

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



“OLAS DE CALOR EN LA AMAZONIA PERUANA”

Presentada por:

Fidel Cristóbal Castillo Gálvez

Tesis para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO METEORÓLOGO

Lima- Perú

2018

DEDICATORIA

A mis padres (María y Jesús), porque ellos son las personas que me apoyan y los que me demuestran siempre su interés en todas las decisiones que llego a tomar.

A mis Hermanos (Omar y Karina), que siempre me aconsejan en mis actividades.

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación se realizó gracias al apoyo de mi asesora Mg. Sc. Victoria Calle Montes por su asesoramiento y colaboración.

Al Ing. Mg. Sc. Nelson Quispe Gutiérrez por su asesoramiento, apoyo y consejos.

Al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI, por colaboración en información meteorológica.

Además, agradezco al proyecto Climandes que me apoyo con el financiamiento para la culminación de la tesis.

A mis compañeros de carrera y grandes amigos (Dante, Aracelly, Karen, Noelia, etc) que de algún modo contribuyeron en la elaboración del presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT	XIV
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivos Generales.....	3
2.2. Objetivos Específicos.....	3
III. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA	4
3.1. OLAS DE CALOR.....	4
3.1.1. Definición de Olas de Calor.....	4
3.1.2. Impactos sociales de las olas de calor.....	4
3.1.3. Golpe de Calor	5
3.1.4. Índice de Calor	6
3.1.5. Índice de Confort Humano.....	7
3.1.6. Índice relativo de estrés térmico	8
3.2. CLIMATOLOGÍA SINÓPTICA EN SUDAMÉRICA	9
3.2.1. Circulación atmosférica	9
3.2.2. Zona de convergencia intertropical (ZCIT)	10
3.2.3. Líneas de inestabilidad amazónica.....	11
3.2.4. Mecanismo de la propagación de las líneas de inestabilidad.....	11
3.2.5. Zona de convergencia del atlántico sur (ZCAS).....	12
3.2.6. Alta de Bolivia (AB).....	13
3.2.7. Vórtices ciclónicos de altos niveles (VCANS).....	14
3.2.8. Vaguada tropical de alta tropósfera (TTUT).....	15
3.2.9. Baja del Chaco.....	15
3.3. ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA.....	16
3.3.1. Inestabilidad vertical en la atmósfera.....	16
3.4. ENERGÍA POTENCIAL DISPONIBLE PARA LA CONVECCIÓN (CAPE).....	17
IV. MATERIALES Y METODOS	19
4.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	19
4.1.1. Sudamérica.....	19
4.1.2. Amazonía Peruana	20
4.2. PERIODO DE ESTUDIO E INFORMACIÓN.....	21

4.2.1. Periodo de estudio	21
4.2.2. Información meteorológica	21
4.2.2.1. Información de temperaturas extremas y precipitación	21
4.2.2.2. Información Sinóptica.....	21
4.3. MATERIALES.....	22
4.4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS.....	23
4.4.1. Metodología para caracterizar los eventos de olas de calor en la amazonia peruana	23
4.4.1.1. Obtención de la información meteorológica.....	23
4.4.1.2. Análisis exploratorio de datos meteorológicos.....	24
4.4.1.3. Selección de las estaciones para el estudio.....	24
4.4.1.4. Utilización de los percentiles.....	24
4.4.1.5. Obtención de los umbrales.....	25
4.4.1.6. Identificación de los episodios.....	25
4.4.2. Metodología para determinar los mecanismos físicos de la ocurrencia de olas de calor	26
4.4.2.1. Análisis de estructura vertical de la tropósfera	28
4.4.3. Metodología para determinar el entorno sinóptico asociados a olas de calor.....	29
4.4.4. Metodología para realizar un modelo conceptual de pronóstico de olas de calor.....	30
V. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	31
5.1. DETERMINACIÓN DE LA CARACTERIZACIÓN	36
5.1.1. Variación diaria de las variables meteorológicas: T _{máx} y T _{mín} regional.....	36
5.1.2. Variación de anomalía climatológica de las variables meteorológicas: T _{máx} y T _{mín}	38
5.1.3. Análisis de los índices en la duración de los eventos de OC.....	40
5.1.3.1. Índice de calor (IC).....	40
5.1.3.2. Índice de Confort (ICH), disconfort humano (IDH) y de Estrés térmico (IRE)	44
5.2. ANÁLISIS DE LOS MECANISMOS FÍSICOS ASOCIADOS A LAS OLAS DE CALOR..	50
5.2.1. Análisis a niveles bajos (1000-850hPa).....	50
5.2.2. Análisis de estructura vertical de la tropósfera	52
5.3. DETERMINACIÓN DEL ENTORNO SINÓPTICO EN LOS EVENTOS DE OC.....	62
5.3.1. Análisis a niveles bajos (1000, 925,850 y 700 hPa).....	62
5.3.1.1. Análisis isobárico.....	62
5.3.1.2. Análisis isotérmico.....	66

5.3.1.3. Análisis de los índices de estrés térmico.....	70
5.3.1.4. Análisis de anomalía de OLR y Precipitación.....	86
5.3.1.5. Análisis de Isotacas	92
5.3.2. Análisis a niveles medios (500hPa).....	96
5.3.2.1. Análisis de espesor (850-500 hPa)	96
5.3.2.2. Análisis de Humedad Relativa promedio (1000-500 hPa).....	100
5.3.3. Análisis a niveles altos (250 y 200 hPa).....	104
5.3.3.1. Análisis de Jet Stream (200hPa).....	104
5.3.3.2. Análisis de Isotacas (250hPa).....	108
5.4. DESARROLLO DEL MODELO CONCEPTUAL PRONÓSTICO DE EVENTOS	113
5.4.1. Baja tropósfera.....	113
5.4.2 .Alta y media tropósfera	117
VI. CONCLUSIONES	120
VII. RECOMENDACIONES.....	122
VIII. REFERENCIAS BIBLOGRAFICAS.....	123
IX. ANEXOS	127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Índice de calor	6
Tabla 2: Índice de Confort Térmico	7
Tabla 3: Índice de Discomfort Térmico	8
Tabla 4: Índice relativo de estrés térmico	8
Tabla 5: Índice de Estabilidad	17
Tabla 6: Clasificación de estabilidad respecto a los Valores de CAPE	18
Tabla 7: Periodo de los eventos representativos.....	21
Tabla 8: Variables Meteorológicas	22
Tabla 9: Variables primarias meteorológicas de Reanálisis NCEP-NCAR	26
Tabla 10: Variables secundarias meteorológicas de Reanalysis NCEP-NCAR en niveles bajos	27
Tabla 11: Variables primarias meteorológicas de Reanálisis NCEP-NCAR niveles medios y altos...	27
Tabla 12: Variables secundarias meteorológicas de Reanálisis NCEP-NCAR niveles medios y altos.	27
Tabla 13: Variables primarias meteorológicas Reanálisis NCEP-NCAR niveles de la tropósfera.....	28
Tabla 14: Variables secundarias meteorológicas Reanálisis NCEP-NCAR niveles de la tropósfera ..	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Pacientes afectados en episodios cálidos en los a) año 2013 y b) año 2015	5
Figura 2: Circulación de la Atmósfera en Sudamérica.....	9
Figura 3: Patrón Sinóptico a nivel de 200 hPa . FUENTE: Ferreira, N. (2004).....	14
Figura 4: Mapa de Sudamérica. FUENTE: Elaboración Propia.....	19
Figura 5: Área de Estudio. FUENTE: Elaboración propia.....	20
Figura 6: Variación diaria de la t. máx, t. mín y precipitación para Noviembre, 2015.....	33
Figura 7: Variación diaria de la t. máx t. mín y precipitación para Diciembre del 2013.	34
Figura 8: Variación diaria de la t. máx, t. mín y precipitación para Septiembre del 2015.	35
Figura 9: Variación diaria del promedio de a) nov del 2015, b) dici del 2013 c) septiembre del 2015..	37
Figura 10: Anomalía climatológica diaria T. max y Anomalía del percentil diaria ..	39
Figura 11: Variación diaria a las 1800 Z del índice de calor, velocidad del viento.....	41
Figura 12: Variación diaria a las 1800Z diciembre del 2013 en la región centro	42
Figura 13: Variación diaria a las 1800 Z de setiembre del 2015 en la región Sur.....	43
Figura 14: Variación diaria del índice de confort humano y sus intervalos de sensación....	47
Figura 15: Variación diaria del índice de disconfort humano e intervalos de sensación ..	48
Figura 16: Variación diaria del índice relativo de estrés térmico y sus intervalos ...	49
Figura 17: Valores promediados verticalmente entre la superficie y 850 hPa.....	51
Figura 18: Análisis de la estructura vertical de la tropósfera en corte de sección	53
Figura 19: Análisis de la estructura vertical de la tropósfera en corte de sección,.....	55
Figura 20: Análisis de la estructura vertical de tropósfera en corte de sección transversal....	57
Figura 21: Meteorograma, región norte de noviembre del 2015.	59
Figura 22: Meteorograma, región centro de diciembre del 2013.	60
Figura 23: Meteorograma, la región sur de septiembre del 2015.....	61
Figura 24: Análisis sinóptico en niveles bajos, isobaras del APSO, noviembre 2015....	63
Figura 25: Análisis sinóptico en niveles bajos, isobaras del APSO, diciembre, 2013.	64
Figura 26: Análisis sinóptico en niveles bajos, isobaras del APSO, septiembre 2015.	65
Figura 27: Análisis sinóptico a nivel de 850 hPa, isotermas de noviembre del 2015. .	67
Figura 28: Análisis sinóptico a nivel de 850 hPa, isotermas de diciembre del 2013....	68

Figura 29: Análisis sinóptico a nivel de 850 hPa, isotermas de septiembre del 2015.	69
Figura 30: Análisis de ICH en la región norte de la Amazonia Peruana.....	72
Figura 31: Análisis de IDH en la región norte de la Amazonia Peruana.....	73
Figura 32: Análisis de IC en la región norte de la Amazonia Peruana.....	74
Figura 33: Análisis de IRE en la región norte de la Amazonia Peruana.....	75
Figura 34: Análisis de ICH (matiz de colores, °C) en la región centro de la Amazonia Peruana...	77
Figura 35: Análisis de IDH (matiz de colores, °C) en la región centro de la Amazonia Peruana ...	78
Figura 36: Análisis de IC (matiz de colores, °C) en la región centro de la Amazonia Peruana.....	79
Figura 37: Análisis de IRE (matiz de colores) en la región centro de la Amazonia Peruana.....	80
Figura 38: Análisis de ICH (matiz de colores, °C) en la región sur de la Amazonia Peruana.	82
Figura 39: Análisis de IDH (matiz de colores, °C) en la región sur de la Amazonia Peruana.....	83
Figura 40: Análisis de IC (matiz de colores, °C) en la región sur de la Amazonia Peruana.....	84
Figura 41: Análisis de IRE (matiz de colores) en la región sur de la Amazonia Peruana.....	85
Figura 42: Análisis de anomalías de OLR en el evento de OC, noviembre del 2015,.....	87
Figura 43: Análisis de anomalías de Precipitación en el evento de OC, noviembre del 2015,	87
Figura 44: Análisis de anomalías de Precipitación en el evento de OC, noviembre 2015.....	88
Figura 45: Análisis de anomalías de Precipitación en el evento de OC, diciembre del 2013 ...	89
Figura 46: Análisis de anomalías de OLR septiembre del 2015, promedios (19-28) .	90
Figura 47: Análisis de anomalías de Precipitación de OC, septiembre del 2015,.....	91
Figura 48: Análisis sinóptico a nivel de 850 hPa, JLL, de noviembre del 2015.....	93
Figura 49: Análisis sinóptico a nivel de 850 hPa, JLL, de diciembre del 2013.....	94
Figura 50: Análisis sinóptico a nivel de 850 hPa, JLL de septiembre del 2015.....	95
Figura 51: Análisis sinóptico de espesor de altura geopotencial, noviembre del 2015.....	97
Figura 52: Análisis sinóptico de altura geopotencial 850-500hPa, diciembre 2013... ..	98
Figura 53: Análisis sinóptico de altura geopotencial 850-500hPa, septiembre 2015. ..	99
Figura 54: Análisis sinóptico de Humedad Relativa entre 1000-500hPa noviembre 2015.....	101
Figura 55: Análisis sinóptico de Humedad Relativa entre 1000-500hPa diciembre 2013... ..	102
Figura 56: Análisis sinóptico de Humedad Relativa entre 1000-500hPa septiembre 2015... ..	103
Figura 57: Análisis sinóptico de Corriente a Chorro a 200hPa, noviembre del 2015	105
Figura 58: Análisis sinóptico de Corriente a Chorro a 200hPa, diciembre del 2013.	106
Figura 59: Análisis sinóptico de Corriente a Chorro a 200hPa, septiembre del 2015.	107
Figura 60: Análisis sinóptico de líneas de corriente a 250hPa, noviembre 2015.....	109
Figura 61: Análisis sinóptico de líneas de corriente 250hPa, OC de diciembre del 2013..	111

Figura 62 : Análisis sinóptico de líneas de corriente a 250hPa ,septiembre 2015	112
Figura 63: Análisis sinóptico en líneas de corriente a 850hPa (1985-2015).	114
Figura 64: Patrón sinóptico de OC graficadas en líneas de corriente 850hPa (1985-2015)..	115
Figura 65: Análisis sinóptico del APSO de eventos de OC (1985-2015).	116
Figura 66: Patrón sinóptico de olas de calor graficadas en 250hPa (1985-2015).	118
Figura 67: Análisis sinóptico de líneas de corriente a 250hPa (1985-2015).	119

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Gráficas histórica de las estaciones de SENAMHI en el periodo de 1985-2015...	127
Anexo 2: Gráficas de Boxplot de las estaciones de SENAMHI en el periodo de 1985-2015...	130
Anexo 3: Porcentaje de datos de T_{máx} y T_{mín} de estaciones de SENAMHI 1985-2015.....	132
Anexo 4: Valores de percentil 90 de las estaciones meteorológicas de SENAMHI 1985-2015.	133
Anexo 5: Imágenes satelitales IR del GOES-13.....	134

RESUMEN

En el presente trabajo se identificó y caracterizó los eventos de calor de la región Amazónica Peruana en los meses de setiembre, octubre y noviembre desde 1895 a 2015. Se usó la técnica de percentiles estadísticos, se evaluó la OC mediante los efectos fisiológicos registrados por el MINSA en los periodos 2013 y 2015, se realizó la caracterización de las variables meteorológicas (t_{max} , t_{min}), análisis de los mecanismos físicos asociados a la OC, determinación de entorno sinóptico, desarrollo del modelo conceptual. Se encontró que las OC se inician con el APSO alejado del continente, presencia de jet de bajos niveles LLJ nocturno cerca a Bolivia, anomalías positivas de Radiación de onda larga (OLR) y anomalías negativas de precipitación (Pp) en la Amazonía peruana contribuyendo al calentamiento superficial y cielos despejados durante el día, en el horario nocturno se aprecia convección llana y expansión de la capa troposférica originando complejos convectivos a mesoescala (CCM) a niveles bajos y medios e impidiendo la disminución de la temperatura. También a niveles altos presenta un anticiclón y una dorsal continental en la parte sur de Perú la cual favorece la subsidencia hasta los niveles medios de la tropósfera. Al finalizar una OC se muestra el ingreso de una Alta Migratoria (AM) que se desplaza por el continente llegando a ubicarse en el océano atlántico, por otra parte en alta tropósfera se presenta la formación de un sistema cuña vaguada, una circulación ciclónica proveniente del noreste de Brasil y en los niveles medios una banda de humedad relativa superior al 70% proveniente del sureste del continente y formación de Sistemas Convectivos a Mesoescala (SCM) de gran desarrollo generando Precipitación enfriando el entorno., debido a esta interacción en los diferentes niveles dan resultados que indican un cambio brusco de la temperatura.

Palabras claves: Ola de Calor, Amazonia Peruana, Confort térmico, APSO

ABSTRACT

In the present work, the heat events of the Peruvian Amazon region were identified and characterized in the months of September, October and November from 1895 to 2015. The statistical percentile technique was used, the OC was evaluated by the physiological effects registered by the MINSA in the periods 2013 and 2015, the characterization of the meteorological variables (t max, tmin), analysis of the physical mechanisms associated with the OC, determination of the synoptic environment, development of the conceptual model. It was found that OCs start with the APSO away from the mainland, presence of low LLJ jet levels near Bolivia, positive long wave radiation (OLR) anomalies and negative precipitation anomalies (Pp) in the Peruvian Amazon contributing to the Surface heating and clear skies during the day, at night time flat convection and tropospheric layer expansion are observed causing mesoscale convective complexes (MCC) at low and medium levels and preventing the temperature decrease. Also at high levels it has an anticyclone and a continental ridge in the southern part of Peru which favors subsidence to the middle levels of the troposphere. At the end of an OC the entry of a High Migratory (AM) that moves around the continent arriving to be located in the Atlantic Ocean is shown, on the other hand in high troposphere the formation of a wedge-shaped system is shown, a cyclonic circulation coming from the northeast of Brazil and in the middle levels a band of relative humidity greater than 70% coming from the southeast of the continent and formation of Convective Systems to Mesoscale (SCM) of great development generating Precipitation cooling the environment., due to this interaction in the different levels give results that indicate a sudden change in temperature.

Key Word: Heat Wave, Peruvian Amazon, Thermal Comfort, APSO

I. INTRODUCCIÓN

En septiembre del 2013 la IPCC declaró que en los últimos 50 años las OC se habían vuelto más frecuentes y que aumentarían sobre la mayoría de las áreas de la tierra. Además; según Alexander (2006) se han observado cambios marcados en la frecuencia de noches frías y calurosas afectando en la salud de la población, el calor excesivo es uno de los mayores generadores de estrés para el organismo, ante esto los mecanismos termorreguladores del cuerpo humano hacen frente al calor ambiental hasta un determinado límite y cuando este se altera puede generar el aumento de temperatura corporal, golpe de calor mortal o un agravamiento del estado de salud en la población vulnerable (OMS, 2008).

La exposición a OC se ha asociado principalmente a estudios epidemiológicos; además algunos investigadores definen a la OC como el aumento de las temperaturas superando un umbral establecido. Sobre lo descrito en mención; según knight, (1997) las temperaturas máxima ($T_{m\acute{a}x}$) y mínima ($T_{m\acute{i}n}$) se definen como las que sobrepasan un límite mediante una técnica estadística y que se mantienen por un periodo consecutivo mayor a dos días en un área determinada. Cabe resaltar que la probabilidad de ocurrencias de las OC se dan en lugares que se encuentran en temporadas cálidas, en consecuencia, pueden ser el resultado de una serie de situaciones meteorológicas a gran escala y los procesos mecánicos relacionados con el clima (Zaitchick , 2006). Además, las OC son consideradas como un fenómeno natural que raramente se originan y que poca atención se le ha tomado, debido a que carecen de violencia pero que poseen gran impacto en la sociedad y principalmente en la salud (OMS, 2008). Por esta razón en el presente trabajo de investigación se estimó eventos de OC en la Amazonía Peruana en las regiones Rupa Rupa (selva Alta) y Omagua (selva baja) en el periodo que se encuentra entre el año de 1985 al 2015.

Para la identificación de las OC se empleó la técnica estadística de percentil 90 en las variables meteorológicas $T_{\text{máx}}$ y $T_{\text{mín}}$; sobre este punto es importante recalcar que dicha técnica fue implementada por AEMET, SENAMHI y otros; adicionalmente la evaluación de los casos en estudio se da por la presencia de efectos fisiológicos registrados por MINSA en la Amazonia Peruana. También se caracterizó estos fenómenos previamente identificados mediante el uso de las variables $T_{\text{máx}}$, $T_{\text{mín}}$, P_p e índices de estrés.

La comprensión de los mecanismos físicos y de los sistemas meteorológicos que intervienen en los eventos de OC, se realizó mediante la información de reanálisis de los productos de National Centers for Environmental Prediction y National Center for Atmospheric Research (NCEP-NCAR); con el fin de analizar las condiciones termodinámicas y sinópticas en diferentes niveles de la tropósfera, los cuáles fueron graficados en el visualizador Grid Analysis and Display System (GRADS).

Finalmente se desarrolló un modelo conceptual a nivel sinóptico de las variables meteorológicas que se encuentran presentes en los episodios de OC, los cuales serán desarrollados en el visualizador GRADS.

II. OBJETIVOS

Los objetivos son los siguientes:

2.1. Objetivos Generales.

- Caracterizar los eventos de olas de calor en la Amazonía peruana durante el periodo (1985-2015) mediante las variables meteorológicas ($T_{\text{máx}}$ y $T_{\text{mín}}$).

2.2. Objetivos Específicos.

- Determinar los mecanismos físicos de la ocurrencia de olas de calor.
- Determinar el entorno sinóptico asociado a episodios de olas de calor.
- Determinar un modelo conceptual de la ocurrencia de olas de calor para fines de pronóstico.

III. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

3.1. OLAS DE CALOR.

3.1.1. Definición de Olas de Calor

Es el aumento anómalo de la temperatura, considerada como peligro natural que afecta a la salud humana, la economía y otros. Con una duración de dos a más días consecutivos (Robinson, 2000), donde las temperaturas diurnas alcanzan valores altos al igual que las nocturnas. Sin embargo, no todos los eventos son los mismos en su extensión espacial, y la intensidad puede variar entre región (Stefanon, 2012). Las OC que se generan en los climas templados de latitudes medias se caracterizan por condiciones muy cálidas y húmedas. Según Hunt (2007) la OC provoca en la población sensación de malestar durante todo el día y la noche.

3.1.2. Impactos sociales de las olas de calor

Las olas de calor tienen impactos directos e indirectos sobre la sociedad (McGregor, 2007). A pesar de que los principales factores de vulnerabilidad pueden variar geográficamente, dependiendo de la situación social, económica y política.

Además de los efectos directos, estos eventos desencadenan que se generen planes de contingencia. Adicionalmente los ingresos hospitalarios variaran debido a la intensidad de la ola y por factores tales como la edad. El aumento de la carga de calor y el aumento de la temperatura corporal pueden dar lugar a una serie de efectos sobre la salud, algunos de estos frente a temperaturas extremas; los cuales se describen a continuación:

- Golpe de Calor e Insolación
- Sincope por Calor
- Agotamiento por Calor debido a depleción de Sal
- Efecto del Calor y de la Luz, no Especificado
- Efectos del calor y de la luz

3.1.3. Golpe de Calor

Es un cuadro médico grave que pone en peligro la vida, que se produce cuando la temperatura corporal se eleva por encima 39.4 a 41°C, o más y que puede deberse a las altas temperaturas ambientales, por actividad física vigorosa, o por otras condiciones que elevan su temperatura corporal y el organismo es incapaz de regular su propia temperatura y produce una situación de desajuste térmico que requerirá atención médica inmediata para prevenir daño a órgano blanco o muerte.

Es importante mencionar que las temperaturas extremas no solo causan el golpe de calor, sino también agotamiento, calambres, síncope, edema, deshidratación grave, accidentes cerebrovasculares agudos y otros. Además se pueden agravar las condiciones crónicas pulmonares, afecciones cardiacas, trastornos renales y otros. Finalmente mencionar que en caso extremo que el calor prolongado causa algunas muertes y enfermedades (Torales, 2015).

