilar-León & Solano-Zapata, 2016). Según estudios médicos, realizados en el contexto del Fenómeno del Niño 97-98, es necesario considerar al calor ambiental como un factor importante en el desarrollo de enfermedades (Miranda M. et al., 2003). A nivel regional, en marzo del 2016, las autoridades sanitarias de la región de Piura relacionaron el fallecimiento de ocho niños menores a dos años con las altas temperaturas de la ciudad (Aguilar y Solano, 2016), registrándose en los distritos de Lancones, Castilla y Bernal, 39.8°C, 37°C y 38°C, respectivamente; significando un

incremento de temperaturas diurnas de hasta 3°C sobre el valor normal (SENAMHI, 2016). Piura es uno de los departamentos más vulnerables debido a su ubicación geográfica cerca de la línea ecuatorial; la actividad agrícola sería insostenible con temperaturas mayores a las actuales, lo que afectaría el umbral térmico de las plantas, creando problemas en los cultivos (Torres, 2010).

Ante los eventos de altas temperaturas que se han venido suscitando durante la última década en la costa norte del Perú, resulta de especial interés identificar y conocer las características meteorológicas de eventos de olas de calor que han ocurrido y que han tenido impacto en la salud de la población y en la agricultura. Es importante proporcionar información útil para la población, dado que no se cuenta con suficientes estudios de alcance regional sobre las Olas de Calor (Castillo, 2018), ni metodologías que hayan usado modelos de mayor resolución espacial. Su relevancia radica en la importancia de definir criterios atmosféricos que den un sustento teórico y técnico para la elaboración de modelos conceptuales, los cuales son insumos necesarios para la mejora del pronóstico meteorológico a corto plazo y su aplicación en la ejecución de medidas preventivas.

En tal sentido, el presente estudio tratará sobre las olas de calor en la costa del departamento de Piura durante el periodo 2010-2019, esto contribuirá a la utilización de una metodología para la identificación de olas de calor en la costa norte del Perú; asimismo permitirá conocer el comportamiento de los diferentes patrones atmosféricos asociados a un evento de ola de calor, de esta manera se mejorará los pronósticos para la toma oportuna de medidas preventivas. Ante lo mencionado, esta investigación será otro punto de partida para la planificación de estrategias en salud y medio ambiente, así como también la implementación de sistemas de alerta ante el peligro inminente de olas de calor.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Analizar las olas de calor mediante la identificación de los eventos y el estudio de las configuraciones atmosféricas asociadas, en la costa del departamento de Piura en el trimestre enero-marzo del periodo 2010-2019.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Identificar olas de calor en base a la variable de temperatura máxima, en la costa del departamento de Piura, para el trimestre enero-marzo del periodo 2010-2019.
- Analizar las configuraciones atmosféricas que favorecen la ocurrencia de Olas de Calor, previamente identificadas, a escala sinóptica en el Pacífico oriental y centro-norte de Sudamérica occidental con información del modelo ERA5.
- Determinar un modelo conceptual atmosférico para la ocurrencia de Olas de Calor sobre Pacífico Oriental y Centro-Norte de Sudamérica occidental, respecto al trimestre enero-marzo del periodo 2010-2019

II. REVISIÓN LITERARIA

2.1. DESCRIPCIÓN DEL DEPARTAMENTO DE PIURA

2.1.1. Población

Según el último Censo de Población y Vivienda de 2017 realizado por el INEI, la población de Piura ascendió a 1,9 millones de habitantes, siendo la segunda región con mayor población, superada únicamente por Lima. La población urbana predomina en el departamento de Piura, representando el 79.3% de la población total (Banco Central de Reserva del Perú, 2018).

2.1.2. Clima

Piura posee un clima tropical y seco, con una temperatura promedio anual de 24°C. Durante el verano supera los 35°C y puede llegar hasta los 40°C en el contexto del Fenómeno de El Niño. Las épocas de lluvias son entre enero y marzo. En las Zonas andinas el clima presenta noches frías y mañanas templadas (BCRP, 2018).

2.1.3. Actividades económicas

El desarrollo de Piura se sustenta principalmente de la riqueza de sus recursos naturales y dotación de factores productivos. El sector agropecuario es uno de los sectores más importantes para la región; cultivos como la uva, arroz y mango son el primer, segundo y tercer cultivo más importante de la cartera de productos de Piura. Además, Piura se constituye en el primer productor nacional de mango, con una participación promedio de 73.4 por ciento en la producción nacional, y de limón con una participación promedio de 57.0 por ciento en la producción nacional (BCRP, 2018).

2.2. TEMPERATURA MÁXIMA

2.2.1. Definición

La temperatura es una magnitud escalar que es proporcional a la cantidad de energía cinética de las partículas de los cuerpos. Además, es un elemento climático relacionado directamente

con la energía solar que recibe el planeta tierra, cuyos registros se obtienen de estaciones meteorológicas convencionales y automáticas. En base a lo anterior, la temperatura máxima es el valor más alto de la temperatura registrada durante un periodo de 24 horas; por ello, se interpreta que a mayor temperatura registrada, se tiene mayor sensación térmica (INEI & SENAMHI, n.d.).

2.2.2. Comportamiento de la Temperatura máxima en el departamento de Piura

En el estudio realizado por el SENAMHI (2005), se observó la tendencia positiva de los percentiles 90 de la serie histórica de temperatura máxima de las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Piura durante los trimestres diciembre-febrero (DEF) y marzo-mayo (MAM). Durante estos períodos, las regiones del Bajo Piura y Cuenca Media, Miraflores, Chulucanas, Morropón y Tambo Grande, registraron temperaturas máximas extremas cercanas a 36°C. Esta información indica que la referida zona es la que soporta los máximos riesgos de extremas temperaturas máximas.

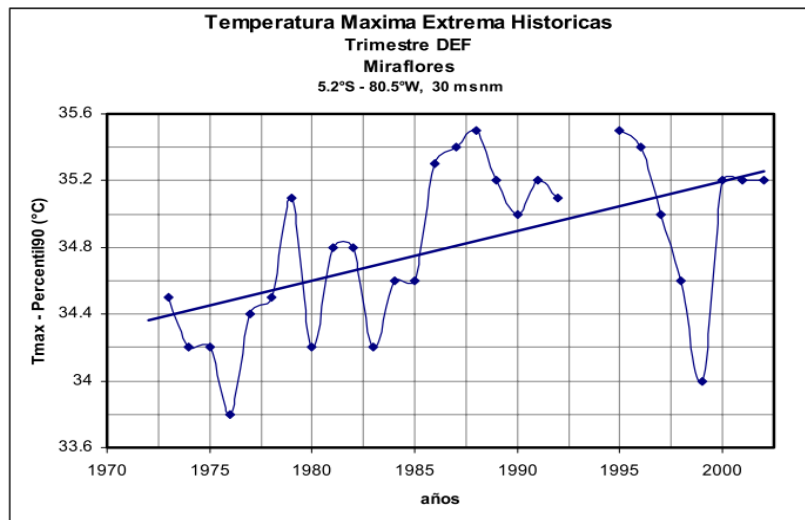


Figura 1: Temperaturas máximas históricas durante el trimestre DEF en la estación Miraflores.

FUENTE: SENAMHI

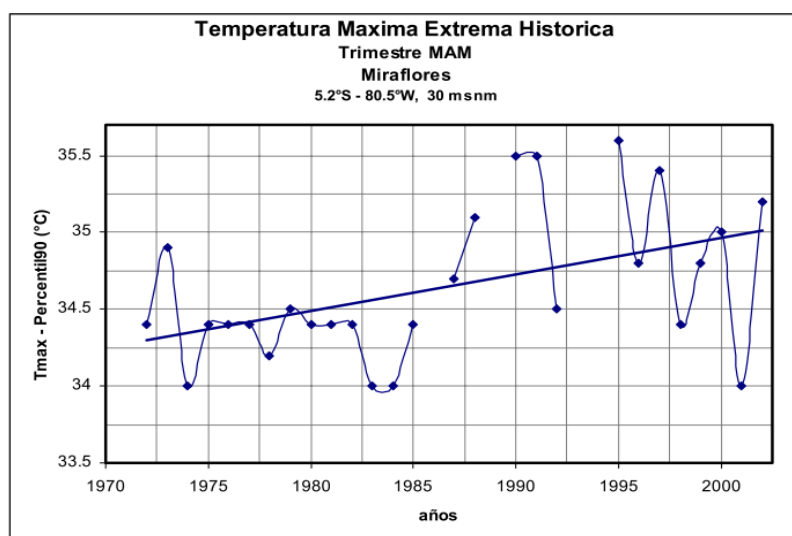


Figura 2: Temperaturas máximas históricas durante el trimestre MAM en la estación Miraflores.

FUENTE: SENAMHI

2.2.3. Tendencias a futuro

Asimismo, en el estudio del SENAMHI se utilizó 2 escenarios regionalizados distintos llamados A2 y B2, correspondiendo a un estado de alta y baja emisión de GEI (Gases de efecto invernadero), respectivamente; con el objetivo de evaluar tendencias futuras de temperatura máxima.

Tabla 1: Tendencia y niveles de significancia de la temperatura máxima

Período	Sub Cuencas	Tendencia (2004-2020)		Significancia (%)		Tendencia (2004-2035)		Significancia (%)	
		A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2
D E F	Bajo Piura	1.80 - 2.00	ST	>95	NS	0.90 - 1.00	0.8 - 1.0	> 95	> 95
	San Francisco	-0.10 - 0.20	ST	75	NS	ST	0.2 - 0.5	NS	>75
	Yapatera	-0.10 - 0.30	0.20 - 0.90	75	70 - 85	-0.10 - 0.90	0.2 - 0.9	>70	>85
M A M	Bajo Piura	-0.10 - 0.10	ST	75	NS	0.80 - 1.00	0.5	>95	>90
	San Francisco	-0.80 - -0.40	ST	75	NS	0.20 - 0.50	0.2-0.5	>85	>85
	Yapatera	-0.40 - -0.20	ST	80	NS	0.20 - 0.80	0.2-0.5	>90	>90
J J A	Bajo Piura	0.60 - 0.80	0.20 - 0.40	>95	75	0.80 - 0.90	0.60 - 0.70	>90	95
	San Francisco	0.60 - 0.70	0.40	>95	80-85	0.60 -0.90	0.70 - 0.90	>95	>99
	Yapatera	0.60 - 0.80	0.20 - 0.60	>95	80	0.60 - 0.90	0.60 - 0.80	>90	98
S O N	Bajo Piura	2.0-2.50	ST	>95	NS	1.60 - 1.90	1.60 - 2.00	>90	> 99
	San Francisco	1.00-1.80	ST	>85	NS	0.90 - 1.70	0.80 - 1.50	99	>93
	Yapatera	0.5-1.40	0.10 - 0.50	>80	70 - 85	0.60 - 1.90	0.60 - 1.90	>99	>95

FUENTE: SENAMHI, 2005

Para el trimestre DEF (Diciembre – Enero - Febrero), indican valores positivos de hasta +2°C y +1°C con un nivel de significancia mayor a los 95%, proyectados para el periodo 2004-2020 y 2004-2035, respectivamente. (SENAMHI, 2005).

La Temperatura Máxima del aire al 2020, en ambos escenarios tiende a un marcado y probable calentamiento en las estaciones del Bajo Piura durante el verano (DEF). Al 2035, en ambos escenarios, esta tendencia positiva continuaría en toda la Cuenca y los mayores incrementos se darían también en el Bajo Piura, y no solo en verano (DEF), también durante el otoño (MAM) y la primavera (SON).

2.3. OLAS DE CALOR

A nivel internacional, la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET, 2000) en su publicación “Olas de calor en España desde 1975” menciona que no existe una definición única y precisa del término, pero que se trata de episodios de temperaturas anormalmente altas que se mantienen varios días. Además, resalta la importancia de establecer umbrales de temperatura ya que los valores ‘normales’ difieren mucho de unas zonas a otras. Calcula una ‘temperatura umbral’ para cada estación seleccionada de acuerdo al criterio del percentil del 95% de su serie de temperaturas máxima diarias. Así pues, concluyen que para caracterizar una ‘Ola de Calor’ se debe tener en cuenta: Su duración, el número de provincias afectadas, la temperatura máxima de la ola y la anomalía de la ola.

A nivel nacional, Castillo (2018) en su tesis “Olas de calor en la Amazonía Peruana” identifica y caracteriza los eventos de calor en la región Amazónica Peruana en los meses de setiembre, octubre y noviembre desde 1895 a 2015. Utiliza la técnica de percentiles estadísticos, analiza los mecanismos físicos y determina el entorno atmosférico asociados a las olas de calor. Concluye que las olas de calor se caracterizan por el incremento continuo de las temperaturas máximas y mínimas, las cuales superan el umbral de referencia (Percent.Ref.Tmáx=33°C y Percent.Ref.Tmín=22°C) y que más del 50% de las estaciones de la región en estudio lleguen a registrarlo y que dichos eventos se encuentran por encima de su climatología superando valores de 3°C en la temperatura máxima y 2°C en la temperatura mínima.

Según (Castillo, 2018), las olas de calor se da con un incremento significativo de la temperatura por un periodo de 2,3 o más días y que se distribuye a través de la superficie de una localidad, región o territorio más extenso, superando el umbral del percentil establecido

para cada región. Hay ocasiones donde el incremento extremo de las temperaturas podría constituir un peligro tanto para la salud de la población (principalmente niños y ancianos) y la agricultura.

2.4. CAMBIO CLIMÁTICO Y EVENTOS EXTREMOS

Según el Marco Convención sobre el Cambio Climático (CMNUCC por sus siglas en inglés), en su artículo 1, define el cambio climático como: “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que causa la alteración de la composición de la atmósfera a nivel mundial, sumado a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables “. Así pues, la CMNUCC establece una distinción entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera, mientras la variabilidad climática, a causas naturales. Las temperaturas globales actuales son más calientes que las de los cinco últimos siglos y, si sigue el calentamiento, el cambio climático en esta centuria será extremadamente atípico en términos geológicos, aparte del hecho de que ahora el origen no sería natural sino atribuible a la actividad humana (Ramos, 2014)

El cambio climático tiene fuerte impacto sobre los índices de los extremos climáticos. En el Perú, uno de los índices más sobresalientes es el índice de número de días con heladas meteorológicas (FD) y el índice de noches frías (TN10p) pues se observaron tendencias positivas y negativas en diferentes lugares del territorio. Por ejemplo, en las partes altas de Arequipa se tiene una disminución de días con heladas, con valores de 0,4 – 0,8 días/año; sin embargo, en la zona norte junto al Lago Titicaca, se incrementa el número de días con heladas. Dichos escenarios muestran que los lugares de mayor altitud, cada vez son más cálidas, representando así, un problema de aceleramiento de los deshielos de nevados permanentes. Las consecuencias que esto traería van desde un incremento de caudales y luego una disminución drástica del agua que afectaría a la agricultura y el consumo humano en muchas regiones donde la principal fuente de agua son los nevados permanentes (SENAMHI, 2009)

2.5. EL NIÑO OSCILACIÓN SUR

El Niño Oscilación Sur (ENOS) es un fenómeno natural caracterizado por la fluctuación interestacional e interanual de las temperaturas del océano en la parte central y oriental del Pacífico ecuatorial, asociado a cambios en la atmósfera. El ENOS es la interacción de los

componentes oceánicos como El Niño y La Niña y las componentes atmosféricas como la Oscilación sur. Comprende tres fases: El Niño, La Niña y una fase neutra (OMM, 2014).

Los episodios de el Niño suelen empezar a mediados de año con un calentamiento a gran escala de las aguas de la superficie en la parte central y oriental del océano Pacífico ecuatorial, y con cambios de comportamiento en el viento, presión y precipitación que afectan la circulación atmosférica tropical, alcanzando su máxima intensidad entre los meses de noviembre a enero y luego decae a lo largo de la primera mitad del año siguiente. Ocurre cada dos a siete años y puede durar hasta 18 meses. Éste fenómeno tiene una gran influencia en las condiciones climáticas de diversas partes del mundo (OMM, 2014).

2.6. EL NIÑO COSTERO

La comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño, ENFEN (2012) introduce la terminología “El Niño costero” y la define como un evento climático anómalo en el cual la temperatura mensual superficial del mar en la región Niño 1+2 que se encuentra a lo largo de la costa norte de Perú y el Ecuador excede su promedio en más de 0.4°C por tres o más meses consecutivos.

Según Takahashi (2017), el principal mecanismo de crecimiento y mantenimiento del evento, se debe al debilitamiento de los vientos alisios del sur frente a la costa sudamericana en la región ecuatorial, acoplados a un desarrollo intenso de la banda lluviosa llamada Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) al sur del Ecuador.

2.7. TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR

A lo largo de la costa peruana, la Temperatura Superficial del Mar (TSM) cambia continuamente y presenta una variación espacial desde la línea de la costa hacia mar adentro durante todos los meses del año (Mu, 2019) .Durante los meses de verano, las altas temperaturas en la costa del país y en específico en Piura, se deben a un incremento de la temperatura superficial del mar. Este calentamiento favorece el desplazamiento de aire caliente. Además, las condiciones atmosféricas en niveles bajos favorecen los altos valores de temperatura máximas y mínimas del departamento de Piura, principalmente en las zonas bajas y medias.

2.8. CALOR SENSIBLE

El calor sensible es parte de la radiación neta y es conocida también como calor libre, puede fluir por conducción y convección. El flujo de calor sensible por conducción se hace por contacto directo a través de la propia materia del suelo; mientras que por convección se debe a la turbulencia del aire. El flujo de esta energía será desde un medio de mayor temperatura a otro de menor temperatura (Ledesma, 2011).

2.9. DINÁMICA DE LA ATMÓSFERA

Según la American Meteorological Society (2018), se tienen los siguientes conceptos sobre la dinámica de la atmósfera

2.9.1. Divergencia y Convergencia

La divergencia es la expansión o extensión de un campo vectorial y suele aplicarse a vientos horizontales. La convergencia es la condición atmosférica que existe cuando los vientos causan un flujo de aire entrante en sentido horizontal hacia una región específica. (American Meteorological Society, 2018)

2.9.2. Subsistencia

Movimiento descendente de una capa de aire sobre una zona extensa asociado con el calentamiento del aire y escaso desarrollo de nubes.

2.9.3. Advección

Es el transporte horizontal de propiedades meteorológicas como el aire, humedad, temperatura, entre otros.

$$-\vec{V} \cdot \nabla = u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + \omega \frac{\partial}{\partial p}$$

Donde:

- ρ es la densidad del fluido;
- g es la aceleración de la gravedad terrestre.
- $\omega = -v\rho g$ es la velocidad vertical en coordenadas de presión.
- p es la presión.

2.10. PATRONES SINÓPTICOS

Satyamurty y Rosa (2020) explican la climatología sinóptica de Sudamérica tropical y subtropical. En niveles altos, se presenta el Alta de Bolivia (AB), su formación es atribuida a la convergencia de bajo nivel y el movimiento ascendente que fuerzan un área de presión relativamente alta en la tropósfera alta. La circulación en la tropósfera alta es divergente y anticiclónica. El AB tiene una dimensión horizontal de 3,000 km tanto en direcciones meridionales y zonales. Este patrón de circulación es frecuente en el verano y se ubica generalmente se ubica a los 15°S – 65°W. En niveles bajos se encuentra la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ); según Garreud y Aceituno (2005) es una característica principal de la circulación global pues modula las precipitaciones en la zona ecuatorial y en el norte del Perú. El ITCZ es una franja en la que confluyen los vientos alisios del sureste y noreste.

2.11. MODELO DE CIRCULACIÓN GLOBAL

2.11.1. ERA5

El modelo de reanálisis ERA5 del clima mundial es un producto del Centro Europeo de Pronósticos Meteorológicos de Mediano Plazo o ECMWF (por sus siglas en inglés, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) que reemplaza al modelo de reanálisis ERA-Interim y contiene una serie de características innovadoras. Tiene una resolución temporal de una hora y proporciona una evolución más detallada de eventos climáticos. Cuenta con una resolución espacial de 31 km y 137 niveles verticales desde la superficie hasta 0.01 hPa. Además, presenta una lista extendida de parámetros con respecto al del ERA-Interim, incluyendo por ejemplo viento a 100 metros (Hersbach et al., 2020).

Contiene 40 años de datos climáticos desde el año 1979; sin embargo, desde principios del 2020 se tiene acceso a datos desde el año 1950. El método de asimilación que utiliza es 4D-Var, el cual tiene en cuenta el momento exacto de las observaciones y la evolución del modelo dentro de la ventana de asimilación. Brinda una estimación de la incertidumbre y dichas estimaciones dependen de incertidumbres dependientes del flujo en los pronósticos de corto alcance utilizados en la asimilación de datos y de manera crucial de la cobertura de observación (Hersbach et al., 2020).

2.12. CONTROL DE CALIDAD DE DATOS METEOROLÓGICOS

2.12.1. Límites nacionales

Se trata de valores límite que posibilitan la implementación de controles para garantizar la ausencia de valores altamente improbables en la base de datos, considerando las condiciones atmosféricas e hidrológicas del territorio peruano. Aquellos datos que superan estas pruebas se etiquetan como válidos, mientras que aquellos que no las superan se clasifican como dudosos (SENAMHI, 2023).

Los límites establecidos que se utilizarán para la temperatura del aire máxima diaria presenta los siguientes valores vigentes a nivel nacional:

Tabla 2: Valores vigentes a nivel nacional para los límites blandos de la temperatura del aire

REGLA	CATEGORÍA
$-28.0^{\circ}\text{C} < \text{TA} < 43.0^{\circ}\text{C}$	El dato es bueno (B)
$43.0^{\circ}\text{C} \leq \text{TA} \leq 45.0^{\circ}\text{C}$	El dato es dudoso (D)
$\text{TA} > 45.0$	El dato esta fuera del Limite (FL)

FUENTE: Adaptado del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2023.

2.12.2. Coherencia interna

Estas pruebas se basan en confirmar la consistencia física o climatológica de cada variable observada, así como en la relación entre dos variables medidas. Las comprobaciones para asegurar la coherencia interna, según la Organización Mundial de Meteorología (2000), son relativamente simples. Los datos de diversas variables meteorológicas obtenidos en el mismo lugar y momento deben ser compatibles desde el punto de vista meteorológico; de lo contrario, se deben marcar como dudosas o malas. En este tipo de control de calidad, la verificación se centra en confirmar la coherencia interna de los datos, es decir, la consistencia y compatibilidad entre los datos de la misma variable o variables relacionadas de la misma estación. Esto se hace para determinar si un dato es dudoso, aceptable o bueno, antes de asignarle la marca correspondiente (SENAMHI, 2023).

Para la temperatura del aire (TA) se presenta la siguiente prueba:

Tabla 3: Criterio de coherencia interna para la temperatura del aire

REGLA	CATEGORÍA
$T_{\text{Amax}} > T_{\text{Amin}}$	Ambos datos buenos (B), de lo contrario ambos datos son malos (M)

FUENTE: Adaptado del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2023.

2.12.3. Coherencia temporal

La coherencia en relación con el tiempo se evalúa al analizar datos consecutivos provenientes del mismo lugar geográfico. También se puede llevar a cabo al examinar días previos para la misma variable o al analizar las diferencias, siempre dentro de límites o umbrales ya establecidos (SENAMHI, 2023).

La temperatura máxima (T_{Amax}) presenta las siguientes pruebas:

Tabla 4: Criterio de coherencia temporal para la temperatura del aire

REGLA	CATEGORÍA
$\neq T_{\text{Amax}_{n-2}} \neq T_{\text{Amax}_{n-1}} \neq T_{\text{Amax}_n}$	Todos los días son buenos (B), de lo contrario ambos datos son dudosos (D)
$T_{\text{Amax}_n} - T_{\text{Amax}_{n-1}} \leq 5.0^{\circ}\text{C}$ (En la región Costa, que va desde 0 msnm hasta 600 msnm)	Ambos días son buenos (B), de lo contrario ambos datos son dudosos (D)

FUENTE: Adaptado del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2023.

Donde n es el día objetivo del análisis, $n-1$ es el día anterior a n y $n-2$ es el segundo día anterior a n .

2.12.4. Percentiles

Son los valores de la variable que dividen un conjunto de datos clasificados en 100 subconjuntos iguales; cada conjunto de datos tiene 99 percentiles (Vilchis, 2014). Se usa para denotar valores extremos en las distribuciones de frecuencia. De esta forma el percentil 10 es el valor que marca el 10 por ciento más bajo del conjunto de datos. Así el percentil 50 es igual a la mediana y el percentil 90 excede todos los valores excepto el 10 por ciento superior (SENAMHI, 2005).

2.12.5. Climatol

Climatol es un paquete elaborado en R que contiene funciones para llevar a cabo el control de calidad de datos, homogeneización y completación de datos faltantes para un conjunto de series de cualquier variable climática (Guijarro, 2018). En sus inicios, este programa estaba enfocado para completar datos faltantes mediante estimaciones calculadas a partir de las series más cercanas, normalizadas mediante división por sus valores medios (Paulhus y Kholer, 1952). Climatol también ofrece opciones como la resta de las medias o una estandarización completa, según las necesidades del usuario.

Una dificultad que presenta este proceso es que las medias y desviaciones estándar no son conocidas si las series no están completas, por lo que Climatol procede a calcular inicialmente estos parámetros utilizando los datos disponibles de cada serie. Luego, rellena los datos faltantes utilizando estas medias y desviaciones típicas provisionales y recalcula estos parámetros con las series ahora completas. Posteriormente, se reestiman los datos inicialmente ausentes utilizando los nuevos parámetros, repitiendo este proceso hasta que ninguna media cambie al redondearla con la precisión inicial de los datos (Guijarro, 2023).

Después de que las medias se han estabilizado, se lleva a cabo la normalización de todos los datos, seguida de la estimación de los mismos en todas las series, independientemente de si los datos originales existen o no. Este proceso se realiza utilizando la expresión:

$$y = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} w_j * X_j}{\sum_{j=1}^{j=n} w_j}$$

En la que y representa un dato estimado utilizando los n datos X_j más cercanos disponibles en el tiempo, y w_j es el peso correspondiente que tiene cada estación.

Es necesario destacar que todos los datos se normalizan y se estiman mediante un modelo de regresión ortogonal, ajustando minimizando distancias perpendiculares a la recta (Guijarro, 2023).

Las series estimadas a partir de las otras sirven de referencia para sus correspondientes series observadas. La siguiente etapa implica la obtención de series de anomalías (al restar los valores estimados de los observados), lo que permite controlar la calidad de las series, eliminar las anomalías que superen un umbral predefinido y comprobar su homogeneidad mediante la Prueba de Homogeneidad Normal Estándar (SNHT, por sus siglas en inglés).

SNHT es una prueba que permite estimar un sólo punto de ruptura en una serie, lo que implica que, ante la existencia de dos o más saltos, este podría verse enmascarado. Para minimizar este problema, en una primera etapa se implementa SNHT sobre ventanas temporales solapadas, y después en una segunda etapa, se aplica SNHT sobre las series completas, que es cuando la prueba tiene una mayor capacidad de detección. Por último, la tercera etapa se dedica a rellenar todos los datos faltantes en todas las series y sub-series homogéneas utilizando el mismo proceso de estimación descrito anteriormente (Guijarro, 2023). Por lo tanto, aunque la metodología subyacente del programa es sencilla, su funcionamiento se complica a través de una serie de procesos iterativos anidados, como se muestra en el diagrama de flujos presentado en la figura 3.