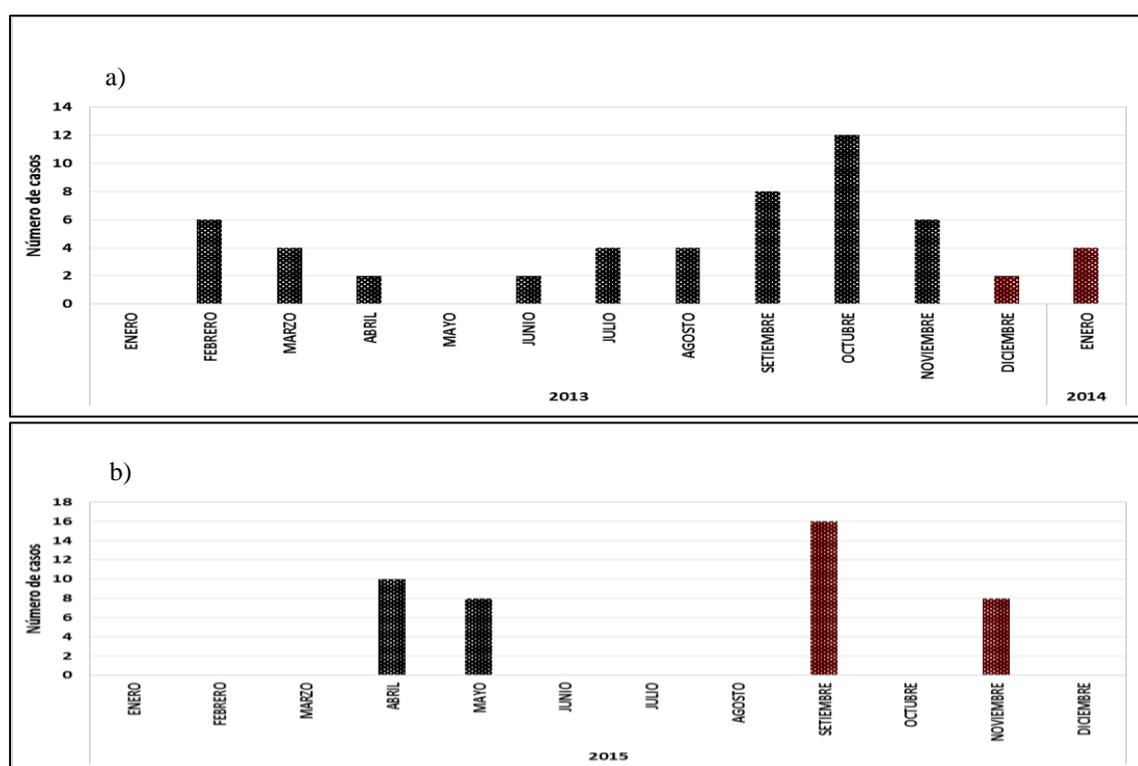


Figura 1: Pacientes afectados en episodios cálidos en los departamentos de Loreto, Ucayali y Madre de Dios a) en el año 2013 y b) en el año 2015, casos registrados (barras de color negro) y casos en evaluación (barras de color marrón).

FUENTE: MINSA

3.1.4. Índice de Calor

Conocido también como la temperatura aparente, es una medida que combina la humedad relativa con la temperatura real del aire. Es decir, representa una estimación razonable de la aparición de estrés fisiológico, cabe mencionar que dicho índice refuerza en los procedimientos de alerta de calor (Steadman, 1984).

La Administración Nacional Oceánico Atmosférica (NOAA) y con apoyo del Servicio Nacional Meteorológico (NWS); en el año 1984 plantearon una ecuación; la cual solo toma las variables de Temperatura del aire (°F) y la Humedad Relativa (%) con la finalidad de determinar un índice de calor, la cual se detalla a continuación:

$$IC = -42.379 + 2.04901523 * T + 10.14333127 * R - 0.22475541 * T * R - 6.83783 * 10^{-3} * T^2 - 5.481717 * 10^{-2} * R^2 + 1.22874 * 10^{-3} * T^2 * R + 8.5282 * 10^{-4} * T * R^2 - 1.99 * 10^{-6} * T^2 * R^2 \dots \dots \dots \text{ecu. (1)}$$

IC=Índice de calor (°F); T=Temperatura (°F); R=Humedad relativa (%); T2=Temperatura elevado al cuadrado; R2= Humedad relativa elevado al cuadrado.

Tabla 1: índice de calor

RH	T(°C)																
	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
100	33	36	40	43	47	52											
95	32	35	38	42	45	49											
90	32	34	37	40	43	47	51										
85	31	33	36	39	42	45	49	53									
80	30	32	35	37	40	43	47	51	55								
75	30	32	34	36	39	42	45	48	52	56							
70	29	31	33	35	37	40	43	46	49	53	57						
65	29	30	32	34	36	39	41	44	47	50	54	58					
60	28	30	31	33	35	37	40	42	45	48	51	55	58				
55	28	29	31	32	34	36	38	41	43	46	49	52	55	58			
50	28	29	30	31	33	35	37	39	41	44	46	49	52	55	58		
45	27	28	29	31	32	34	36	37	40	42	44	46	49	52	55	58	
40	27	28	29	30	31	33	34	36	38	40	42	44	46	49	51	54	57
	Normal			Precaución				Extrema Precaución				Peligro		Extremo peligro			

FUENTE: (Steadman, 1984)

3.1.5. Índice de Confort Humano

El cuerpo humano posee mecanismos fisiológicos que mantienen los parámetros físico-químicos corporales constantes (temperatura interna, presión sanguínea, etc.). Sin embargo, existen condiciones ambientales que hacen que la eficiencia de estos mecanismos no sean lo suficiente llamándolo discomfort. (Lee y Henschel, 1966), define al confort como un estado de satisfacción general asociada a la neutralidad térmica. La regulación en ambientes cálidos implica diferentes mecanismos como la transpiración. En cambio, si el ambiente posee alto contenido de vapor de agua, este impide el enfriamiento evaporativo del cuerpo.

El índice de confort humano (ICH) puede calcularse por la fórmula descrita por (Anderson, 1965) y citado por (Rosenberg, 1983).

$$ICH = Ta + (ea - 10)/1.8 \dots \dots \dots \text{ecu. (2)}$$

Ta= Temperatura del aire (°C); ea= Presión de vapor de agua (mb)

En la tabla N°2, se encuentra la clasificación del grado de confort térmico humano en función de los valores del ICH.

Tabla 2: Índice de Confort Térmico

Temperatura (°C)	Grado de confort	Temperatura (°C)	Grado de confort
20-29	confortable	40-45	Disconfort soportable
30-39	Grado de confort variante	46 a más	Disconfort insoportable

FUENTE: (Santos, W. & Díaz, L. s/f).

Mientras que el índice de disconfort térmico puede ser calculado por la formula descrita por (Ono y Kawamaru, 1991).

$$IDH = 0.99 * Ta + 0.36 * Td + 41.5 \dots \dots \dots \text{ecu. (3)}$$

Ta= Temperatura del aire (°C); Td= Temperatura de rocío (°C).

Los rangos de valores del índice de disconfort descrito por (kawamaru, 1991) sentidas por las personas se observa en la Tabla 3:

Tabla 3: Índice de Disconfort Térmico

Intervalo de IDH	Efectos
IDH > 80	Estrés debido al calor
75 > IDH > 80	Disconfort debido al calor
60 > IDH > 75	Confortable
55 > IDH > 60	Disconfort debido al frio
IDH < 55	Estrés debido al frio

FUENTE: (Santos, W. & Díaz, L. s/f).

3.1.6. Índice relativo de estrés térmico

Es la relación entre la tasa de transpiración necesaria para regular la temperatura corporal y la demanda evaporativa de la atmosfera, considerando condiciones de ambiente caliente con una velocidad de 0.5 m/s. (Lee y Henschel, 1966).

$$\text{IRE} = [10.7 + 0.74 (T - 35)] / (44 - e_a) \dots \dots \dots \text{ecu. (4)}$$

IRE= Índice Relativo de Stress; T= Temperatura (°C); e_a = la presión de vapor de agua (mmHg).

Tabla 4: Índice relativo de estrés térmico

Intervalo de IRE	Personas Vulnerables
IRE > 0.3	Muerte
IRE > 0.18	Problemas cardiacos y respiratorios
IRE > 0.15	Jóvenes
IRE > 0.10	Ancianos

FUENTE: (Landsberg, H. s/f).

3.2. CLIMATOLOGÍA SINÓPTICA EN SUDAMÉRICA

3.2.1. Circulación atmosférica

Trata de la estructura promediada en el espacio y/o tiempo de los vientos, temperatura y otros elementos climáticos (Holton, 1990). En este sentido, la circulación promedio en el tiempo depende fuertemente de la longitud y contraste térmico tierra y mar, por lo que para el completo entendimiento de la física básica de la circulación general se requiere una descripción, que implique las tres dimensiones espaciales(Quispe, 2005).

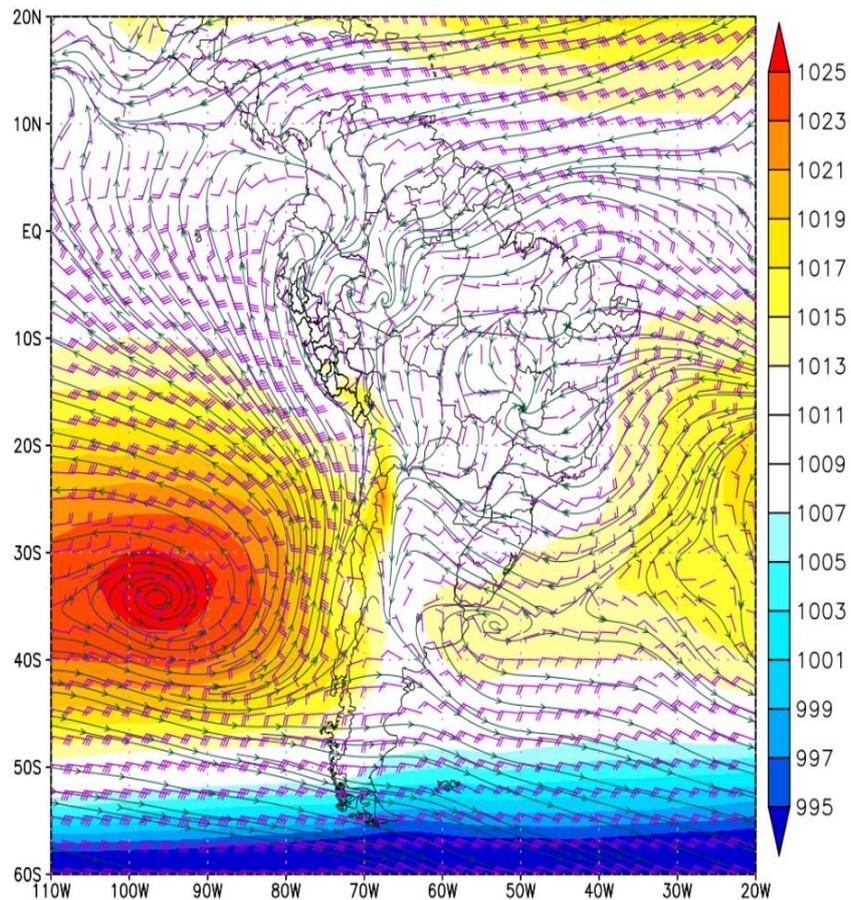


Figura 2: Circulación de la Atmósfera en Sudamérica.

FUENTE: Re análisis (Nov, 2015).

Las condiciones de tiempo están determinados por el anticiclón del pacifico sur oriental (APSO), la baja presión del ecuador, la zona de convergencia intertropical (ZCIT), la baja presión amazónica, las ondas del este , líneas de inestabilidad y otros (Nelson, 2009)

3.2.2. Zona de convergencia intertropical (ZCIT)

Es el sistema más importante generador de precipitación sobre la región Ecuatorial, en el océano Atlántico, Pacífico e Índico, así como en gran parte de áreas continentales. Es visualizado como una banda nubosa que se extiende a lo largo de la región ecuatorial y que influye en la precipitación en los continentes. Este sistema migra estacionalmente, en años normales su posición es más al norte (entre 14°N), durante agosto y setiembre hasta su posición más al sur (entre 2°S), durante marzo y abril. Esta migración estacional está asociada a los factores que causan el fortalecimiento o debilitamiento de los vientos alisios del nordeste o sudeste, citado (Uvo, 1989).

La existencia de los vientos alisios de ambos hemisferios (HS/HN) se encuentran próximo a la faja ecuatorial y definen la Zona de Convergencia Intertropical esta franja a lo largo del mar y continente está caracterizado por una convergencia de masas, y una banda máxima de cobertura de nubes convectivas. Estas actúan cerca de la faja ecuatorial de los océanos y no se presentan necesariamente sobre la misma latitud en superficie. De esta forma el conjunto de las variables utilizadas para definir la ZCIT puede representar pequeños “desfases”. (Ferreira, 2004).

Es importante mencionar aspectos meteorológicos a gran escala que pueden aumentar o inhibir el desempeño de los sistemas principales como la ZCIT. Los años más lluviosos está ligado a la ZCIT moviéndose al sur durante el verano y otoño al HS. Por otro lado, un año seco está ligado a la ZCIT moviéndose al norte en el mismo periodo. En años secos la ZCIT comienza su migración hacia el norte a finales de febrero o principios de marzo, mientras que en los años húmedos, la ZCIT sólo comienza su migración a posiciones más al norte a finales de abril o principios de mayo. También relacionaron el posicionamiento de la ZCIT durante los años de gran precipitación al norte de su posición climatológica sobre el Atlántico Tropical, citado por (Marengo *et al*, 1993).

3.2.3. Líneas de inestabilidad amazónica

Las líneas de inestabilidad se desenvuelven frecuentemente en la costa nornordeste de América del Sur y se pueden propagar al interior del continente, causando cantidades apreciables de precipitación. Estas líneas fueron asociadas a la circulación de las brisas marinas. Citado en (Kousky *et al*, 1980). Como estos sistemas tienen una escala temporal asociada a la variabilidad diurna, la máxima actividad convectiva puede ser notada en las imágenes satelitales. La convección profunda en los trópicos tiene un papel fundamental en la circulación global y en la energía de la atmósfera tropical, por medio de la extracción de calor de la capa límite planetaria, al igual es redistribuido en la alta tropósfera. Así, estas líneas de estabilidad constituyen uno de los dos sistemas atmosféricos más importantes en el transporte de calor para la alta tropósfera.

Los periodos de invierno y verano, su desenvolvimiento ocurre en longitudes más al oeste, a lo largo de la costa, al norte del Ecuador, y en los periodos de verano y otoño ocurre más al este a lo largo de la costa, al sur del Ecuador. En el periodo de junio-diciembre la línea de inestabilidad se desarrolla más al oeste y al norte, llegando a Venezuela, esta variación ocurre en el mismo sentido del desplazamiento estacional de la ZCIT y que muestra una influencia de circulación a gran escala en la circulación local.

(Cavalcanti, 1982), sugiere que la posición sería influenciada por factores de mayor escala, tal como la convergencia en bajos niveles asociada a la ZCIT, que intensificaría la circulación de la brisa marítima. Este desenvolvimiento también podría estar relacionado a la variación del flujo en bajos niveles asociado a la ZCIT.

3.2.4. Mecanismo de la propagación de las líneas de inestabilidad

Las líneas de inestabilidad en la Amazonia se forman al final de la tarde y se propagan hacia el interior del continente con una velocidad media de 10 ° de longitud por día. Sin embargo, el enfriamiento radiativo durante la noche provoca la disipación de las nubes que pueden activarse en el día siguiente, cuando la calefacción en la superficie nuevamente se establezca, sugerido por (Molion, 1987). (Cohen *et al*, 1989) observaron que el resfriamiento radiativo parece no ser el único mecanismo responsable por la disipación de las Líneas de inestabilidad, hay la regeneración de las LIPs (Líneas de Inestabilidad de Propagación) en su extremo norte durante el periodo nocturno, cuando pasan por una

región caracterizada por altitudes entre 200 y 500 m, siendo necesario por tanto analizar más a criterio la influencia de la orografía sobre la actividad de las líneas de inestabilidad. En resumen, son más frecuentes en mayo y menos frecuentes en enero. Como la variación del total anual, se nota que el número de casos tienden a disminuir en años Niño, en cuanto en años niña el número de casos tienden a aumentar. En la mayoría presentan intensidad a lo largo de los años. En los tres primeros meses predominan con fuerte intensidad. Se verifico también que en los años niño se forman entre el litoral Venezolano y en años niña más al litoral nornordeste de Brasil.

3.2.5. Zona de convergencia del atlántico sur (ZCAS)

Un gran avance en el entendimiento de este sistema fue dado en algunas décadas después, citado en (Kodama, 1992), con la descripción de algunas de las principales características dinámicas y termodinámicas de las bandas nubosas y lluvias cuasi estacionario que ocurre sobre los océanos subtropicales en ambos hemisferios. Existen tres zonas frontales cuasi estacionarias llamadas Zonas de precipitación subtropicales (ZPS). Las ZPS tienen propiedades distintas de los sistemas frontales en las latitudes medias y también de las zonas e convergencia tropicales. Se forman si a lo largo de los chorros subtropicales al este de una depresión casi permanente situado al noreste (HN) y sureste (SA) de la banda de convección asociada con monzón tropical. También pueden ser caracterizados por zonas de convergencia de humedad y por zonas baroclínicas con una baja subtropical asociados en altos niveles.

La climatología de la precipitación sobre los trópicos y subtrópicos de América de sur presenta un ciclo anual regular. Actividad convectiva se inicia en el oeste de la cuenca del Amazonas, a principios de agosto, y se marcha en los meses siguientes en dirección sureste de Brasil. La temporada de lluvias en gran parte del medio oeste y el sureste de Brasil se produce en promedio en la segunda quincena de octubre. A mediados de marzo y principios de abril, la actividad convectiva profunda debilita con la región tropical. Esta característica climatológica que se asocia con un flujo convergente húmedo en la tropósfera inferior, fue llamada como ZCAS y estudiada por (kodama, 1992). Aunque se observan las características de todos los veranos, se producen variaciones significativas en la organización espacial, la intensidad de las precipitaciones y la circulación. Estas variaciones son a menudo responsables de la ocurrencia de eventos severos, inundaciones y deslizamientos de tierra. Por otro lado, la ausencia o la supresión de la lluvia y la

caracterización errónea de este sistema pueden representar prolongados periodos de sequía o mala distribución de las lluvias en grandes regiones.

Estudios basados a modelos numéricos sugieren la importancia de los monzones tropicales para mantener las zonas de convergencias subtropicales, sugeridas (Satyamurty y Días, 1998), el fuerte calentamiento adiabático en la cuenca del Amazonas y no la presencia de los Andes e indispensable para la formación de ZCAS. No sólo la localización de una FUENTE de calor intenso explica los patrones de convección y climatológica subsidencia asociadas a la ZCAS sino también a su forma. (Gandu y Días, 1998) encontraron una asimetría de las ZCAS que es fundamental para la rama de subsidencia observada sobre el sur de Brasil y Argentina cuando esta zona de convergencia es activa.

La actividad convectiva ocurre en asociación con la propagación de trenes de ondas de latitudes medias ligados a disturbios intraestacionales tropicales. Cuando la convección es intensa sobre el continente más desplazada de la actividad convectiva sobre el océano. No se observa una relación clara con la propagación de trenes de onda en latitudes medias del HS.

3.2.6. Alta de Bolivia (AB)

Es una circulación anticiclónica a niveles altos (200 hPa) durante los meses de verano, está asociado a una fuerte convección en la región amazónica citado por (Cook, 1997). Se sitúa sobre el área del altiplano Boliviano. Su permanencia en los meses de verano es por la convergencia de humedad en bajos niveles que van de noreste y del este de Bolivia, por lo que provoca liberación de calor latente en media y alta tropósfera asociada a la actividad convectiva, citado por (Chen et al, 1999).

Climatológicamente en noviembre, el centro de la AB se localiza a $12,5^{\circ}$ S y 63° W, el campo de las líneas muestra la AB constituye un ramo sur de una bifurcación interhemisférica que ocurre en la zona del ecuador, en torno a los 110° W. la rama norte forma una u otra circulación anticiclónica, denominada Anticiclón del Noreste (AN), citado por (Damiao, 1999) en el campo climatológico en 200 hPa para los meses de verano.

En diciembre el centro de la AB se localiza parte de Bolivia (15° S- 65° W), la bifurcación interhemisferica persiste entre los 10° S. El océano atlántico sudoeste, el hundimiento de latitudes medias (observada en noviembre). Disminuye su amplitud, dirigiéndose hacia el oeste.

En febrero la bifurcación interhemisférica y el par de anticiclones siguen persistiendo. El centro de AB se dirige hacia el noroeste, situándose al sur de Perú, en cuanto la VCAN se inclina al noreste. El movimiento vertical ascendente presenta una configuración espacial tipo “Y”, tenido el patrón de nubosidad típico durante la época del año.

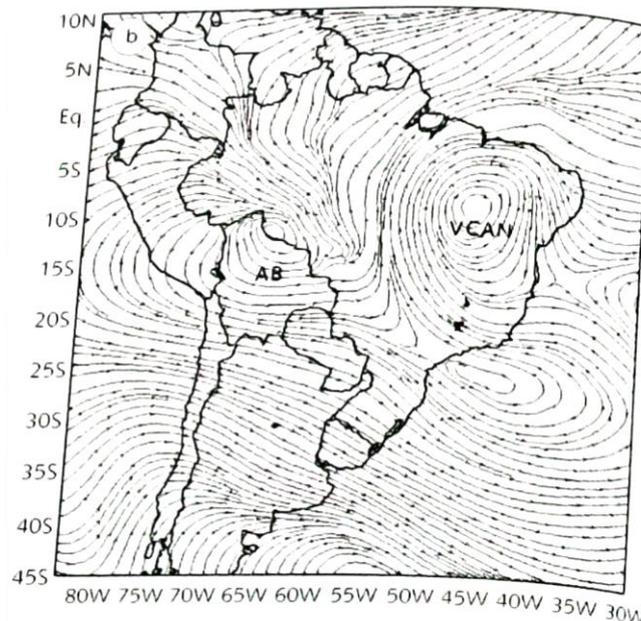


Figura 3: Patrón Sinóptico a nivel de 200 hPa.

FUENTE: Ferreira, N. (2004).

3.2.7. Vórtices ciclónicos de altos niveles (VCANS)

Los vórtices ciclónicos de altos niveles (VCANS) son sistemas meteorológicos caracterizados por centros de presión relativamente baja que se originan en la alta tropósfera y se extienden hasta los niveles medios, dependiendo de la inestabilidad atmosférica, estas se pueden desprender lentamente tanto para el este como oeste, y también se caracterizan por un tiempo de vida de varios días. Los VCANS presentan un centro relativamente frío, convergencia de masas, movimientos verticales subsidentes en su centro y ascendente en la periferia y nubosidades más intensas principalmente en la dirección de su disipación.

Desde los estudios pioneros de (Gutman et al, 1965). Ellos mostraron que la AB donde la intensidad máxima son los meses de diciembre a febrero y disminuye en los meses de abril a mayo. Para una mejor comprensión es importante la consideración de otros sistemas meteorológicos asociados y que actúan en América de Sur: AB y la ZCAS. Se observa la configuración tipo “y” que ocurre cuando el vórtice se integra con una convección de la AB y la nubosidad de los sistemas frontales de tipo “S”, cuando la convección de la ZCAS o de frentes frías se junta con la convección del vórtice. El patrón tipo “S” se torna evidente cuando la actividad de la AB no se encuentra bien organizada, o cuando esta se dirige al oeste. En este caso, la convección de la ZCAS o del sistema frontal integra con la nubosidad del VCAN.

3.2.8. Vaguada tropical de alta tropósfera (TTUT).

Es un sistema de núcleo frío que depende de la conversión de energía potencial a energía cinética y depende de la AB. Es una vaguada de niveles altos en la tropósfera, que separa la cuña subtropical de la cuña ecuatorial en el Pacífico norte o en el Atlántico norte cerca a Sudamérica. Origina núcleos nubosos que dependen de la disponibilidad de calor y humedad, aparece como una línea cortante de veinte sin las células ciclónicas o también pueden tener muy poco desarrollo en las capas superiores. Sin embargo, puede aparecer como una cadena de células ciclónicas de cientos de kilómetros de largo y en algunas ocasiones puede ser tan profunda, que puede ser observada en superficie.

La vaguada, algunas veces se observa vórtices que viajan en dirección suroeste. La TUTT en el Atlántico Norte y el Caribe (10°N a 20°N) se presenta entre junio y noviembre y se traslada desde el noroccidente de la costa de África hasta el extremo suroccidental del Caribe y en ocasiones alcanza el oriente del Pacífico ecuatorial. La TUTT es uno de los sistemas más importantes en la convección del Caribe, ya que se desempeña como un canal de salida para organizar dicha convección. La ubicación y orientación de la TUTT también puede jugar un papel importante en la formación de ciclones tropicales en el Caribe occidental.

3.2.9. Baja del Chaco.

Baja del chaco se define como un sistema de núcleo ciclónico, esta puede ser inhibida por la formación de una Alta Migratoria (AM) cuasi estacionario que se origina en el centro

sur de Argentina. Apoya la divergencia en altura cuando el paso zonal de la corriente en chorro subtropical, jet polar norte y la proyección de un frente, se producen Complejos Convectivos a Mesoescala (CCM) importantes en Paraguay, Bolivia y que se extienden hasta el sur y centro de Perú. Asimismo, el frente al moverse hacia el Norte y volverse estacionario, provocó frecuentes precipitaciones en estas regiones.

3.3. ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA.

La estabilidad o equilibrio atmosférico es la condición del aire en reposo, en la cual los movimientos convectivos no existen o están restringidos. En sentido opuesto, se define la inestabilidad atmosférica como la condición de movimientos convectivos predominantes de una masa de aire.

Las variaciones de equilibrio de una masa de aire, se deben a cambios entre los factores meteorológicos predominantes en estas, respecto a su entorno, siendo la temperatura la mayor responsable de que desaparezca la estabilidad.

3.3.1. Inestabilidad vertical en la atmósfera.

Durante gran escala de la atmósfera es casi hidrostática, que significa que la fuerza del gradiente de presión equilibra la fuerza de la gravedad. Debido a que la fuerza neta en la vertical es cero, la atmósfera durante esas escalas exhibe movimientos verticales lentos de velocidad constante, es decir, no hay aceleración hacia arriba del aire. Sin embargo, en las escalas más pequeñas equilibrio hidrostático puede ser invalidado.

La ecuación de movimiento para una parcela:

$$\frac{dp}{dz} = -\rho g \dots\dots\dots (5)$$

$$\rho' \frac{d^2z}{dt^2} = \rho' g - \frac{dp'}{dz} \dots\dots\dots (5.1)$$

$$\ddot{z} = g \left(\frac{\rho - \rho'}{\rho'} \right) \dots\dots\dots (5.2)$$

La ecuación (5) se refiere a la ecuación hidrostática donde ρ es la densidad, g es la gravedad, p es la presión y z es el desplazamiento vertical. La segunda ecuación (5.1) tiene relación con la aceleración que tiene la parcela en el ascenso o descenso, así mismo los valores primos identifican la parcela y la ecuación (5.2) se obtiene debido a la suposición

de $\frac{dp'}{dz} = \frac{dp}{dz}$. Sin embargo, suponiendo que la gravedad y la fuerza gradiente de presión están actuando en la parcela se establece la segunda ley de la termodinámica. La combinación de la gravedad y la gradiente de presión se le denominan flotabilidad. Utilizando la definición de temperatura virtual se puede escribir la ley de gases ideales para un medio ambiente y parcela será: $\rho = \rho R_d T_{virt}$ y $\rho = \rho' R_d T'_{virt}$

La razón por el cambio a $\rho' R_d T'_{virt}$ hace que el análisis sea más directo.

$$\ddot{z} = g \left(\frac{T'_{virt} - T_{virt}}{T_{virt}} \right) \dots \dots \dots (5.3)$$

La ecuación (5.3) presenta las variables: g= la gravedad y Tvirt = Temperatura virtual.

Cuando una parcela se mueve por una capa, que se caracteriza por una temperatura virtual, donde w es la relación de mezcla.

$$\frac{dT'_{virt}}{dz} = (1 + 0.61w') * \frac{dT'}{dz} \dots \dots \dots (5.4)$$

Como w no es constante en un medio ambiente se reemplaza por:

$$\Gamma_{virt} = (1 + 0.61w)\Gamma - 0.61T \frac{dw}{dz} \dots \dots \dots (5.5)$$

Tabla 5: Índice de Estabilidad

Relación	Relación	Relación	Estabilidad
$\Gamma_{virt} > \Gamma_d$	$\Gamma_{virt} > \Gamma_s$	$\Gamma_{virt} > \Gamma_d$	capa inestable
$\Gamma_{virt} = \Gamma_d$	$\Gamma_{virt} = \Gamma_s$	$\Gamma_s < \Gamma_{virt} < \Gamma_d$	capa neutral
$\Gamma_{virt} < \Gamma_d$	$\Gamma_{virt} < \Gamma_s$	$\Gamma_{virt} < \Gamma_s$	capa estable

FUENTE: Elaboración propia

3.4. ENERGÍA POTENCIAL DISPONIBLE PARA LA CONVECCIÓN (CAPE).

Según Blanchard (1998); este parámetro fue diseñado para evaluar la energía liberada una vez que se ha alcanzado la condensación, en una parcela de aire que se mueve pseudoadiabáticamente.

Para el cálculo del valor de este índice se usa la siguiente expresión:

$$CAPE = g \int_{LCL}^{EL} \left(\frac{TPP - TPA}{TPA} \right) dz \dots \dots \dots (6)$$

TPP= Temperatura potencial de la parcela; TPA= Temperatura potencial del aire; dz=variación con respecto a la altura; g=Gravedad; EL= Nivel de equilibrio (m); LCL= nivel de Condensación por ascenso (m).

Tabla 6: Clasificación de estabilidad respecto a los Valores de CAPE (en latitudes medias)

<i>CLASE (J/Kg)</i>	ESTABILIDAD
<i>< 0</i>	Estable
<i>0 a 1000</i>	Levemente Inestable
<i>1000 a 2500</i>	Moderadamente Inestable
<i>2500 a 3500</i>	Muy Inestable
<i>>3500</i>	Extremadamente Inestable

FUENTE: García (2008).

IV. MATERIALES Y METODOS

4.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1.1. Sudamérica

El continente sudamericano se encuentra ubicado en el hemisferio sur, rodeado por el Océano Pacífico y Atlántico. Donde la zona norte del continente se ubica ZCIT y la zona sur se encuentra cerca a los 60°S. La topografía se presenta en una banda paralela a la costa del pacifico que tiene una extensión desde Venezuela hasta el sur del continente entre Argentina y Chile.

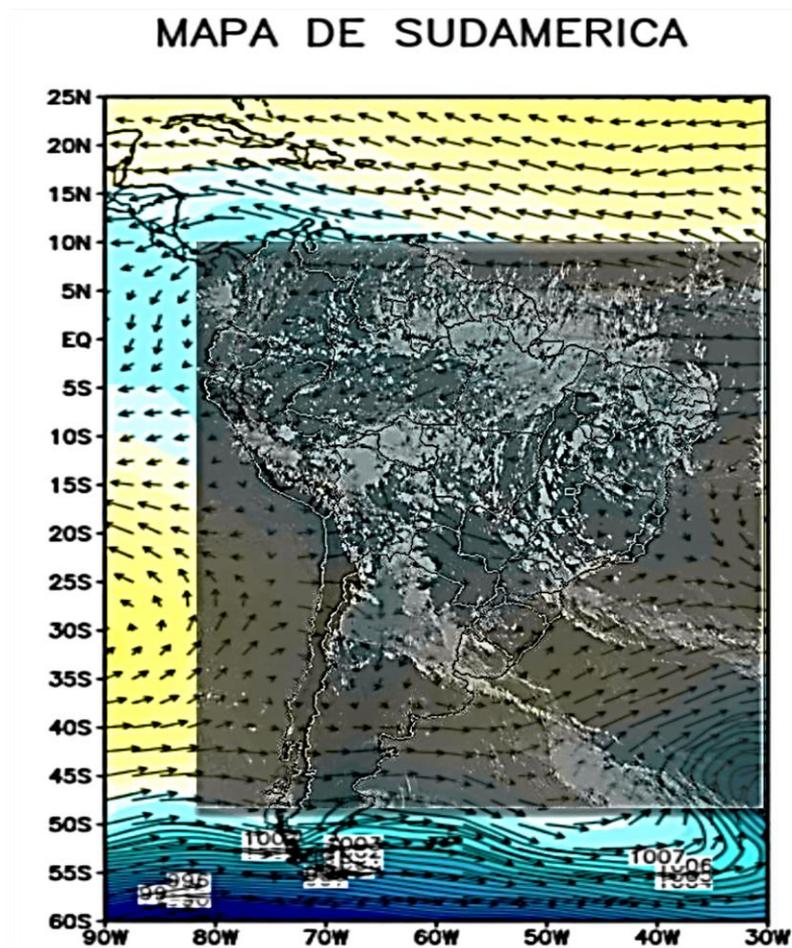


Figura 4: Mapa de Sudamérica.

FUENTE: Elaboración Propia

4.1.2. Amazonía Peruana

Perú se encuentra ubicado en el continente americano, en el lado sur según la línea ecuatorial y al oeste del meridiano base se encuentra en el rango 0 a 18°S de latitud y en un rango de 81°W a 68°W de longitud. Este se caracteriza por poseer diferentes climas en su territorio, también posee una amazonia con gran variedad de especies que la habitan.

Conocido también como bosque tropical descrito por (Pulgar, 1941), se caracteriza por poseer un clima muy caluroso, con grandes precipitaciones y humedad donde las temperaturas son semi cálidas y con abundantes precipitaciones en el verano austral (Peña, 2004).

El área del presente estudio abarca la región Rupa Rupa (Selva Alta) y Omagua (selva baja). La primera región se caracteriza por poseer áreas calurosas y tropicales desde los 400 hasta 1000 msnm, la segunda región tiene una extensión altitudinal desde los 80 hasta 400 m.s.n.m.

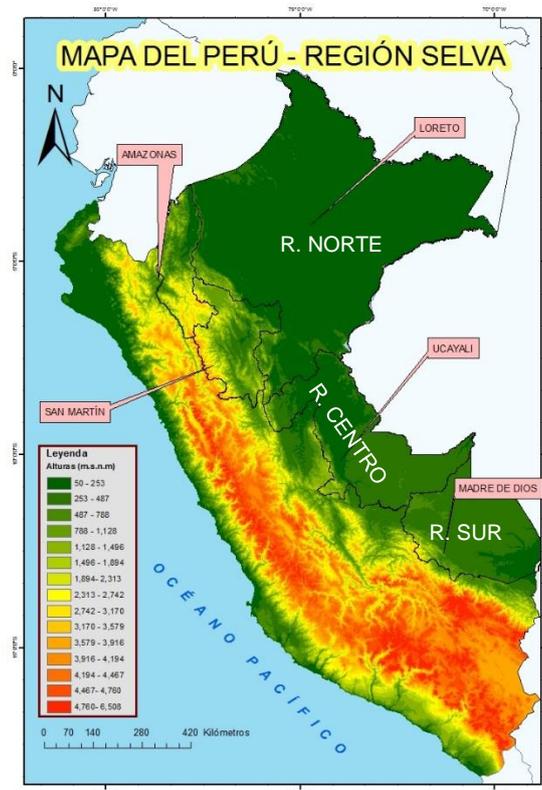


Figura 5: Área de Estudio.

FUENTE: Elaboración propia

4.2. PERIODO DE ESTUDIO E INFORMACIÓN

4.2.1. Periodo de estudio

Para el presente trabajo se escogieron algunos eventos de ola de calor hallados según la metodología utilizada.

Tabla 7: Periodo de los eventos representativos

Eventos	Periodos de Estudio	
Región		2015
Norte		24 al 29 de noviembre
Región	2013	
Centro	29 al 31 de diciembre	
Región		2015
Sur		23 al 24 de septiembre

FUENTE: Elaboración Propia.

4.2.2. Información meteorológica

4.2.2.1. Información de temperaturas extremas y precipitación

Se recopiló información de las variables meteorológicas.

- Temperatura máxima diaria.
- Temperatura mínima diaria.
- Precipitación total de 24 horas de las estaciones seleccionadas para el estudio.

4.2.2.2. Información Sinóptica

Se recopiló información de Reanálisis del modelo NCEP-NCAR en las fechas que se describen a continuación:

Tabla 8: Variables Meteorológicas

Variables	Nomenclatura	2015	2013	2015
Meteorológicas		24 al 29 de noviembre	29 31 de diciembre	23 24 de septiembre
Viento Zonal	U	✓	✓	✓
Viento Meridional	V	✓	✓	✓
Viento vertical	Ω	✓	✓	✓
Temperatura	T	✓	✓	✓
Altura Geopotencial	HGT	✓	✓	✓
Presión a nivel del mar	PNM	✓	✓	✓
Precipitación	PP	✓	✓	✓
Radiación de onda larga	OLR	✓	✓	✓
Humedad Relativa	HR	✓	✓	✓

FUENTE: Elaboración Propia.

4.3. MATERIALES

A continuación; se describen los siguientes materiales; los cuales fueron utilizados en el presente estudio:

- Computadora Intel de 4Gb de RAM.
- Memoria de 1 Tb.
- Datos meteorológicos.
 - ✓ Temperatura máxima.
 - ✓ Temperatura mínima.
 - ✓ Precipitación.
- Datos de Reanálisis del Modelo NCEP NCAR.
- Imágenes visibles e infrarrojas GOES.
- Visualizador Grid Analysis and Display System (GRADS).
- Materiales de escritorio.

4.4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

Se recolectó información de datos observada de estaciones ubicadas en la Amazonia peruana de las variables de temperaturas máximas y mínimas, según Gutierrez (2008) se analizó mediante diagramas lineales (series de tiempo) y diagramas de cajas (boxplot).

Luego de realizar lo previo se procedió a la aplicación del método estadístico denominado Percentil 90 ; el cual consisten en obtener un umbral indicando el porcentaje de datos que son igual o menores a dicho umbral; en otras palabras, nos dice la posición del umbral con respecto al conjunto de datos.

Posteriormente, se eligió algunos de los casos más representativos de manera regional, donde se encontraron casos; en los cuales la población fue más afectada. Asimismo; se analizó las condiciones que se presentaron en el transcurso de los eventos.

Seguidamente con las fechas encontradas se caracterizó estos eventos, para luego evaluar las estaciones más representativas según las variables de $T_{máx}$ y $T_{mín}$ utilizadas en el análisis.

Para lograr una mejor comprensión espacial de los límites que pudiesen ser afectados se utilizó el visualizador GRADS, y se evaluaron las variables meteorológicas que pueden dar una mayor comprensión de los mecanismos físicos que rigen o predominan en los episodios seleccionados.

Con los casos que se evaluaron previamente se planteó un modelo conceptual para comprender los factores que dan origen a estos eventos; para luego proceder con el pronóstico; el cual podría favorecer a las poblaciones que podrían ser afectados en el futuro.

4.4.1. Metodología para caracterizar los eventos de olas de calor en la Amazonia peruana durante el periodo (1985-2015) mediante las variables meteorológicas ($T_{máx}$ y $T_{mín}$).

4.4.1.1. Obtención de la información meteorológica.

Para la obtención de la información se realizó un análisis con las variables de temperaturas máximas y mínimas de las estaciones meteorológicas que se encuentran ubicadas en la Amazonia Peruana. Estas se encuentran distribuidas en los departamentos; tales como: Loreto, Ucayali y Madre de Dios y con una variación menor a 1000 m.s.n.m.

4.4.1.2. Análisis exploratorio de datos meteorológicos.

La verificación de los datos meteorológicos de $T_{\text{máx}}$ y $T_{\text{mín}}$; deberán de tener la mayor cantidad de información y continuidad en el tiempo, además estos datos se apoyarán de diagramas lineales y de diagramas de cajas, con el objetivo comprender el comportamiento histórico de las estaciones y de los máximos valores registrados. Cabe resaltar que los valores erróneos se eliminaron para el análisis.

Para este trabajo se manejó la mayor cantidad de información de las estaciones meteorológicas de SENAMHI, en el periodo de 1985 a 2015 (30 años). Es necesario detallar que se utilizó las estaciones con mayor información y las que se encuentran en el ámbito del área de estudio. Finalmente; la información se ordenó según la latitud y longitud, verificando que los valores de cada estación registren un comportamiento similar a la región a analizar. La información de las estaciones se detallará en el Anexo 1 y 2.

4.4.1.3. Selección de las estaciones para el estudio.

En esta etapa se seleccionaron las estaciones que se ubican en el área de estudio de la Amazonia Peruana; las cuales han sido divididas en tres regiones: Norte Centro y Sur de acuerdo a SENAMHI.

Para este trabajo se tomó en cuenta 37 estaciones seleccionadas por la cantidad de información que se ha registrado en el rango de tiempo del análisis. Lo cual consiste en que las estaciones tengan más de un 50% de data en las dos variables meteorológicas de estudio (temperatura máxima y mínima). Esta se muestra en el Anexo 3.

4.4.1.4. Utilización de los percentiles.

La metodología estadística que se empleó en el análisis es el uso del percentil 90; utilizada por SENAMHI (2014) y AEMET; el cual nos indica para el estudio de eventos de olas de calor el uso del percentil 90.

Este percentil se usó en las variables de temperatura máxima y temperatura mínima para las cuales se procede con lo siguiente:

1. Excluir del cálculo el valor más alto de serie.
2. Verificar su impacto en los parámetros estadísticos de la serie debido a la presencia de “outliers”.
3. Al utilizar Microsoft office (Excel); se usa la función PERCENTIL.INC.
4. Tomar el periodo completo de la información (1985-2015).
5. Tomar la longitud de la serie por los 30 años de información.

4.4.1.5. Obtención de los umbrales.

Se llevó a cabo en cada una de las estaciones el uso del percentil 90 de manera tal que se obtuvo un umbral específico por estación.

Posteriormente se obtuvo un umbral de referencia general del promedio de todas las estaciones utilizadas, debido que los valores superiores a su percentil por estación no varían con los eventos. Aunque las estaciones no registran en la misma fecha inicial, existen periodos en los cuales la mayoría de las estaciones posee información del evento en estudio. Estos episodios de olas de calor se repiten con mayor frecuencia en los meses de septiembre, octubre y noviembre en la Amazonia.

4.4.1.6. Identificación de los episodios

Los eventos encontrados en el estudio se evidenciaron mediante el empleo del umbral de referencia general en base a la data registrada de las estaciones. Es decir, los valores superiores a los umbrales en la mayoría de las estaciones en un rango de tiempo de dos a más días evidenciarían que se está llevando a cabo un evento de ola de calor.

Según Alfaro (2014); los criterios a tomar para obtener estos eventos son:

- Los valores deben de superar al percentil 90.
- La diferenciación con el percentil 90 debe de ser positivo.
- La longitud de la serie es muy importante ya que ello afecta la determinación de los umbrales.

Adicionalmente; otro criterio considerable en los eventos mencionados previamente es el siguiente:

- Para considerar un evento deben de pasar 2 a más días consecutivos en la mayoría de las estaciones. (Robinson, 2000).

Al encontrar estaciones donde se presentan eventos de Ola de Calor, se realizaron graficas lineales donde se muestran los días que sobrepasaron su umbral. Asimismo se procedió a realizar las gráficas del número de estaciones por región; duración de días y porcentaje de estaciones.

4.4.2. Metodología para determinar los mecanismos físicos de la ocurrencia de olas de calor en la región amazónica.

Para observar de manera espacial las variables meteorológicas en estudio, se aplicó un visualizador GRADS en las diferentes variables meteorológicas; las cuales son proporcionadas por el Reanálisis del NCEP-NCAR, los cuales fueron utilizados en los diferentes niveles isobáricos. Así mismo, se desarrollaron diferentes programas para dar soluciones próximas a las ecuaciones utilizadas, las cuales ayudaron a identificar los mecanismos físicos que predominan en estos eventos.

a) Análisis a niveles bajos.

El paso de sistemas en los niveles altos se ve reflejada en los niveles bajos de la tropósfera por el aporte de mecanismos físicos asociados al transporte de sus propiedades físicas. Por lo que se analiza las variables primarias en los niveles de 1000 a 700 hPa. Asimismo; también se evaluó el forzamiento térmico mediante la ecuación termodinámica que se planteó. A continuación lo siguiente:

Tabla 9: Variables primarias meteorológicas de Reanálisis NCEP-NCAR en niveles bajos

Variable Primaria	Unidad	Utilización
Viento meridional	Kt	Flujos de viento
Viento zonal	Kt	
Omega	Pa/s	subsistencia o ascensos de masa de aire
Humedad Relativa	%	Concentración de Saturación en el área
Temperatura del aire	°C	Advección de temperatura
Presión a nivel medio del mar	hPa	Posición del APSO
OLR	$\frac{W}{m^2}$	Anomalías de OLR positivas
Espesor	M	Masa fría y/o cálida

FUENTE: Elaboración Propia.

Para interpretar y comprender mejor los mecanismos físicos del entorno será necesario disponer de campos derivados, para ello se utilizará variables secundarias derivadas del modelo numérico utilizando el lenguaje scripting del programa GRADS, entre ellas tenemos:

Tabla 10: Variables secundarias meteorológicas de Reanalysis NCEP-NCAR en niveles bajos

Variable Secundaria	Unidad	Utilización
Líneas de corriente		Patrones en los Diferentes Niveles
Humedad Relativa promedio	%	Áreas de Saturación
Índice de Calor	°C	Rango de Temperatura
Índice de confort térmico	°C	Confort Humano
Índice de desconfort térmico	°C	Disconfort Humano
Índice de stress de Lee y Henschell		Tasa De Transpiración y La Demanda Evaporativa

FUENTE: Elaboración Propia.

b) Análisis a niveles medios y altos.

Para identificar los procesos que se llevan a cabo en niveles bajos, se debe también conocer lo que sucede en alta tropósfera (250 a 200 hPa), lo cual producen efectos en niveles bajos.

Tabla 11: Variables primarias meteorológicas de Reanálisis NCEP-NCAR en los niveles medios y altos

Variable Primaria	Unidad	Utilización
Viento meridional	Kt	Flujos de viento
Viento zonal	Kt	

FUENTE: Elaboración Propia.

Tabla 12: Variables secundarias meteorológicas de Reanálisis NCEP-NCAR en los niveles medios y altos.

Variable Secundaria	Unidad	Utilización
Líneas de corriente		Patrones en los diferentes niveles

FUENTE: Elaboración Propia.