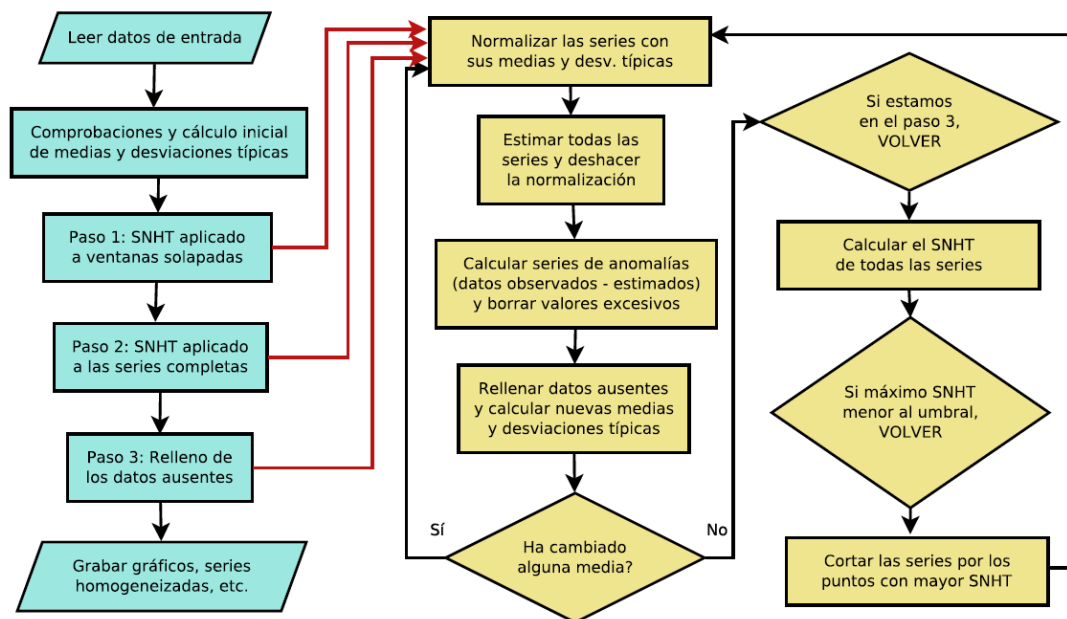


Figura 3: Diagrama de funcionamiento que presenta los procesos iterativos del Climatol.
FUENTE: Guijarro, 2023.

2.12.6. Serie de tiempo

Los principios que guían el ajuste del modelo, son similares al del análisis de series de tiempo. Se ajusta un modelo a la serie de datos en donde el modelo puede ser lineal, curvilíneo, exponencial, periódico o alguna otra formulación matemática. El mejor ajuste (el ajuste que minimiza las diferencias entre la serie de datos y el modelo) generalmente se logra mediante el uso de técnicas de mínimos cuadrados (minimizando la suma de las desviaciones al cuadrado de los datos del ajuste de la curva). Los residuos del mejor ajuste se examinan en busca de patrones y, si se encuentra alguno, el modelo se ajusta para incorporar los patrones.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon$$

Donde y es el regresando. Los regresores son x_1, x_2, \dots, x_k , y ε representa el error o perturbación aleatoria. Además, los parámetros $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ son fijos y desconocidos.

2.13. IMPACTOS EN EL PERÚ Y EN EL MUNDO

2.13.1. Impactos en la agricultura

Según Torres (2010), Piura es una de las regiones más vulnerables al cambio climático por las altas temperaturas que ya experimenta y cercano al umbral térmico de las plantas. Algunos cultivos como el plátano orgánico, tiene una temperatura adecuada de entre 18.5°C a 35.5°C y con temperaturas de 40°C no se han observado efectos negativos siempre y cuando la provisión de agua sea normal. Así mismo, el café y el limón podrían incrementar su rendimiento ante el incremento de temperaturas máximas y mínimas, pero no se debe olvidar de mantener la humedad, pues ésta disminuye si la temperatura aumenta.

2.13.2. Impactos en la salud y mortalidad

Según el MINAM (2016) , las olas de calor pueden incrementar directamente las enfermedades cardiovasculares y generar cuadros de deshidratación sobre todo en caso de los ancianos. Aguilar y Solano (2016) mencionan que el calor excesivo en los infantes puede ocasionar deshidratación, y por tanto manifestaciones asociadas a ésta como agotamiento, calambres, fiebre, etc. En cuanto a su fitopatología, la deshidratación disminuye la tasa de sudoración; causa muy común de la hipertermia y, por ende, de la muerte en niños menores de cuatro años y adultos mayores.

En el estudio descriptivo realizado a niños menores de 5 años con síndrome febril asociados al calor ambiental en la ciudad de Chimbote en el verano de 1998, el 68% de infantes tuvo un tiempo de enfermedad mayor a 15 días, diagnosticándose una hipertermia prolongada, presentándose en la mayoría de casos: alza térmica (100%), piel seca (72%), diarrea (64%), tos (52%), disminución de peso (52%) y otros síntomas (Miranda et al., 2003). Para el mismo periodo, el Instituto Nacional de Salud (1998), desplazó Grupos de intervención rápida (GIR), en Talara, Chimbote y Trujillo, con el objetivo de investigar y evaluar las posibles causas del síndrome febril, determinando 3 formas clínicas con evolución y características

diferentes en los pacientes: Hipertermia prolongada, Agotamiento por calor y Golpe de Calor.

En el ámbito mundial, en los meses de verano (junio, julio y agosto) del 2003 se produjo una ola de calor que afectó a varios países del oeste de Europa central y según Castro y Rodríguez (2011), el verano de ese año fue considerado como el verano más caluroso de Europa desde el siglo XVI. De acuerdo con la Agencia Española de Meteorología, varias estaciones meteorológicas registraron temperaturas máximas diarias superiores o iguales a 40°C con una frecuencia sin precedentes, causando así la muerte de miles de europeos de edad avanzada.

De acuerdo a Ballester (2008) , la mortalidad causada por la ola de calor del año 2003 afectó principalmente a la población anciana que residía en áreas urbanas. El Comité Ejecutivo de la OMS estima en más de 44.000 las muertes en Europa a causa de las altas temperaturas, las cuales podrían haber causado más de 6.000 muertes prematuras en España según el Centro Nacional de Epidemiología. En general, las olas de calor amenazan la salud, especialmente en grupos de población específicos, principalmente a las personas mayores pues tienen una menor capacidad termorreguladora y un umbral de sudor más elevado que los jóvenes, haciéndolos más susceptibles a los efectos del calor (Jiménez, 2018).

III. DESARROLLO DEL TRABAJO

3.1. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende 6 provincias de la región costera del departamento de Piura, caracterizada por presentar incremento significativo de la temperatura diurna. Estas provincias son Morropón, Piura, Paita, Sechura, Sullana y Talara (Ver Figura 4), en las cuales se encuentra distribuidas 12 estaciones meteorológicas convencionales. (Ver Tabla 5)

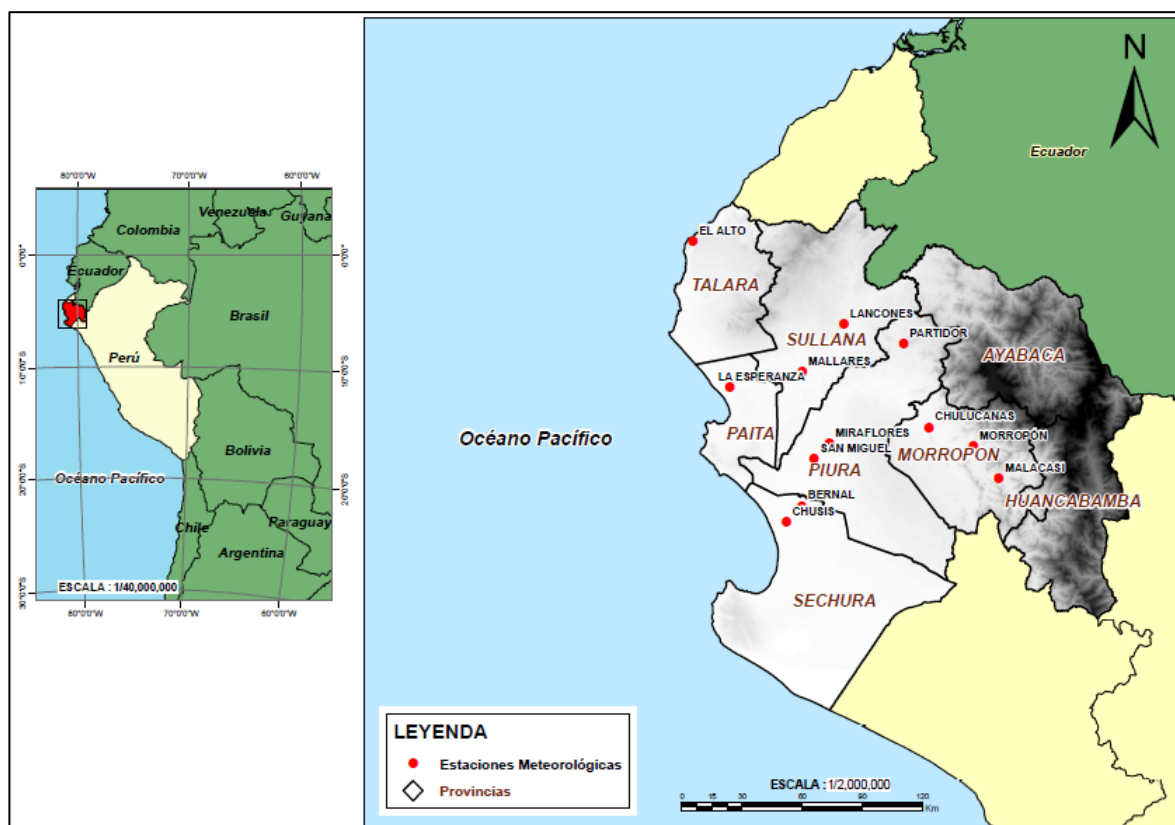


Figura 4: Área de estudio y ubicación de las estaciones meteorológicas.

Tabla 5: Ubicación geográfica de las estaciones de monitoreo

ESTACIÓN	LATITUD (°)	LONGITUD (°)	ALTITUD (msnm)	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO
MORROPÓN	-5.19465	-79.97107	128	PIURA	MORROPÓN	MORROPÓN
CHULUCANAS	-5.10843	-80.16956	89	PIURA	MORROPÓN	CHULUCANAS
MALACASI	-5.33977	-79.85794	153	PIURA	MORROPÓN	SALITRAL
MIRAFLORES	-5.17528	-80.61654	34	PIURA	PIURA	CASTILLA
SAN MIGUEL	-5.2462	-80.68436	24	PIURA	PIURA	CATACAOS
PARTIDOR	-4.73197	-80.27982	218	PIURA	PIURA	LAS LOMAS
BERNAL	-5.4545	-80.74262	14	PIURA	SECHURA	BERNAL
CHUSIS	-5.52756	-80.81275	8	PIURA	SECHURA	SECHURA
LANCONES	-4.64288	-80.54717	133	PIURA	SULLANA	LANCONES
MALLARES	-4.85574	-80.73556	44	PIURA	SULLANA	MARCAVELICA
EL ALTO	-4.26198	-81.21815	291	PIURA	TALARA	EL ALTO
LA ESPERANZA	-4.92114	-81.05969	7	PIURA	PAITA	COLAN

FUENTE: SENAMHI

3.2. MATERIALES

3.2.1. Datos meteorológicos de estación

Se usará información diaria de la temperatura máxima, de los meses comprendidos entre enero y marzo, de las estaciones convencionales mencionadas en la tabla 5, cuyo récord histórico registrado en el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), comprende el periodo 1981-2019.

3.2.2. Datos meteorológicos de modelo

Se usará información del modelo ERA5 para comprender los mecanismos físicos y sistemas meteorológicos que intervienen en una ola de calor. Estos datos son horarios y modelados a varios niveles de presión que servirá para el análisis de la dinámica atmosférica en base a las variables viento zonal, viento meridional, temperatura, altura geopotencial, presión a nivel del mar, radiación de onda larga y humedad relativa, los cuales están en <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=overview>.

Además de ello, se usarán datos de las variables temperatura y viento entre 1.50 m a 2m de altura, que servirá para hacer comparación con los datos de estación, los cuales serán descargados de la página <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-land?tab=overview>. Estos datos también son del ERA5, son grillados con una cobertura horizontal global y resolución horizontal $0.25^\circ \times 0.25^\circ$, la cobertura vertical desde los 2 m sobre el nivel de la superficie (Para el caso del viento zonal y meridional es de 10m).

3.2.3. Imágenes satelitales

Se usarán imágenes satelitales del GOES 13, de las banda 1 (Visible) para visualizar y analizar la cobertura nubosa en los eventos de olas de calor identificados en el periodo de estudio (Figura 5).

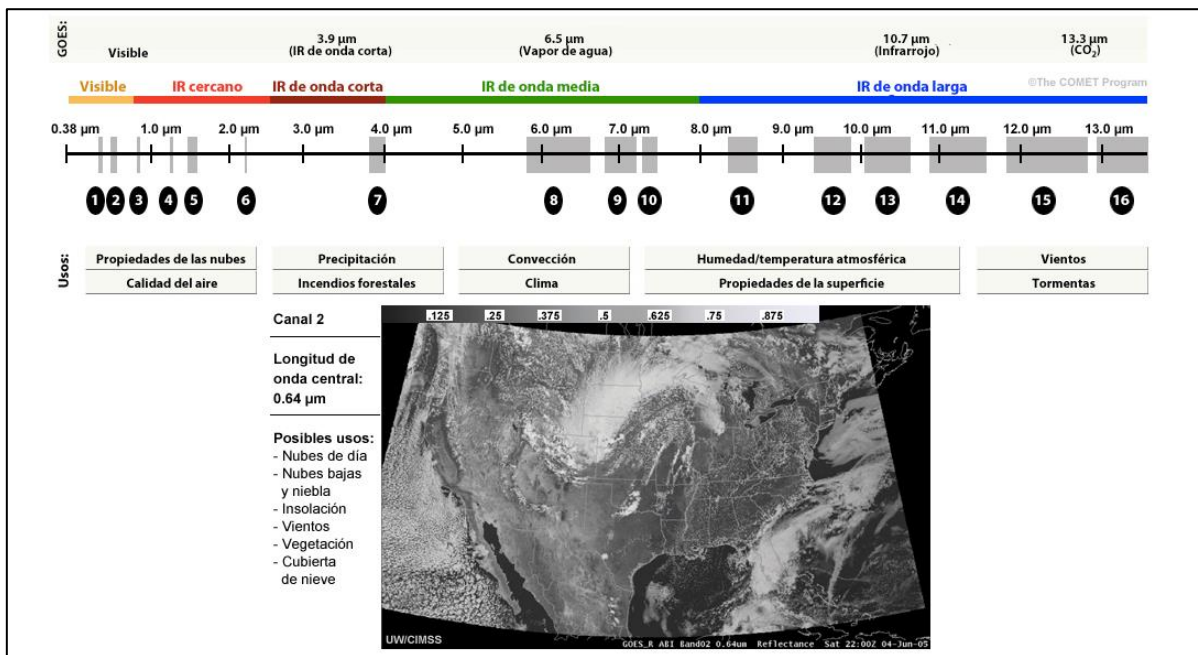


Figura 5: Espectro del ABI del GOES-R.

FUENTE: Meted (https://www.meted.ucar.edu/goes_r/)

3.2.4. Software

El control de calidad de los datos y la climatología de la temperatura máxima, será procesado en el software RStudio. Por otro lado, se usará el Visualizador GRADS para plotear los datos en formato GRIB y NETCDF del ERA5. También se usarán programas de sistema de Información Geográfica como ARCGIS y QGIS para la edición de los mapas y de las imágenes satelitales.

3.3. MÉTODOS

3.3.1. Establecer los umbrales de temperatura máxima de las estaciones de la costa de Piura para la identificación de olas de calor, en el trimestre enero-marzo del periodo 2010-2019.

3.3.1.1. Control de calidad y completación de datos

Para analizar las 12 estaciones dentro del área de estudio, primeramente, se realiza una evaluación de la calidad de los datos meteorológicos. De acuerdo con las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (2000) y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2023), se toman en cuenta las siguientes etapas para el control de calidad de datos: la verificación de grandes errores (prueba de límites), la verificación de la consistencia interna y la verificación de la consistencia temporal. A cada etapa descrita se le asigna una clasificación según un banderín, que corresponde a la clasificación de B (Bueno), D (Dudoso) o M (Malo). Con respecto a la última clasificación, esta se presenta como una condición excluyente y tal dato no continúa en las pruebas siguientes. Para el caso de la clasificación D, se procede a verificar y comparar los datos con las planillas meteorológicas del SENAMHI, reduciendo los registros errados y recuperando información esencial.

Posteriormente, mediante el lenguaje de programación R se utiliza el paquete *Climatol*, en su versión 4.0.0, con la finalidad de realizar un control de calidad adicional y completación de datos.

Climatol inicia con la preparación de dos ficheros de entrada, el primero que contiene la información espacial, nombres y códigos de las estaciones meteorológicas del departamento de Piura, y el segundo con todos los datos de cada estación. Como segundo paso, se ejecuta la función *homogen*, que realiza la homogeneización de las series, control de calidad y llenado de datos faltantes. Su aplicación más simple consiste en especificar el tipo de variable meteorológica (mediante un acrónimo), el año inicial y final de estudio, el tipo de normalización asociada a la variable de estudio y el indicador fijado en verdadero para realizar un análisis exploratorio. Para este estudio, se ejecuta la función *homogen*, de modo exploratorio, para analizar las temperaturas máximas diarias del periodo 2005-2019 con el tercer método de normalización, conocido como estandarización completa. Como contamos con datos diarios, Guijarro (2023) recomienda aplicar homogeneización sobre una serie de datos mensuales, para posteriormente utilizar los puntos de corte obtenidos en las series

diarias. Por tal motivo, el tercer paso consistirá en convertir los datos diarios de temperatura en datos mensuales. Como cuarto paso, se realiza un análisis exploratorio con la finalidad de conocer la disponibilidad de datos, la correlación entre las series y su clasificación en grupos con variabilidad similar, la distribución de los histogramas de anomalías estandarizadas, SNHT en ventanas escalonadas superpuestas y en series completas. Con estos resultados, para el quinto paso se aplica un ajuste mensual con parámetros que permitan ajustar el control de calidad y la heterogeneidad. Para este estudio, la homogeneización de datos mensuales no discrimina ninguna anomalía estandarizada y tampoco considera ningún punto de quiebre. Finalmente, para completar la homogeneización de los datos diarios de temperatura máxima, se consideran los resultados del análisis exploratorio previo, que incluyen las anomalías estandarizadas mínimas y máximas, donde se discrimina valores de anomalías estandarizadas por debajo de -6, como parte del control de calidad.

3.3.1.2. Determinación de percentil y umbrales para olas de calor

En base a los datos temperatura máxima 2010-2019, se empleará el cálculo del Percentil 90, utilizada por el AEMET(2000) y SENAMHI (2015). El método consistirá en calcular un valor de la variable de temperatura máxima de la serie histórica de cada estación, que represente la posición del percentil 90, valor por debajo del cual se encuentra el 90% de las observaciones; asimismo, por encima de dicho valor se ubicarán los datos más altos o extremos cálidos (10%).

Con el fin de capturar variaciones más detalladas en los patrones climáticos a lo largo del tiempo, se aplicará el percentil 90 decadiario. Este percentil consiste en dividir un mes en tres grupos: el primero abarca desde del día 1 hasta el día 10, el segundo desde del día 11 hasta el día 20, y el tercero del día 21 hasta el último día del mes. Obteniéndose valores específicos para cada punto de estación, los cuáles representarán los valores más bajos del 10% de los datos más altos de temperatura máxima.

De acuerdo a la metodología de Alfaro (2014) y SENAMHI (2015), se considerará algunos criterios previamente:

- Se recomienda utilizar una serie de datos de estaciones meteorológicas con al menos 10 años de información.
- La estación meteorológica deberá mantenerse funcionando en la actualidad.

- Para utilizar los datos en la serie histórica, previamente debe evaluarse la calidad de datos de las estaciones

3.3.1.3. Procedimiento para la identificación de las Olas de Calor

Para la caracterización de las Olas de Calor, se toma como referencia los siguientes criterios:

Tabla 6: Descripción de etapas para la identificación de olas de calor

ETAPAS	DESCRIPCIÓN
Primera etapa	Se obtiene a nivel de cada estación los episodios cálidos de al menos tres días consecutivos con una temperatura máxima igual o mayor a la temperatura umbral o Percentil 90 de cada estación (AEMET, 2000; Castillo, 2018).
Segunda etapa	Se consideró agregar de manera adicional episodios cálidos cuando los valores de temperatura máxima superen el promedio de todos los percentiles 90 decadiarios (Percentil 90 global).
Tercera etapa	Se consideró días cálidos, cuando los valores de temperatura máxima que superen o igualen al umbral (Percentil 90 decadiario) representen el 50% del total de estaciones meteorológicas, considerando la cantidad y la distribución regional de las estaciones meteorológicas (SENAMHI, 2015).
Cuarta etapa	Se identificó olas de calor, a todos aquellos episodios de tres o más días cálidos consecutivos. Asimismo, cuando dos Olas de Calor estén separadas por sólo un día, se considera como una única ola de calor (AEMET, 2000).

3.3.1.4. Caracterización de Olas de Calor en el departamento de Piura

De acuerdo con la Agencia Estatal de Meteorología (2000), se consideró utilizar dos factores para determinar la intensidad de una ola de calor, los cuales son: las temperaturas máximas alcanzadas y el número de días que dura una ola de calor. Además, se incorporan tres factores adicionales esenciales para describir la intensidad de una ola de calor, los cuales son: el promedio de temperaturas máximas, el número de estaciones afectadas por olas de calor y el porcentaje de temperaturas máximas que superan el umbral definido.

Tabla 7: Descripción de factores necesarios para la caracterización de una ola de calor

FACTOR	DESCRIPCIÓN
Temperatura máxima de la ola de calor	Se identificó mediante el valor más alto de la temperatura diaria máxima registrado en las estaciones meteorológicas impactadas por la ola de calor.
Número de días que dura la ola de calor	Se estimó mediante el número de días que dura la ola de calor, de acuerdo a los criterios de identificación de olas de calor definidos en la sección 3.3.1.3.
Promedio de temperaturas máximas	Se identificó mediante el promedio de las temperaturas máximas contenidas en una ola de calor.
Estaciones afectadas	Se tomaron en cuenta aquellas estaciones que registran al menos el 50% de los días con temperaturas máximas iguales o superiores al umbral.
Porcentaje de temperaturas máximas que superan el umbral	Del total de temperaturas máximas registradas en todas las estaciones afectadas durante el periodo de la ola de calor, se consideraron únicamente las temperaturas máximas que superan el umbral, representando un porcentaje del conjunto.

3.3.1.5. Validación del Modelo Era 5.

Se llevaron a cabo cálculos de estadísticas convencionales como el sesgo (BIAS en inglés) que indica el error sistemático entre los datos de estación con los datos de reanálisis ERA5, y la raíz del error cuadrático medio (RMSE, por sus siglas en inglés), que ofrece una medida del promedio de los errores en el reanálisis. Las estadísticas son aplicadas para la estación de Miraflores, que presentan las siguientes expresiones:

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - O_i)}{N}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_i - O_i)^2}{N}}$$

Donde M y O son datos de temperatura máxima diaria de reanálisis y observada, respectivamente, y N denota el total de pares de comparación que se incluyen en el proceso de validación. También se llevó a cabo una presentación visual utilizando series de tiempo para la temperatura máxima diaria observada y reanálisis, con el fin de complementar la validación estadística y analizar el comportamiento de la variable.

3.3.2. Identificar configuraciones atmosféricas a escala sinóptica usando información del modelo de re análisis ERA5, para los periodos de Olas de Calor previamente identificadas.

Se utilizará información de re-análisis del Modelo ERA5, que a diferencia del Era-Interim, tiene mejor resolución espacial y temporal. Con la información anterior, se analizará el posicionamiento, la intensidad, la configuración de los patrones atmosféricos en los diferentes niveles isobáricos de la Tropósfera alta (200-300 hPa), Tropósfera media (500-600 hPa) y Tropósfera baja (700 hPa a superficie).

Tabla 8: Principales variables meteorológicas del modelo de reanálisis ERA5 a utilizar

VARIABLE	UNIDAD	UTILIZACIÓN
Viento Meridional	Kt	Flujos de viento
Viento Zonal	Kt	Flujos de viento
Humedad Relativa	%	Áreas de Saturación
Temperatura a 2 m de superficie	°C	Advección de Temperatura
Presión a nivel medio del mar	hPa	Posición del APSO
Líneas de corriente		Patrones atmosféricos
Isotacas	Kt	Velocidad del viento
Temperatura del aire	°C	Advección de temperatura
Temperatura de rocío	°C	Flujos húmedos y/o secos
Omega	Pa/s	Convección o Subsistencia
Divergencia	1/s	Desplazamiento del aire
Humedad Relativa Promedio	%	Áreas de Saturación

Asimismo, mediante el uso del GrADS, se analizará las siguientes variables meteorológicas: Viento (meridional y zonal), Humedad Relativa, Temperatura del aire, Presión a nivel medio del mar, Radiación de onda larga (ORL), entre otros. Además de ello, se usarán variables derivadas como: Humedad relativa promedio, líneas de corriente, isotacas, divergencia, omega, temperatura potencial equivalente, entre otros (Tabla 8).

El análisis a nivel de superficie, a través de las isóbaras permitirá indicar el tipo e intensidad de los patrones o sistemas atmosféricos, sea anticiclónico o ciclónico, evaluar el gradiente isobárico y permitiendo ubicar zonas de mayor o menor influencia del viento; mediante las isotermas permitirá detectar los contrastes térmicos que conforman el límite entre dos tipos de masas de aire.

El análisis en niveles medios y altos de la tropósfera, permitirá conocer otras características de los patrones atmosféricos. El análisis de campo de viento permitirá visualizar, a diferentes niveles isobáricos, las circulaciones ciclónicas, anticiclónicas, cuñas o vaguadas. El análisis de la humedad relativa promedio permitirá diferencias masas de aire de mayor saturación (húmedas) con áreas de menor saturación (secas).

3.3.3. Diseñar un modelo conceptual atmosférico con las configuraciones atmosféricas predominantes, previamente identificadas en los periodos de ocurrencia de Olas de Calor para el periodo de estudio en la costa de Piura.

Se utilizará la información de las configuraciones/patrones atmosféricos predominantes en las olas de calor, identificados previamente. Luego de analizar la estructura atmosférica a través de los niveles isobáricos representativos, se procederá a sistematizar/diseñar esta información en un modelo conceptual atmosférico, dicho modelo establecerá conexiones y relaciones entre las configuraciones predominantes en un evento de ola de calor. Con ello se espera obtener un modelo conceptual similar al que realizó Quispe (2019), en el que logró identificar qué configuraciones/patrones atmosféricos condicionaron la ocurrencia de nevadas. (Figura 6).

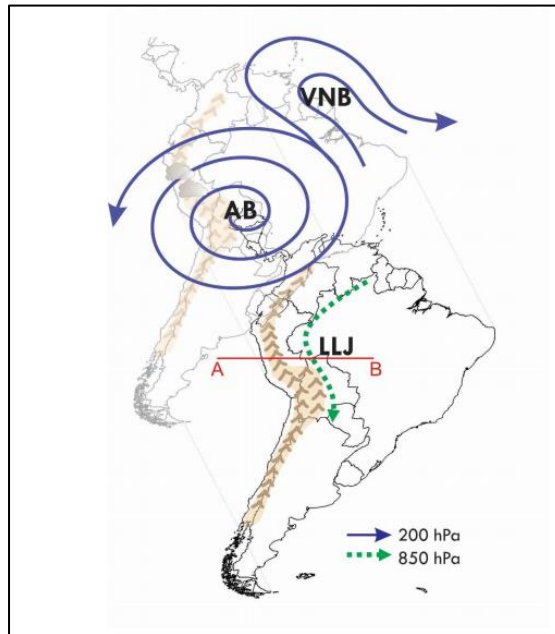


Figura 6: Modelo conceptual de ocurrencia de nevadas en los Andes peruanos
FUENTE: Quispe (2019)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de los Umbrales de temperatura máxima e identificación de Olas de Calor en la costa de Piura, para el trimestre enero-marzo del periodo 2010-2019.