Para conocer los mecanismos físicos que se interrelacionan entre alta y baja tropósfera también se realizarán cortes de sección transversal y temporal; los cuales facilitaron la visualización del comportamiento de la estructura vertical de la tropósfera.

4.4.2.1. Análisis de estructura vertical de la tropósfera

Para conocer los mecanismos físicos en las diferentes capas isobáricas, se realizaron cortes de sección transversal y temporal que facilitaron la comprensión del comportamiento vertical de la tropósfera. Adicionalmente; se identificaron los mecanismos físicos que tienen relación directa e indirecta de los niveles bajos con los altos y viceversa. Es decir, los sistemas que se presentan en los eventos de Ola de Calor.

Las variables, parámetros y elementos analizados se presentan a continuación:

Tabla 13: Variables primarias meteorológicas de Reanálisis NCEP-NCAR en los niveles de la tropósfera.

Variable Primaria	Unidad	Utilización
Isotacas	Kt	Velocidad de Viento
Humedad relativa	%	Concentración de Saturación en el área
Omega	Pa/s	Masa fría y/o cálida
Temperatura	°C	Advección de temperatura
Divergencia	1/s	Desplazamiento de masa de aire

FUENTE: Elaboración Propia.

Tabla 14: Variables secundarias meteorológicas de Reanálisis NCEP-NCAR en los niveles de la tropósfera

Variable Secundaria	Unidad	Utilización
T. potencial equivalente	K	Inestabilidad
Humedad Relativa promedio	%	Áreas de Saturación

FUENTE: Elaboración Propia.

4.4.3. Metodología para determinar el entorno sinóptico asociados a los episodios de olas de calor.

Para determinar las condiciones sinópticas que influyen en las olas de calor, se utilizó la información de Reanálisis del (NCEP/NCAR, 2017) y NOAA (2017); de la cual se analizó el posicionamiento, configuración, intensificación y anomalías de los sistemas atmosféricos en los niveles bajos de la tropósfera (superficie y 850 hPa), media (500 hPa) y alta tropósfera (250 y 200 hPa).

a) Análisis en nivel de superficie

El análisis a nivel superficial (1000 hPa) se realizó a través del análisis espacial y temporal de los campos isobáricos, temperatura, índices de calor e estrés térmico.

- **Análisis isobárico**

Este análisis nos permite indicar el tipo e intensidad de los sistemas, sea anticiclónico o ciclónico. Al igual que el análisis de la gradiente isobárica que permite ubicar las zonas de mayor o menor influencia del viento, es decir, cuando las isobaras están más juntas hay mayor intensidad de flujo de los vientos y si este es de menor intensidad de flujos las isóbaras se encontraran más separadas.

- **Análisis isotérmico de Sudamérica**

Los campos de isotermas indican los contrastes térmicos que constituyen el límite entre dos tipos de masas de aire a nivel de Sudamérica.

- **Análisis de índices de calor e estrés térmico**

Este análisis nos permite obtener las áreas donde las temperaturas del medio ambiente son más intensas y también nos permite obtener las áreas donde posiblemente afecta a la población.

- **Análisis de anomalía OLR y Precipitación.**

Los valores positivos muestran la energía que llega a la superficie terrestre, al tener mayor incidencia hace que el entorno este más caliente en los niveles bajos, al igual que mide la cantidad de posibles lluvias.

b) Análisis en niveles medios y altos de la tropósfera

Para determinar las condiciones sinópticas en media (500 hPa) y alta tropósfera (250 y 200 hPa) fue necesario analizar la ubicación, configuración, intensificación y anomalía de los sistemas meteorológicos.

- **Sistemas meteorológicos**

Se analizó los flujos de viento y promedio de humedad relativa (1000-500 hPa). El análisis del campo de viento permitió visualizar la variabilidad a diferentes niveles isobáricos, específicamente lo respectivo a la visualización de circulaciones ciclónicas y anticiclónicas, cuñas, vaguadas; entre otros.

Seguidamente se realizó la observación del promedio de humedad relativa; lo cual permitió diferenciar masas de gran saturación y áreas con mínima saturación. Además, permite obtener las posiciones de los Complejos Convectivos a Mesoescala.

4.4.4. Metodología para realizar un modelo conceptual de pronóstico de la ocurrencia de olas de calor.

Para obtener un modelo conceptual, nos basamos en información que se tiene de las configuraciones típicas durante el análisis. Además de establecer el análisis de las variables meteorológicas en la estructura de la tropósfera durante los episodios de olas de calor se procedió a interpretar las relaciones existentes entre los diferentes sistemas meteorológicos de alta y baja tropósfera, lo cual permitió determinar el aumento de temperaturas, desplazamiento de circulaciones ciclónicas a niveles medios y altos, anomalías positivas de OLR y posibles sistemas convectivos en el continente sudamericano para finalmente obtener el modelo conceptual con fines de pronóstico.

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Las olas de calor en Sudamérica ocurren de manera regional, es importante resaltar que las OC se obtuvieron generalmente en la región norte, debido a que esta área posee más estaciones. En el Perú, los aumentos de temperaturas son más frecuentes mayormente en la estación de primavera, donde los sistemas convectivos son menos intensos por lo que la presencia de precipitaciones son menos frecuentes que en los meses de verano.

Previo a un análisis sinóptico detallado se muestra las condiciones meteorológicas observadas durante los eventos seleccionados en la selva peruana en los periodos obtenidos. Sobre este punto se debe mencionar que dicho análisis se realizó en las variables meteorológicas tales como: temperatura máxima diaria, temperatura mínima diaria y la precipitación diaria; Asimismo se procedió al análisis de los índices en la duración de los eventos de OC; tales como: Índice de calor (IC), Índice de Confort (ICH), Índice disconfort humano (IDH) e Índice de Estrés Térmico (IRE). Todos ellos fueron evaluados durante dicho evento en cada estación representativa de cada región de la selva, basado en la información histórica de las temperaturas en el periodo de 1985 al 2015 en los meses mencionados.

a) Variación diaria histórica de las variables meteorológicas: $T_{máx}$, $T_{mín}$ y Precipitación en la selva peruana

Se aprecia el comportamiento de la temperatura máxima y temperatura mínima en diferentes estaciones de la selva peruana según la región donde se encontraron eventos de olas de calor.

En la Figura 6, se muestra las estaciones seleccionadas que corresponden a la región del norte, estas estaciones presentan un aumento en las variables de temperatura máxima y mínima en los días donde se lleva a cabo el evento (Véase Tabla 6). Adicionalmente se evidencia precipitación al término del evento

En la Figura 7, se muestra las estaciones seleccionadas que corresponden a la región del centro, estas mencionadas con anterioridad presentan una tendencia positiva marcada en los días donde se lleva a cabo el evento en las variables de temperatura y sin presencia de precipitación en la mayoría de estaciones (Véase Tabla 6).. La estación Puerto Ocopa presenta lluvia indicando el término del evento.

En la Figura 8, se muestran las estaciones seleccionadas de la región sur, presentando tendencia a aumentar las temperaturas en los días donde se lleva a cabo el evento de la de calor. Además la presencia de lluvia de fuerte intensidad que se genera al día posterior del evento refresca el entorno (Véase Tabla 6) disminuyendo las temperaturas propiciando el término del evento de la de calor.

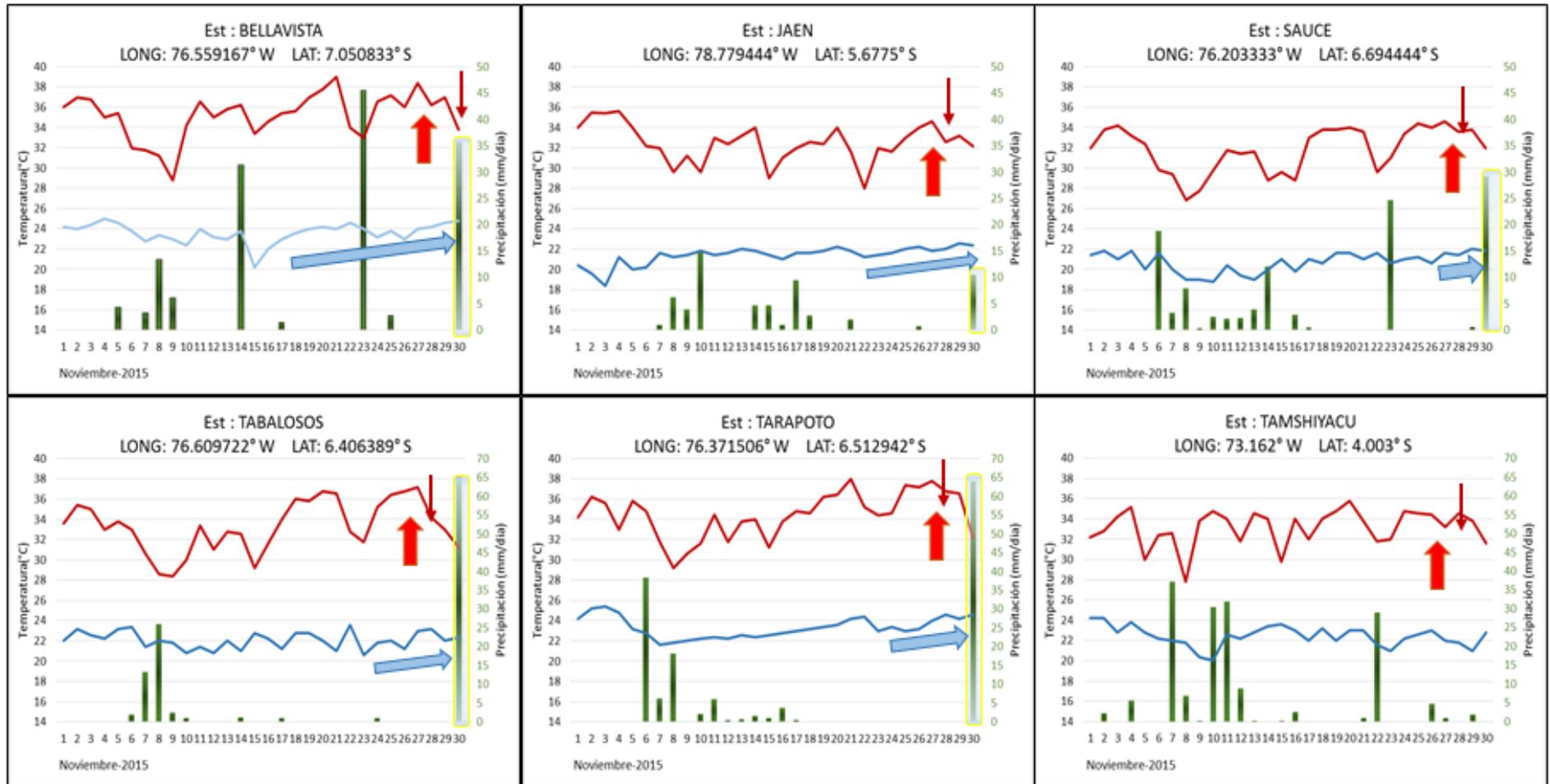


Figura 6: Variación diaria de la temperatura máxima (°C, líneas rojas), temperatura mínima (°C, líneas azules) y precipitación (mm/día, barras verdes) para el mes de Noviembre del 2015

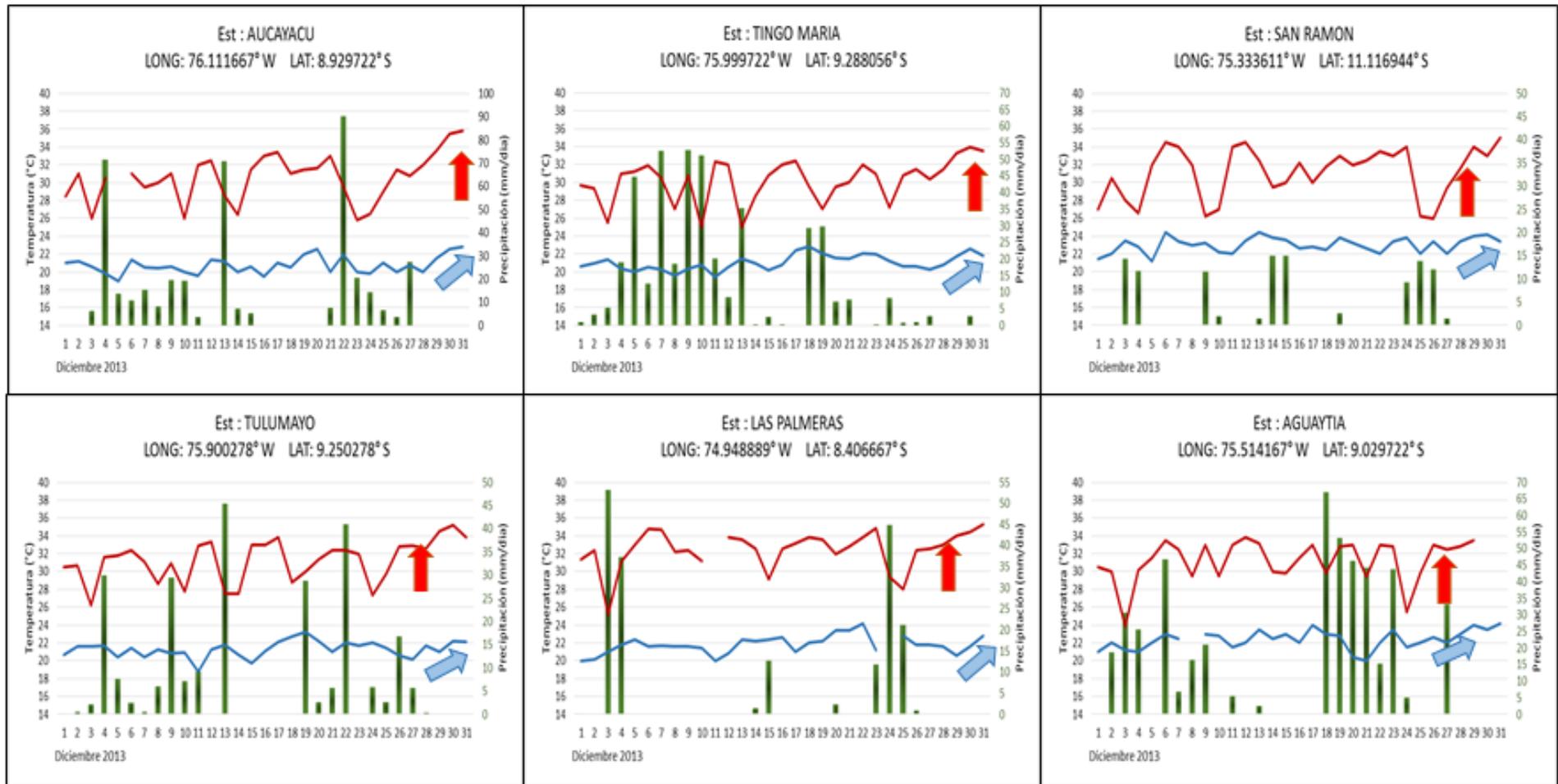


Figura 7: Variación diaria de la temperatura máxima (°C, líneas rojas), temperatura mínima (°C, líneas azules) y precipitación (mm/día, barras verdes) para el mes de Diciembre del 2013

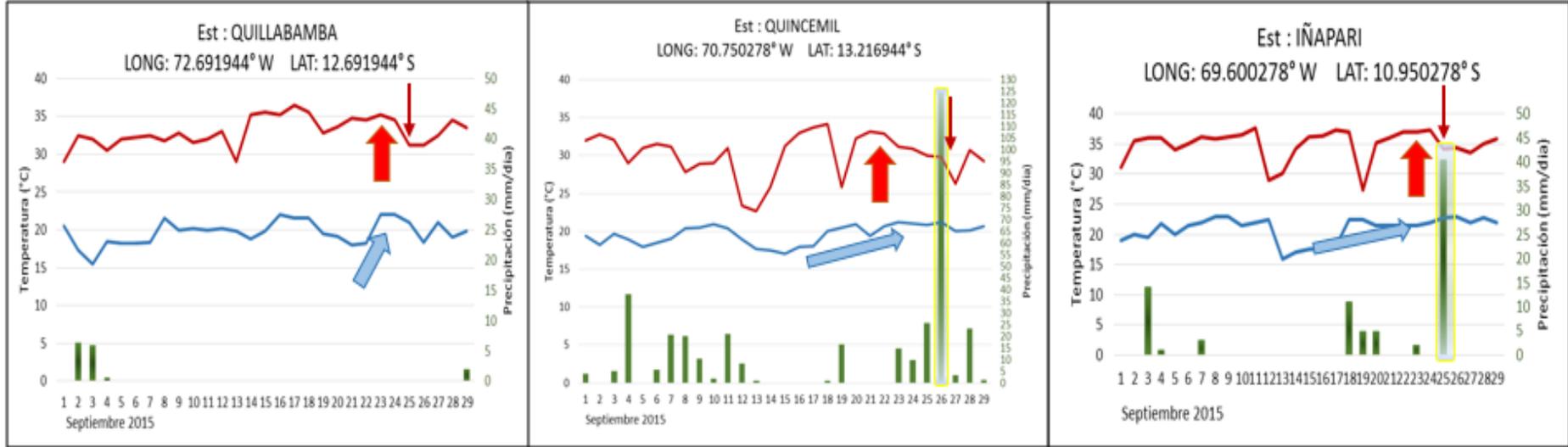


Figura 8: Variación diaria de la temperatura máxima (°C, líneas rojas), temperatura mínima (°C, líneas azules) y precipitación (mm/día, barras verdes) para el mes de Septiembre del 2015

5.1. DETERMINACIÓN DE LA CARACTERIZACIÓN MEDIANTE LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS (T_{MÁX}, T_{MÍN}) EN LOS EVENTOS DE OLAS DE CALOR

5.1.1. Variación diaria de las variables meteorológicas: T_{máx} y T_{mín} regional en la selva peruana.

En la Figura 9 (a), se muestra una OC en el año 2015 en el mes de Noviembre en la región norte, en donde se aprecia los valores de temperatura máxima y temperatura mínima que superan el umbral de referencia (Perc.Ref.T_{máx}= 33°C y Perc.Ref.T_{mín}=22°C). Los valores de la temperatura mínima tienen una tendencia positiva a partir del día 10 superando el percentil de referencia hasta el término del mes, mientras que los valores de temperatura máxima tienen gran variación. Es preciso mencionar que los valores máximos de T_{máx} y T_{mín} son 35°C y 23.3°C respectivamente.

En la Figura 9 (b), se muestra una OC en la región centro del 2013 en el mes de diciembre, apreciándose valores que superan el umbral de referencial (Perc.Ref.T_{máx}= 33°C y Perc.Ref.T_{mín}=22°C) en los últimos días del mes. Se observa un aumento en las dos variables desde el inicio del mes. Es preciso mencionar que los valores máximos de T_{máx} y T_{mín} son 35°C y 22.7°C respectivamente.

En la Figura 9 (c), se muestra en la región sur la presencia de OC en el mes de septiembre del 2015, en donde se aprecia en los valores de las dos variables una gran variación en todo el periodo de estudio, además existe una tendencia positiva a partir del día 13. Los valores máximos de T_{máx} y T_{mín} son 35°C y 22.8°C respectivamente. Al término del evento se observa una caída de las temperaturas y con una tendencia negativa posterior hasta el término del mes.

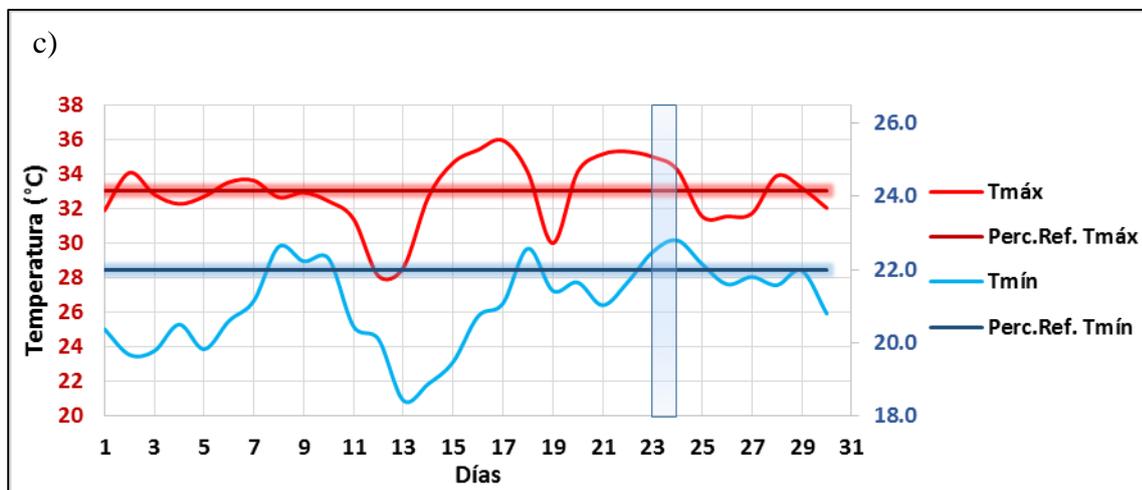
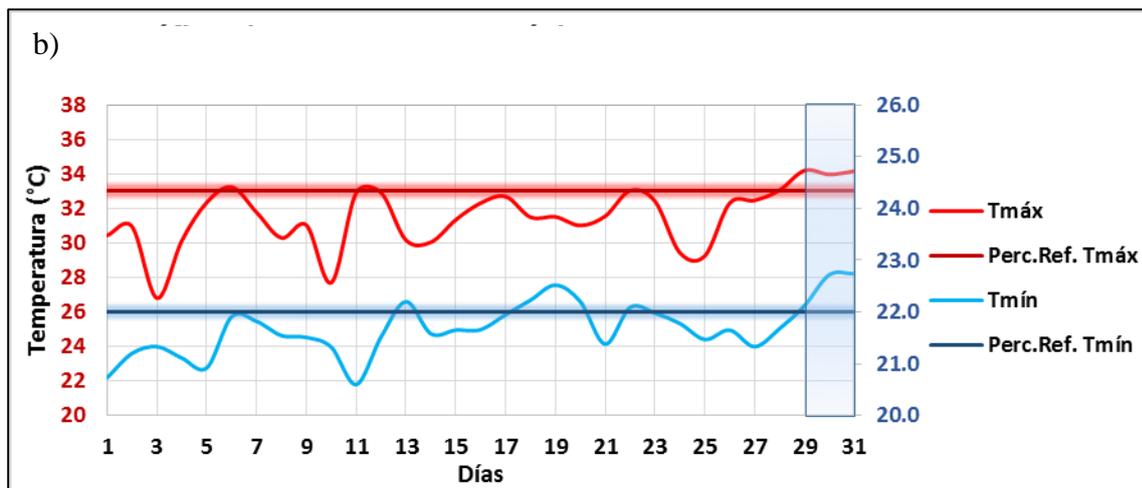
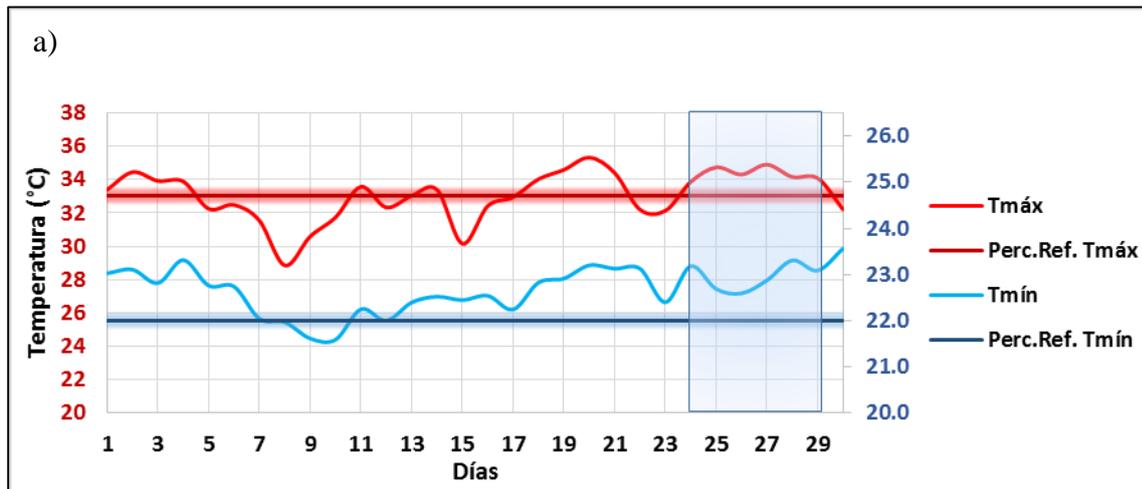


Figura 9: Variación diaria del promedio de las estaciones en las regiones norte, centro y sur de temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), percentil de referencia de Tmáx (°C,) y percentil de referencia de Tmín (°C,) en los episodios de OC a) noviembre del 2015, b) diciembre del 2013 y c) septiembre del 2015

5.1.2. Variación de anomalía climatológica de las variables meteorológicas: T_{máx} y T_{mín} regional en la selva peruana.