4.1.1. Resultados del Control de Calidad y Completación de Datos

Este procedimiento fue realizado a 12 estaciones meteorológicas gestionadas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. El proceso de control de calidad se realizó de manera automática aplicando la metodología descrita por SENAMHI.

El proceso de control de calidad mediante la prueba de límites blandos muestra que la información de temperatura máxima diaria observada adquiriera la característica de banderín “Bueno”, determinando que ninguna información presenta el banderín “dudoso” o “malo” (ver Tabla 9). Este resultado nos indica que las estaciones, ubicadas en un área geográfica en común, tengan condiciones climáticas, temporales y astronómicas concordantes a la realidad nacional.

Por otra parte, la coherencia interna nos muestra la consistencia y compatibilidad que debe existir entre los datos de temperatura máxima, de la misma estación. Se observa que ninguna estación presenta datos “malos”, por el contrario, la información observada presenta en su totalidad datos “buenos”.

Por último, la coherencia temporal nos permite detectar errores de observación bastante pequeños. De acuerdo a la última prueba, se observa que las estaciones meteorológicas presentan datos dudosos (D) dentro de su serie histórica.

Tabla 9: Control de Calidad mediante la Clasificación por Banderines

Clasificación Estación	LÍMITES BLANDOS		COHERENCIA INTERNA		COHERENCIA TEMPORAL	
	B	D	B	M	B	D
Morropón	5262	0	5219	0	5013	162
San Miguel	5409	0	5399	0	5318	60
Mallares	5360	0	5354	0	5222	80
La Esperanza	5432	0	5339	0	5395	27
Chusis	5233	0	5213	0	5187	15
Miraflores	5247	0	5225	0	5166	47
Partidor	5269	0	5241	0	5105	47
Chulucanas	5095	0	5064	0	4767	187
El Alto	5128	0	4906	0	5084	5
Malacasi	5208	0	4986	0	4977	114
Lancones	5187	0	5096	0	5091	28
Bernal	5403	0	5373	0	5352	24

Después de aplicar los criterios de control de calidad a la temperatura máxima, se procedió a examinar los valores dudosos (D) de cada estación meteorológica mediante la comparación con las planillas meteorológicas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI, 2021). Durante este proceso, se corroboró que ningún dato era incorrecto, por lo que la información meteorológica de las estaciones no presentó correcciones.

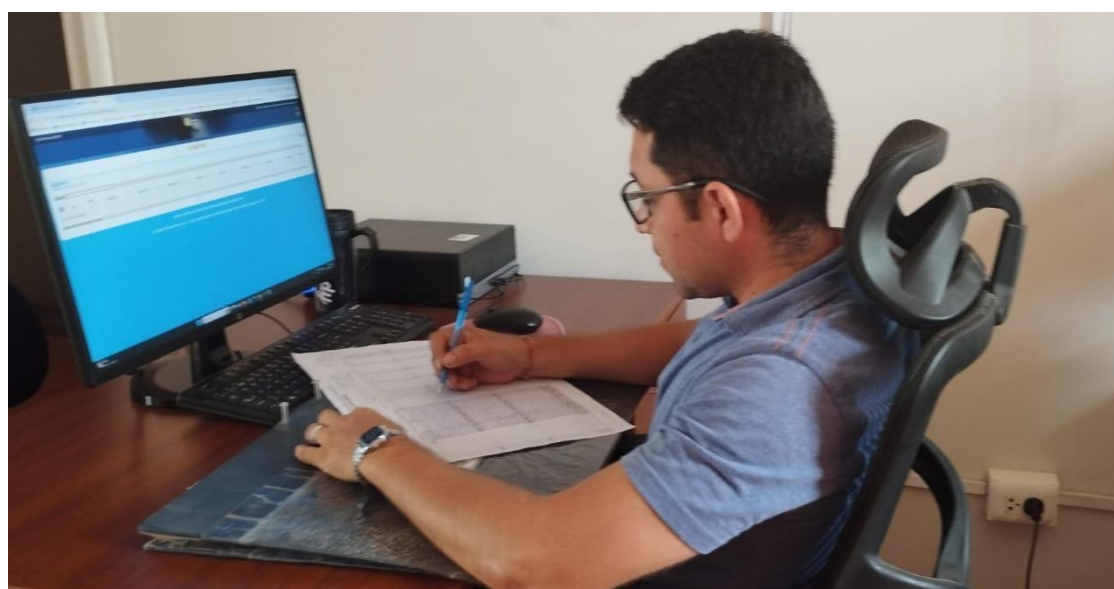


Figura 7: Revisión de planillas meteorológicas en la Dirección Zonal 1 del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología

En relación con la Figura 8, se presenta una agrupación de estaciones con variabilidad similar, donde el primer grupo integra las estaciones: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10 (rojo) y el

segundo grupo las estaciones: 9, 11 y 12 (verde). La Figura 9 exhibe 66 correlaciones en total, producto de las 12 estaciones combinadas en pares. Se empleó una distancia de $w_d = 100$ km, lo que indica que la influencia de los datos disminuirá en relación con la distancia (ver anexo 13), de modo que a los 100 km, su impacto será reducido a la mitad. Por último, se observa que más del 50% de las correlaciones se encuentran a menos de los 100 km (mayor correlación entre estaciones más cercanas), lo que significa que las series estimadas contarán con un mayor peso de sus estaciones vecinas.

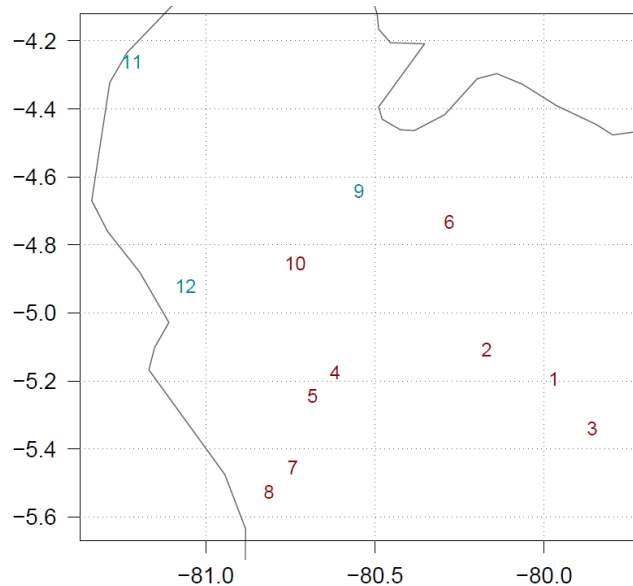


Figura 8: Ubicación espacial de las estaciones meteorológicas distribuidas en dos grupos

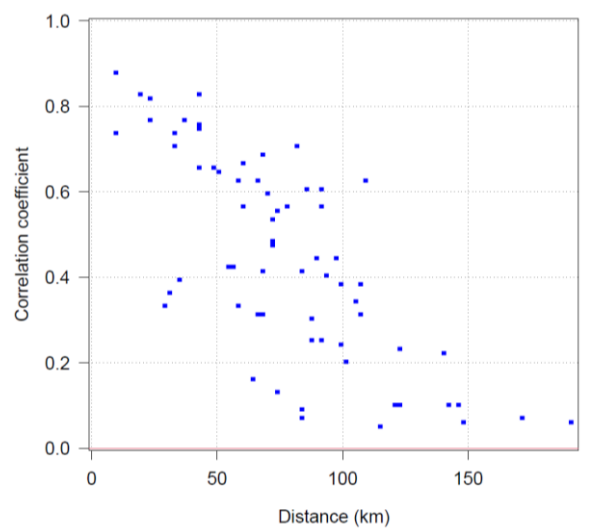


Figura 9: Coeficiente de correlación de las estaciones meteorológicas respecto a la distancia entre estaciones

En la figura 10 nos muestra la distribución de datos observados (en color plomo), datos completados (en verde) y corregidos (en turquesa). En todas las estaciones de estudio se llevó a cabo la completación de datos, destacando Chulucanas y El Alto las de mayor ausencia de datos (ver tabla 10). Por otro lado, la corrección de datos sólo se evidenció en la estación Chusis, específicamente en julio de 2011. De acuerdo a la tabla 9, se observa que el control de calidad que utiliza Climatol mejora la calidad de datos de las estaciones meteorológicas, reflejándose en un menor error cuadrático medio (RMSE) en la mayoría de las estaciones.

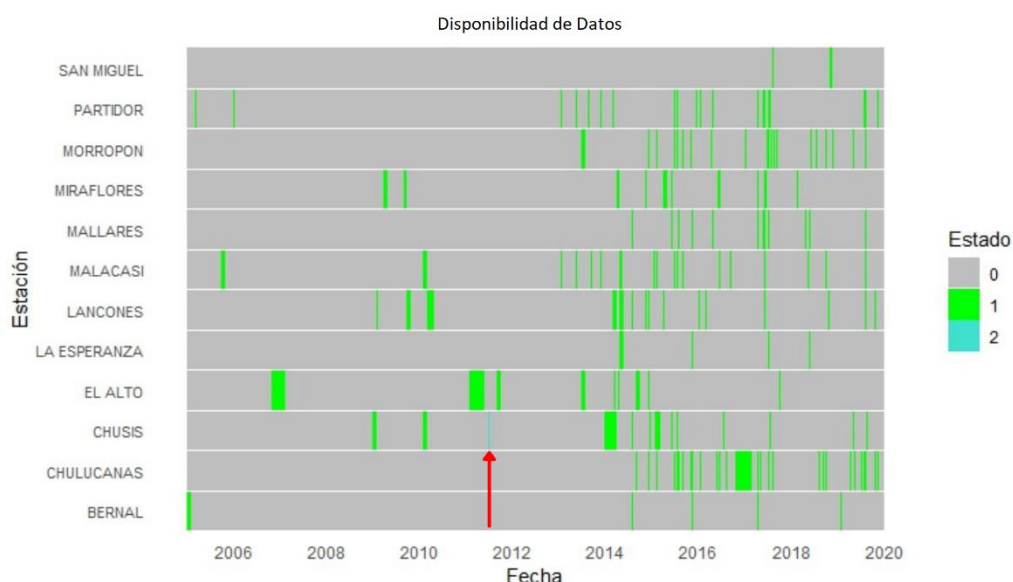


Figura 10: Diagrama de Gantt para el periodo 2005 – 2019 por estación meteorológica

Tabla 10: Comparación del Error Cuadrático Medio para datos completados mediante Climatol, con y sin control de calidad

X	Y	Z(m)	Estación	Climatol (Completación sin control de calidad)	Climatol (Completación con control de calidad)	Datos faltantes
				RMSE	RMSE	(%)
-79.97107	-5.19465	128	Morropón	1.6	1.1	4
-80.16956	-5.10843	89	Chulucanas	1.5	1.0	8
-79.85794	-5.33977	153	Malacasi	1.5	1.0	5
-80.61654	-5.17528	34	Miraflores	1.0	0.7	5
-80.68436	-5.24620	24	San Miguel	1.0	0.7	2
-80.27882	-4.73197	218	Partidor	1.2	1.0	4

Continuación ...

X	Y	Z(m)	Estación	Climatol (Completación sin control de calidad)	Climatol (Completación con control de calidad)	Datos faltantes
-80.74262	-5.45450	14	Bernal	1.2	0.8	2
-80.81275	-5.52756	8	Chusis	1.4	0.8	5
-80.54717	-4.64288	133	Lancones	1.5	1.5	6
-80.73556	-4.85574	44	Mallares	1.0	1.1	3
-81.21815	-4.26198	291	El Alto	2.0	2.0	7
-81.05969	-4.92114	7	La Esperanza	1.7	1.7	1

4.1.2. Umbrales de las Olas de Calor

Se destaca que el percentil 90 decadiario es utilizado como el primer umbral para identificar las olas de calor, como se detalla en la tabla 11. Se señala que la estación Mallares registra el valor más alto de percentil en la región de estudio, con 37.5°C, mientras que El Alto presenta el menor valor de P90, con 30°C, lo que representa una diferencia de 7.5°C entre ambas estaciones. Sin embargo, se señala que no son las únicas estaciones con esta diferencia. Además, se plantea que, al tener estaciones con altos valores de P90, las temperaturas altas pueden pasar desapercibidas si se encuentran por debajo de este percentil, lo que genera un problema al no considerar esas temperaturas máximas diarias en los eventos de ola de calor. Por lo tanto, para no perder días con temperaturas altas, que pueden ser considerados dentro de la ola de calor, se consideró agregar un segundo umbral denominado Percentil P90 global, el cual presenta un valor de 35.1°C.

Tabla 11: Percentil 90 decadiario para el primer trimestre (enero, febrero y marzo) en cada estación meteorológica

Umbral Estación	ENERO			FEBRERO			MARZO		
	P90/1dec	P90/2dec	P90/3dec	P90/1dec	P90/2dec	P90/3dec	P90/1dec	P90/2dec	P90/3dec
MORROPON	36.0	35.8	35.9	35.0	35.9	36.4	35.0	35.2	34.8
CHULUCANAS	37.0	36.5	36.5	36.0	36.8	37.4	36.8	36.8	36.7
MALACASI	36.0	36.0	36.0	35.0	36.0	36.4	35.5	35.3	35.2
MIRAFLORES	35.0	35.2	35.9	35.4	36.2	36.2	36.0	36.2	35.9
SAN MIGUEL	35.6	36.1	36.4	36.3	37.0	37.0	37.0	36.6	36.4
PARTIDOR	35.4	35.4	35.4	35.0	35.4	35.8	35.4	35.0	35.0
BERNAL	34.1	34.6	35.0	34.7	35.4	35.6	35.3	35.2	34.8
CHUSIS	33.2	33.6	34.2	34.2	34.8	35.0	34.6	35.0	34.6
LANCONES	36.0	35.2	35.9	35.6	35.6	36.0	35.8	36.6	36.1
MALLARES	36.4	36.4	36.8	36.7	37.0	37.4	37.6	37.5	37.1
EL ALTO	30.0	30.1	30.5	31.0	31.0	31.0	31.4	31.3	31.4
LA ESPERANZA	31.3	32.0	32.4	32.5	33.0	33.0	32.8	32.9	32.7

4.1.3. Identificación de Olas de Calor

Las siguientes tablas (12 – 22) presentan los once eventos de olas de calor identificados durante el periodo 2010 al 2019 para el primer trimestre del año. Cada tabla abarca un periodo de tiempo distinto, algunos de 3, 4, 5, 6, 7, 10 y 11 días. Dentro de cada una se observa los percentiles, P90 decadiario (en naranja oscuro) y P90 global (en naranja pálido). Se destaca que la estación Mallares (Sullana) es la única estación afectada por todos los eventos de olas de calor identificados, mientras que la estación El Alto (Talara) es la menos afectada, con solo 3 eventos de olas de calor. Para El Alto, esta característica se atribuye a la altura sobre el nivel de mar (291 msnm, la más alta de todas las estaciones) y su cercanía a esta.

Por otra parte, la estación que registra el máximo valor de temperatura máxima diaria de todos los eventos identificados, es Chulucanas con un valor de 39.8°C para el 27 de febrero de 2013 (evento 4). Este registro es sin duda un valor extremo, tanto que excede al P99, con valor de 39.2°C (ver anexo 15).

Tabla 12: Evento 1 identificado como ola de calor durante el periodo del 10 al 15 de marzo de 2011

FECHA	MORROPON	CHULUCANAS	MALACASI	MIRAFLORES	SAN MIGUEL	PARTIDOR	BERNAL	CHUSIS	LANCONES	MALLARES	EL ALTO	LA ESPERANZA
03/10/2011	36.5	38.5	36.6	36.5	37.5	35.4	34.8	33.6	36.2	37.9	31.6	32.2
03/11/2011	34.8	37.5	35.1	35.2	36.4	35.2	34.4	33.2	36.5	38.6	31.4	30.4
03/12/2011	35.6	36.5	35.4	35.2	37	35.4	34.6	33.4	36.8	37.5	31.2	30.3
03/13/2011	36	37.5	36	35	36.4	35	34.7	33.4	36.6	37.4	31.3	31.2
03/14/2011	36.4	37.7	36.3	34.8	36.2	35	34.2	33.4	36.5	37.6	31.1	30.2
03/15/2011	37	37.8	35.8	35.2	36.3	35.4	34	33.6	36.8	38.5	31.7	31.3

Tabla 13: Evento 2 identificado como ola de calor durante el periodo del 29 al 31 de marzo de 2011

FECHA	MORROPON	CHULUCANAS	MALACASI	MIRAFLORES	SAN MIGUEL	PARTIDOR	BERNAL	CHUSIS	LANCONES	MALLARES	EL ALTO	LA ESPERANZA
03/29/2011	36	38	35.6	34.2	34.2	35.6	33.3	33.2	36	37.4	31.2	30.8
03/30/2011	36.2	37.4	35.8	35	35	36	33	31.4	36.6	37.2	31.2	30.1
03/31/2011	34.8	36.6	35.2	34.8	35	35.4	33.2	31.6	36.8	38.3	31.3	29.7

Tabla 14: Evento 3 identificado como ola de calor durante el periodo del 10 al 16 de febrero de 2013

FECHA	MORROPON	CHULUCANAS	MALACASI	MIRAFLORES	SAN MIGUEL	PARTIDOR	BERNAL	CHUSIS	LANCONES	MALLARES	EL ALTO	LA ESPERANZA
02/10/2013	37	38	37.2	35.4	36	35.8	35.4	35	33.8	37.2	29.6	31.9
02/11/2013	36.8	38.5	36.4	35.2	35.8	36.4	34.8	34.4	34.2	37	29.9	32.1
02/12/2013	37	37.8	37	35.2	35.7	36	34.7	34.4	35	36.7	30.4	31.7
02/13/2013	37.2	38	37.5	35.2	35.6	35.8	34	33.8	35.4	36.5	30	29.7
02/14/2013	36	38.2	36.2	35	35.7	35.4	34.6	34.4	35.8	37	29.1	30.7
02/15/2013	37	37.8	37.2	35.6	37	36.2	34.2	34.6	35.4	37.2	29.6	31.6
02/16/2013	36.2	38	37	34.8	36	35.8	34.8	33.8	36	36.5	29.4	31.3

Tabla 15: Evento 4 identificado como ola de calor durante el periodo del 19 de febrero al 01 de marzo de 2013

FECHA	MORROPON	CHULUCANAS	MALACASI	MIRAFLORES	SAN MIGUEL	PARTIDOR	BERNAL	CHUSIS	LANCONES	MALLARES	EL ALTO	LA ESPERANZA
02/19/2013	37.2	38.8	38.2	35.2	36.2	36.2	34.6	33.8	36.6	37.6	29.1	30.6
02/20/2013	35.6	36.8	35.5	33.4	34.1	34	33.4	32.4	36.2	36.2	29.3	29.9
02/21/2013	34.2	37.4	36.4	35.8	37	36	34.4	34.4	36	37	28.6	32.6
02/22/2013	37.4	39	38	35.6	36.8	35.8	33.9	34.8	36.5	37.2	29.6	32.6
02/23/2013	37	39.2	38.5	35.4	35.6	36	33.7	34	36.4	36.7	29.3	30.3
02/24/2013	36.6	39	37.3	34.8	36.4	36.2	34.9	34.6	36	37.3	31.2	31.6
02/25/2013	37.8	39	39.2	35	36.3	36.8	34.8	34.6	36.5	37.6	29.8	32.2
02/26/2013	37.4	38	37.9	35.2	36.4	35.4	35.2	35.6	37	37.6	31.7	32
02/27/2013	37.2	39.8	38.1	35.2	37	37	35.6	35.6	36.8	37.7	31	33.8
02/28/2013	33.2	36	34.7	34.6	36.9	34.2	35.8	34.8	37.2	36.6	31.6	30.7
03/01/2013	35	38	35.5	35.6	37.2	37.2	34.1	33.8	36.2	37.1	30.2	32.1

Tabla 16: Evento 5 identificado como ola de calor durante el periodo del 16 al 25 de febrero de 2016

FECHA	MORROPON	CHULUCANAS	MALACASI	MIRAFLORES	SAN MIGUEL	PARTIDOR	BERNAL	CHUSIS	LANCONES	MALLARES	EL ALTO	LA ESPERANZA
02/16/2016	33	34.8	33.6	36.2	38.4	33.9	36.4	35	36	36.2	29.5	34.2
02/17/2016	34	35.2	33.7	37.2	37	35.1	36.2	34.4	36	37.5	29.8	34.5
02/18/2016	34.2	36	34.4	36.8	37.2	35	35.8	34	35.6	37.9	29.4	32.5
02/19/2016	35.4	37.2	36	38	38.2	36.8	37.2	36	35	37.8	29	33.2
02/20/2016	34	35.2	34.5	36.2	36.4	34	35.3	34.6	36	36.4	29.2	32.3
02/21/2016	34	35	33.1	36.8	38.2	35.2	36.8	34.8	36.2	37.5	30	33.8
02/22/2016	33	34	32	34	36.2	33	35.3	35	32	35.8	29.5	34.2
02/23/2016	32.2	33.6	33.5	36	37	32	36	34.8	34	36.2	29.8	33.7
02/24/2016	32.6	34.8	34.6	37.8	38.4	33.8	37.4	36.4	34.8	37.6	30.2	34.2
02/25/2016	31.4	34.4	32.6	37.2	37.1	33.8	36.4	35.3	34.2	37.1	30	32.2

Tabla 17: Evento 6 identificado como ola de calor durante el periodo del 10 al 12 de enero de 2017

FECHA	MORROPON	CHULUCANAS	MALACASI	MIRAFLORES	SAN MIGUEL	PARTIDOR	BERNAL	CHUSIS	LANCONES	MALLARES	EL ALTO	LA ESPERANZA
01/10/2017	36.3	37.3	36.4	36	37	35.1	35.3	34.6	35.2	37	30	32.1
01/11/2017	36.4	37.3	37.1	35	36.2	35.6	34.6	33.4	35.2	36.7	28.6	30.3
01/12/2017	35.8	36.8	35.3	35.2	36.5	35.4	34.4	33.2	34.8	37.1	28.2	30.7

Tabla 18: Evento 7 identificado como ola de calor durante el periodo del 16 al 18 de enero de 2017

FECHA	MORROPON	CHULUCANAS	MALACASI	MIRAFLORES	SAN MIGUEL	PARTIDOR	BERNAL	CHUSIS	LANCONES	MALLARES	EL ALTO	LA ESPERANZA
01/16/2017	35	36.5	34.4	36.2	36.6	35.4	35.4	35.2	34.8	36.8	30	31.7
01/17/2017	36.2	37.6	36.1	37	36.4	35.9	34.6	34.8	35.2	36.9	29.2	30.5
01/18/2017	37	38.4	37.5	36.8	37.4	36.8	35.2	33.8	36.4	36.6	30.4	32.1

Tabla 19: Evento 8 identificado como ola de calor durante el periodo del 02 al 05 de enero de 2019

FECHA	MORROPON	CHULUCANAS	MALACASI	MIRAFLORES	SAN MIGUEL	PARTIDOR	BERNAL	CHUSIS	LANCONES	MALLARES	EL ALTO	LA ESPERANZA
01/02/2019	35.6	35.2	35.9	34.6	35.6	36	34	31.8	37.5	35.6	28	31.5
01/03/2019	35.4	36.2	36	35.2	35.8	33.1	33	30.6	37.2	36.7	28.4	29.5
01/04/2019	36.4	37.4	37.2	37.2	37.2	36	34.2	33.4	38.6	38.8	29.7	31.7
01/05/2019	36.6	37	36.1	35.2	35	35.8	34.4	32.2	36.5	36.8	30.2	30.5

Tabla 20: Evento 9 identificado como ola de calor durante el periodo del 23 al 27 de enero de 2019

FECHA	MORROPON	CHULUCANAS	MALACASI	MIRAFLORES	SAN MIGUEL	PARTIDOR	BERNAL	CHUSIS	LANCONES	MALLARES	EL ALTO	LA ESPERANZA
01/23/2019	37.2	36.6	36.8	37	37.2	36.4	36	34.2	35.6	38.8	30.8	32
01/24/2019	35	35.2	35.6	35	35.8	35.1	35.4	34	38.2	36.6	30.9	31
01/25/2019	34.6	36.2	36.3	36.8	36.4	37	35.8	33.6	36.5	38.8	30.2	31.6
01/26/2019	35.6	36.6	35.8	36.4	36.2	37.1	35.2	33	38	37.7	31	32.1
01/27/2019	36.9	38	36.1	38	37.8	36	35.6	33.6	36.4	38.1	31.4	32.8

Tabla 21: Evento 10 identificado como ola de calor durante el periodo del 25 de febrero al 01 de marzo de 2019

FECHA	MORROPON	CHULUCANAS	MALACASI	MIRAFLORES	SAN MIGUEL	PARTIDOR	BERNAL	CHUSIS	LANCONES	MALLARES	EL ALTO	LA ESPERANZA
02/25/2019	33.4	32	33.6	36.2	37.4	33.4	36	35.2	31	37.8	30.4	33.5
02/26/2019	33	33.2	32.9	37	37.4	31.8	36.4	35.6	34.2	36.5	31.2	33.5
02/27/2019	32.8	34	33.4	36.4	37.8	33	36.6	35.4	33.2	37.6	31.8	32.2
02/28/2019	32	33	32.2	35.2	35.4	31.6	35.5	34.2	33.2	35.8	31	31.5
03/01/2019	31.2	31.6	31.9	36.8	38.8	32.6	36.2	35.2	33.6	38	31.4	33

Tabla 22: Evento 11 identificado como ola de calor durante el periodo del 10 al 13 de marzo de 2019

FECHA	MORROPON	CHULUCANAS	MALACASI	MIRAFLORES	SAN MIGUEL	PARTIDOR	BERNAL	CHUSIS	LANCONES	MALLARES	EL ALTO	LA ESPERANZA
03/10/2019	31.8	32	32	36.8	37.8	32.6	36.7	35.6	33.8	37.7	31.7	34
03/11/2019	34.4	35	33.8	38	38.2	32.8	35.6	35.2	34.8	38.9	31	33.8
03/12/2019	34.4	35.2	34.5	37.2	37.2	34.2	35.2	35.4	35.5	37.6	30.8	34.2
03/13/2019	33	34	30.4	37	37.4	32.9	35.2	35.4	36.8	37.7	30	32.5

4.1.4. Caracterización de los eventos de olas de calor previamente identificados.

En la tabla 23, se muestra los 5 criterios identificados y calculados para la caracterización de los eventos significativos de Olas de Calor en la costa de Piura. Los criterios son:

- Mayor temperatura máxima: Es la mayor temperatura máxima registrada durante el evento de Ola de Calor identificada.
- Promedio de temperatura máxima: Es la temperatura máxima promedio de todos los registros que superan los percentiles P90-decadiario y global durante la vigencia de la Ola de calor identificada.
- Duración máxima (días): Es la cantidad máxima de días del evento de ola de calor identificada.

- d. Número de estaciones con Ola de Calor: Se refiere a la cantidad de estaciones meteorológicas que cumplen los criterios de tener valores por encima del percentil P90-decadiario y P90-global durante un mínimo de tres días consecutivos, y que además cuentan con al menos el 50% de las estaciones referenciadas (ver tabla 7).
- e. Porcentaje de temperaturas máximas diarias que superan ambos percentiles: Es el porcentaje de temperaturas máximas diarias que superan el P90-decadiario y P90-global para todas las estaciones meteorológicas de cada evento.