En la figura 10 (a), se muestra las anomalías de temperatura máxima (Anom. T_{máx}) y temperatura mínima (Anom. T_{mín}), los valores que se obtuvieron mayormente fueron positivos en el mes de noviembre, el valor máximo de anomalía en la T_{máx} fue de +3.2°C en el día 27, mientras que el valor máximo de anomalía de T_{mín} fue de + 2°C. Además se observa que el último día del evento una caída en la anomalía de T_{máx} inferior a +1°C.

En la figura 10 (b), se muestra los valores que se obtuvieron; los cuales varían en el mes de estudio (diciembre), en el cual se observa caídas en la variable Anomalía de T_{máx} en diferentes días. Es importante mencionar que en días anteriores al evento se aprecia una tendencia a aumentar a partir del día 27. Los valores máximos de Anomalía de T_{máx} y Anomalía de T_{mín} fueron +3.2°C y +1.6°C en los días 29 y 30 respectivamente.

En la figura 10 (c), se muestra mayormente valores positivos en el mes de setiembre. Los valores máximos de Anom. T_{máx} y Anom. T_{mín} fueron +3.8°C y +3.7°C en el los días 23 y el día 24 respectivamente.

En la figura 10 (a.1), se muestra las anomalías según el percentil de las estaciones involucradas en la OC de la región norte. Es preciso recalcar que más del 50% en las estaciones poseen valores positivos. El valor máximo de Anomalía de T_{máx} fue de +3.9°C en las estaciones: Bellavista, El Porvenir y Tarapoto, el valor máximo de anomalía de T_{mín} es de +2.7°C en la estación del Estrecho.

En la figura 10 (b.1), se evidencia que más del 50% de las estaciones asociadas al evento de OC en la región centro poseen valores positivos. El valor máximo de la anomalía de T_{máx} fue de +2.8°C en la estación Contamana, al igual que el valor máximo de anomalía de T_{mín} con un valor de +2.7°C.

En la figura 10 (c.1), se aprecia que más del 50% de las estaciones asociadas a la OC poseen valores positivos en la variable T_{máx}, debido a que las demás estaciones no han registrado la variable T_{mín}. Sin embargo, se debe de recordar que estos eventos de OC se han registrado en diferentes medios de comunicación por lo cual se evaluó este periodo. Es importante recalcar que el valor máximo de la anomalía de T_{máx} fue de +4.2°C en la estación Iñapari y el valor máximo de Anomalía de T_{mín} es de +3.7°C en la estación del Puerto Maldonado.

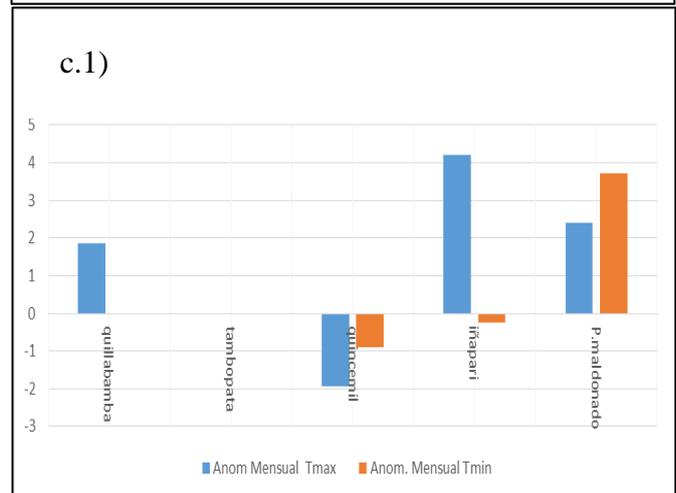
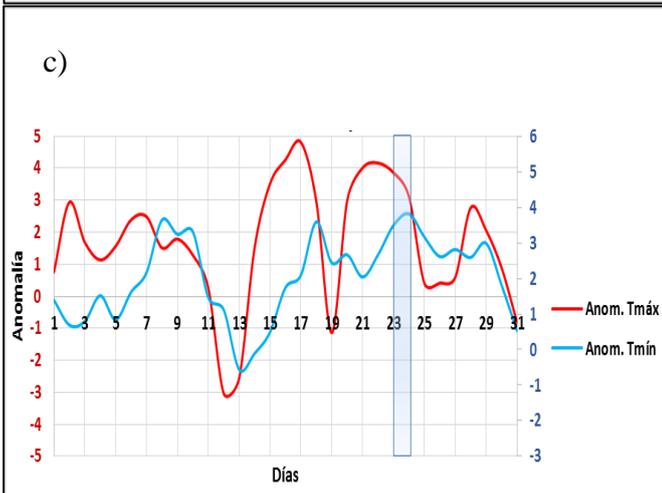
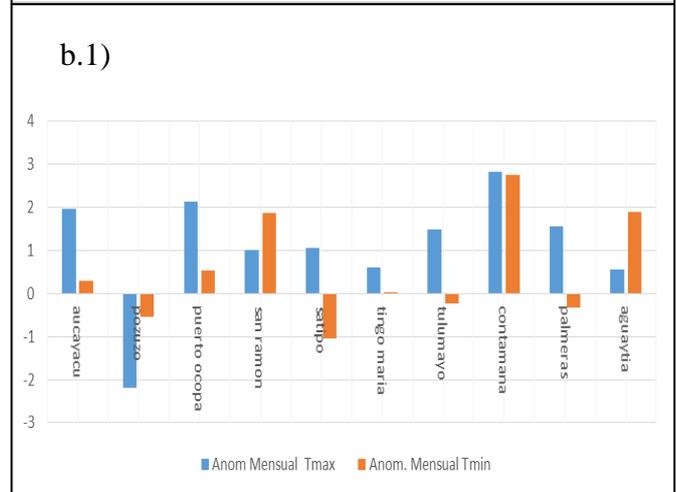
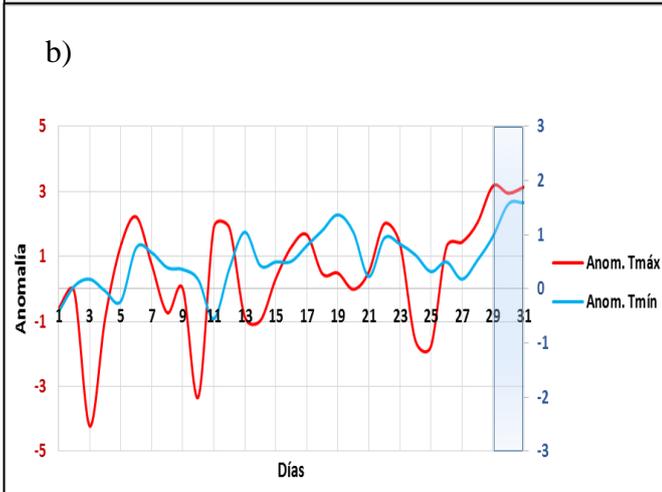
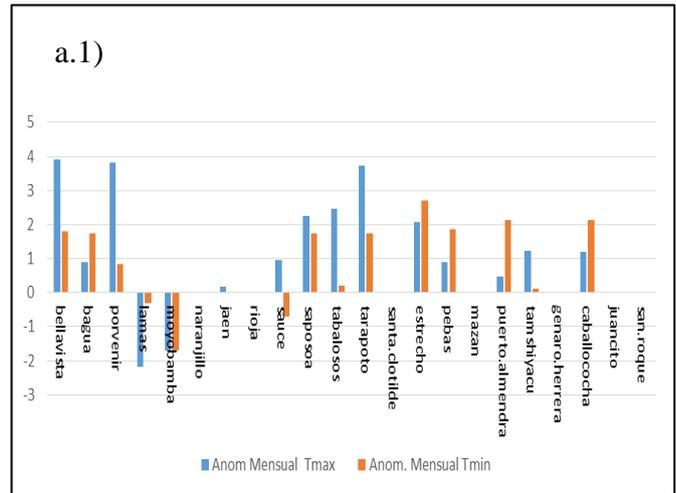
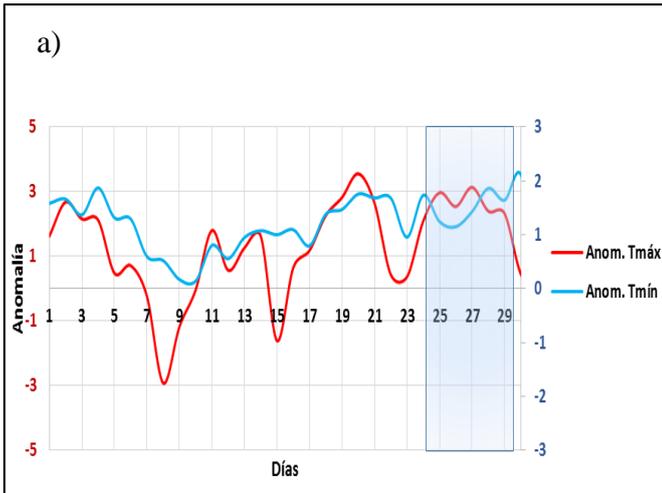


Figura 10: Lado izquierdo: Anomalia climatológica diaria de la temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C). Lado derecho: Anomalia del percentil diaria de la temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C). En la región norte en el año 2015 del mes de noviembre (parte superior), región centro el 2013 de diciembre (parte central) y en la región sur el 2015 en el mes de setiembre (parte inferior)

5.1.3. Análisis de los índices en la duración de los eventos de OC.

5.1.3.1. Índice de calor (IC).

En la Figura 11, se muestra que el Índice de Calor (IC) con variación en los días señalados en la latitud 5°S y una longitud de 75°W, presenta un aumento de esta temperatura manteniéndose superior a la temperatura corporal de 36.6°C o 37°C desde el día 25 hasta el 30 del mes de noviembre, posteriormente con una caída en los días siguientes. El valor máximo en el periodo de la OC fue de 39°C el día 29 y el valor mínimo fue de 37°C, se considera que los valores del IC se encuentran en el rango de 32°C a 41°C indicando efecto de insolación lo cual podría producir una alarma de preocupación en la población. Además se aprecia una disminución de la intensidad de vientos (brisa débil) desde el día 24 al 29°C, el día 30 se aprecia vientos mayores a 8kt (brisa moderada).

En la Figura 12, se muestra la variación diaria en las coordenadas 10°S y 74°W donde se aprecia los valores del Índice de Calor (IC), Sobre este punto se observa la presencia de una tendencia positiva hasta el día 29 que disminuye en los días posteriores. Se aprecia valores por encima de la temperatura corporal desde el día 27 hasta el 2 de enero del 2014 posterior se va una alza del IC. El máximo valor del IC es de 43°C el día 29 en el cual se encuentra en el rango de 41°C a 54°C; lo cual es considerado como golpe de calor el cual afectaría a la población. Posteriormente los valores que se registran están en el rango de insolación sin embargo; los días con menor intensidad de vientos son el día 28 y 29 con valores de 7 y 8 kt respectivamente considerado como brisa moderada, posteriormente los vientos son de mayor intensidad considerados como brisa fresca.

En la Figura 13, se muestra el aumento del IC en la categoría de Golpe de Calor e insolación en las coordenadas de 12°S y 71°W, los valores máximos en los días donde se da la OC son de 60°C y 55°C, los días posteriores se encuentran en el rango de insolación o golpe de calor y calambres con alta probabilidad por exposición prolongada. Los días 20 y 21 poseen brisas moderadas y en los días 22 hasta el día 25 presentan valores mayores a 10kt son considerados como brisas frescas.

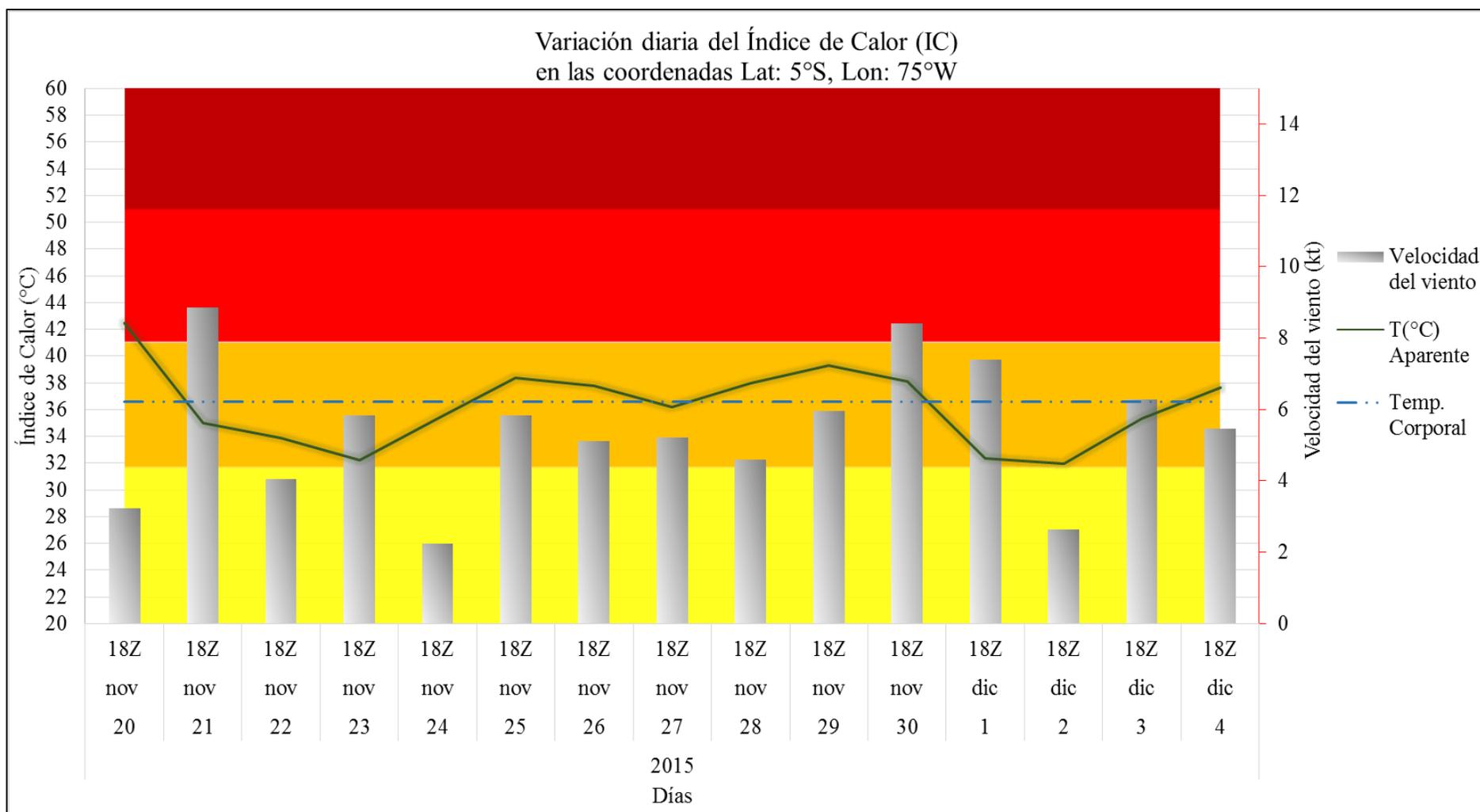


Figura 11: Variación diaria a las 1800 Z del índice de calor (°C, líneas verdes), velocidad del viento (m/s, barras), temperatura corporal (°C, líneas discontinuas) y rangos de temperatura (sombreado de colores en el fondo) en el episodio de OC en el mes de noviembre del 2015 en la región norte

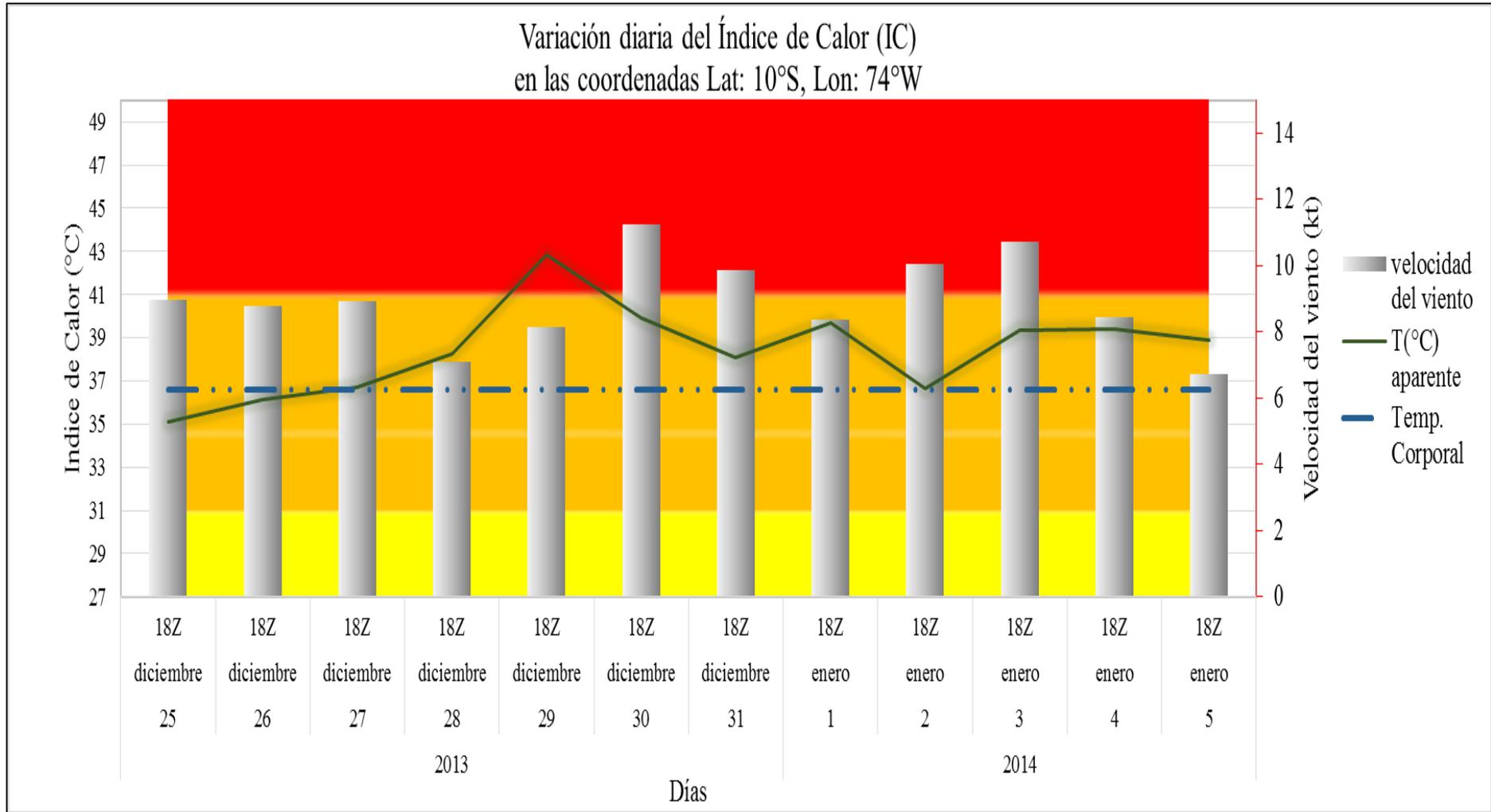


Figura 12: Variación diaria a las 1800Z del índice de calor (°C, líneas verdes), velocidad del viento (m/s, barras), temperatura corporal (°C, líneas discontinuas) y rangos de temperatura (sombreado de colores en el fondo) en el episodio de OC en el mes de diciembre del 2013 en la región centro

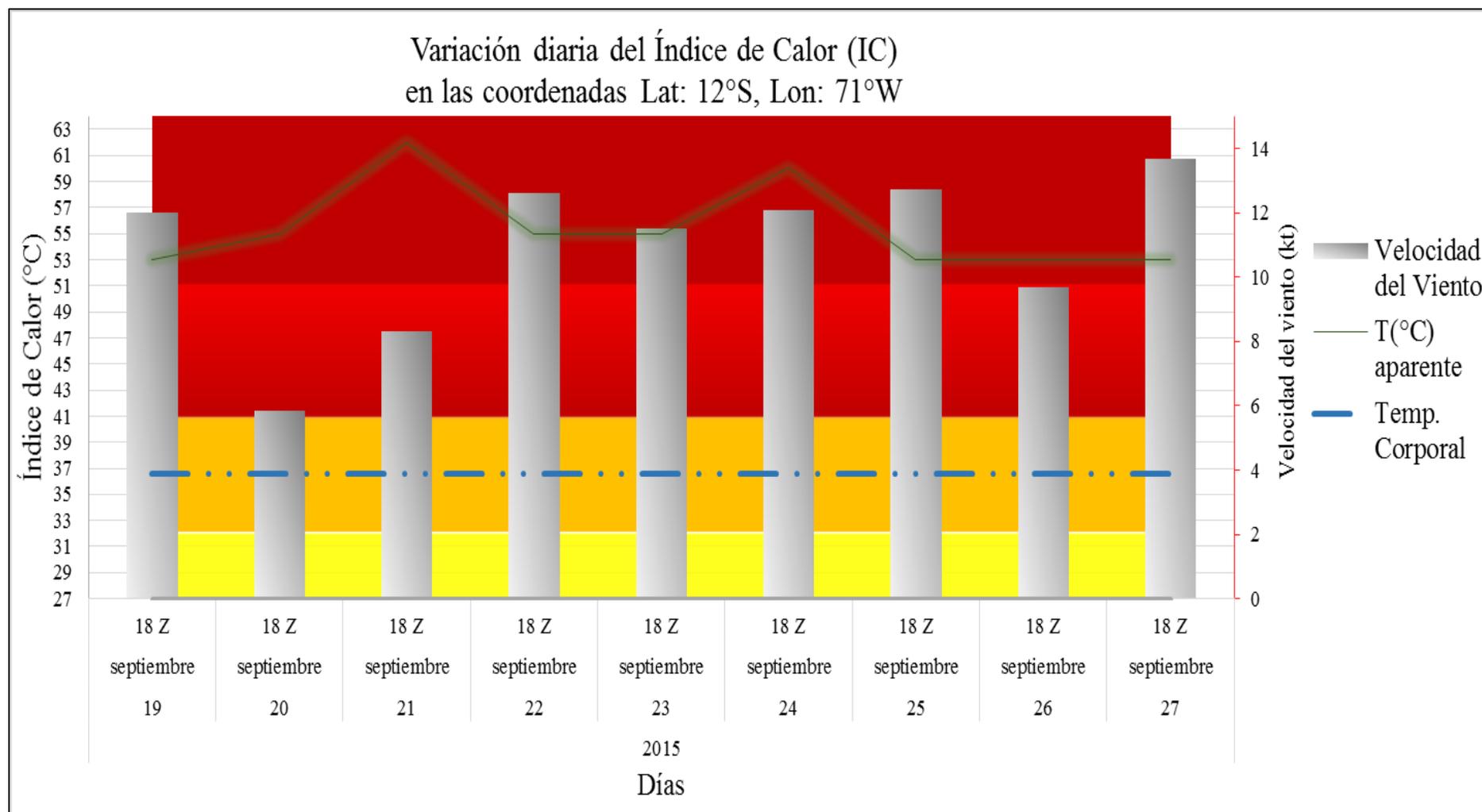


Figura 13: Variación diaria a las 1800 Z del índice de calor (°C, líneas verdes), velocidad del viento (m/s, barras), temperatura corporal (°C, líneas discontinuas) y rangos de temperatura (sombreado de colores en el fondo) en el episodio de OC en el mes de setiembre del 2015 en la región Sur

5.1.3.2. Índice de Confort (ICH), disconfort humano (IDH) y de Estrés térmico (IRE)

En la Figura 14(a), se muestra el ICH; el cual varía desde 32.7°C hasta 46.9°C, indicando mayormente que se encuentra en un disconfort soportable. Asimismo el aumento de temperaturas desde el día 24 de 32.8°C y llegando a 45°C el día 29 a las 1800 Z. Mayormente en la tarde e inicios de la noche se percibe la sensación de disconfort soportable y por las noches hasta la madrugada se tiene la sensación variable. Es preciso mencionar que el 1 de diciembre se aprecia una tendencia negativa disminuyendo su ICH aproximándose a rangos de sensación variable (Véase Tabla 2).