Tabla 23: Criterios estimados para la caracterización de Olas de Calor

EVENTOS DE OLA DE CALOR	MAYOR TEMPERATURA MÁXIMA	PROMEDIO DE TEMPERATURA MÁXIMA	DURACIÓN MÁXIMA (DÍAS)	NÚMERO DE ESTACIONES CON OC/ NÚMERO TOTAL DE ESTACIONES	% TEMPERATURAS MÁXIMAS DIARIAS QUE SUPERAN AMBOS PERCENTILES
EVENTO 1 (10/03/2011 – 15/03/2011)	38.6	36.1	6	9/12	68.1
EVENTO 2 (29/03/2011 – 31/03/2011)	38.3	38.4	3	6/12	50
EVENTO 3 (10/02/2013 – 16/02/2013)	38.5	36.5	7	7/12	63.1
EVENTO 4 (19/02/2013 – 01/03/2013)	39.8	36.6	11	8/12	66.7
EVENTO 5 (16/02/2016 – 25/02/2016)	38.4	36.2	10	5/12	54.1
EVENTO 6 (10/01/2017 – 12/01/2017)	37.3	35.7	3	9/12	75
EVENTO 7 (16/01/2017 – 18/01/2017)	38.4	35.9	3	10/12	80.6
EVENTO 8 (02/01/2019 – 05/01/2019)	38.8	35.8	4	8/12	72.9
EVENTO 9 (23/01/2019 – 27/01/2019)	38.8	36	5	9/12	80
EVENTO 10 (25/02/2019 – 01/03/2019)	38.8	35.5	5	6/12	51.7
EVENTO 11 (10/03/2019 – 13/03/2019)	38.9	36.2	4	6/12	54.1

4.1.5. Validación del modelo Era5.

Para validar los resultados entre los datos observados de la estación Miraflores (con control de calidad) y los datos de reanálisis para Era5, se calcularon el BIAS (siendo un valor positivo una sobrestimación y negativo una subestimación del modelo) y el RMSE de la temperatura máxima diaria. Al analizar el BIAS, se observa una sobrestimación de los datos del modelo de reanálisis en 0.3°C. Por otra parte, en el RMSE se observa un valor más grande de error en los datos de reanálisis, con 1.6°C, lo cual se atribuye a un mayor porcentaje de aciertos y a un menor grado de desaciertos extremos. Este último, con una mayor frecuencia para los menores valores de temperatura máxima diaria.

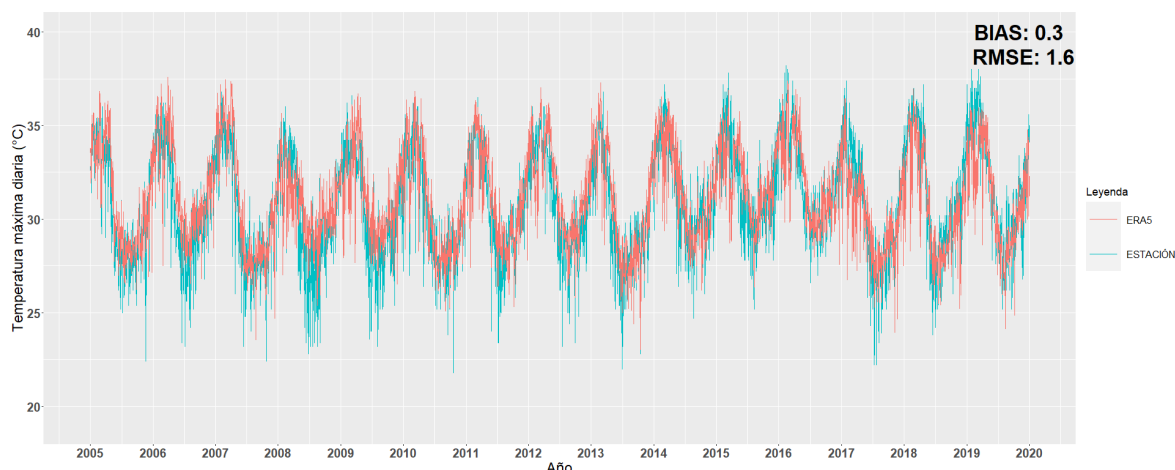


Figura 11: Serie temporal del modelo ERA5 vs datos observados con control de calidad para la estación Miraflores.

4.2. Identificación de configuraciones atmosféricas predominantes usando información de re-análisis del ERA5 que favorecieron los eventos de Olas de Calor identificados en la costa de Piura, para el trimestre enero-marzo del periodo 2010-2019.

4.2.1. Configuración atmosférica 1, que favoreció el evento (4) de ola de calor del 19 de febrero al 01 de marzo del 2013.

El evento de ola de calor (evento 4) del 19 de febrero al 01 de marzo del 2013 en la costa de Piura fue caracterizado como el evento donde se registró el mayor valor de temperatura máxima (Tabla 23), siendo 39.8°C en la estación Chulucanas. Asimismo, dicho evento fue caracterizado como el de máxima duración con 11 días consecutivos, registrado en 8 de un total de 12 estaciones (representando el 67%).

Tomando en cuenta las características del evento de ola de calor mencionado se identificó la siguiente configuración atmosférica, analizando en diferentes niveles de presión:

4.2.1.1. Análisis en niveles altos de presión

Utilizando el promedio tres niveles de presión (200hPa, 250hPa y 300 hPa) mediante el flujo de líneas de corriente se identificó la predominancia de los vientos del oeste sobre el Pacífico Oriental frente al noroccidente peruano, que a su vez interactúa con la circulación anticiclónica (Alta de Bolivia) con su centro ubicado sobre el extremo sur del Perú, mejor representados para el 24 y 27 de febrero del 2013 (Figura 12). Dicha configuración atmosférica en niveles altos generó zonas de confluencia de vientos, asimismo áreas con

zonas de mayor valor de convergencia horizontal (áreas azules) sobre la costa de Piura observados para el 24 y 27 de febrero del 2013 (Figura 12).

4.2.1.2. Análisis en el espesor 1000hPa-500hPa

Mediante la diferencia de la altura geopotencial entre los niveles de presión de 500 hPa y 1000 hPa se calculó el espesor geopotencial, identificando un mayor valor con isolíneas de hasta 5808m entre el 25 y 26 de febrero del 2013 (Figura 13). Luego los valores del espesor geopotencial disminuyen hacia el final del evento. A partir del 24 y hasta el 27 de febrero se observa valores más altos, alcanzado hasta 5814 m.

4.2.1.3. Análisis en niveles bajos de presión

Mediante las líneas de corriente en el nivel de 850hPa se identificó los flujos del norte (generalmente asociados a vientos cálidos y húmedos) en dirección hacia la costa norte del Perú, principalmente observados el 25 y 26 de febrero del 2013 (Figura 13)

4.2.1.4. Análisis en niveles bajos (2 m sobre superficie)

Se analizó y comparó, la temperatura a 2m de las 18UTC del reanálisis del ERA 5 con la temperatura máxima observada (e interpolada) en las estaciones meteorológicas para el 25 y 26 de febrero del 2013 (Figura 14), encontrando similitudes en la distribución espacial de las temperaturas altas.

4.2.1.5. Análisis de la temperatura superficial del mar - región 1+2

Se realizó un promedio de las anomalías de la temperatura superficial del mar adyacente a la costa de Piura para el periodo del evento de ola de calor, 19 de febrero al 01 de marzo del 2013. Identificando anomalías negativas, asociado a una temperatura superficial del mar por debajo de sus normales, siendo esto una condición no favorable para una Ola de Calor.

4.2.1.6. Análisis Howmoller

Se realizó un análisis de la presión atmosférica reducida a nivel de mar mediante un Howmoller en una longitud 85°W y en una distribución latitudinal entre 0° y 60°S. Identificando un debilitamiento del Anticiclón del Pacífico Sur Oriental (APSO) entre el 20 al 26 de febrero. Los registros de la intensidad de núcleo fueron inferiores a 1014hPa entre el 21 al 23 de febrero, asimismo con una posición distante entre los 40°S a 50°S (Figura 16).

Así también, se realizó un análisis de la humedad relativa (%) mediante el Howmoller en un promedio entre $4^{\circ}\text{S} - 6^{\circ}\text{S}$ y $81.5^{\circ}\text{W} - 79.5^{\circ}\text{W}$ para la duración del evento de ola de calor. Se identificó una capa seca en niveles altos, entre los 200hPa y los 400hPa, con valores de humedad inferiores al 50%; principalmente entre el 19 al 26 de febrero.

4.2.1.7. Análisis en un corte latitudinal

Se realizó un corte de una sección latitudinal promedio entre $4^{\circ}\text{S} - 6^{\circ}\text{S}$ de la humedad relativa (%) y movimiento vertical (m/s) para una longitud entre 83°W y 79°W en todos los niveles de presión para el 25 de febrero. Se identificó una significativa capa seca entre los 200hPa y los 450hPa aprox. en toda la sección latitudinal, asimismo entre los 81°W y 80°W se observó un movimiento vertical descendente, asociado a procesos subsidentes sobre la costa de Piura.

En resumen, en la primera configuración se identificó la interacción entre los vientos predominantes del oeste sobre el Pacífico oriental con el Alta de Bolivia (AB), generando zonas convergentes, subsidencia y a su vez zonas de mayor espesor geopotencial sobre la región de Piura. Así también, se observó que el ingreso de los vientos del oeste trae consigo masas de aire de mayor densidad (aire seco). Asimismo, se evidenció el ingreso de vientos del norte (cálidos y húmedos) en los niveles bajos de la tropósfera. Finalmente, se observó el debilitamiento del Anticiclón del Pacífico Sur Oriental durante el periodo del evento.

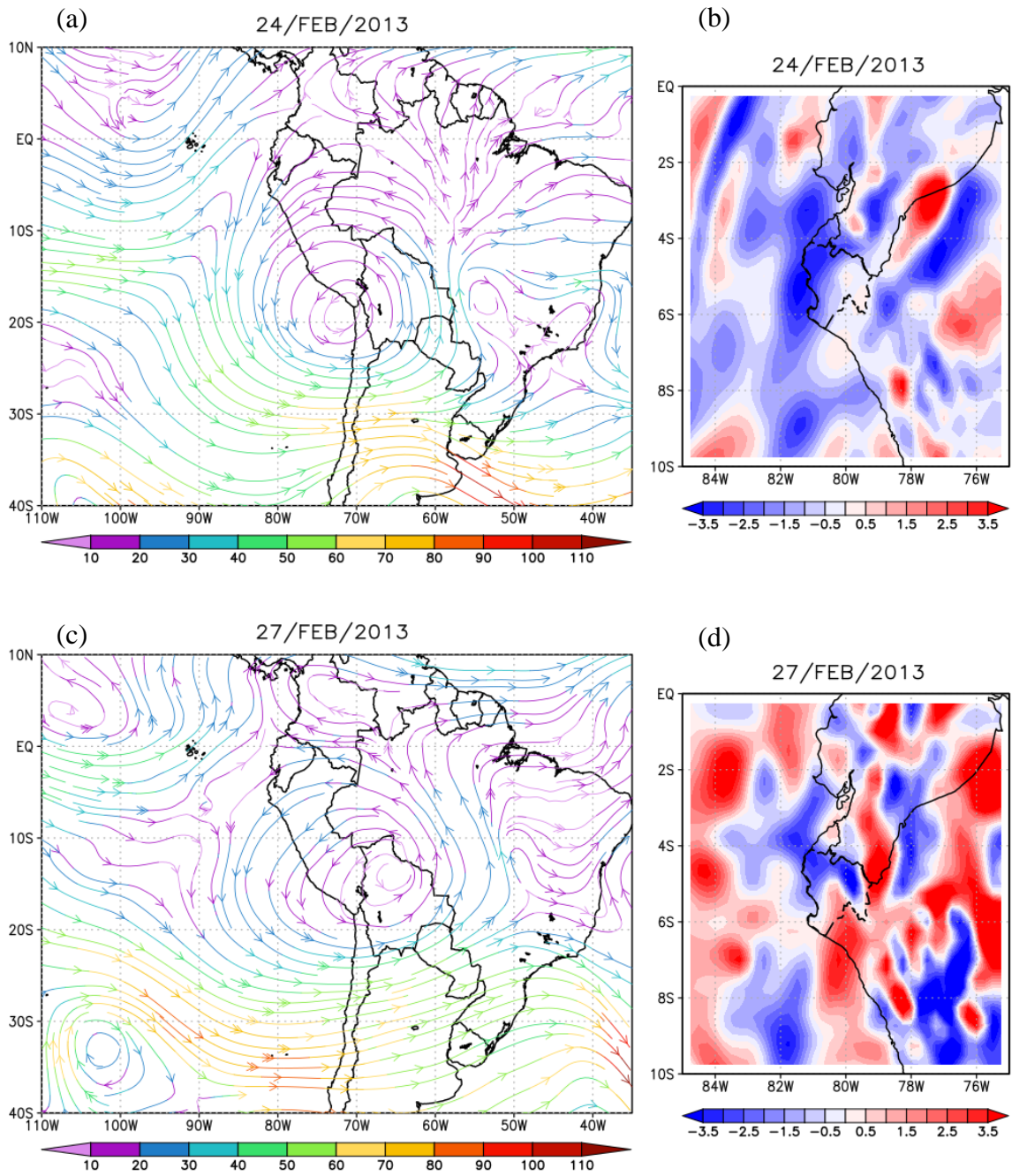


Figura 12: Líneas de corriente y magnitud de viento promedio (kt) en los niveles de 200 hPa, 250 hPa y 300 hPa (a y c) y divergencia horizontal ($10^{-5} s^{-1}$) a 300 hPa (b y d) para el 24 y 27 de febrero a las 18Z durante la Ola de Calor del 2013.

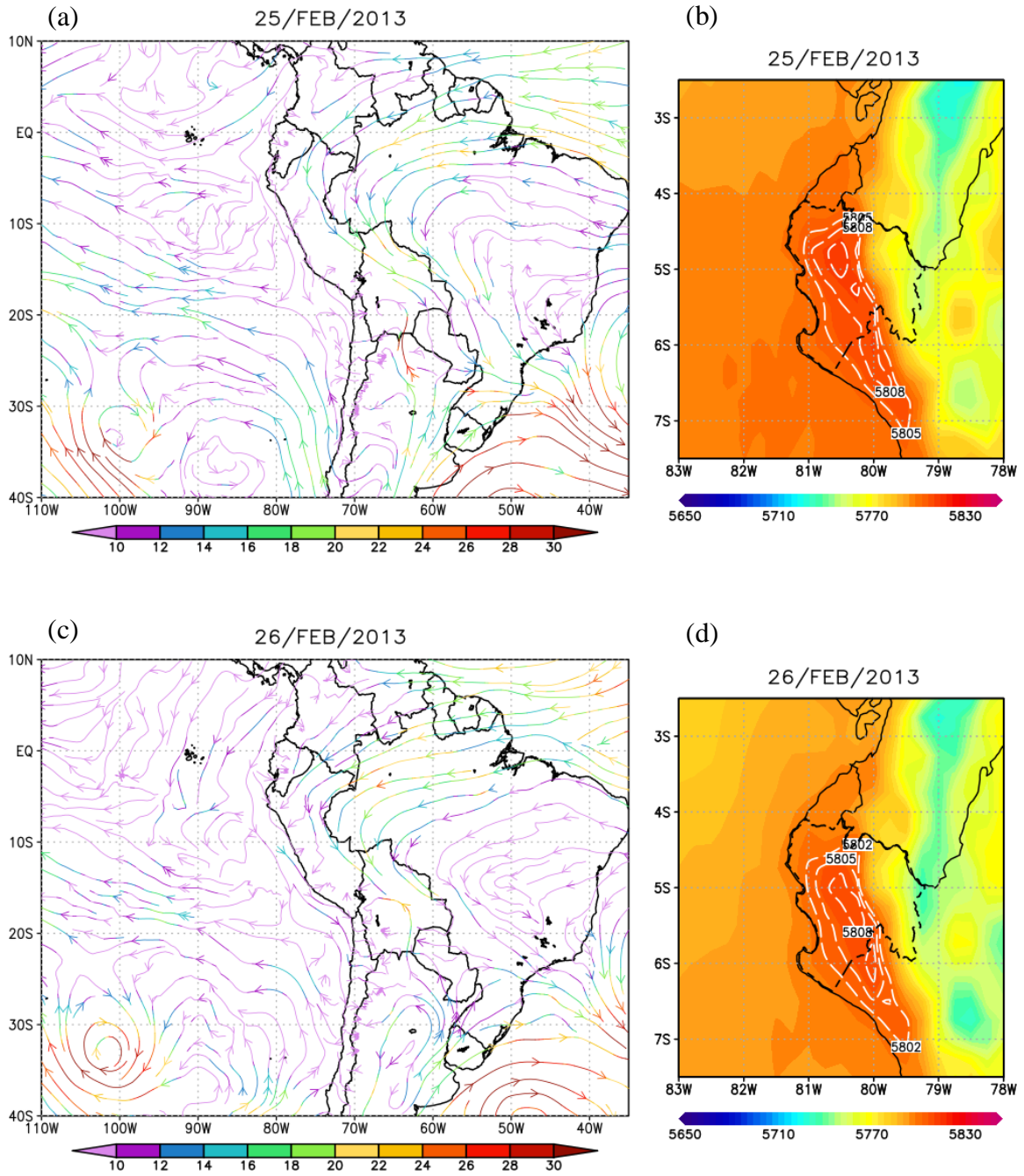


Figura 13: Líneas de corriente y magnitud de viento (kt) a nivel de 850 hPa (a y c) y espesor de altura geopotencial (mgp) 1000/500 hPa (b y d) para el 25 y 26 de febrero a las 18Z durante la Ola de Calor del 2013.

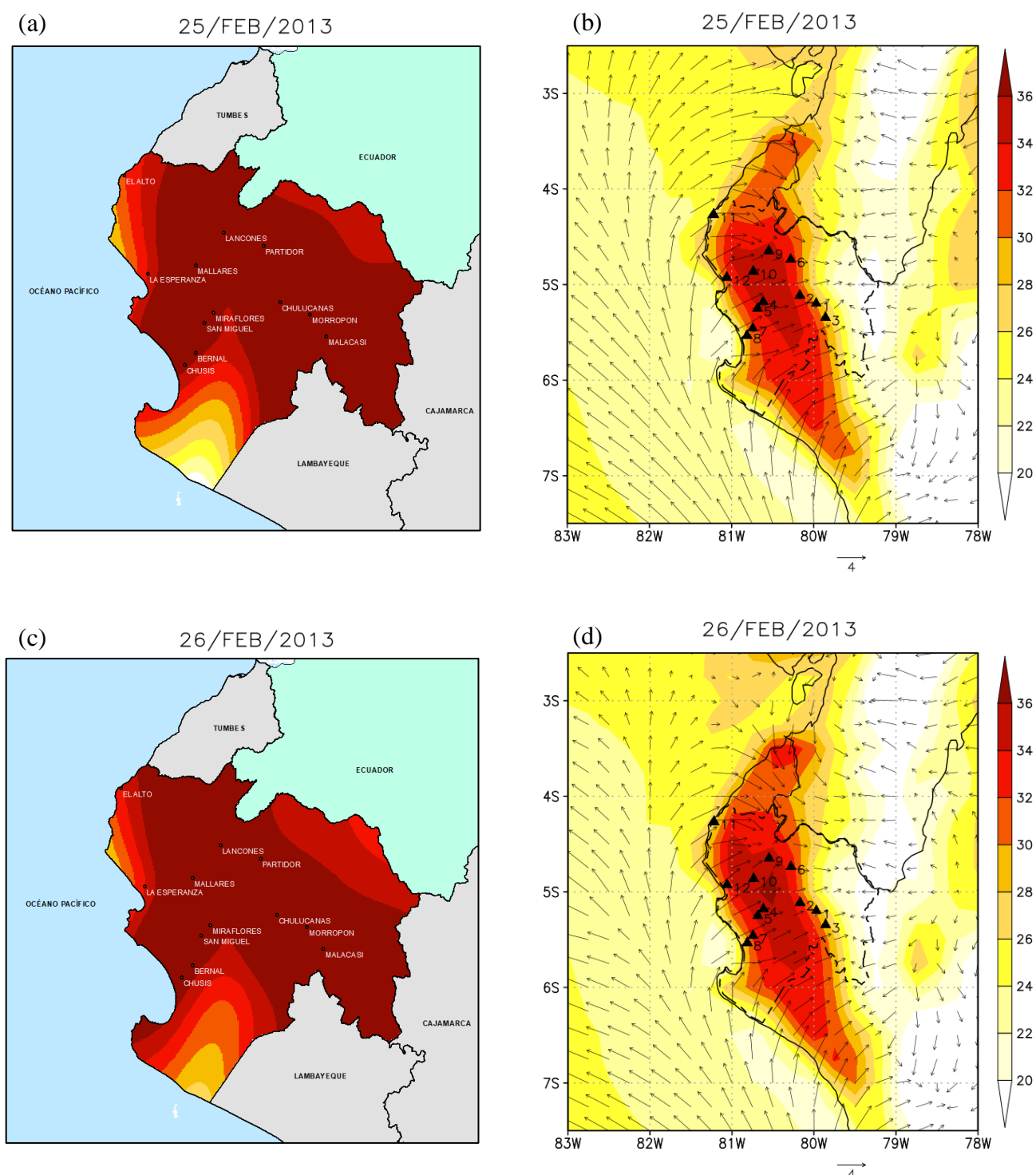


Figura 14: Interpolación de datos de temperatura máxima observada ($^{\circ}\text{C}$) (a y c) y temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a 2 m, vector y velocidad de viento (m/s) a 10 m (b y d) para el 25 y 26 de febrero a las 18Z durante la Ola de Calor del 2013.

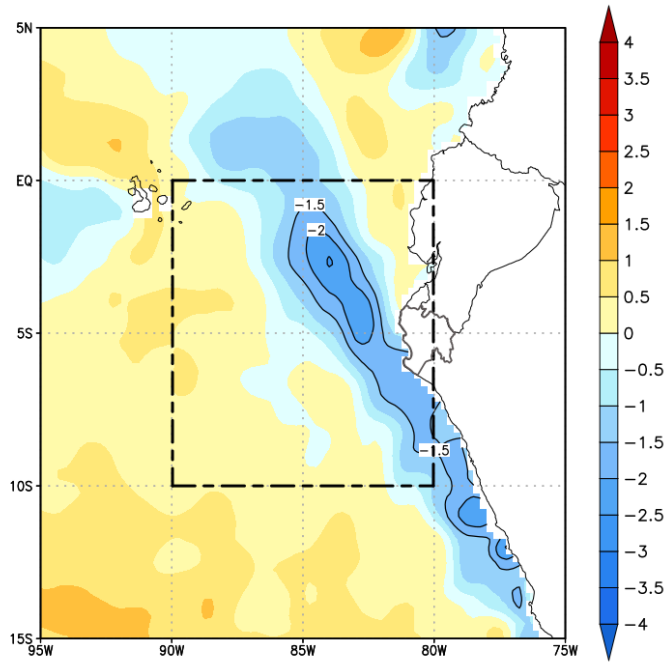


Figura 15: Anomalía de la Temperatura Superficial del Mar (°C) promedio para toda la Ola de Calor desde el 19 de febrero al 01 de marzo del 2013.

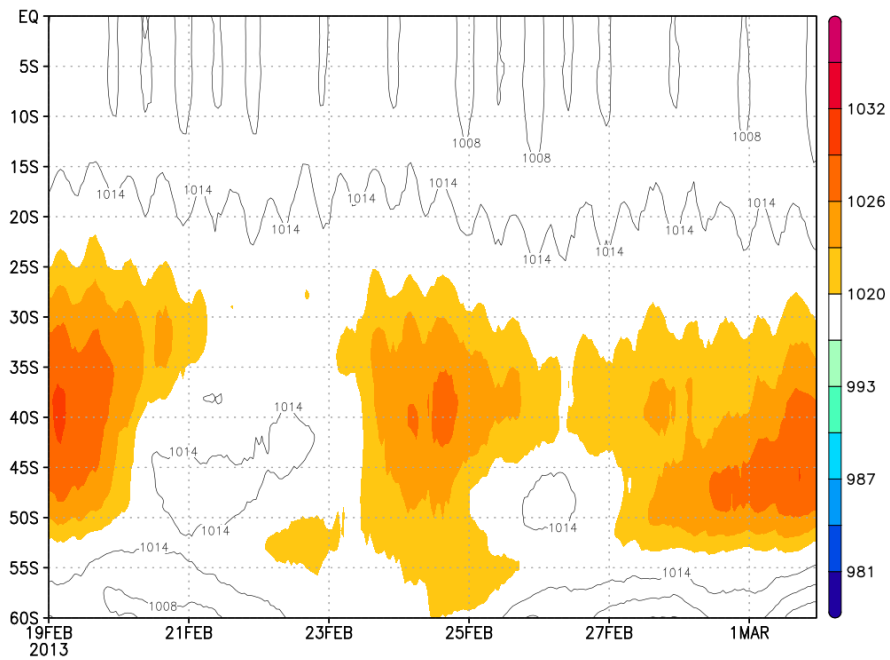


Figura 16: Hovmoller a 85°W para la presión atmosférica reducida a nivel del mar (hPa) para la Ola de Calor desde el 19 de febrero al 01 de marzo del 2013.

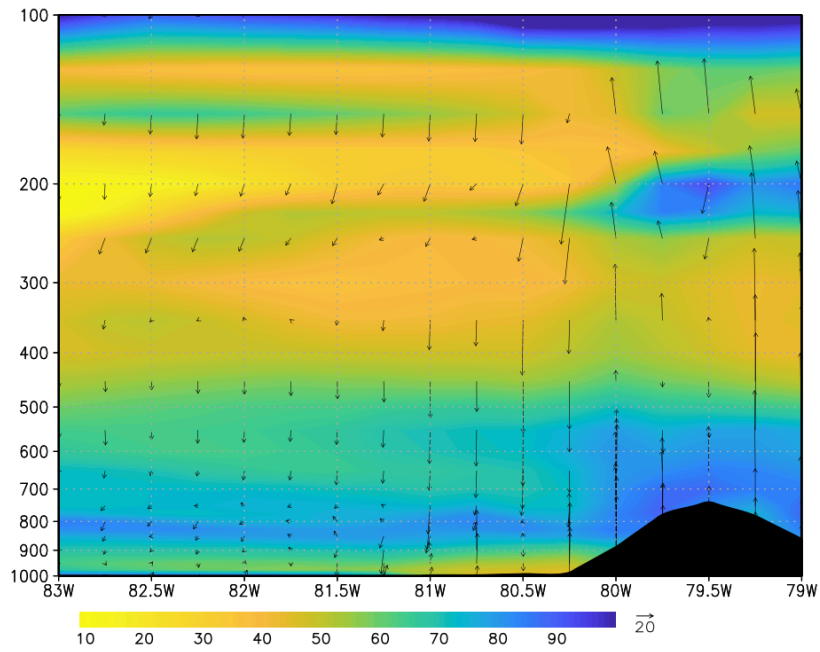


Figura 17: Corte de sección latitudinal promedio entre 4°S – 6°S de la humedad relativa (%) y movimiento vertical (m/s) para el 25 de febrero de 2013 a las 18Z.

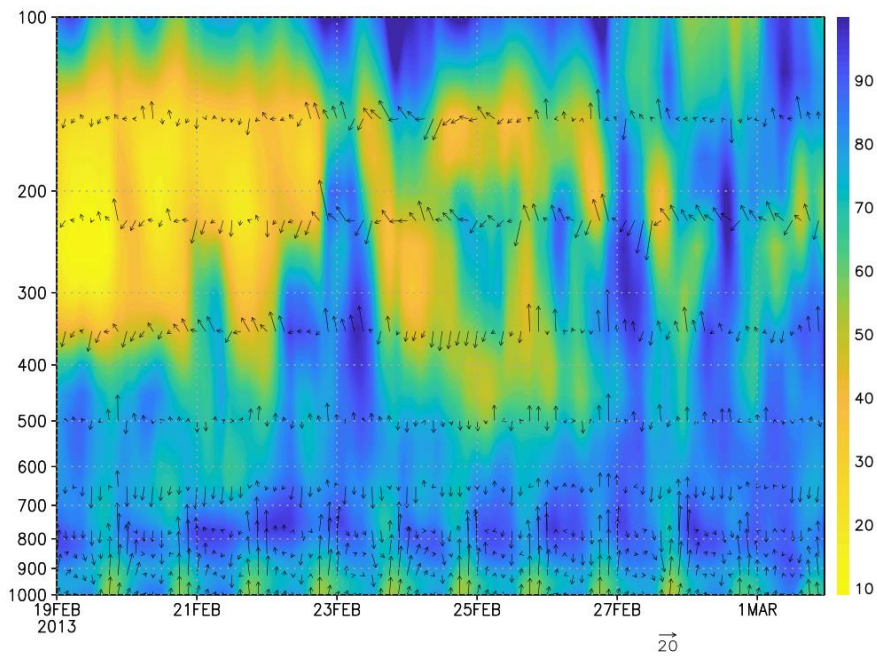


Figura 18: Hovmoller promedio entre 4°S – 6°S y 81.5°W – 79.5°W para la humedad relativa (%) y movimiento vertical (m/s) para la Ola de Calor desde el 19 de febrero al 01 de marzo del 2013

4.2.2. Configuración atmosférica 2, que favoreció el evento (5) de ola de calor del 16 al 25 de febrero del 2016.

El evento de ola de calor (evento 5) del 16 al 25 de febrero del 2016 en la costa de Piura fue caracterizado como el 2do evento de Ola de Calor de mayor duración (Tabla 22), registrando 10 días consecutivos. Asimismo, dicho evento alcanzó una temperatura máxima de 38.4°C en la estación San Miguel (Catacaos) siendo el mayor valor del evento. Asimismo, se registró en 5 estaciones meteorológicas de un total de 12 (%)

4.2.2.1. Análisis en niveles altos de presión

Utilizando el promedio tres niveles de presión (200hPa, 250hPa y 300 hPa) mediante el flujo de líneas de corriente se identificó la predominancia de los vientos del oeste sobre el Pacífico Oriental frente al noroccidente peruano, que a su vez interactúa con una débil circulación anticiclónica con su centro ubicado en el Altiplano, mejor representados para el 20 y 21 de febrero del 2016. Esta interacción desencadena una bifurcación de los flujos del oeste frente a la costa central, uno en dirección hacia el sur y el otro hacia el norte. En efecto, sobre la región de Piura, confluyen flujos del suroeste y sureste. Asimismo, en la zona de confluencia, se configura un sistema de dorsal frente a la costa norte del Perú (Figura 19). Dicha configuración atmosférica generó áreas de convergencia horizontal (áreas azules) sobre la costa de Piura observados para el 20 y 21 de febrero (Figura 19).

4.2.2.2. Análisis en niveles medios de presión

Mediante el análisis de líneas de corriente promedio entre 500hPa y 600hPa, se observó una circulación de giro anticiclónico sobre el Pacífico oriental, propiciando flujos del Sur sobre la costa de Piura el 22 de febrero (Figura 20). Por otro lado, se analizó la humedad relativa mediante la temperatura de rocío (Td) y flujo de relación de mezcla en 500hPa. Se identificó valores muy bajos de Td para el 22 de febrero, con registros de hasta -30°C; asimismo valores por debajo de los 2g/Kg de relación de mezcla sobre la costa de Piura (Figura 20). Siendo estas condiciones asociadas a un bajo contenido de humedad en los niveles medios de la tropósfera, inducidos por la configuración en altura (Dorsal).

4.2.2.3. Análisis en el espesor 1000hPa-500hPa

Mediante la diferencia de la altura geopotencial entre los niveles de presión de 500 hPa y 1000 hPa se calculó el espesor geopotencial, identificando un mayor valor con isolíneas de hasta 5838m para el 19 de febrero. Estos valores significativos, aunque menores se mantuvieron, por lo menos hasta el 21 de febrero (Figura 21).

4.2.2.4. Análisis en niveles bajos de presión

Mediante las líneas de corriente en el nivel de 850hPa se identificó los flujos débiles del norte (generalmente asociados a vientos cálidos y húmedos) en dirección hacia la costa norte del Perú, principalmente el 21 de febrero (Figura 21)

4.2.2.5. Análisis en niveles bajos (2 m sobre superficie)

Se analizó y comparó, la temperatura a 2m de las 18UTC del reanálisis del ERA 5 con la temperatura máxima observada (e interpolada) en las estaciones meteorológicas del 19 al 21 de febrero (Figura 22), encontrando similitudes en la distribución espacial de las temperaturas altas.

4.2.2.6. Análisis de la temperatura superficial del mar - región 1+2

Se realizó un promedio de las anomalías de la temperatura superficial del mar adyacente a la costa de Piura para el periodo del evento de ola de calor, 16 al 25 de febrero del 2016. Identificando anomalías positivas de hasta $+1.5^{\circ}\text{C}$, asociado a una temperatura superficial del mar por encima de sus normales, siendo esto una condición favorable para una Ola de Calor.

4.2.2.7. Análisis Howmoller

Se realizó un análisis de la presión atmosférica reducida a nivel de mal mediante un Howmoller en una longitud 85°W y en una distribución latitudinal entre 0° y 60°S . Identificando un debilitamiento del Anticiclón del Pacífico Sur Oriental (APSO) durante toda la duración del evento. Los registros de la intensidad de núcleo fueron inferiores a 1020hPa entre el 16-18 de febrero y del 20-24 de febrero, asimismo con una posición distante entre los 35°S a 45°S (Figura 24).

Así también, se realizó un análisis de la humedad relativa (%) mediante el Howmoller en un promedio entre $4^{\circ}\text{S} - 6^{\circ}\text{S}$ y $81.5^{\circ}\text{W} - 79.5^{\circ}\text{W}$ para la duración del evento de ola de calor.

Se identificó una capa seca en niveles altos y medios, entre los 200hPa y los 500hPa, con valores de humedad inferiores al 50%; principalmente entre el 16 al 23 de febrero.

4.2.2.8. Análisis en un corte latitudinal

Se realizó un corte de una sección latitudinal promedio entre 4°S – 6°S de la humedad relativa (%) y movimiento vertical (m/s) para una longitud entre 83°W y 79°W en todos los niveles de presión para el 19 de febrero. Se identificó una significativa capa seca entre los 200hPa y los 650hPa aprox. en toda la sección latitudinal, asimismo entre los 81°W y 80°W se observó un movimiento vertical descendente, asociado a procesos de subsidencia sobre la costa de Piura.

En resumen, en la segunda configuración se identificó vientos del oeste formando una dorsal sobre la costa de Piura, ello generó zonas convergencia en altura, asimismo procesos de subsidencia hacia niveles inferiores que se reflejaron en el aumento del espesor geopotencial entre 500hPa y 1000hPa. La dorsal en altura induce a una circulación de giro anticiclónico en niveles medios frente a la costa de Piura, lo que favoreció el ingreso de aire de mayor densidad (aire seco) sobre esta región. Así también, se evidenció el ingreso de vientos débiles del norte (cálidos y húmedos) en los niveles bajos de la tropósfera, influenciado por el debilitamiento del Anticiclón del Pacífico Sur Oriental. Finalmente, se observó anomalías positivas de hasta +1.5°C de la temperatura superficial del mar en la región Niño 1+2.

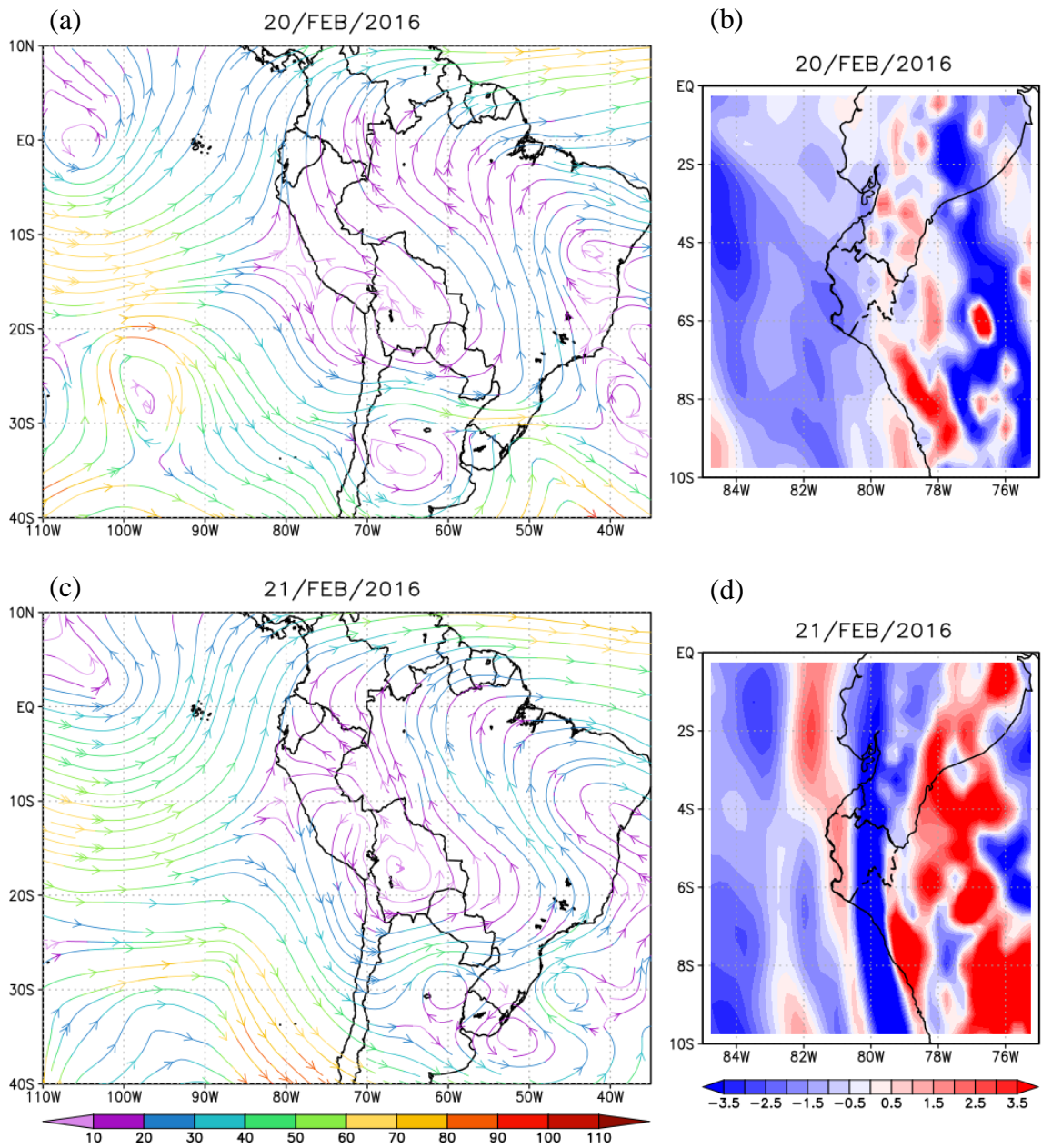


Figura 19: Líneas de corriente y magnitud de viento promedio (kt) en los niveles de 200 hPa, 250 hPa y 300 hPa (a y c) y divergencia horizontal ($10^{-5}(s^{-1})$) a 200 hPa (b y d) para el 20 y 21 de febrero a las 18Z durante la Ola de Calor del 2016.

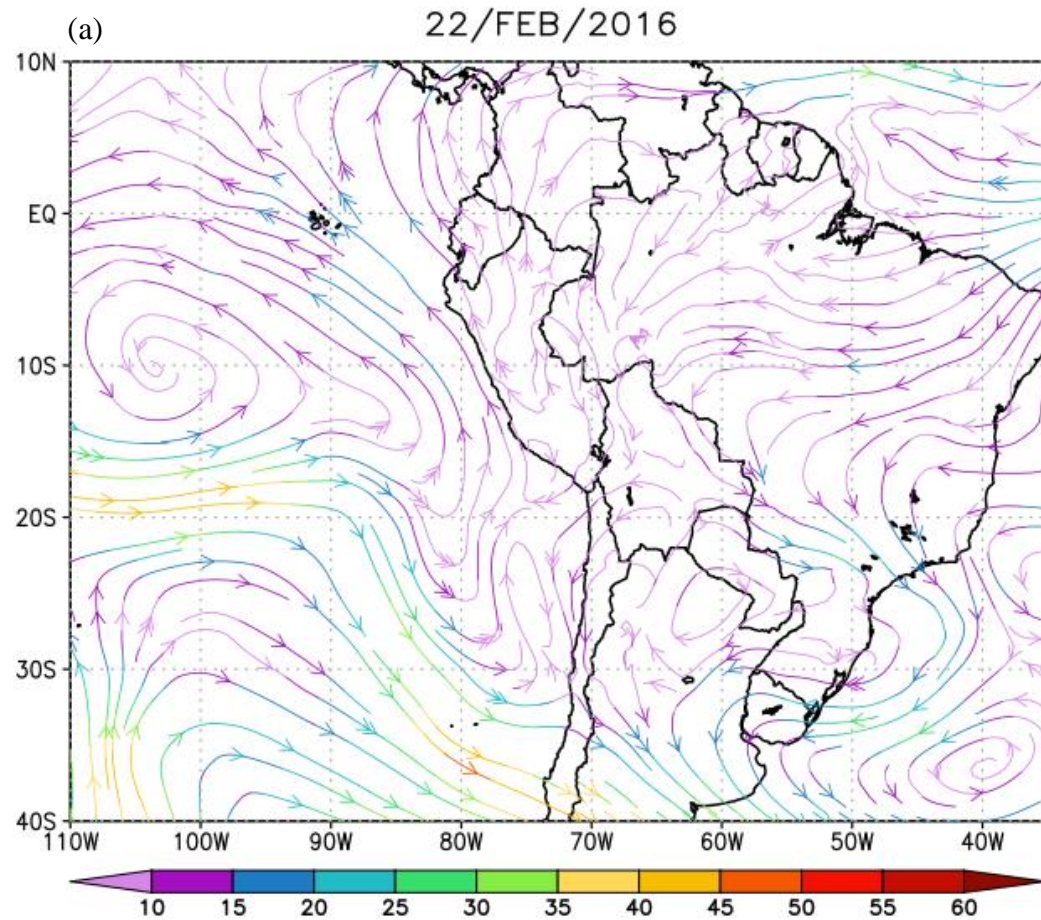
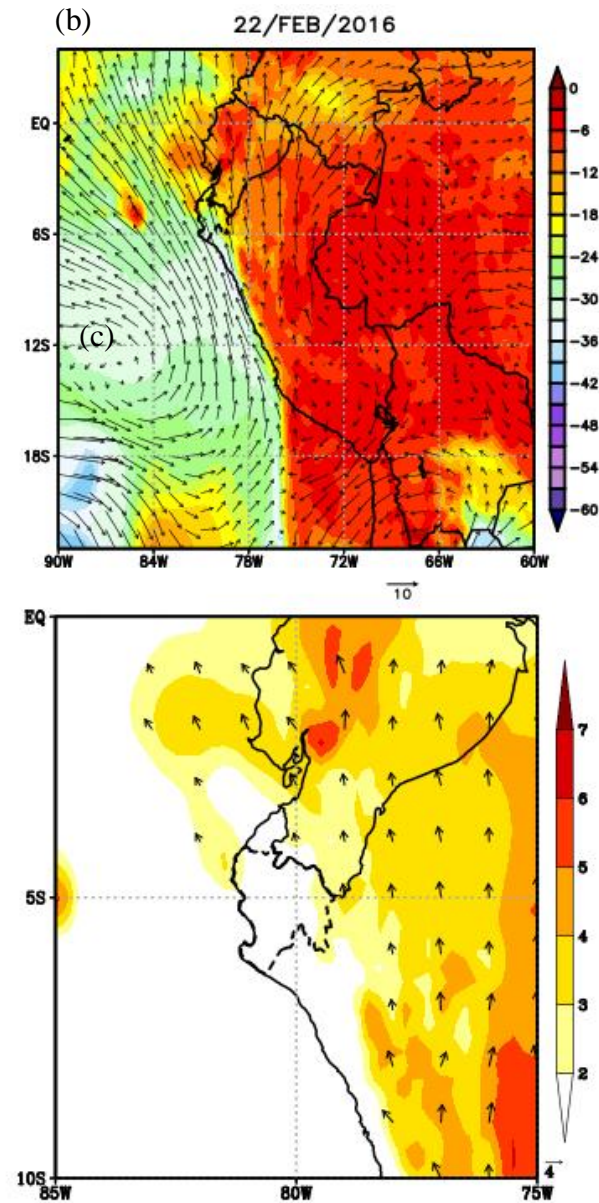


Figura 20: Líneas de corriente y magnitud de viento promedio (kt) en los niveles de 500 y 600 (a), temperatura de rocío ($^{\circ}\text{C}$), vector y velocidad de viento (m/s) a 500 hPa (b) y relación de mezcla ($g * Kg^{-1}$) con flujo de relación de mezcla (*mayor a $2g * Kg^{-1} * m * s^{-1}$*) en el nivel de 500 hPa (c) para el 22 de febrero a las 18Z durante la Ola de Calor del 2016.



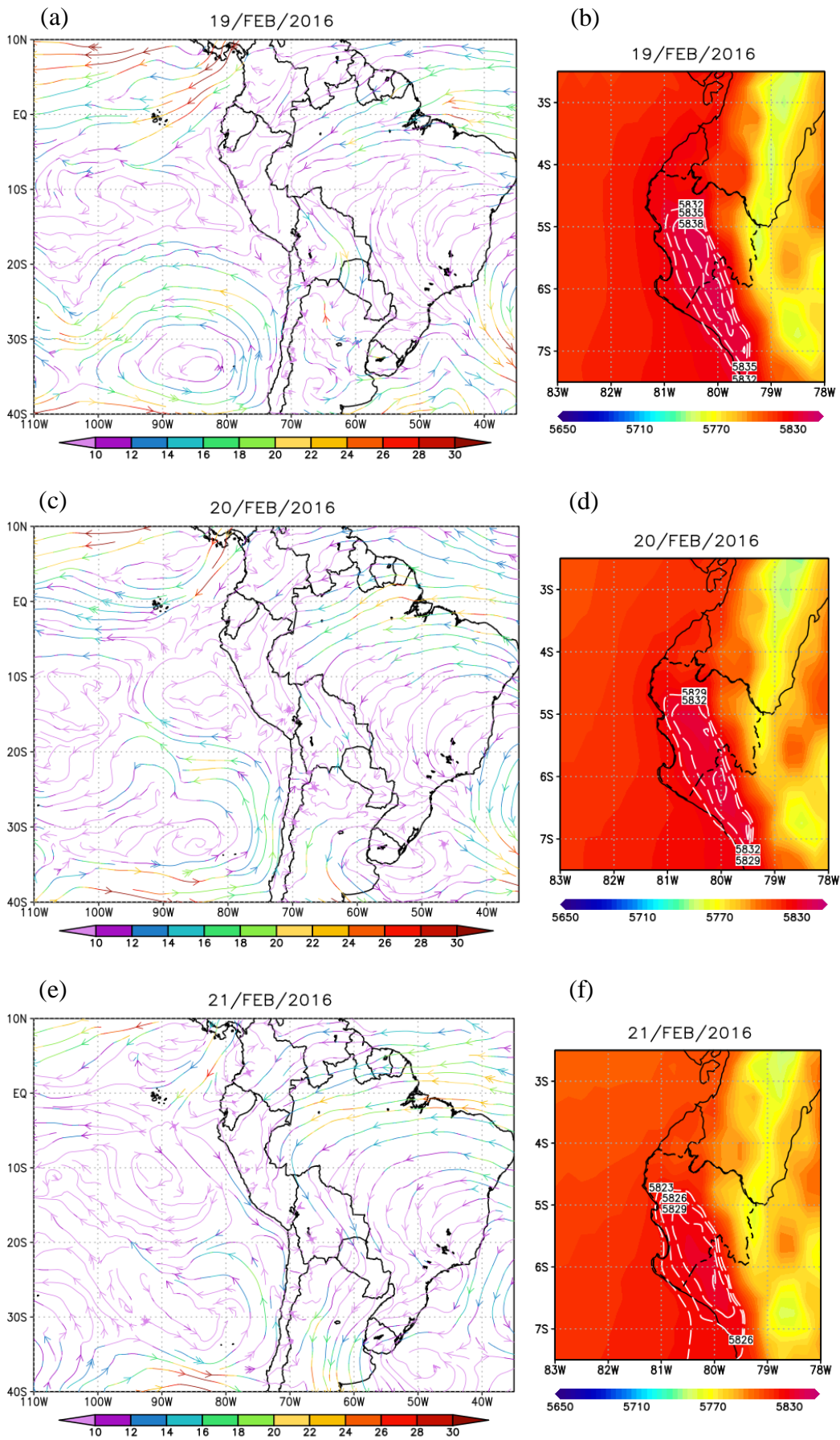


Figura 21: Líneas de corriente y magnitud de viento (kt) a nivel de 850 hPa (a, c y e) y espesor de altura geopotencial (mgp) 1000/500 hPa (b, d, f) para el 19, 20 y 21 de febrero a las 18Z durante la Ola de Calor del 2016.

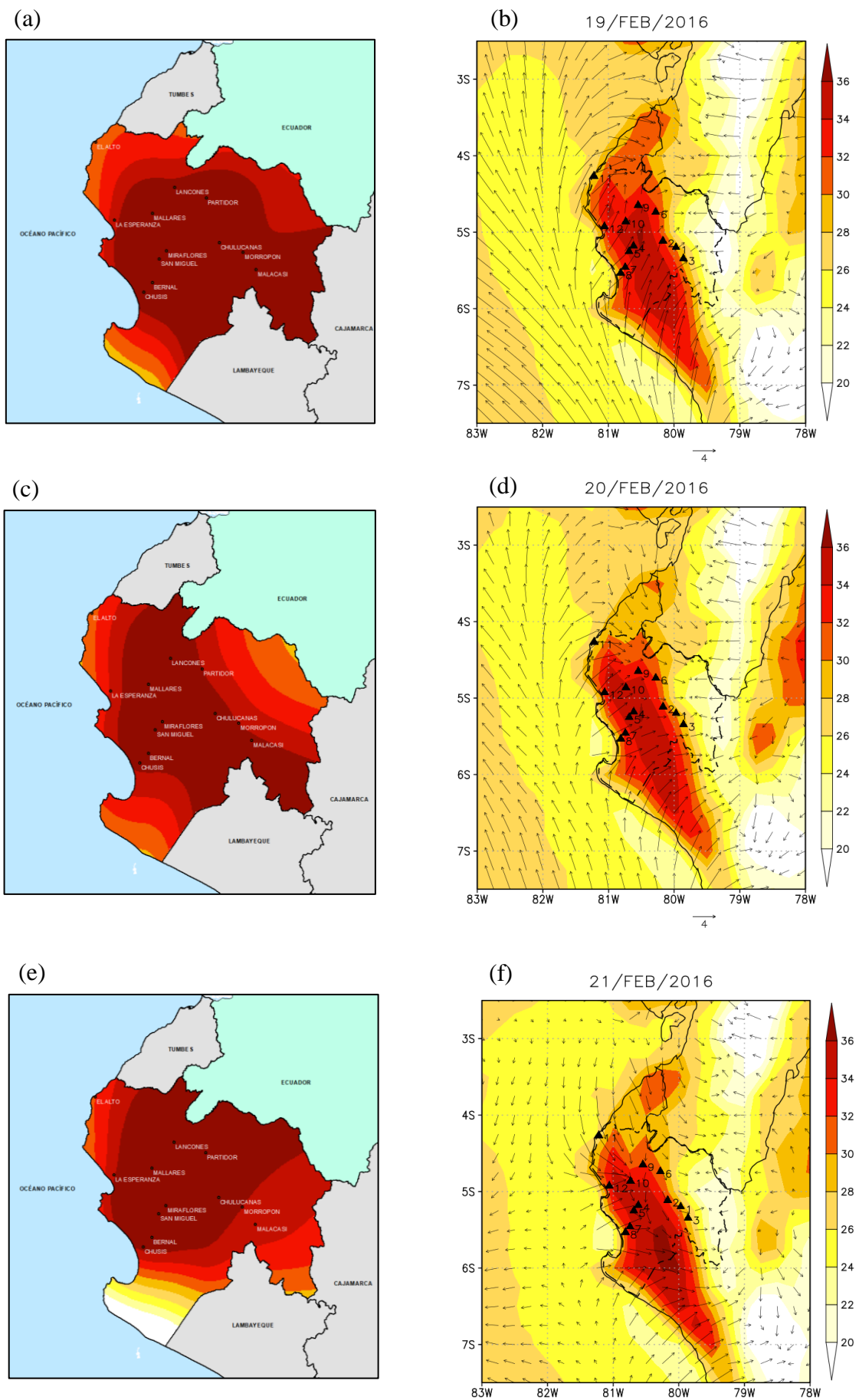


Figura 22: Interpolación de datos de temperatura máxima observada ($^{\circ}\text{C}$) (a, c y e) y temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a 2 m, vector y velocidad de viento (m/s) a 10 m (b, d, f) para el 19, 20 y 21 de febrero a las 18Z durante la Ola de Calor del 2016.

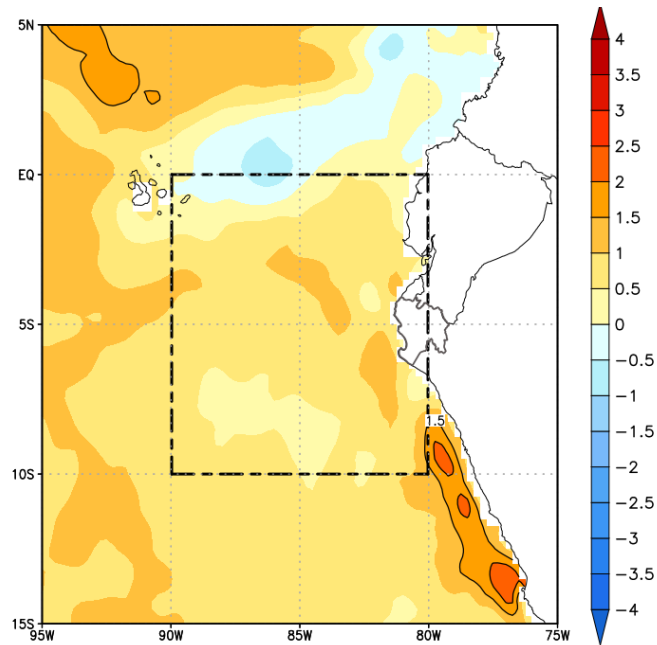


Figura 23: Anomalia de la Temperatura Superficial del Mar (°C) promedio para toda la Ola de Calor desde el 16 al 25 de febrero del 2016.