En la Figura 15(a), se muestra el IDH el cual varía desde los 71°C a 81°C, mayormente los valores se encuentran en el valor de disconfort debido al calor. Sin embargo, se observa que hay instantes donde llegan a tener la sensación de confortable en las personas, mayormente desde la media noche hasta inicios de la mañana. A partir del día 24 hasta el 30 se estima un aumento en el IDH llevando los tres primeros días a un valor de disconfort debido al calor tanto diurno como nocturno, los valores máximos de 80.3°C y 80.6°C el día 25 por la tarde y en la noche respectivamente, en los días 27 y 28 se distingue una disminución del IDH a las 0000Z y 1200Z a un rango de variación tolerable. Es decir, en estos días la sensación es más tolerable por la madrugada; lo cual generará que los días posteriores se perciba la sensación de disconfort por el calor hasta el día 30 tanto diurno como en el nocturno. Posteriormente en los días del mes de diciembre el IDH disminuye, llevando a una sensación confortable a las 0000Z y 1200Z (Véase Tabla 3).

En la Figura 16(a), se observa el IRE el cual varía desde los 0.03 a 0.17, los primeros días se aprecia valores que afectan mayormente a personas más vulnerables (ancianos) en los horarios diurnos, además se aprecia que a partir del día 22 hasta el 24 no tiene gran efecto en las personas por las noches y con una disminución del IRE a las 1800Z y 000Z pero que aún tiene efecto en los ancianos. A partir del día 24 se presenta aumento de IRE hasta el 26 en las 1800Z y 0000Z llegando al valor máximo mayor a 0.15 que afectaría a jóvenes y ancianos en ese momento, en el mismo periodo se aprecia que para las 0600Z y 1200Z los más afectados son los ancianos. Seguidamente; se aprecia una tendencia a aumentar desde el día 27 hasta el 30 para las 1800Z y 00Z a pesar que el IRE en el horario nocturno disminuye considerablemente donde no afecta a las personas.

Además se aprecia una variación de IRE para las 1800Z y 0000Z donde hay una disminución en los primeros 4 días, seguidamente con una tendencia positiva hasta el día 26 donde se da el valor máximo, donde se aprecia que en el horario nocturno comienza a afectar a las personas ancianas. Posteriormente hay una variación en el día 27 hasta las 1200Z que se mantiene en aumento hasta el día 30, en el mes posterior se aprecia una disminución del IRE que se mantiene hasta el día 3 (Véase Tabla 4).

En la Figura 14(b), se observa la variación diaria del ICH en las coordenadas 10°S y 74°W, mostrando una tendencia positiva desde los primeros horas del día 25 donde en promedio la sensación es de variancia; lo cual se mantiene hasta el día 26 a las 1200Z, los días posteriores se aprecia el aumento del ICH hasta el valor máximo de 47°C el día 29 a las 1800Z de sensación de incomodidad insoportable. En los días subsiguientes la sensación es de disconfort soportable y se mantiene tanto en horario diurno como nocturno (Véase Tabla 2).

En la Figura 15(b), se observa la variación del IDH que se encuentra entre los valores 74°C a 82°C; lo cual indica que la sensación que se presenta mayormente es incomodidad debido al calor, los 2 primeros días se aprecia la sensación confortable a las 1200Z. Posteriormente; se presenta la sensación de disconfort debido al calor en las horas establecidas, los valores máximos se presentan en los días 29 al 31 y son los siguientes: 81.7, 81.1 y 80.7°C respectivamente con una sensación de estrés que se ha dado a las 1800Z (Véase Tabla 3).

En la Figura 16(b), se muestra los valores del IRE en los primeros días no tienen mucho efecto en las personas en el horario nocturno, la sensación que se presenta tiene más efecto en las personas mayores en el periodo establecido y son vulnerables, los días 29,30 y 31; los cuales los más vulnerables son los jóvenes y ancianos por lo que se debe de poner atención en estos días. Es importante recalcar que el día 3 y 4 a las 1800Z tiene un efecto en jóvenes y ancianos, en el horario nocturno aún se ve el efecto en las personas mayores (Véase Tabla 4).

En la Figura 14(c), se muestra el ICH en las coordenadas 12°S y 71°W, además se evidencia sensación de disconfort soportable en los horarios nocturnos; a las 1800Z y 0000Z la sensación es de disconfort. Adicionalmente; se observa una tendencia positiva a las 0600Z y 1200Z desde el día 20 hasta el 25 de setiembre del 2015; lo cual lleva a la incomodidad a las personas en el transcurso de este periodo, donde los valores altos

aproximadamente se dan en los días 23,24 y 25 del mes en mención a las 1800Z; variando a sensación de discomfort (Véase Tabla 2).

En la Figura 15(c), se observa que el IDH varía desde 76°C a 87°C. Asimismo; es importante mencionar que a las 0600Z y 1200Z en los días 19 al 22 de setiembre del 2015, se presenta la sensación de incomodidad debido al calor, a partir del día 23 al 25 del mes mencionado la sensación es más de stress debido al calor tanto en el horario diurno y nocturno. Los días posteriores en los horarios nocturnos se percibe la sensación de discomfort debido al calor (Véase Tabla 3).

En la Figura 16(c), se observa el IRE en un rango de 0.1 a 0.2, Además se muestra que la variación diaria tiene gran efecto en las personas mayores generalmente, a las 1800Z y 0000Z se presenta discomfort en personas jóvenes y ancianos en los primeros días. Asimismo; se aprecia el aumento del IRE a partir del 21 hasta el 24 de setiembre del 2015. Finalmente; mencionar que la sensación provocada en los días mencionados podría ocasionar problemas cardiacos y respiratorios específicamente en las 1800Z y 0000Z. Posteriormente la sensación de discomfort afecta mayormente a personas de edad avanzada (Véase Tabla 4).

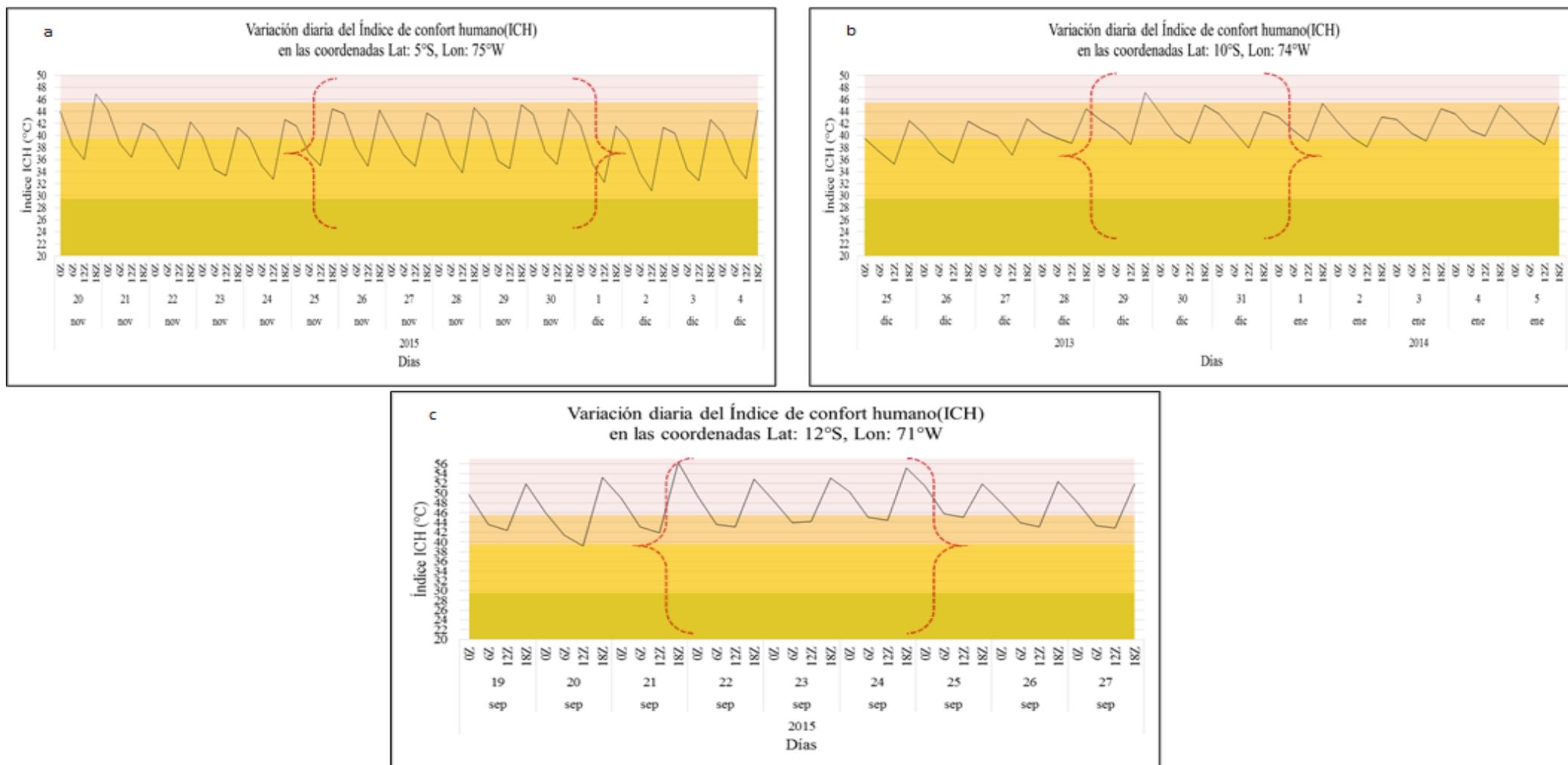


Figura 14: Variación diaria del índice de confort humano (°C, línea negra) y sus intervalos de sensación (barra de colores, °C) en el mes de noviembre (2015), diciembre (2013) y setiembre (2015) en la parte superior derecha, izquierda superior y centro inferior

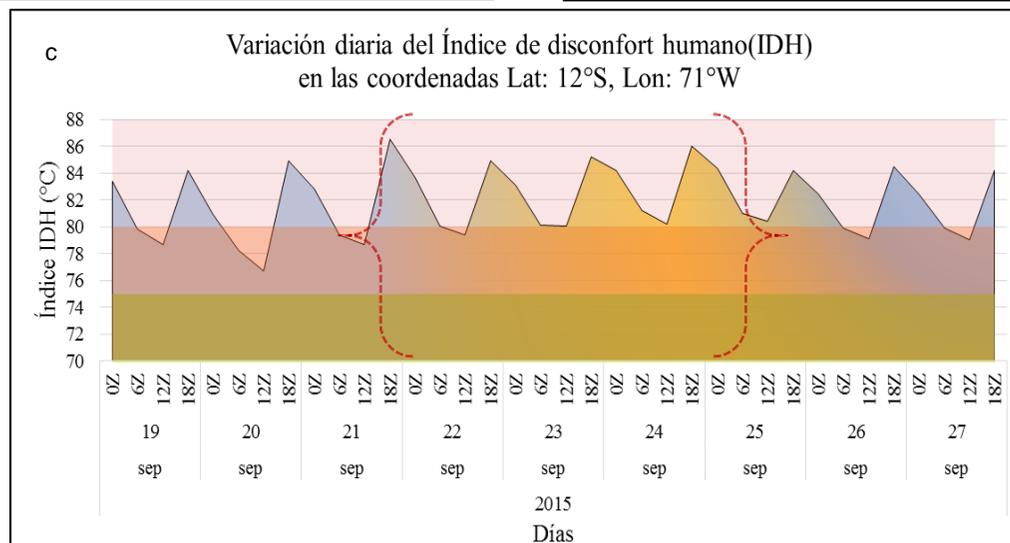
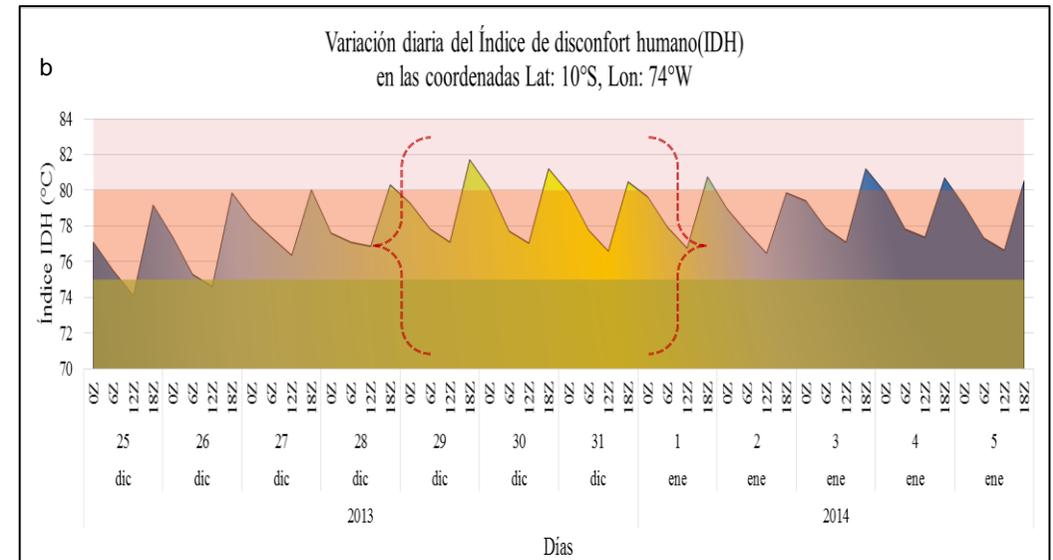
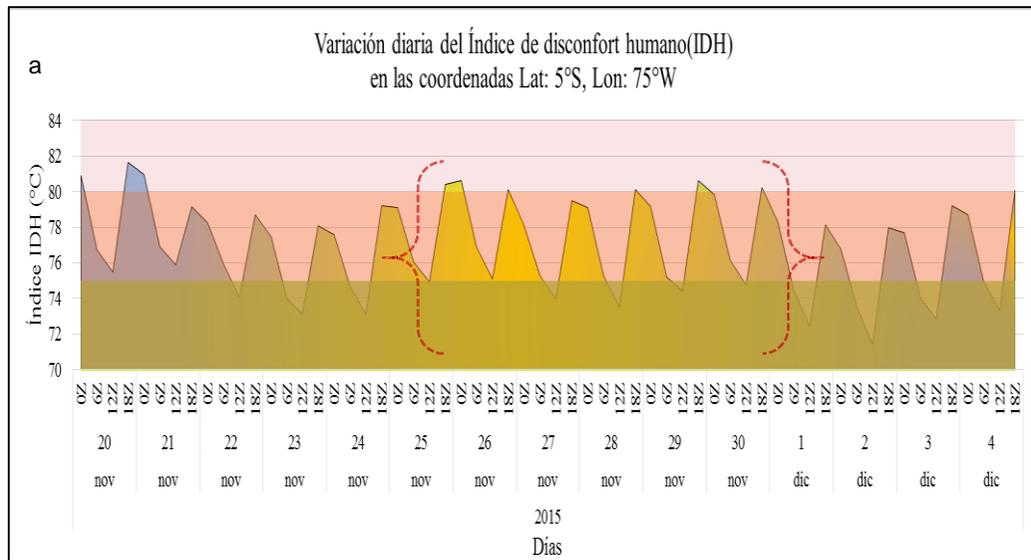


Figura 15: Variación diaria del índice de discomfort humano (°C, línea negra) y sus intervalos de sensación (barra de colores, °C) en el mes de noviembre (2015), diciembre (2013) y setiembre (2015) en la parte superior derecha, izquierda superior y centro inferior respectivamente

5.2. ANÁLISIS DE LOS MECANISMOS FÍSICOS ASOCIADOS A LAS OLAS DE CALOR EN LA REGIÓN AMAZÓNICA.

5.2.1. Análisis a niveles bajos (1000-850hPa)

La figura 17 (a), corresponde al evento de OC en la región norte, se aprecia el predominio de una advección horizontal de temperatura en el periodo del evento por la presencia de vientos provenientes del noreste del continente. Adicionalmente el calentamiento diabático se da por el flujo de calor producido por el intenso calentamiento solar, como resultado de condiciones estables y cielo despejado los cuales tienen gran influencia en el desarrollo de los eventos de OC.

La figura 17 (b), muestra una mínima predominancia advección horizontal de temperatura en el evento de OC en la región centro, en tal sentido se ve una tendencia positiva a inicios del evento.

La figura 17 (c), como se aprecia en el evento en la región sur los términos no muestran la causa del evento de OC. Sin embargo, los niveles superiores influyen en los niveles bajos para el desarrollo de OC en esta área.

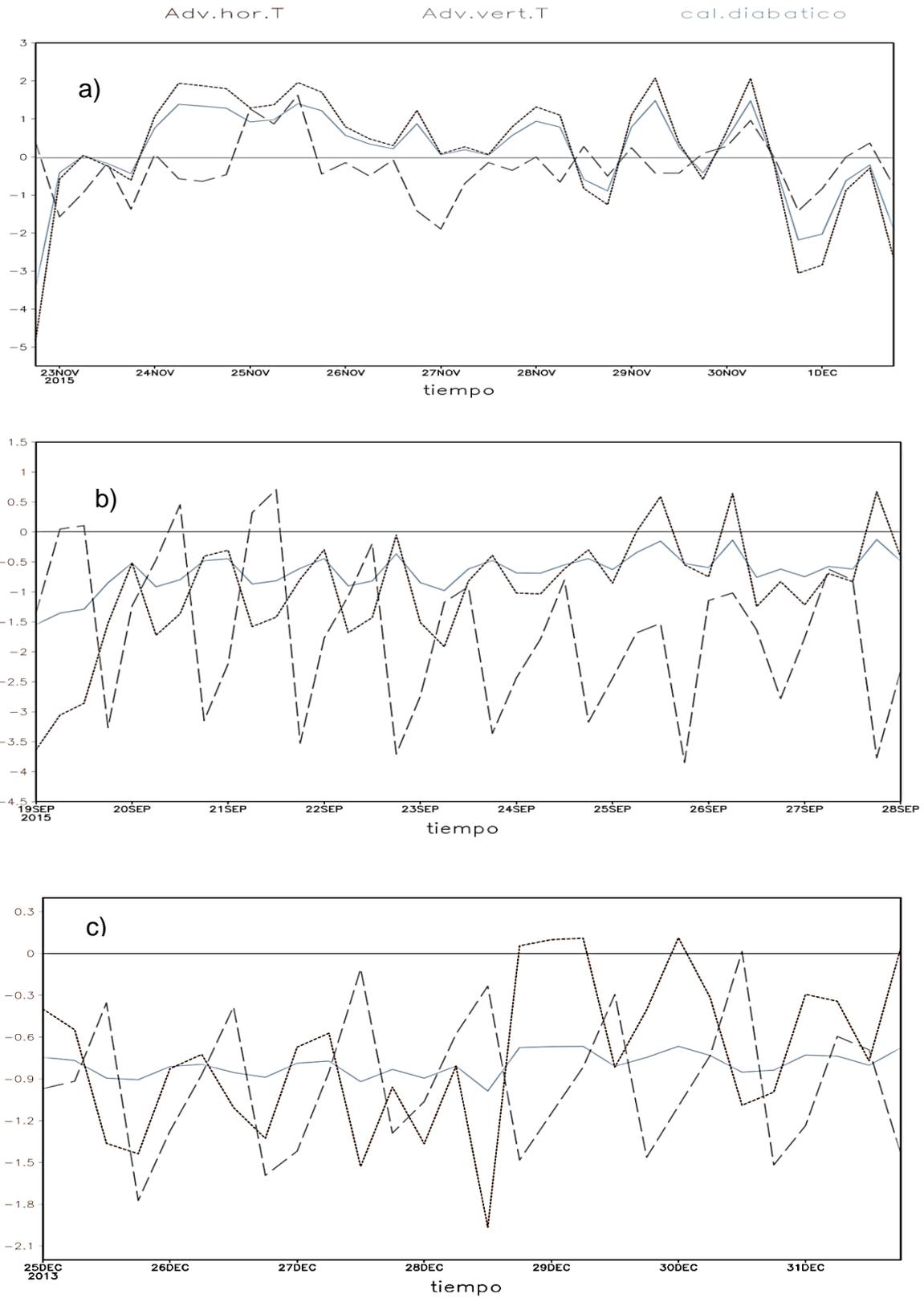


Figura 17: Valores promediados verticalmente ($^{\circ}\text{C}/6\text{h}$) entre la superficie y 850 hPa de los términos de ecuaciones termodinámicas calculadas en los eventos de OC: advección de temperatura horizontal (línea de puntos, color marrón), advección vertical de temperatura (línea discontinua, color plomo), y el calentamiento diabático (línea sólida, color azul)

5.2.2. Análisis de estructura vertical de la tropósfera

La figura 18, corresponde al día 20 (véase la imagen a), muestra convergencia a niveles bajos y medios llevando a un ascenso profundo. No obstante la presencia de humedad menor a 70% al nivel de 700hPa indica que no hay formación de CCM a niveles medios y altos, así mismo se muestra omega positivo lo cual hace que se presente subsidencia en las capas altas, en la parte este oriental se muestra presencia ascenso de parcelas desde los niveles bajos a altos. Como resultado para este día en general se presenta poco ascenso llano. El día 23 (véase imagen b) se observa convergencia a niveles bajos, divergencia en los niveles medios y altos. Por el contrario, la presencia de masas con humedad de 70% está por debajo de los 500hPa indicando ascenso o convección llana. Además, la presencia de omega negativo en las coordenadas 5°S y 75°W favorece al ascenso de parcelas de aire hasta los niveles medios, así mismo muestra predominancia de este en la parte oriental en toda la tropósfera influyendo el movimiento de masas de aire a niveles superiores. Como resultado para este día en general se presenta predominancia de un ascenso profundo. El día 25 muestra convergencia en el nivel de 500hPa y niveles altos, favoreciendo la subsidencia profunda, manteniendo un cielo despejado y el ingreso de OLR desde los 78°W a 62°W, igualmente, se aprecia predominancia de subsidencia en los niveles de la tropósfera en el cuadro derecho superior (véase la imagen c). El día 27 presenta divergencia en los niveles inferiores y medios, al mismo tiempo la presencia de convergencia en niveles altos de la tropósfera. Adicionalmente en la parte este desde los 70°W a 60°W muestra convecciones profundas debido a que la humedad de 70% se encuentra aproximadamente a los 500hPa y una columna de omega negativo, señalando ascenso en las longitudes 72°-69°W (véase imagen d). Como resultado para este día en general se presenta predominancia de un ascenso profundo en la parte este y subsidencia en las coordenadas establecidas en los niveles medios y altos. El día 29 (véase imagen e), muestra gran divergencia en los niveles de la tropósfera, así mismo la intensidad de subsidencia en los niveles altos aumento considerablemente, manteniéndose con cielo despejado. Además, el lado este presenta de ascensos llano a profundos, así mismo la presencia de una columna de omega negativo, con referencia a lo anteriormente mencionado. Finalmente el día 01 del mes posterior muestra convergencia en niveles medios, subsidencia en los niveles inferiores y ascensos en los niveles superiores de la tropósfera. Además, muestra omega negativo en todos los niveles de la tropósfera en las coordenadas 5°S y 75°W, con un núcleo de gran intensidad en entre los niveles de 550hPa a 350hPa produciéndose CCM (véase la imagen f).

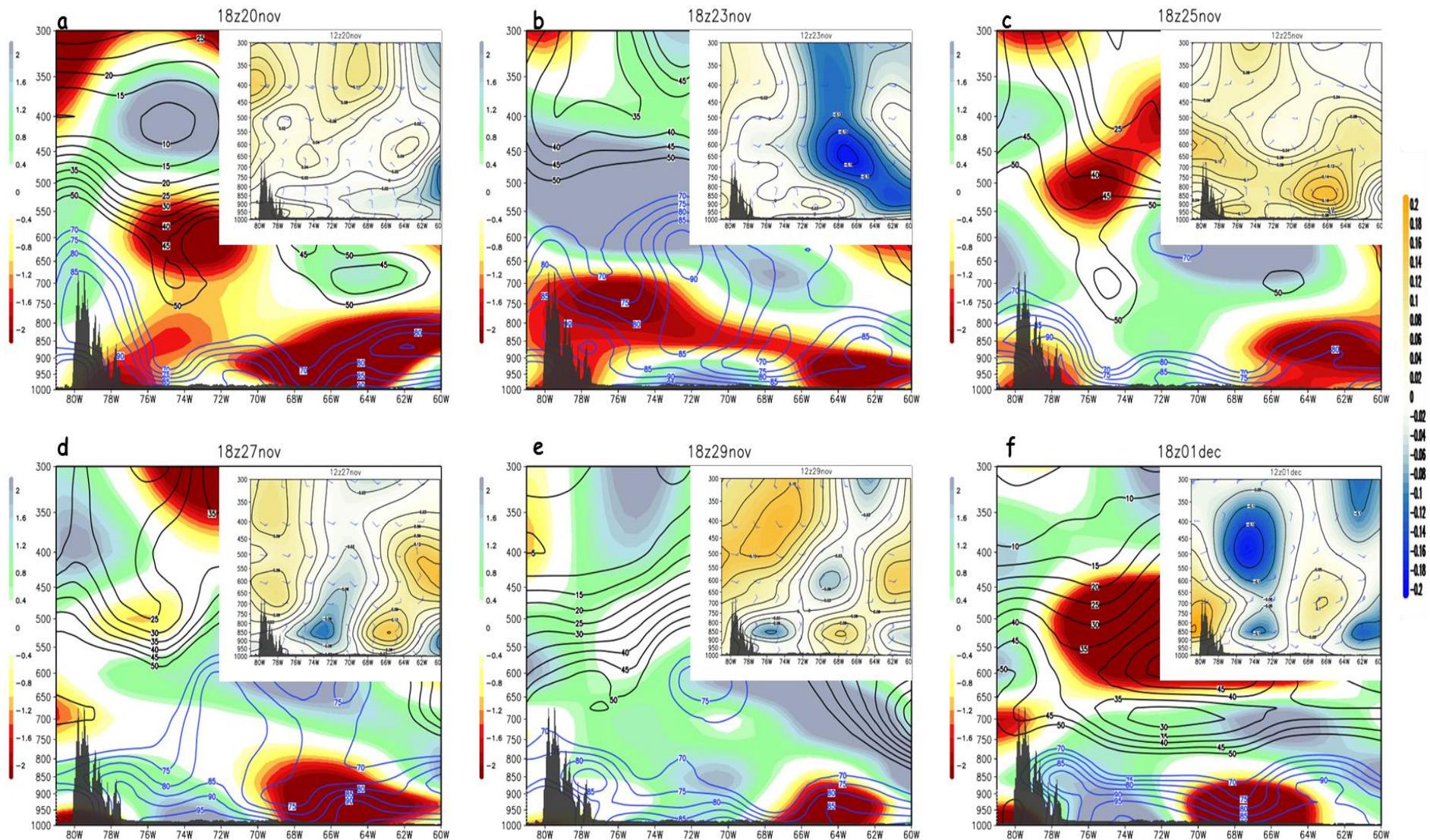


Figura 18: Análisis de la estructura vertical de la tropósfera en corte de sección transversal. Latitud constante: -5° S, longitud 81° w a 60° w. En los días 20, 23, 25, 27, 29 en el mes de noviembre y 01 de diciembre del 2015 en la región norte, Humedad relativa (líneas), divergencia (color marrón), convergencia (color verde azulado) a las 18Z y en el lado derecho superior un cuadro de Omega (contornos y matices de colores) e Isotacas (barbas) a las 12Z

La figura 19, el día 25 (véase imagen a) muestra convergencia en los niveles altos y bajos, al mismo tiempo divergencia en los niveles medios. No obstante la presencia de humedades mayores al 70% hasta niveles inferiores a los 500hPa. Además, se muestra omega negativo en los niveles bajos lo cual hay presencia ascenso de parcelas de aire. Se aprecia que en la parte oriental omega negativo de gran intensidad, como consecuencia para este día indica la presencia de subsidencia en los niveles superiores y movimientos de ascenso de masas de aire a los niveles medios los cuales por convección llana en presencia de humedades altas formaran CCM. El día 27 (véase imagen b), muestra convergencia en los niveles de bajos y superiores, la presencia de divergencia en los niveles medios, como consecuencia se aprecia subsidencia en los niveles altos y medios originándose convección llana en las coordenadas 10°S y 74°W, así mismo en la parte oriental aún se aprecia omegas negativos en todos los niveles de la tropósfera originando CCM por convección profunda. El día 29 (véase imagen c), se muestra predominancia de subsidencia en los niveles altos y medios de la tropósfera y omega negativo al este transportando masas de aire en ascenso en los niveles de 800hPa hasta los 650hPa. Además, las humedades disminuyen en la parte oriental predominando la subsidencia en casi todos los niveles de la tropósfera con núcleo de mayor intensidad desde los 700hPa a 600hPa. El día 30 (véase imagen d), presenta mayormente divergencia en los niveles bajos y convergencia en los niveles altos indicando subsidencia. Como resultado de este día se observa predominancia de subsidencia en los niveles altos y medios de la tropósfera y en la parte oriental se aprecia gran ascenso de masas de aire por convección profunda en las longitudes de 68°W a 55°W. El día 31 (véase imagen e), presenta convergencia en los niveles altos y bajos, la divergencia en los niveles medios Sin embargo, la presencia de poca humedad en los niveles bajos no formara CCM de gran desarrollo, como consecuencia de subsidencia en los niveles altos y medios y convección llana en los niveles bajos, así mismo presenta predominancia de omega negativo en los niveles de la tropósfera desde las longitudes de 71°W a 55°W de gran intensidad. Finalmente el día 02 del mes siguiente presenta convergencia en los niveles altos y subsidencia hasta los niveles medios, como consecuencia convección llana en los niveles bajos. La presencia de humedad mayor a 70% aproximadamente a los 500hPa en la parte oriental produce la formación de CCM, también muestra ascenso de masa de aire en la columna de la tropósfera en las coordenadas de 10°S y 74°W con un núcleo de mayor intensidad en los niveles de superficiales a 600hPa, así mismo La parte oriental se muestra ascenso desde las longitudes 75°W hasta los 64°W (véase imagen f).

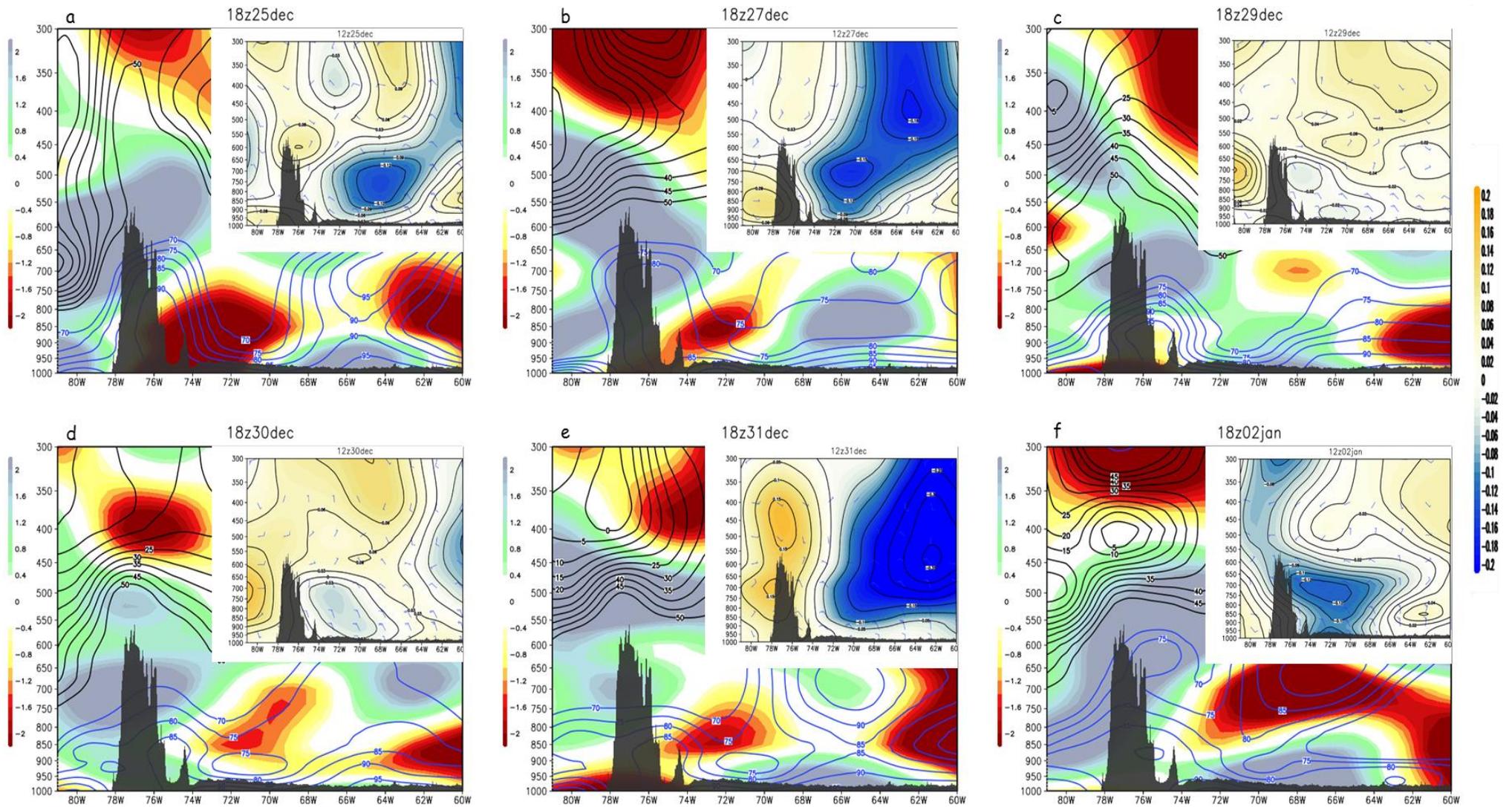


Figura 19: Análisis de la estructura vertical de la tropósfera en corte de sección transversal. Latitud constante: -10° S, longitud 81° a 60° W. Para la región centro en los días 25, 27, 29, 30, 31 de diciembre del 2013 y 02 de enero del 2014, Humedad relativa (líneas), divergencia (en matiz de color marrón), convergencia (en matiz de color verde azulado) a las 18Z y en el lado derecho superior un cuadro de Omega (contornos y matices de colores) e Isotacas (barbas) a las 12Z.

La figura 20, se aprecia el día 21 (véase la imagen a) la convergencia en los niveles superiores e inferiores, de igual manera muestra divergencia en los niveles medios lo cual dará subsidencia de los niveles altos a medios y convección llana en los niveles medios y bajos, en igual forma; . También se muestra gran humedad a nivel superficial que se expande por la topografía, llegando a 650hPa una humedad de 70%, con base a lo mencionado muestra omega negativo en toda la columna de la tropósfera en las coordenadas de 12°S y 71°W, como resultado no produce formación de CCM en la parte este de la cordillera y en la parte oriental se muestra predominancia de subsidencia en los niveles altos y medios de la tropósfera. El día 22 (véase la imagen b) muestra presencia de convergencia en los niveles bajos y divergencia en los niveles superiores, así mismo Además, la humedad disminuye en la parte este, también ascenso en los niveles 850 a 350hPa entre las longitudes 70°W a 67°W y más al este se muestra predominancia de subsidencia en todos los niveles de la tropósfera. Como resultado presencia de subsidencia en los niveles superiores, convección llana en las coordenadas establecidas y en la parte oriental poca formación de complejos convectivos mesoescala. El día 23 muestra divergencia a niveles medios en la parte oeste de la cordillera y convergencia en los niveles bajos al este de la cordillera, así mismo la humedad de 70% aumenta desde la parte superficial hasta el nivel de 560hPa. Sin embargo, muestra subsidencia desde niveles altos hasta 400hPa. Además, un núcleo de gran intensidad para el ascenso en los niveles bajos y medios, a pesar que la humedad se mantiene baja. Como resultado a lo mencionado anteriormente muestra convección llana en la parte de la cordillera, en el mismo tiempo en la parte oriental se inhibe la formación de nubes. El día 25, muestra convergencia en niveles bajos y poca divergencia en niveles medios, el 70% de HR se muestra a nivel de 700hPa en la coordenada establecida anteriormente, adicionalmente al este se muestra predominancia de convergencia en los niveles medios con humedades menores al 70% lo cual se aprecia subsidencia en los niveles bajos. Como resultado muestra ascenso en niveles bajos y medios con menor intensidad y subsidencia desde niveles altos y medios, adicionalmente en la parte oriental ausencia de complejos convectivos a mesoescala. Finalmente el día 26 muestra intensa convergencia en los niveles bajos, de igual manera a niveles medios presenta divergencia. Como resultado se muestra subsidencia en niveles altos y medios, en la parte oriental presenta ascenso en los niveles bajos con aumento de intensidad llevando parcelas de aire a niveles más altos la cual hace posible convección profunda de CCM.

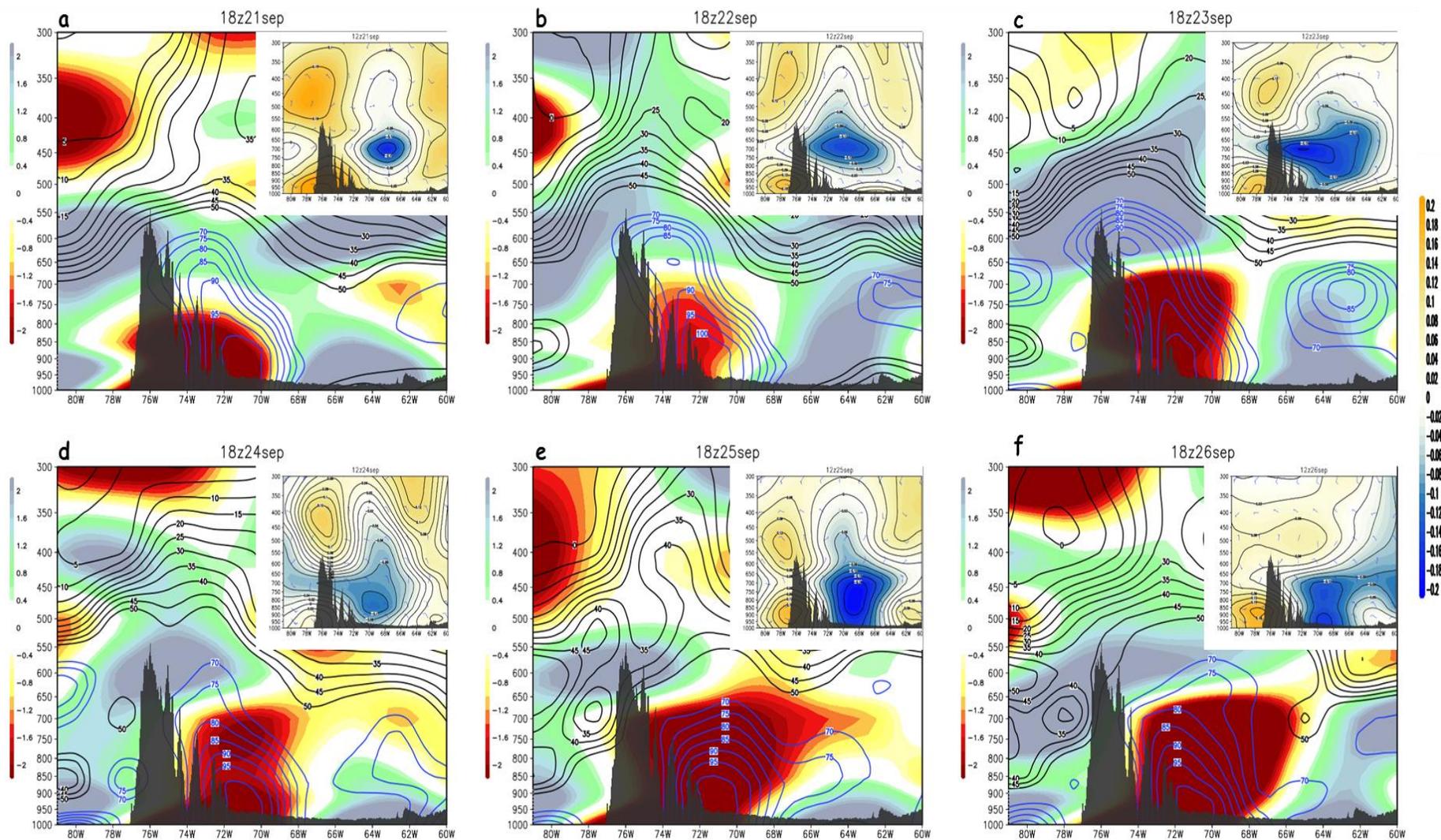


Figura 20: Análisis de la estructura vertical de la tropósfera en corte de sección transversal. Latitud constante: -12° S, longitud 81° a 60° W. Para la región sur en los días 21, 22, 23, 24, 25 y 26 del mes de septiembre del 2015, Humedad relativa (líneas azuladas), divergencia (en matiz de color marrón), convergencia (en matiz de color verde azulado) a las 18Z y en el lado derecho superior un cuadro de Omega (contornos y matices de colores) e Isotacas (barbas) a las 12Z

La figura 21, la imagen superior corresponde a un corte temporal de la variable humedad y la variable omega, se aprecia gran humedad en los niveles bajos, así mismo el día 23 se aprecia gran desarrollo vertical, seguidamente se muestra una masa seca que se posiciona en los niveles superiores manteniéndose hasta finales del mes de noviembre, así mismo se muestra la predominancia de un omega positivo en los niveles superiores. Seguidamente en la imagen posterior se aprecia una mayor expansión a partir del día 25, así mismo aumento de temperaturas a niveles bajos e inestabilidad entre los 750 y 600 hPa a partir del día 25. En el tercer meteorograma se aprecia en los días anteriores al evento de OC vientos de gran intensidad ($>$ a 32kt, viento muy fuerte) en los niveles superiores, con el paso del tiempo disminuye la intensidad del viento en el periodo de ola de calor. Además, en los niveles inferiores se muestra vientos ligeros ($<$ a 8 kt, brisa leve) con una expansión en el periodo del evento de ola de calor llegando hasta 600hPa, posteriormente se intensifica el viento en los niveles bajos refrescando el entorno. Finalmente sobre lo ya mencionado, en el último meteorograma las temperaturas tienden a aumentar.

La figura 22, el primer meteorograma, se aprecia gran humedad en los niveles bajos, así mismo se muestra una masa seca que se posiciona en los niveles superiores manteniéndose hasta finales del evento de OC con una predominancia de un omega positivo en los niveles superiores. En el segundo meteorograma se aprecia una expansión de la temperatura potencial desde el día 28, adicionalmente una inestabilidad hasta los 750 hPa. En el tercer meteorograma se aprecia en los niveles superiores brisa leve ($<$ a 8kt) y viento moderado (11kt-16kt) en los niveles bajos aislados que aumentaran su frecuencia al finalizar el evento de OC. Finalmente en el último meteorograma las temperaturas tienen gran variación antes del evento de OC, posteriormente estas tiene un comportamiento homogéneo.

La figura 23, el primer meteorograma muestra una masa seca en los niveles superiores que predomina en los primeros días y que se mantiene hasta el día 26, posteriormente se muestra una expansión de las humedades altas. Como resultado presencia de sistemas convectivos a mesoescala a partir del día 25 en adelante. En el segundo meteorograma muestra a niveles bajos una expansión de las temperaturas hasta el día 26 e inestabilidad entre los 750 y 600 hPa. En el tercer meteorograma se aprecia en los niveles superiores vientos ligeros ($<$ a 8kt) y viento moderado (11kt-16kt) aislados en los niveles bajos que aumentaran su frecuencia posteriormente. Finalmente en el último meteorograma las temperaturas tienen a aumentar a partir del día 22 hasta el 25.