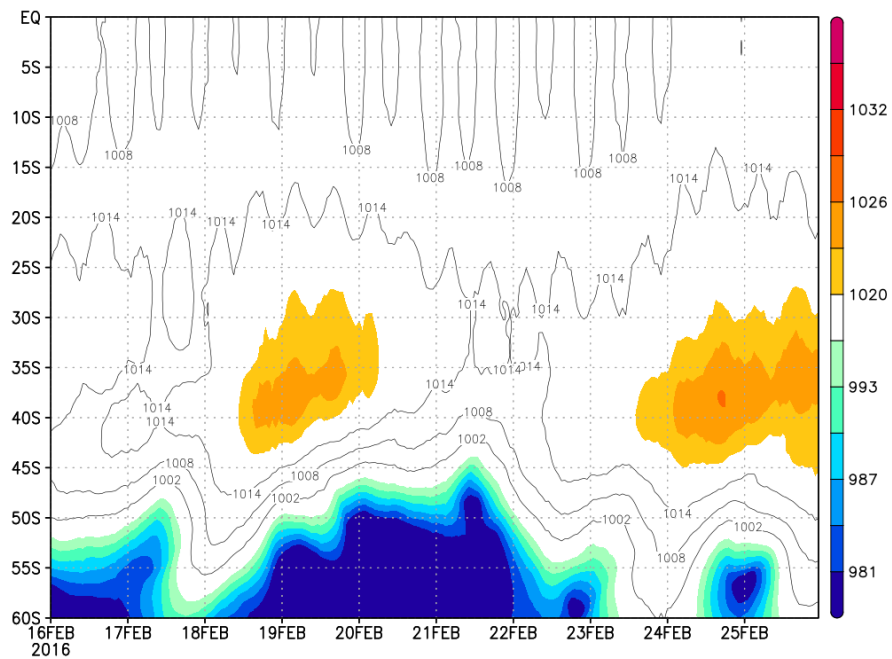


Figura 24: Hovmoller a 85°W para la presión atmosférica reducida a nivel del mar (hPa) para la Ola de Calor desde el 16 al 25 de febrero del 2016.

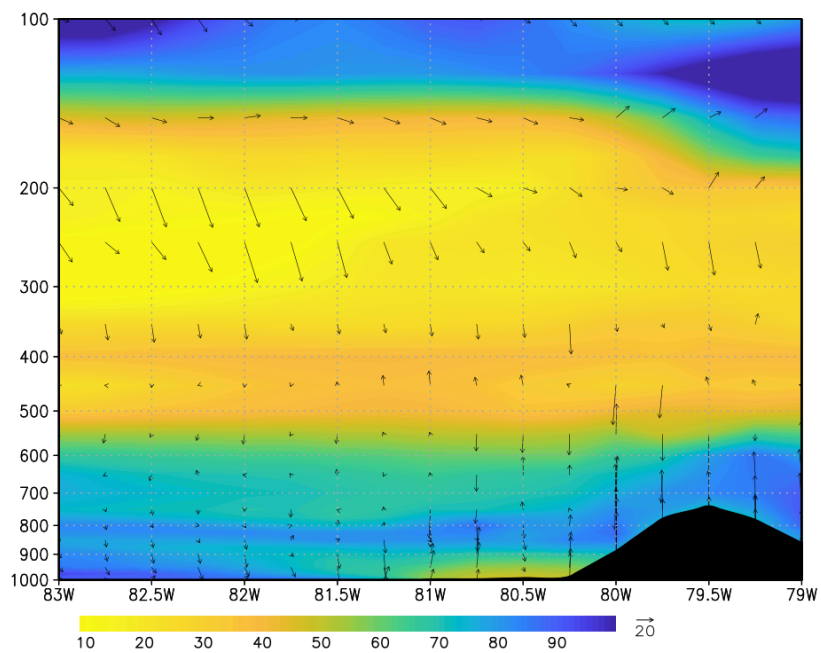


Figura 25: Corte de sección latitudinal promedio entre 4°S – 6°S de la humedad relativa (%) y movimiento vertical (m/s) para el 19 de febrero de 2016 a las 18Z.

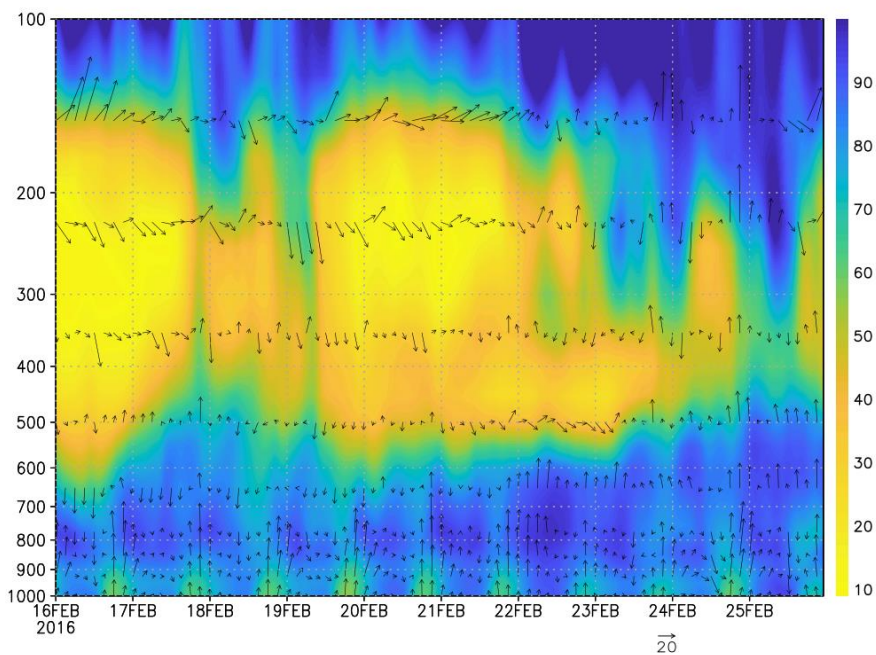


Figura 26: Hovmoller promedio entre 4°S – 6°S y 81.5°W – 79.5°W para la humedad relativa (%) y movimiento vertical (m/s) para la Ola de Calor desde el 16 al 25 de febrero del 2016.

4.2.3. Configuración atmosférica 3, que favoreció el evento (7) de ola de calor del 16 al 18 de enero de 2017.

El evento de ola de calor (evento 7) del 16 al 18 de enero del 2017 en la costa de Piura fue caracterizado por registrar el mayor número (10 estaciones) y porcentaje (81%) de estaciones en un evento de ola de calor (Tabla 23). Asimismo, dicho evento alcanzó una temperatura máxima de 38.4°C en la estación San Miguel (Catacaos) y una duración de 03 días consecutivos.

4.2.3.1. Análisis en niveles altos

Utilizando el promedio 3 niveles de presión (200hPa, 250hPa y 300 hPa) mediante el flujo de líneas de corriente se identificó la predominancia de los vientos del este sobre el noroccidente peruano, asociado a una circulación anticiclónica con su centro ubicado en el el norte de Chile, así también una dorsal sobre el Galápagos (Ecuador) representado para el 17 de enero del 2017 (Figura 27). Dicha configuración atmosférica en niveles altos generó zonas de confluencia de vientos sobre el Pacífico Oriental, asimismo áreas con zonas de valor significativo de convergencia horizontal (áreas azules) sobre parte de la costa de Piura observados 17 de enero (Figura 27).

4.2.3.2. Análisis en niveles medios

Mediante el análisis de líneas de corriente promedio entre 500hPa y 600hPa, se observó la predominancia de flujos del norte y noreste sobre el noroccidente del Perú para el 18 de enero (Figura 28). Por otro lado, se analizó la humedad relativa mediante la temperatura de rocío (Td) y flujo de relación de mezcla, en 500hPa. Se identificó valores muy bajos de Td para el 18 de enero, con registros de hasta -36°C; asimismo valores por debajo de los 2g/Kg de relación de mezcla sobre la costa de Piura (Figura 28). Siendo estas condiciones asociadas a un bajo contenido de humedad en los niveles medios de la tropósfera.

4.2.3.3. Análisis en el espesor 1000hPa-500hPa

Mediante la diferencia de la altura geopotencial entre los niveles de presión de 500 hPa y 1000 hPa se calculó el espesor geopotencial sobre la costa de Piura, identificando valores con isolíneas de hasta 5790m para el 18 de enero (Figura 29)

4.2.3.4. Análisis en niveles bajos de presión

Mediante las líneas de corriente en el nivel de 850hPa se identificó los flujos débiles del norte (generalmente asociados a vientos cálidos y húmedos) en dirección hacia la costa norte del Perú, principalmente el 18 de enero (Figura 29).

4.2.3.5. Análisis en niveles bajos (2 m sobre superficie)

Se analizó y comparó, la temperatura a 2m de las 18UTC del reanálisis del ERA 5 con la temperatura máxima observada (e interpolada) en las estaciones meteorológicas del 18 de enero (Figura 30), encontrando similitudes en la distribución espacial de las temperaturas altas.

4.2.3.6. Análisis de la temperatura superficial del mar - región 1+2

Se realizó un promedio de las anomalías de la temperatura superficial del mar adyacente a la costa de Piura para el periodo del evento de ola de calor, 16 al 18 de enero del 2017. Identificando anomalías positivas de hasta $+2.5^{\circ}\text{C}$, asociado a una temperatura superficial del mar por encima de sus normales, siendo esto una condición favorable para una Ola de Calor.

4.2.3.7. Análisis Howmoller

Se realizó un análisis de la presión atmosférica reducida a nivel de mar mediante un Howmoller en una longitud 85°W y en una distribución latitudinal entre 0° y 60°S . Identificando un Anticiclón del Pacífico Sur Oriental (APSO) en su posición habitual durante la vigencia del evento. Los registros de la intensidad de núcleo fueron similares a 1020 hPa para el 17 de enero, asimismo con una posición aprox de 35°S (Figura 32).

4.2.3.8. Análisis en un corte latitudinal

Se realizó un corte de una sección latitudinal promedio entre 4°S – 6°S de la humedad relativa (%) y movimiento vertical (m/s) para una longitud entre 83°W y 79°W en todos los niveles de presión para el 17 de enero. Se identificó una significativa capa seca entre los 300hPa y los 700hPa aprox. en toda la sección latitudinal, asimismo entre los 81°W y 80.5°W un leve movimiento vertical descendente, asociado a procesos subsidentes sobre la costa de Piura (Figura 25)

En resumen, en la tercera configuración, se identificó vientos predominantes e intensos del oeste interactuando con el Alta de Bolivia generando zonas de convergencia sobre la costa de Piura. Lo anterior influyó ingresos de vientos del oeste sobre el noroccidente del Perú favoreciendo valores muy bajos de temperatura de rocío de hasta -36°C en 500 hPa (4km-6km de altura), en otras palabras favoreció que las capas medias contengan bajos valores de humedad. Así también, se evidenció el ingreso de vientos débiles del norte (cálidos y húmedos) en los niveles bajos de la tropósfera. Finalmente, se observó anomalías positivas de hasta $+2.5^{\circ}\text{C}$ de la temperatura superficial del mar en la región Niño 1+2.

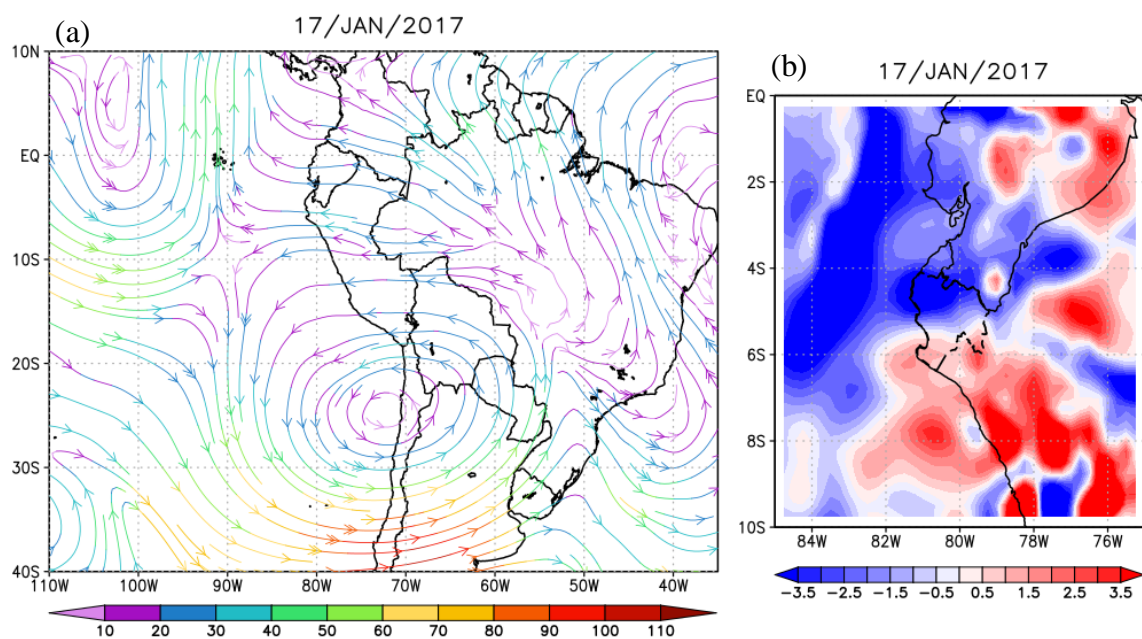


Figura 27: Líneas de corriente y magnitud de viento promedio (kt) en los niveles de 200 hPa, 250 hPa y 300 hPa (a) y divergencia horizontal ($10^{-5}(\text{s}^{-1})$) a 200 hPa (b) para el 17 de enero a las 18Z durante la Ola de Calor del 2017.

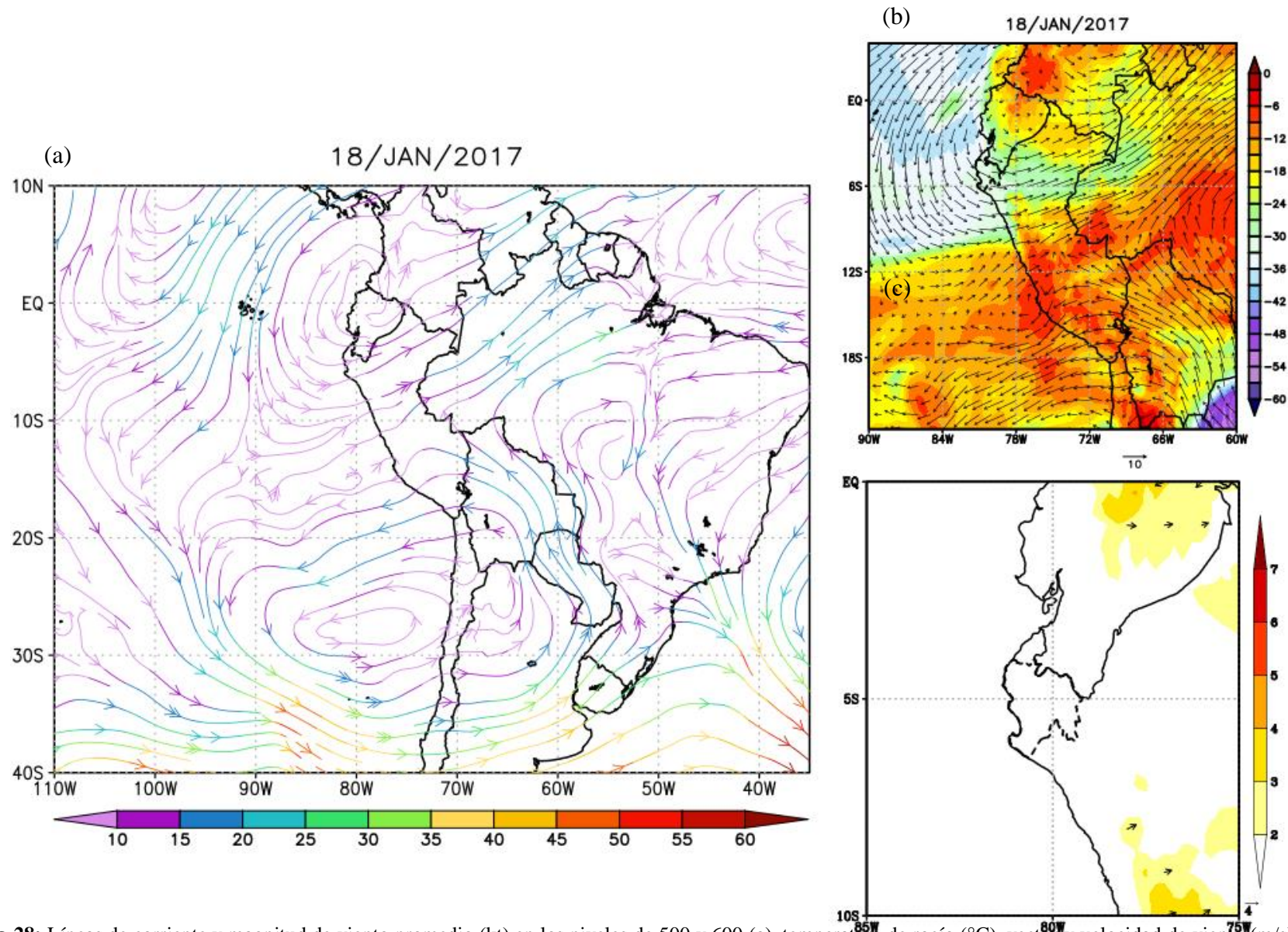


Figura 28: Líneas de corriente y magnitud de viento promedio (kt) en los niveles de 500 y 600 (a), temperatura de rocío ($^{\circ}C$), vector y velocidad de viento (m/s) a 500 hPa (b) y relación de mezcla ($g \cdot Kg^{-1}$) con flujo de relación de mezcla ($mayor a 2g \cdot Kg^{-1} \cdot m \cdot s^{-1}$) en el nivel de 500 hPa (c) para el 18 de enero a las 18Z durante la Ola de Calor del 2017.

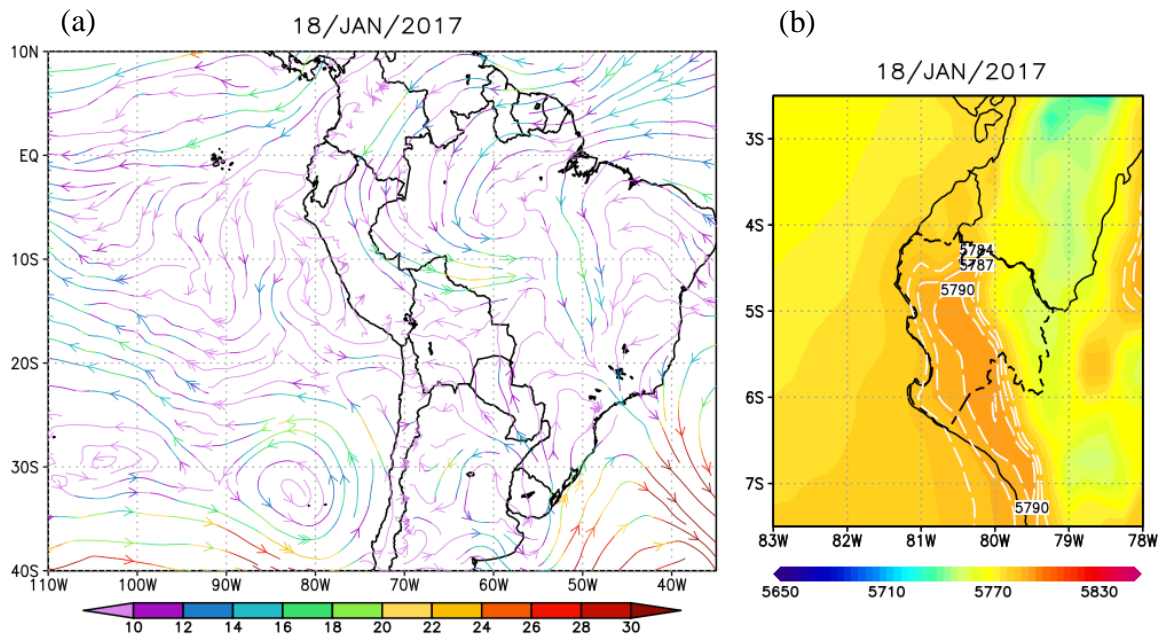


Figura 29: Líneas de corriente y magnitud de viento (kt) a nivel de 850 hPa (a) y espesor de altura geopotencial (m) 1000/500 hPa (b) para el 18 de enero a las 18Z durante la Ola de Calor del 2017.

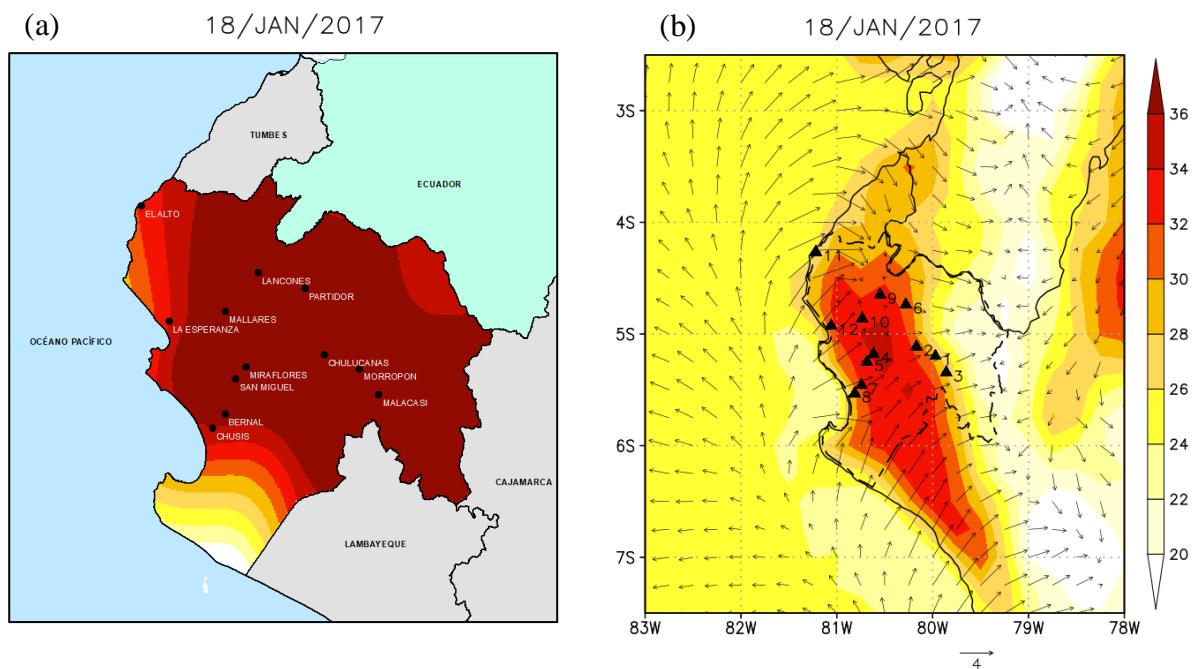


Figura 30: Interpolación de datos de temperatura máxima observada (°C) (a) y temperatura (°C) a 2 m, vector y velocidad de viento (m/s) a 10 m (b) para el 18 de enero a las 18Z durante la Ola de Calor del 2017

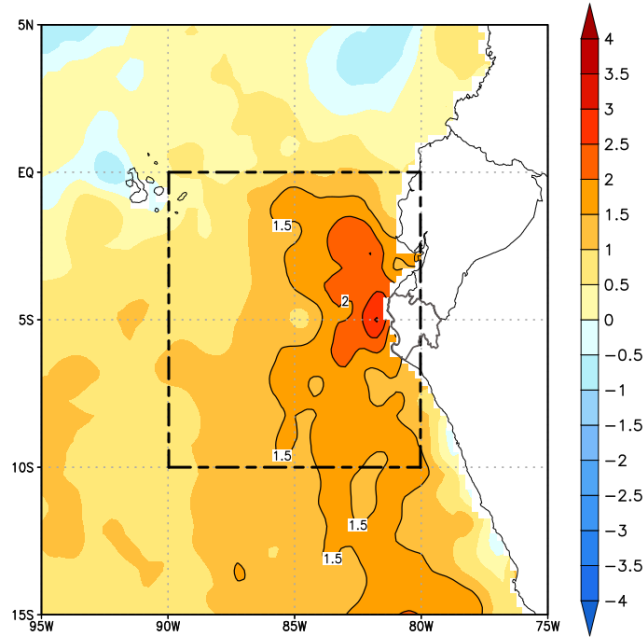


Figura 31: Anomalía de la Temperatura Superficial del Mar (°C) promedio para toda la Ola de Calor desde el 16 al 18 de enero del 2017.

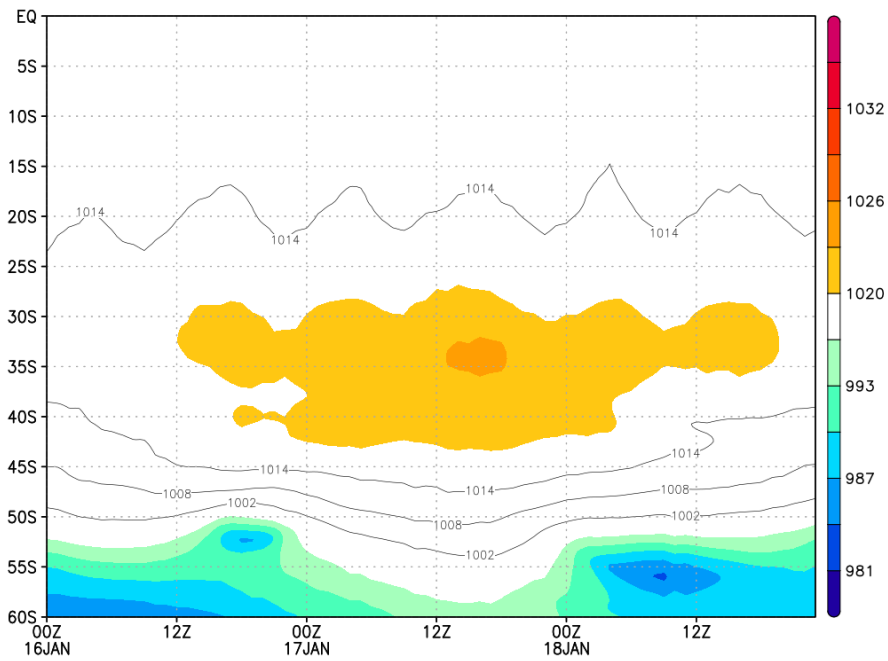


Figura 32: Hovmoller a 85°W para la presión atmosférica reducida a nivel del mar (hPa) para la Ola de Calor desde el 16 al 18 de enero del 2017

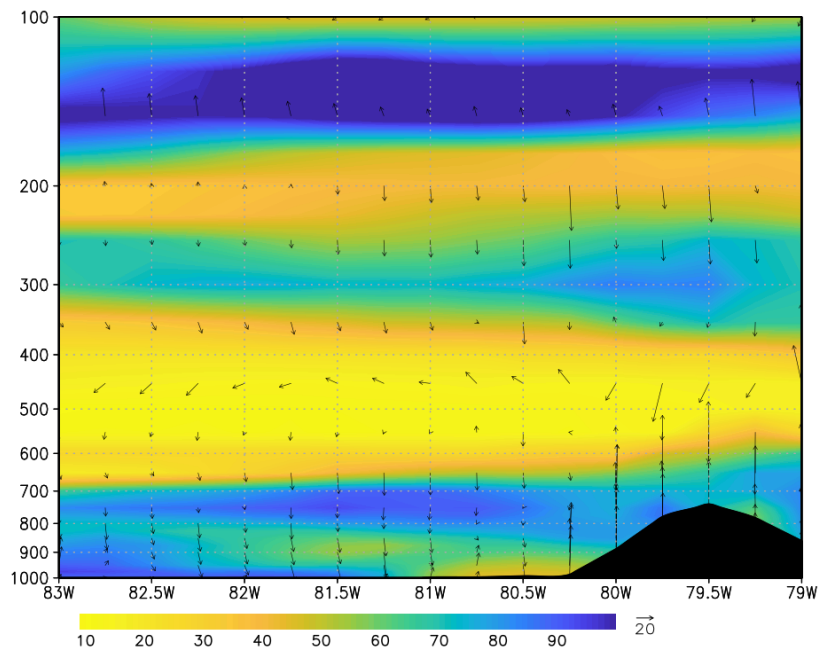


Figura 33: Corte de sección latitudinal promedio entre 4°S – 6°S de la humedad relativa (%) y movimiento vertical (m/s) para el 17 de enero de 2017 a las 18Z.

4.2.3.9. Imágenes satelitales Goes-13

La Figura 34 muestra las imágenes satelitales correspondientes al satélite geoestacionario GOES-13 en la banda visible ($0.65 \mu\text{m}$). La Figura 34(a) corresponde al evento 4 para el 27 de febrero de 2013, la Figura 34(b) al evento 5 con fecha de 19 de febrero de 2016 y la Figura 34(c) al evento 7 con fecha de 18 de enero de 2017. Se observó condiciones de escasa o nula cobertura nubosa sobre la zona noroccidental del Perú, incluyendo la zona costera de la región Piura, que se identifica con valores inferiores al 24% de reflectancia. Asimismo, todas las imágenes satelitales corresponden a las 18UTC.

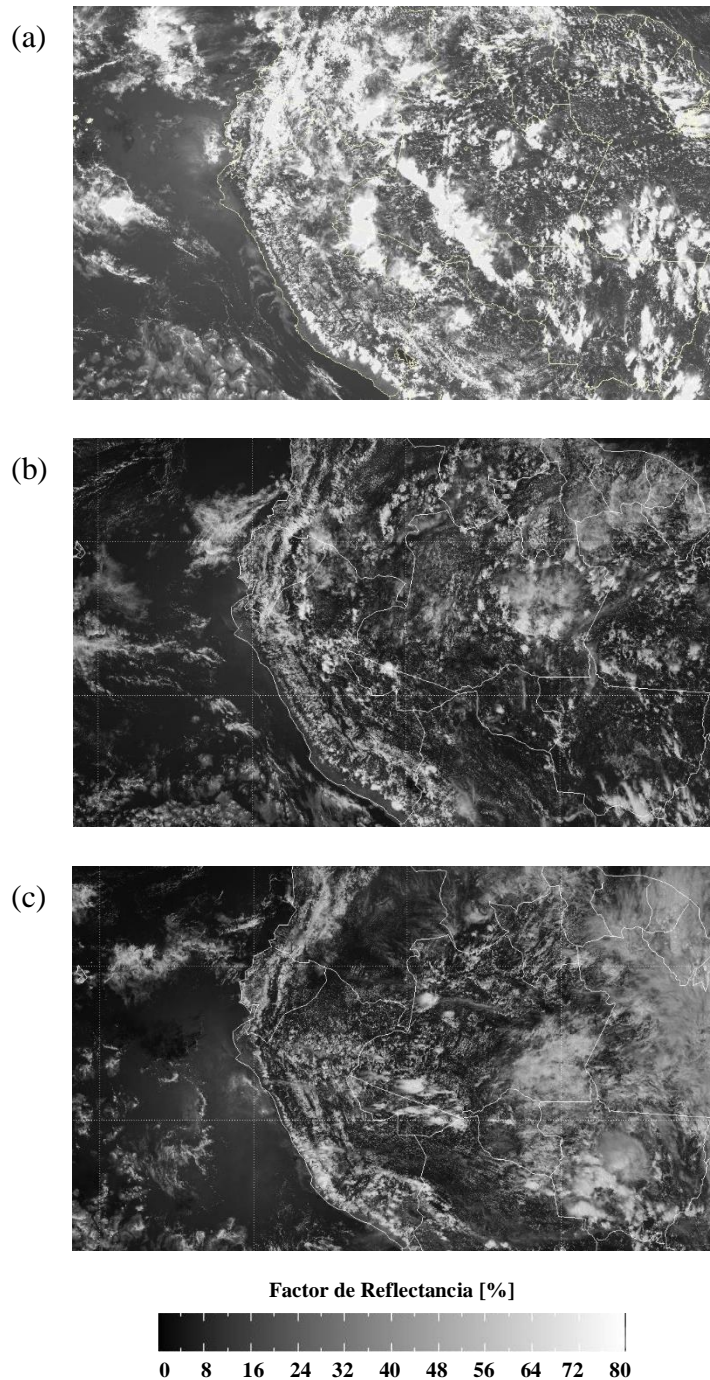


Figura 34: Imágenes satelitales del Goes-13 en la banda visible ($0.65 \mu\text{m}$) para las fechas y eventos 4, 5 y 7 correspondientes: 27 de febrero de 2013 (a), 19 de febrero de 2016 (b) y 18 de enero de 2017 (c) a las 18Z.

FUENTE: Centro de Previsión de tiempo y estudios climáticos (CPTEC)

4.3. Modelo conceptual para la ocurrencia de Olas de Calor

4.3.1. Configuración 1 (evento 4 de ola de calor)

La configuración particular que representa la ola de calor del evento 4 identifica en niveles altos la confluencia de vientos de oeste y del este, los cuales son influenciados por una

vaguada y por la circulación anticiclónica de la Alta de Bolivia, respectivamente. En niveles bajos, se observa la presencia de vientos del norte (masas de aire cálido) que ingresan sobre la región costera del Perú, debido a un alejamiento del Anticiclón del Pacífico Sur Oriental (APSO), aunque con registro de temperatura superficial del mar por debajo de sus valores climáticos en la región 1+2.

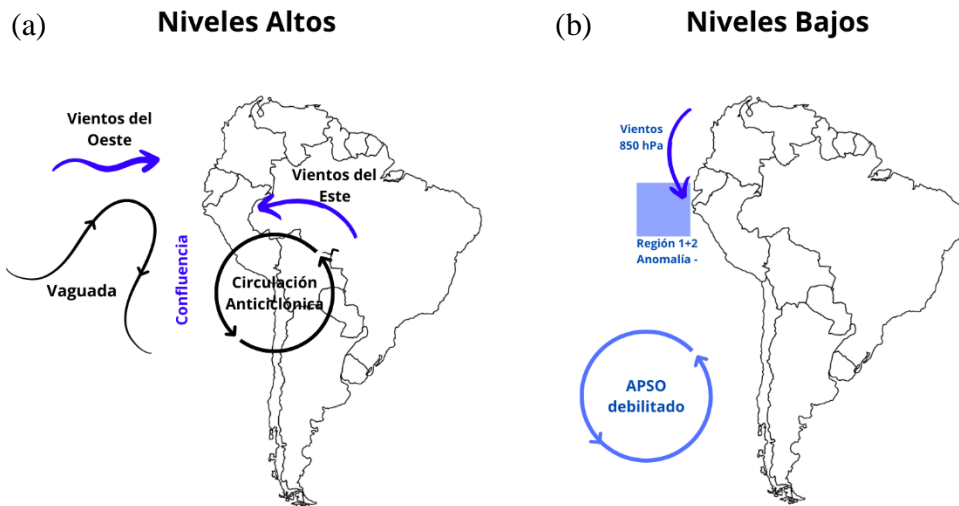


Figura 35: Configuración en niveles altos (200-300 hPa) de los flujos de vientos (a) y configuración en niveles bajos y superficiales (b).

4.3.2. Configuración 2 (evento 5 de ola de calor)

La configuración particular que representa la ola de calor del evento 5 identifica en niveles altos la confluencia de vientos del suroeste y del sureste. Estos son influenciados por flujos del oeste (de mayor velocidad) y la circulación anticiclónica (sobre el Altiplano). En niveles medios, se observa la presencia de vientos del suroeste frente a la costa del Perú, que advectan aire seco posicionándose sobre la región de Piura. En niveles bajos, se registra la presencia de vientos del norte que ingresan sobre la región costera del Perú debido a un alejamiento del Anticiclón del Pacífico Sur Oriental (APSO), además con temperatura superficial del mar por encima de sus valores climáticos en la región 1+2.

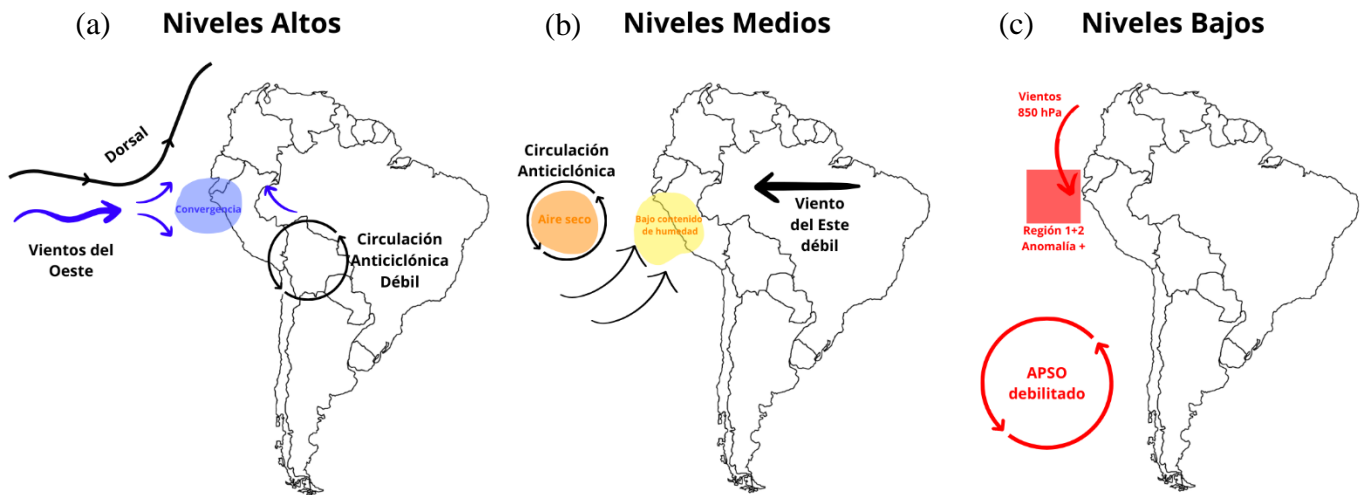


Figura 36: Configuración en niveles altos de los flujos de vientos (a), configuración en niveles medios (b) y configuración en niveles bajos y superficiales (c).

4.3.3. Configuración 3 (evento 7 de ola de calor)

La configuración particular que representa la ola de calor del evento 7, identifica sobre la región de Piura, la confluencia de vientos del oeste y del este en niveles altos. Estos son influenciados por una dorsal y la circulación anticiclónica del Alta de Bolivia. En niveles medios, se observa la advección de aire seco sobre Piura debido a la presencia de vientos del norte y noreste desde Pacífico Oriental. En niveles bajos, se registra la presencia de vientos del norte que ingresan sobre la región costera del Perú debido a un alejamiento del Anticiclón del Pacífico Sur Oriental (APSO), además con temperatura superficial del mar por encima de sus valores climáticos en la región 1+2, incluso alcanzando umbrales de un Niño Costero.

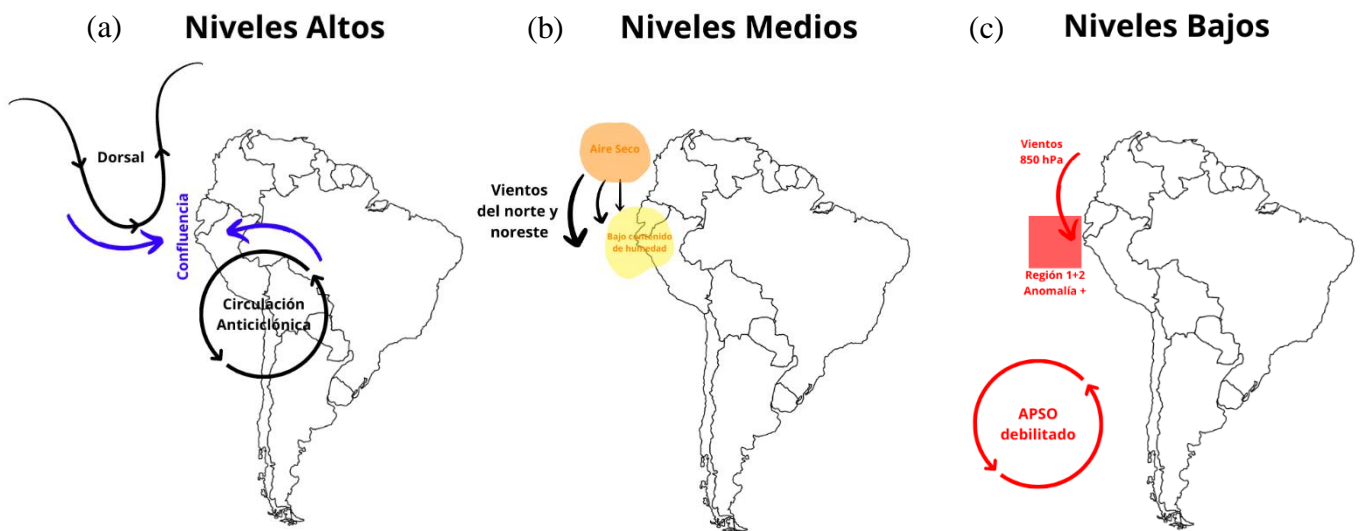


Figura 37: Configuración en niveles altos de los flujos de vientos (a), configuración en niveles medios (b) y configuración en niveles bajos y superficiales (c).

V. CONCLUSIONES

- Se identificaron 11 eventos de olas de calor en base a los percentiles P90 decadiario y global de la variable de temperatura máxima diaria, en la costa del departamento de Piura, para el trimestre enero-marzo del periodo 2010-2019.
- Se analizaron tres configuraciones atmosféricas que favorecieron la ocurrencia de Olas de Calor a escala sinóptica con información del modelo ERA5 en el periodo 2010-2019. Lo más favorable y predominante, en la configuración 1 fueron los flujos persistentes del oeste en el nivel de 200 hPa; en la configuración 2, sumado a los flujos del oeste en el nivel de 200 hPa, se configura una circulación anticiclónica que advecta aire seco en el nivel de 500 hPa; y en la configuración 3, sumado a los flujos en niveles altos, se intensifica los flujos del oeste en el nivel de 500 hPa, así también es favorable la presencia de anomalías mayores a $+2^{\circ}\text{C}$ de la temperatura superficial del mar en la región 1+2.
- Se determinó tres modelos conceptuales para la ocurrencia de Ola de Calor sobre la región de Piura, durante el trimestre enero-marzo para el periodo 2010-2019. En el primer modelo conceptual (o configuración 1) se analiza en niveles altos (200 hPa – 300 hPa) los flujos del oeste y flujos débiles del este (núcleo de Alta de Bolivia desplazada al sur), flujos del norte en niveles bajos (850 hPa – 1000 hPa) de la tropósfera y un APSO débil; el segundo modelo conceptual (o configuración 2) es similar al primer modelo, pero se enlaza o complementa con el análisis de una circulación anticiclónica en niveles medios de la tropósfera frente a la zona de estudio; finalmente, el tercer modelo conceptual (o configuración 3) añade el análisis de una dorsal en altura (200 hPa), flujos del oeste en los niveles medios de la tropósfera, así también la presencia de anomalías positivas de la temperatura superficial del mar en la región 1+2 consideradas en un contexto de Niño Costero.

VI. RECOMENDACIONES

- Utilizar una metodología de identificación de olas de calor referido al hemisferio sur y de condiciones climáticas similares a Piura, que considere aspectos específicos de la dinámica atmosférica.
- Utilizar otra fuente de datos climáticos para el análisis de las configuraciones sinópticas que propician un evento de ola de calor, asimismo para validar y comparar resultados con el modelo ERA 5.
- Realizar un análisis de tendencias climáticas para un periodo largo (30 años) con la finalidad de encontrar información sobre los cambios a largo plazo de las condiciones climáticas (temperaturas) en la región de Piura.
- Utilizar modelos climáticos regionales de mayor resolución que puedan simular de forma precisa los eventos de olas de calor.
- Ampliar el periodo de investigación de identificación de olas de calor, en el contexto del aumento de la temperatura media global de los océanos y el aire. Considerando que el año 2023 ha sido catalogado como el año más cálido. (Fuente: NASA)

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEMET. (2000). *Olas de calor en España desde 1975 - área de climatología y aplicaciones operativas* (Vol. 1, Issue 20, p. 220).
- Aguilar-León, P., & Solano-Zapata, F. (2016). Golpes de calor y salud: reflexiones a propósito del fenómeno El Niño en Piura, Perú. *Cadernos de Saúde Pública*, 32(9)(9), 3. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00046816>
- Alfaro, L. (2014). Estimación de Umbrales de Precipitaciones Extremas para la emisión de avisos Meteorológicos. *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología Del Perú*, 1–11. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01402SENA-6.pdf>
- American Meteorological Society. (2018). *AMS Glossary*. Recuperado de : http://glossary.ametsoc.org/wiki/Main_Page
- Ballester, F. (2008). El impacto del calor extremo en la salud: Nuevos retos para la epidemiología y la salud pública. *Revista Española de Salud Pública*, 82(2), 147–151. <https://doi.org/10.1590/S1135-57272008000200001>
- Banco Central de Reserva del Perú. (2018). *Caracterización económica del departamento de Piura [report]*. 1–10. <http://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Piura/piura-caracterizacion.pdf>
- Castillo Gálvez, F. C. (2018). *Olas de Calor en la Amazonía Peruana*.
- Castro, P. De, & Rodríguez, M. de C. (2011). Identificación de olas de calor en Galicia en el periodo 1987-2006: Efectos sobre la mortalidad. *Avances En Ciencias*, 52–64. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5504294>
- Comité Técnico del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN). (2012). *Definición operacional de los eventos el niño y la niña y sus magnitudes en la costa del Perú*.
- Guijarro, J. (2018). Homogenización de series climáticas con Climatol (versión 3.1.1). Recuperado de https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/12185/1/homog_climatol-es.pdf

- Guijarro, J. (2023). Guía de uso del paquete de R climatol (versión 4.0.7). Recuperado de:
<https://www.climatol.eu/climatol4-es.pdf>
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Horányi, A., Sabater, J. M., Nicolas, J., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., & Dee, D. (2020). *ERA5 Global reanalysis: goodbye ERA-Interim*, 159, 1–13.
- INEI, & SENAMHI. (n.d.). *Ficha Técnica*. Recuperado de:
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1416/fichas.pdf
- Instituto Nacional de Salud, 1998. (1998). *Dr . Marino Costa Bauer Dr . Carlos Carrillo Parodi Blga . Edi Higuchi , Dr . Adolfo Tirado , Ec . Salomón Gámez*. 1–23.
- Ledesma Jimeo, M. (2011). Principio de meteorología y climatología. Prmera edición. Ediciones Paraninfo.
- MINAM. (2016). El Perú y el Cambio Climático. Tercera Comunicación Nacional del Perú. *Convención Marco de Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático*, 662.
<http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/05/Tercera-Comunicación.pdf>
- Miranda M., J., Cabezas S., C., Maguiña V., C., & Valdivia M., J. (2003). Hipertermia durante el fenómeno de El Niño, 1997-98. *Rev. Peru. Med. Exp. Salud Publica*, 20(4), 1997–1998. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2003.204.917>
- Mu, A. (2019). Línea base ambiental. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Organización Meteorológica Mundial. (2000). Guía del Sistema Mundial de proceso de datos - OMM N° 305. Recuperado de
https://library.wmo.int/viewer/28727/download?file=305_Ed-1993_es.pdf&type=pdf&navigator=1
- Organización Meteorológica Mundial. (2014). El Niño/Oscilación del Sur. *Organización Meteorológica Mundial Tiempo-Clima-Agua*, 1, 12.
- Quispe, K. (2019). *Patrones sinópticos de una dana asociados a la ocurrencia de nevadas en la sierra central y sur del Perú*.
- Ramos Jauregui, L. Y. (2014). *Estimación del efecto del cambio climático en la*

precipitación de la costa Norte del Perú usando simulaciones de modelos climáticos globales. Universidad Nacional Agraria La Molina.

SENAMHI. (2009). Escenarios Climáticos en el Perú para el año 2030. – Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático. *Resumen Técnico. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), Lima, 26 pp.*

SENAMHI. (2005). Escenarios del cambio climático en el Perú al 2050 : cuenca del Río Piura.

SENAMHI. (2016). Altas temperaturas en el Norte.

SENAMHI. (2020). Mapa climático del Perú. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=mapa-climatico-del-peru>

SENAMHI. (2021). Atlas de temperaturas del aire y precipitación en el Perú. Recuperado de <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/1339>

SENAMHI. (2023). Control de calidad automático de datos de estaciones meteorológicas convencionales en el centro de procesamiento de datos del SENAMHI - Instructivo: IN-DRD-13. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/00711SENA-98.pdf>

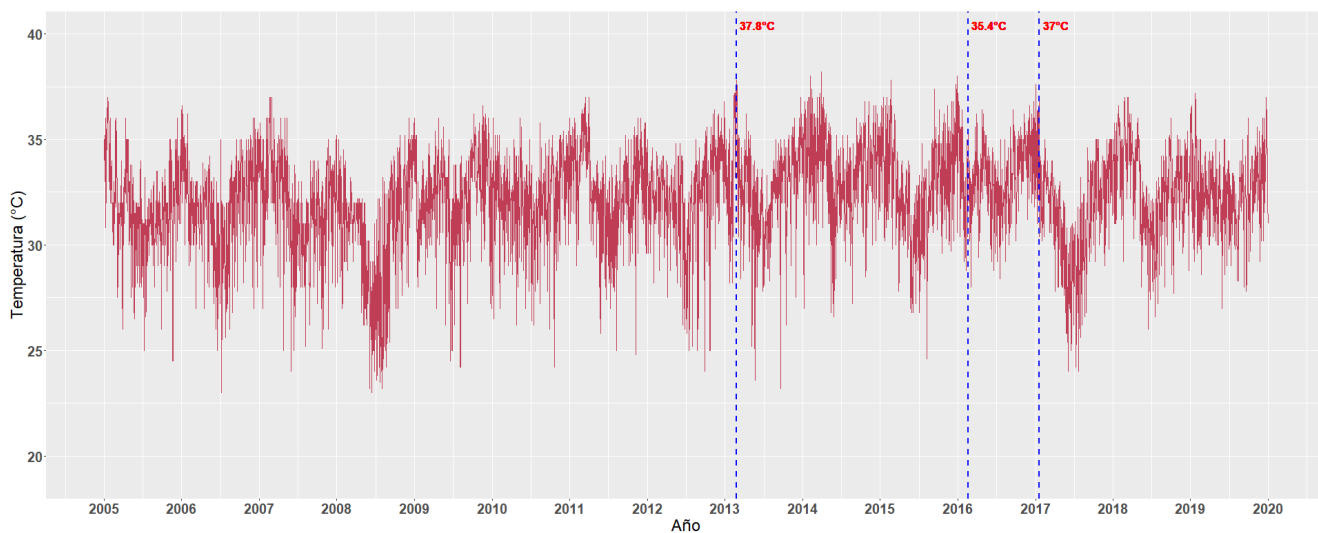
Takahashi, K. (2017). Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño. *Instituto Geofísico Del Perú, 4, 7.*

Torres, L. (2010). Análisis económico del cambio climático en la agricultura de la región Piura-Perú. In *Universidad Nacional de Piura - CIES.*

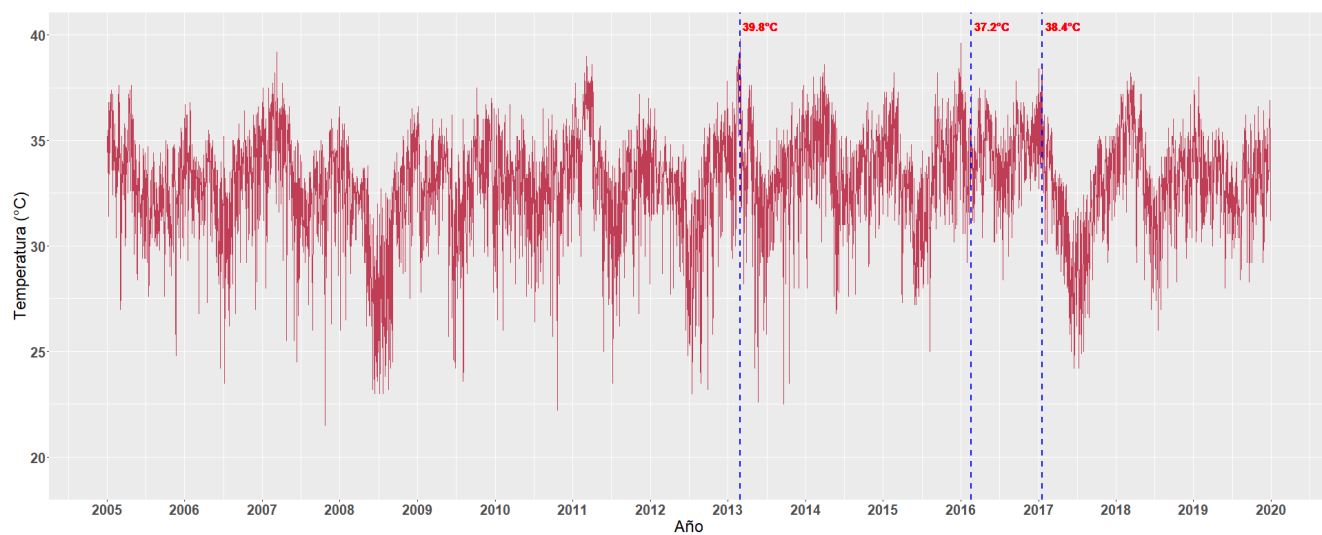
Vilchis, R. (2014). Cuartiles, deciles y percentiles. *Universidad Autonoma Del Estado de Hidalgo, 1–13.*

VIII. ANEXO

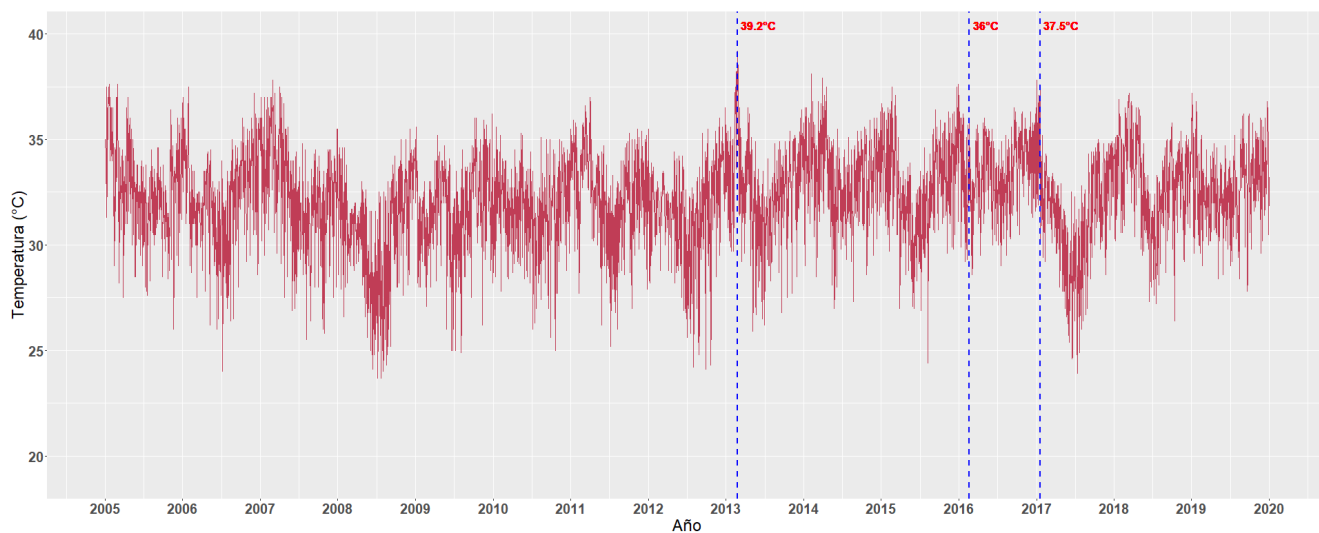
Anexo 1: Serie de tiempo de temperaturas máximas para la estación Morropón en el periodo 2005 – 2019



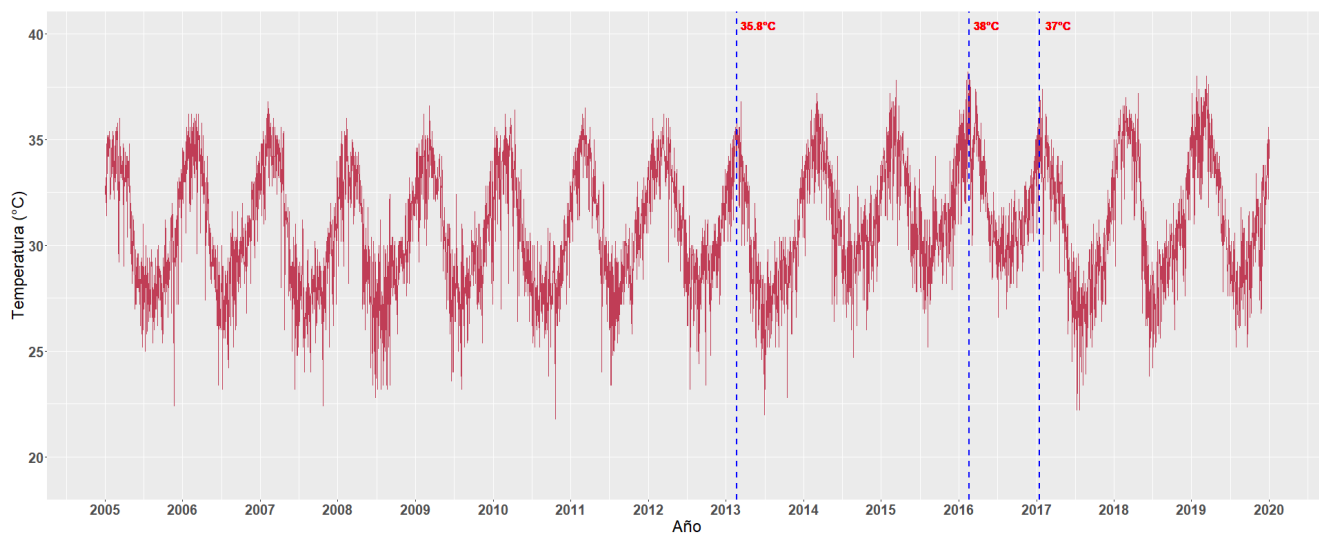
Anexo 2: Serie de tiempo de temperaturas máximas para la estación Chulucanas en el periodo 2005 – 2019



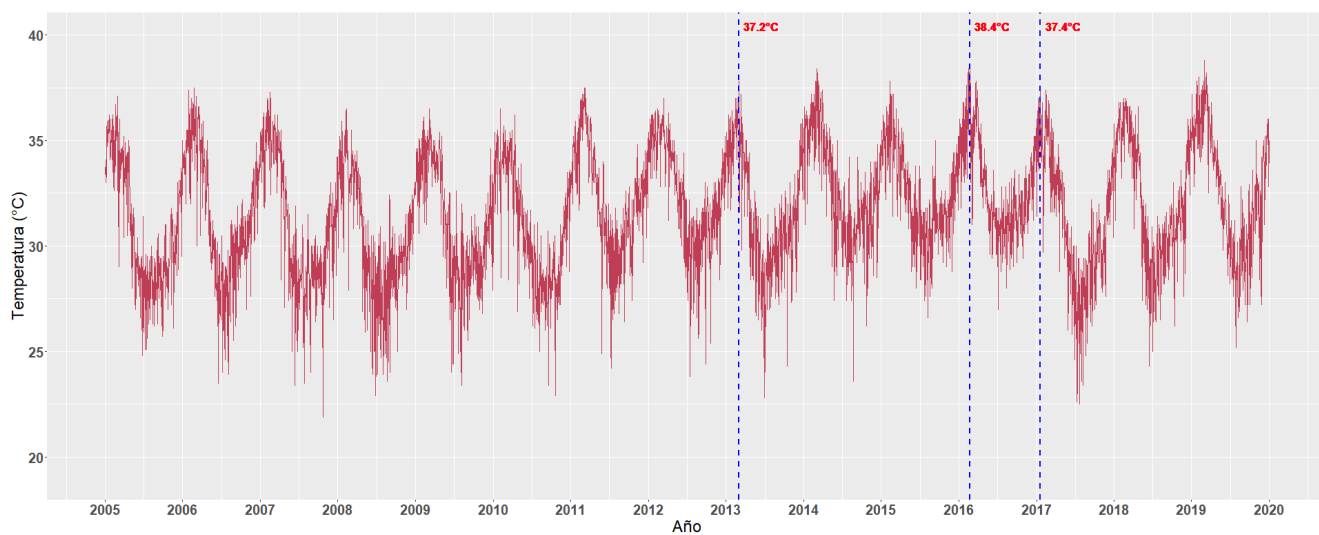
Anexo 3: Serie de tiempo de temperaturas máximas para la estación Malacasi en el periodo 2005 – 2019



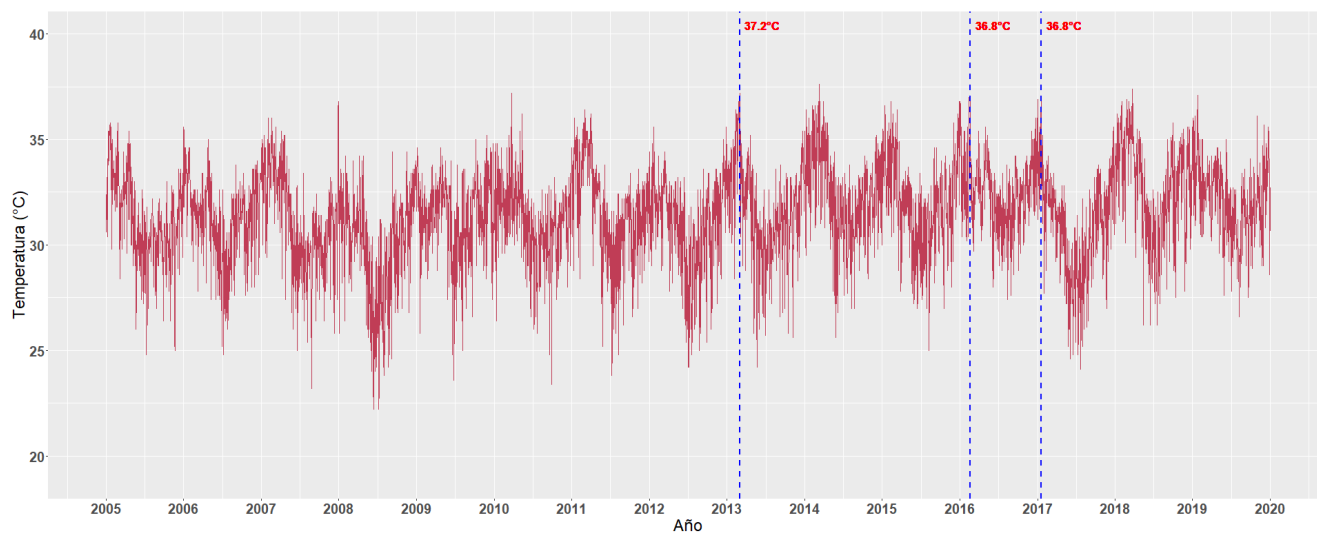
Anexo 4: Serie de tiempo de temperaturas máximas para la estación Miraflores en el periodo 2005 – 2019



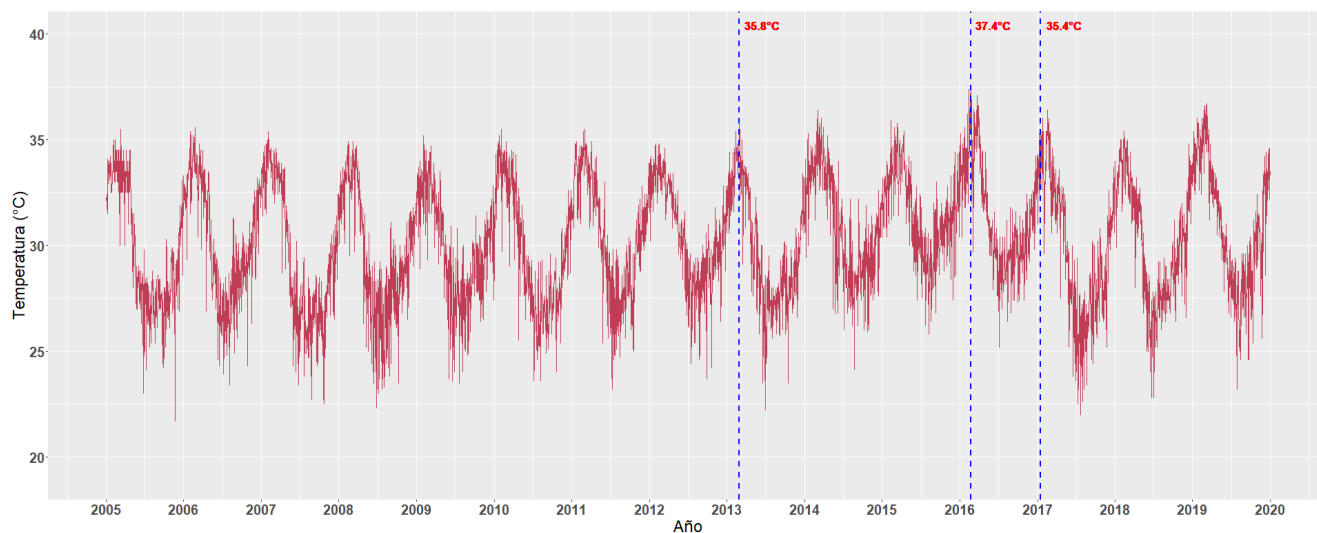
Anexo 5: Serie de tiempo de temperaturas máximas para la estación San Miguel en el periodo 2005 – 2019



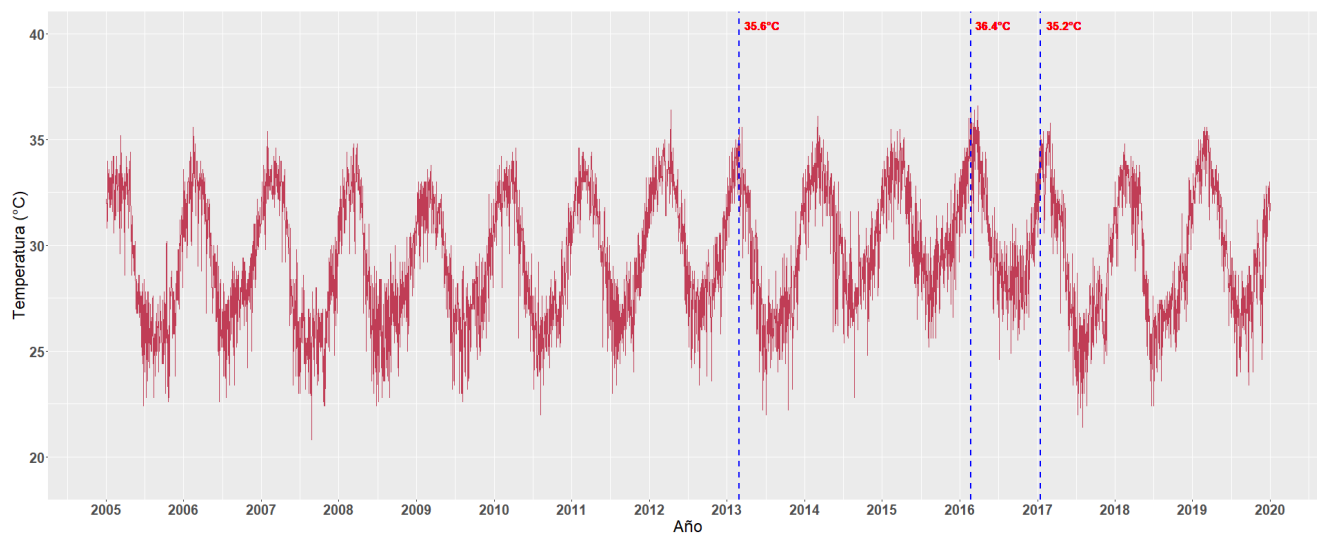
Anexo 6: Serie de tiempo de temperaturas máximas para la estación Partidor en el periodo 2005 – 2019



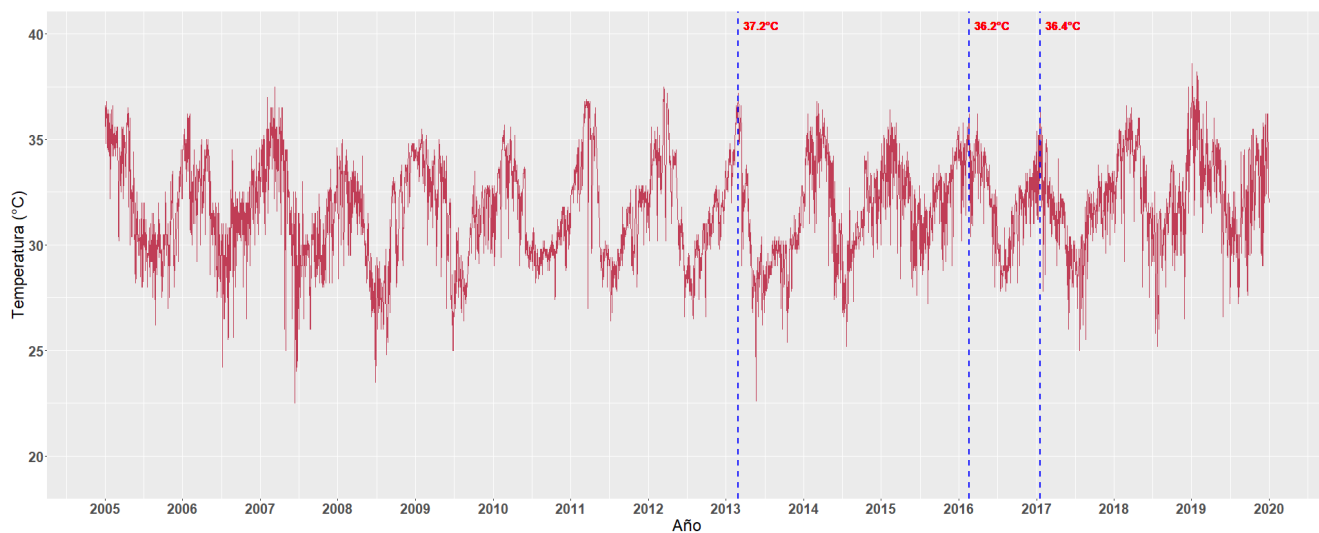
Anexo 7: Serie de tiempo de emperaturas máximas para la estación Bernal en el periodo 2005 – 2019



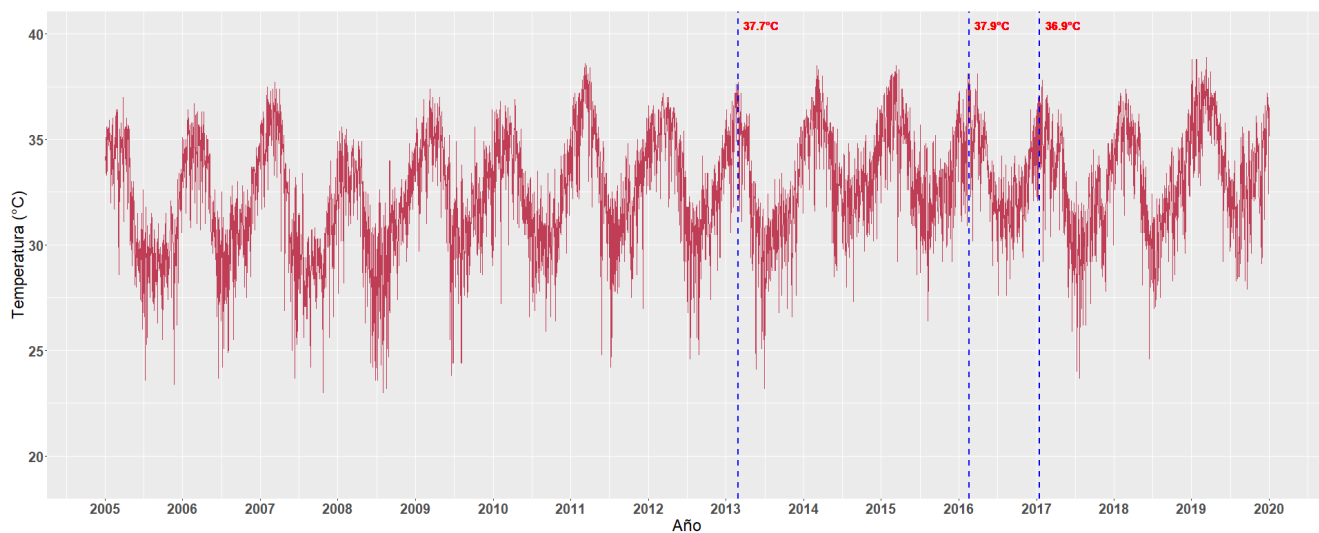
Anexo 8: Serie de tiempo de temperaturas máximas para la estación Chusis en el periodo 2005 – 2019



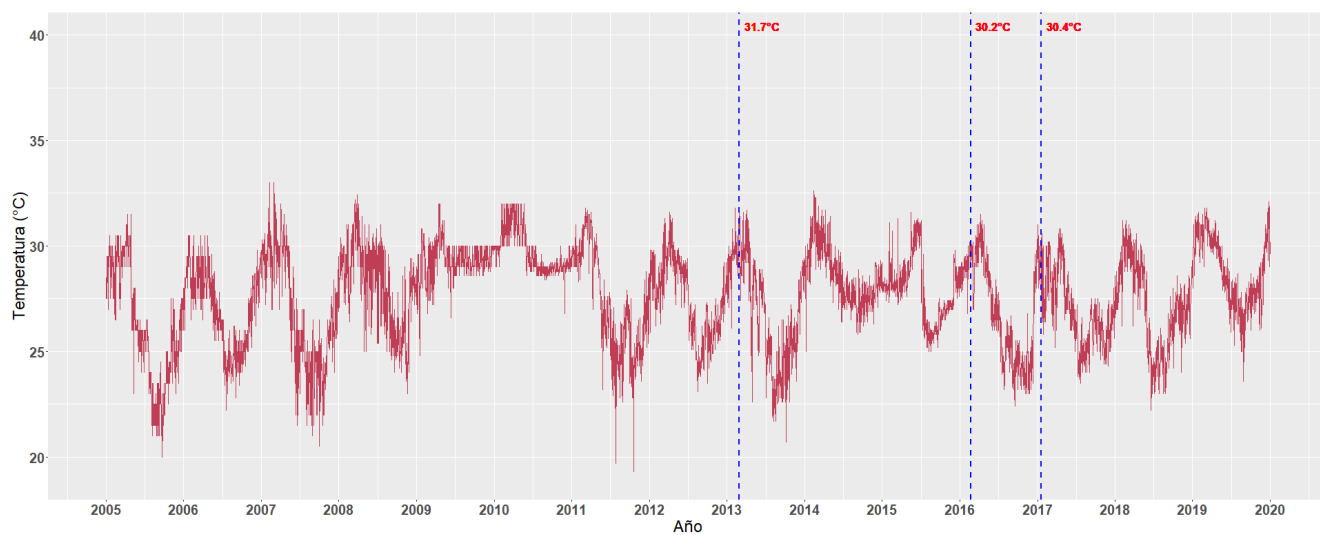
Anexo 9: Serie de tiempo de temperaturas máximas para la estación Lancones en el periodo 2005 – 2019



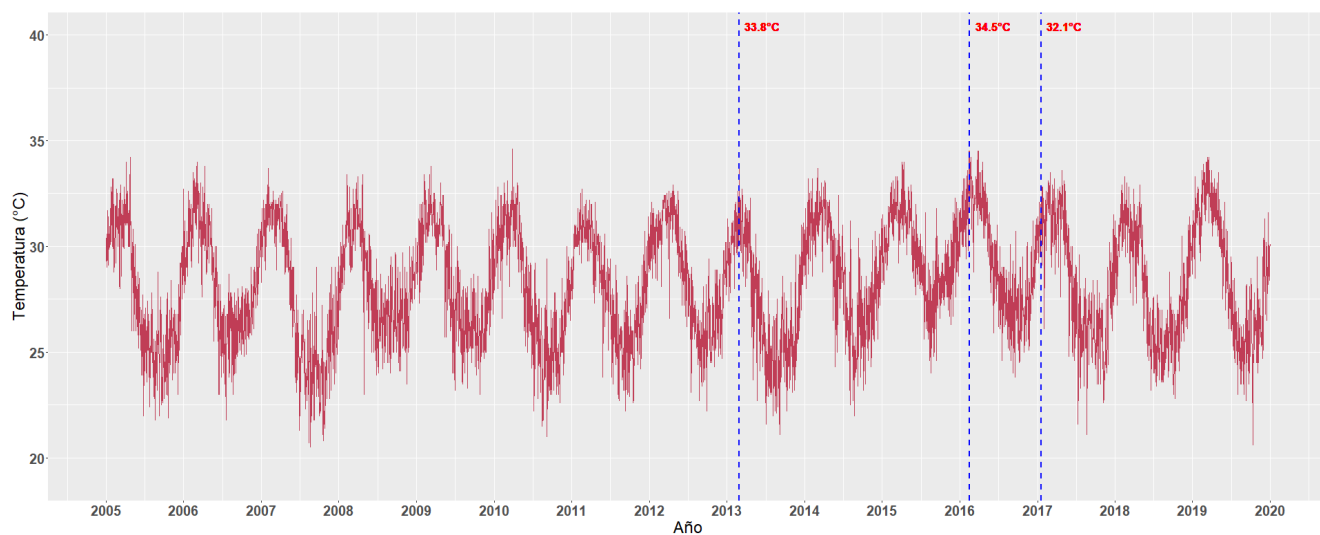
Anexo 10: Serie de tiempo de temperaturas máximas para la estación Mallares en el periodo 2005 – 2019



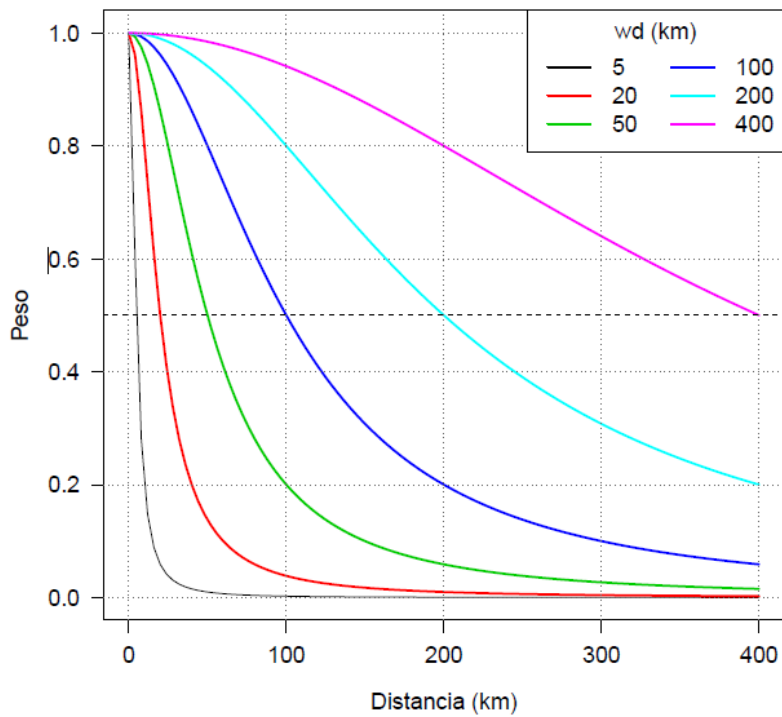
Anexo 11: Serie de tiempo de temperaturas máximas para la estación El Alto en el periodo 2005 – 2019



Anexo 12: Serie de tiempo de temperaturas máximas para la estación La Esperanza en el periodo 2005 – 2019



Anexo 13: Variación de los pesos para distintos valores de wd



Fuente: Guijarro, 2018

Anexo 14: Percentil 95 decadiario para el primer trimestre (enero, febrero y marzo) en cada estación meteorológica

Estación	Umbral	ENERO			FEBRERO			MARZO		
		P95/1dec	P95/2dec	P95/3dec	P95/1dec	P99/2dec	P95/3dec	P95/1dec	P95/2dec	P95/3dec
MORROPON		36.5	36.1	36.4	36.1	36.9	37.0	36.0	36.0	35.8
CHULUCANAS		37.3	37.0	36.8	36.6	37.8	38.0	37.2	37.5	37.6
MALACASI		36.6	36.9	36.5	36.1	36.9	37.3	36.6	36.1	35.7
MIRAFLORES		35.2	35.6	36.2	36.2	36.7	36.8	36.6	36.5	36.2
SAN MIGUEL		36.0	36.2	36.8	36.5	37.2	37.4	37.5	37.2	37.0
PARTIDOR		35.9	35.9	35.8	35.5	36.1	36.0	36.1	35.5	35.6
BERNAL		34.3	34.8	35.4	35.3	35.8	36.0	35.9	35.6	35.6
CHUSIS		33.5	34.0	34.6	34.6	34.9	35.4	35.2	35.2	35.2
LANCONES		36.5	35.9	36.2	36.1	35.9	36.5	36.2	36.8	36.6
MALLARES		36.7	37.0	37.2	37.1	37.6	37.6	38.0	38.0	37.7
EL ALTO		30.2	30.6	30.8	31.3	31.6	31.7	31.9	31.6	31.8
LA ESPERANZA		31.7	32.3	32.7	32.9	33.3	33.5	33.5	33.1	33.3

Anexo 15: Percentil 99 decadiario para el primer trimestre (enero, febrero y marzo) en cada estación meteorológica

Umbral Estación	ENERO			FEBRERO			MARZO		
	P99/1dec	P99/2dec	P99/3dec	P99/1dec	P99/2dec	P99/3dec	P99/1dec	P99/2dec	P99/3dec
MORROPON	37.0	37.0	36.9	37.0	37.3	37.4	36.8	37.0	36.6
CHULUCANAS	38.1	37.7	37.4	37.7	38.4	39.2	38.8	38.0	38.1
MALACASI	37.4	37.5	37.2	37.1	37.5	38.4	37.4	37.1	36.7
MIRAFLORES	36.3	36.5	37.1	37.3	37.6	37.2	37.1	37.5	37.3
SAN MIGUEL	36.8	36.8	37.5	37.7	38.2	38.1	38.3	37.7	37.5
PARTIDOR	36.8	36.4	36.7	36.7	36.7	36.9	36.8	36.6	36.9
BERNAL	35.3	35.3	35.9	35.7	36.8	36.8	36.5	35.8	36.6
CHUSIS	34.0	34.9	35.1	35.0	35.8	35.6	36.2	35.6	35.7
LANCONES	37.4	36.6	38.0	36.9	36.4	37.0	36.8	37.3	36.9
MALLARES	37.3	37.2	38.4	37.7	38.1	37.8	38.3	38.6	38.2
EL ALTO	30.9	31.1	31.4	32.0	32.4	32.1	32.0	32.0	32.0
LA ESPERANZA	32.2	33.2	33.0	33.5	34.4	34.1	34.0	34.2	34.5