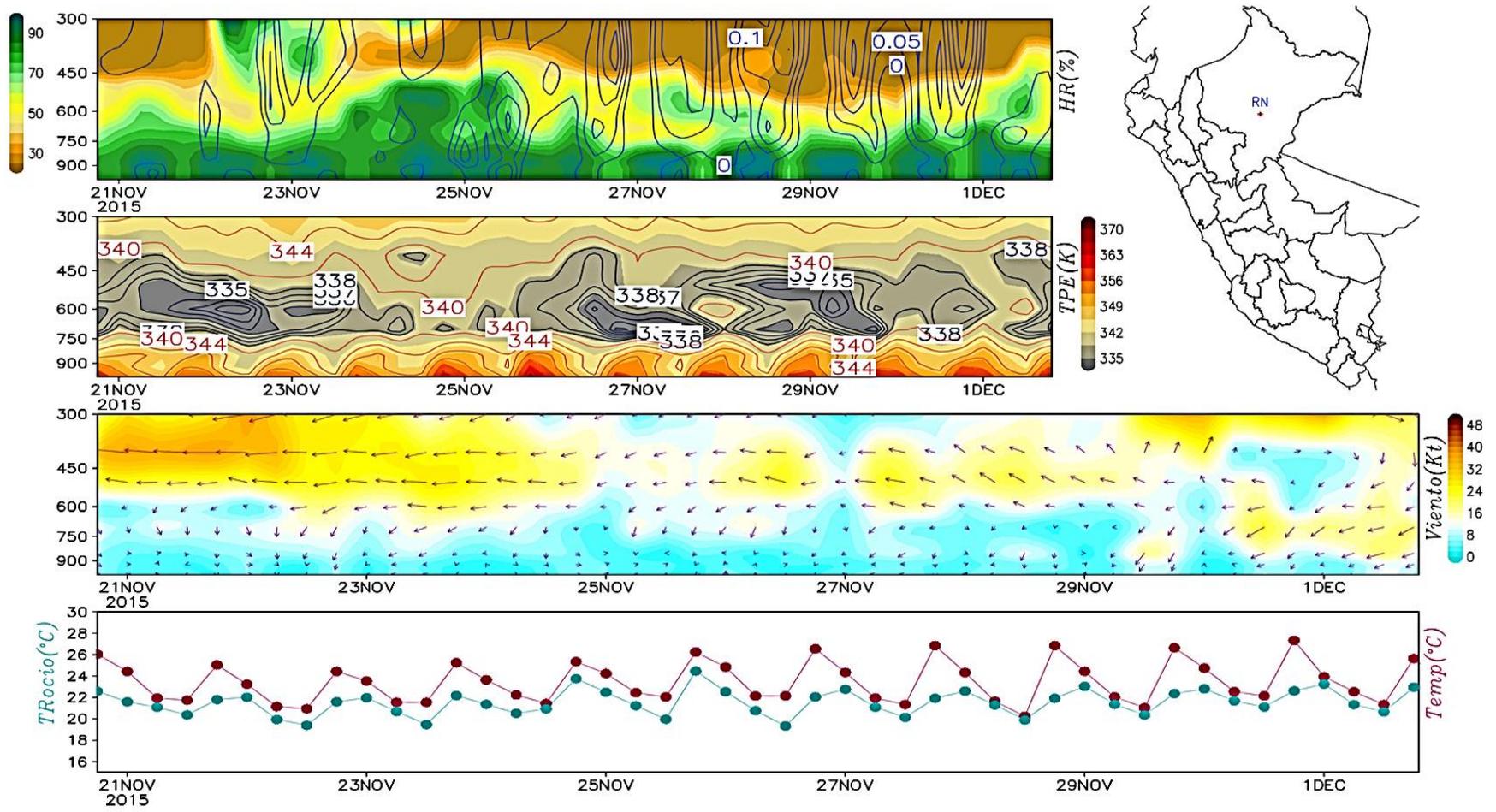


Figura 21: Meteorograma en las coordenadas: Latitud: 4.89° S, longitud: 73.64°W. Para la región norte en el mes de noviembre del 2015

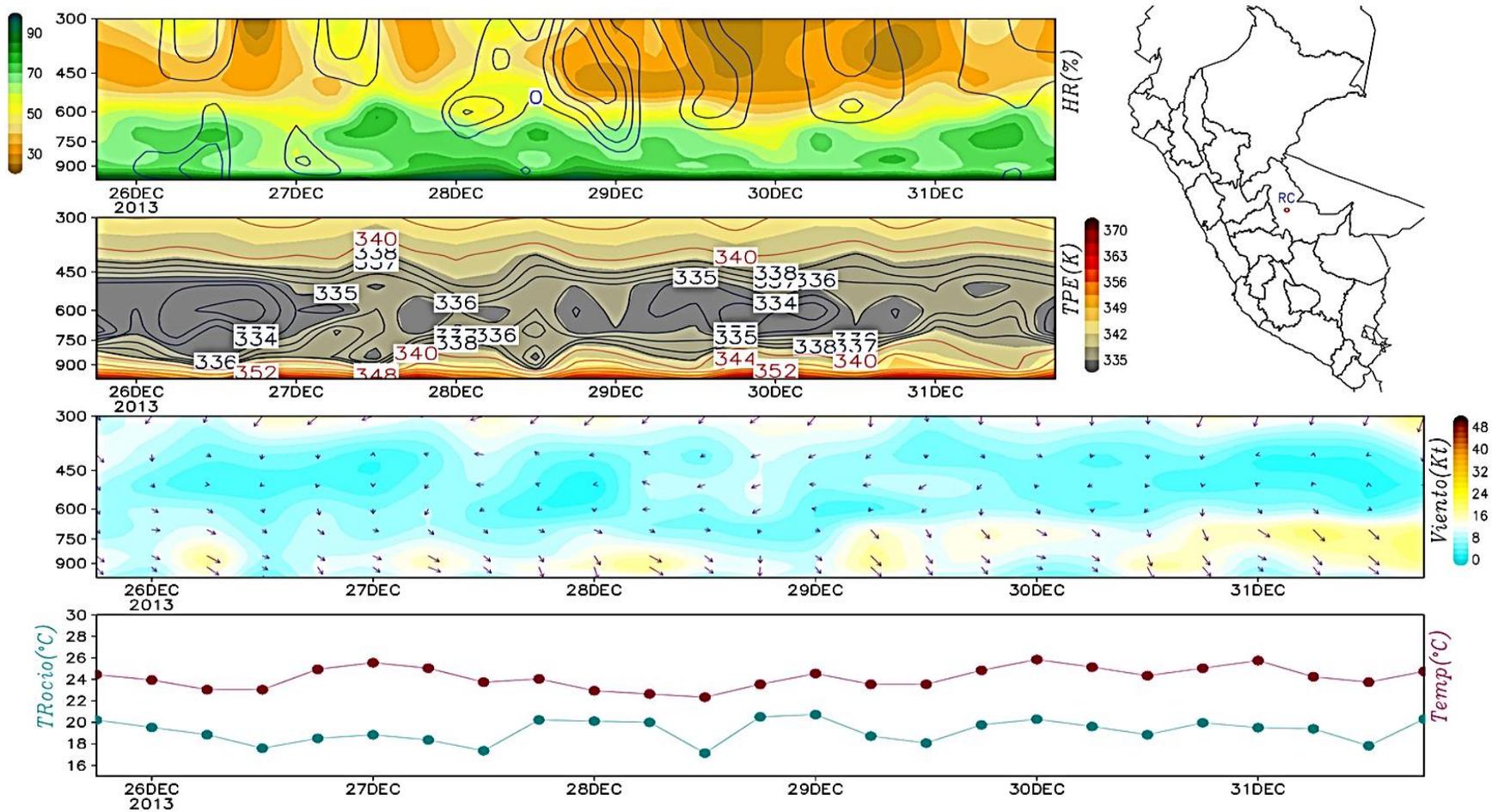


Figura 22: Meteorograma en las coordenadas: Latitud: 9.5° S, longitud: 73.5 °W. Para la región centro en el mes de diciembre del 2013

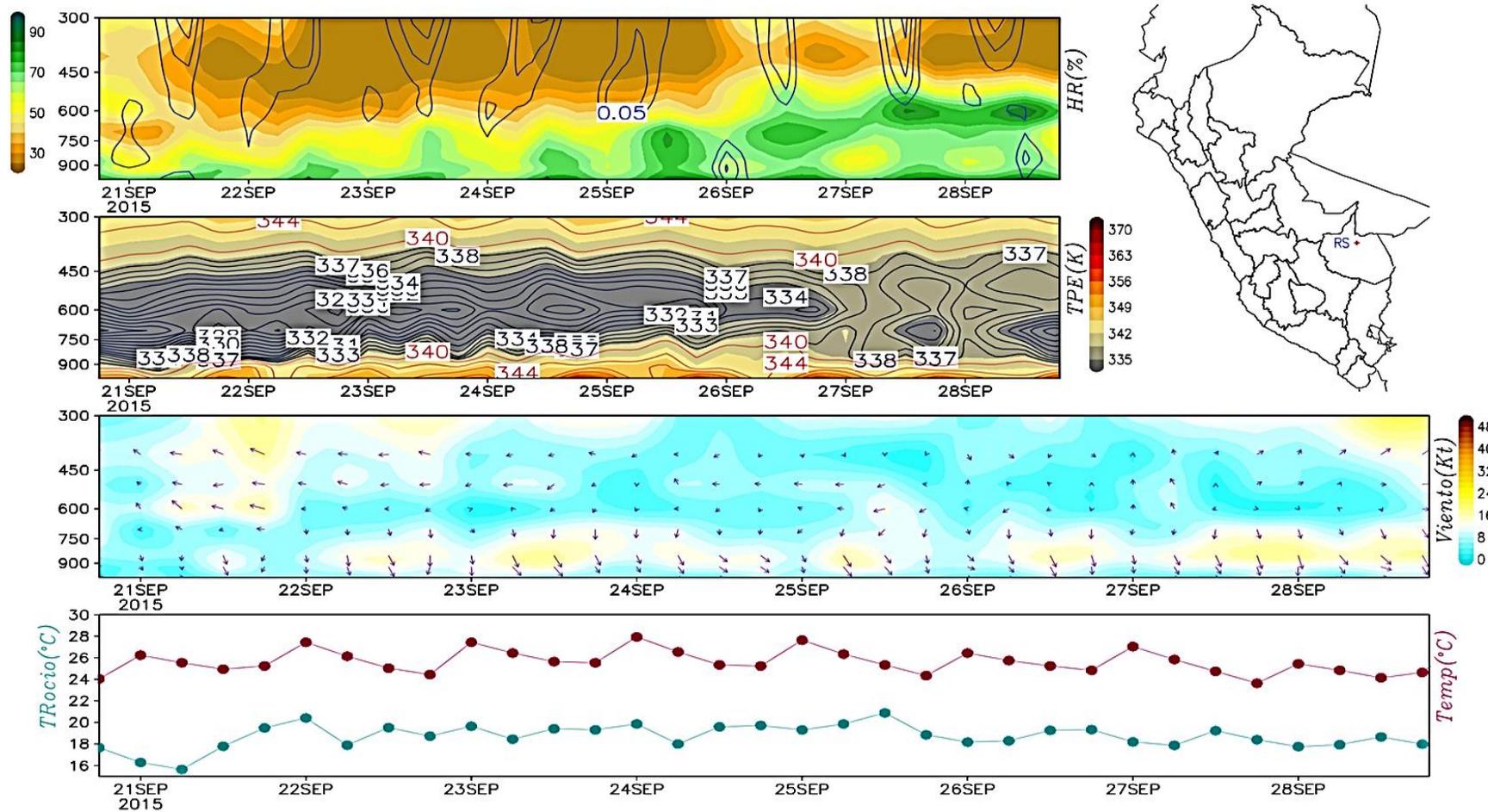


Figura 23: Meteorograma en las coordenadas: Latitud: 69.6° S, longitud: 10. 95° W. Para la región sur en el mes de septiembre del 2015

5.3. DETERMINACIÓN DEL ENTORNO SINÓPTICO EN LOS EVENTOS DE OLAS DE CALOR.

5.3.1. Análisis a niveles bajos (1000, 925,850 y 700 hPa).

5.3.1.1. Análisis isobárico

En la Figura 24, el día 21 se muestra al APSO (1022 hPa), ubicado al sur del océano pacifico oriental y cerca de la costa de Chile, ingresando una isobara de 1016 hPa que no logra cruzar a la región central por la presencia de la cordillera (bloqueo natural) y que se aleja del continente en el transcurso de tiempo. Los días 25 y 29 de noviembre del 2015, corresponden a los días dentro del periodo donde se da el evento de OC. El día 25, el APSO se encuentra más alejado del continente y con el tiempo se va acercando al mismo, también la formación de un sistema de baja presión de 1002 hPa, esta baja presión apoya a la incursión de aire cálido y húmedo del norte. Mientras tanto el anticiclón del atlántico sur (AAS) se mantiene por debajo de las coordenadas 35°S y 48°W hasta el día 27. El día 28 se desplaza el APSO al continente por el sur de Chile apoyando a la incursión de aire cálido y húmedo del norte. El día 29 corresponde al último día del evento de OC, el ingreso de una Alta Migratoria (AM) con un núcleo de 1018 hPa en la parte central de Argentina desplaza aire seco del océano pacifico la cual ingresa por la zona sur de Chile y centro de Argentina la cual su desplazamiento es continuamente hasta el día 30 con destino al océano atlántico desapareciendo posteriormente. El día 02 de diciembre del 2015 corresponde al día OC+3, el cual muestra el desplazamiento de otro AM que se forma al sur de Chile y Argentina desplazándose al océano atlántico.

En la Figura 25, el día 25 de diciembre del 2013, corresponde al día OC-4, el cual muestra la presencia del APSO, este sistema se encuentra más al sur y cerca al continente con un núcleo de 1018 hPa; el cual no llega a desplazarse por la cordillera de los andes (bloqueo natural) impidiendo su desplazamiento en este tiempo. El día 27 corresponde al día OC-2 donde el APSO se intensifica con un núcleo de 1024 hPa; el cual se ubica en las coordenadas 35°S y 80°W, mientras que el Anticiclón del Atlantico Sur (AAS) se encuentra alejado del continente sudamericano, el día 29 y 31 de diciembre del 2013, son los días donde se lleva realizando el evento de OC, en donde se aprecia que el día 29 del mes mencionado se forma un núcleo de baja presión al sudeste de Argentina que se desplaza hacia el norte de Argentina y sur de Bolivia en el transcurso de tiempo el cual genera incursión de aire cálido. El día 31 del mes mencionado muestra una baja presión en el norte de argentina de 1002 hPa que se mantiene en los días posteriores. El día 02 de

enero del 2014 el APSO se intensifica a un valor de 1028 hPa influenciando al aumento de velocidad de los vientos del sur, la expansión e intensificación de una baja presión al noreste de Argentina y sur de Brasil dirigiéndose al este.

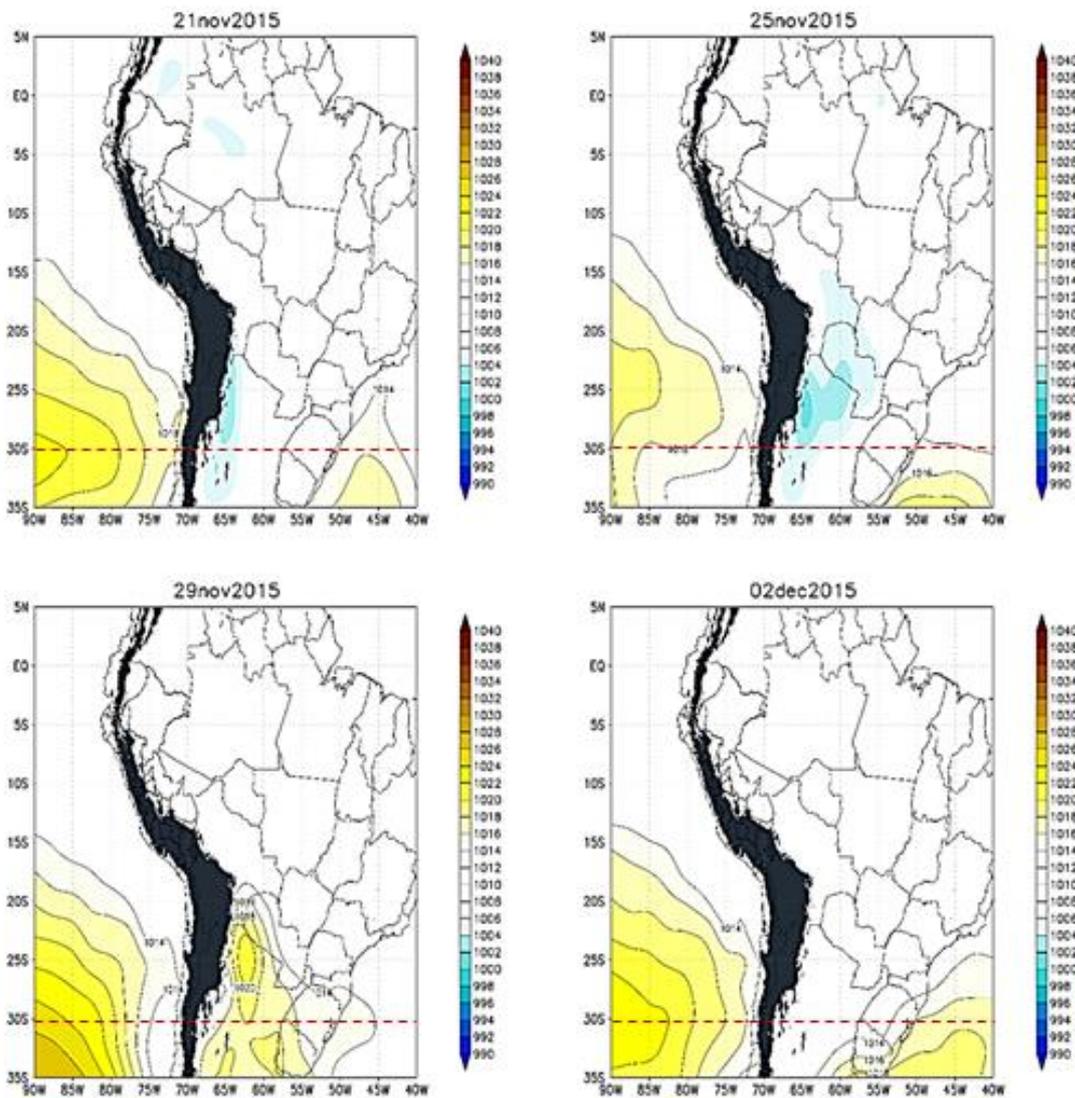


Figura 24: Análisis sinóptico en niveles bajos, isobaras del APSO (matiz de color, hPa), contornos altos de la presión (líneas negras, hPa) OC de noviembre del 2015

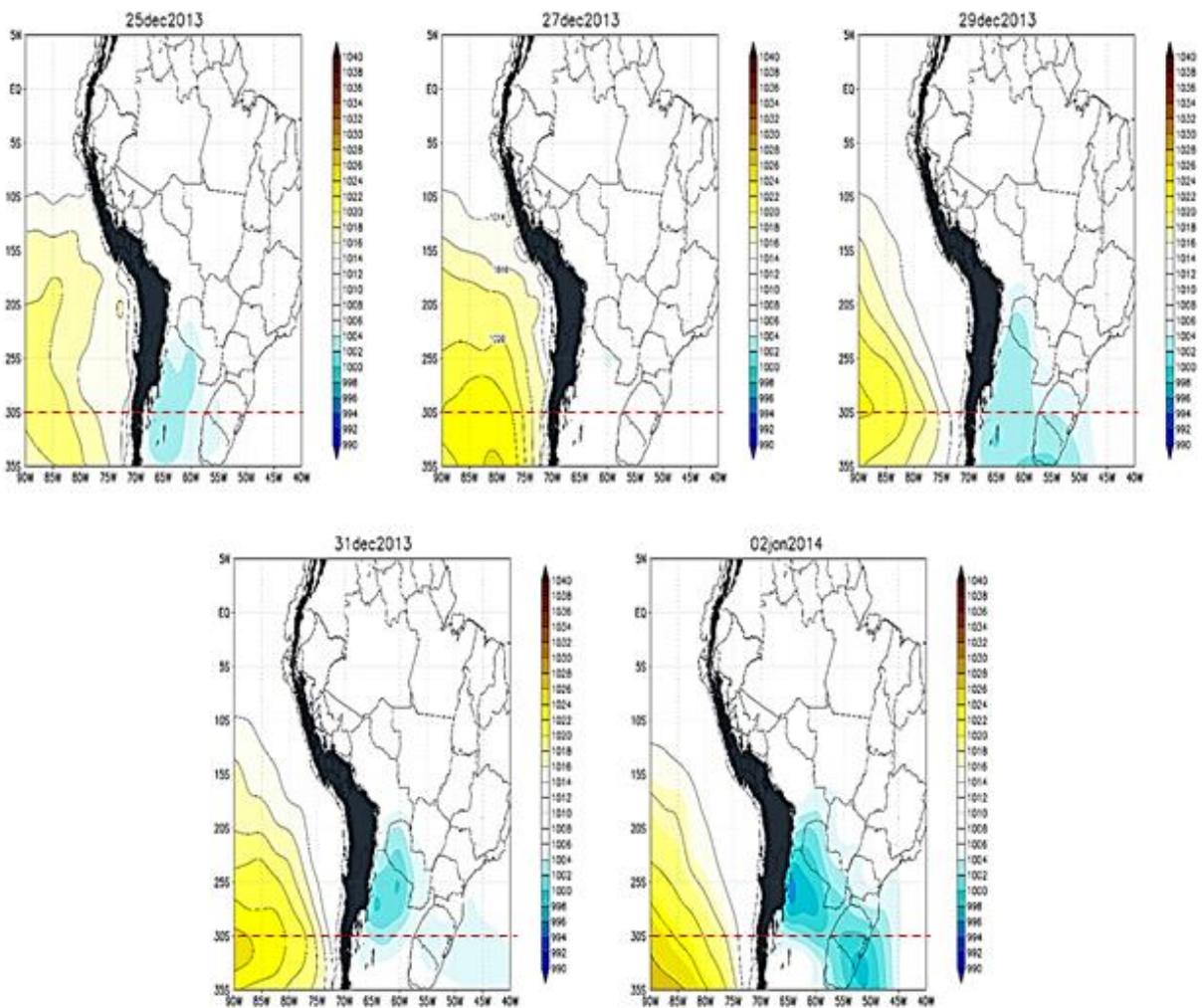


Figura 25: Análisis sinóptico en niveles bajos, isobaras del APSO (matiz de color), contornos altos de las presión (líneas negras) OC diciembre del 2013

En la Figura 26, el día 20 de setiembre del 2015 corresponde al día OC-3, en el cual se aprecia el APSO alejado del continente y con el núcleo débil al sur, en el cual se muestra el paso de un AM al sur de Chile y Argentina desplazándose al océano atlántico en los días siguientes. El día 22 de setiembre del 2015, corresponde al día OC-1, en el cual una AM se encuentra desplazándose al continente y separándose del anticiclón del occidental (APSO) ubicándose al sudeste de argentina y originando el anticiclón del atlántico sur (AAS), el día 24 del mes mencionado corresponde al último día y dando al término de la OC, donde la APSO se acerca a las costas de Chile con un núcleo intensificado de 1026 hPa y el AAS se forma alejado del continente. Asimismo; se forman bajas presiones desde día 20 al 24 del mes mencionado cerca a Bolivia. El día 26 corresponde al día OC+2, el cual muestra el

APSO intensificado con un núcleo de 1028hPa en las coordenadas de 30°S y 90°W por las costas de Chile y generándose un AM que posteriormente se desplazara al este generando el AAS. El día 28 corresponde al día OC+4 en donde el APSO se aleja del continente al igual que el AAS.

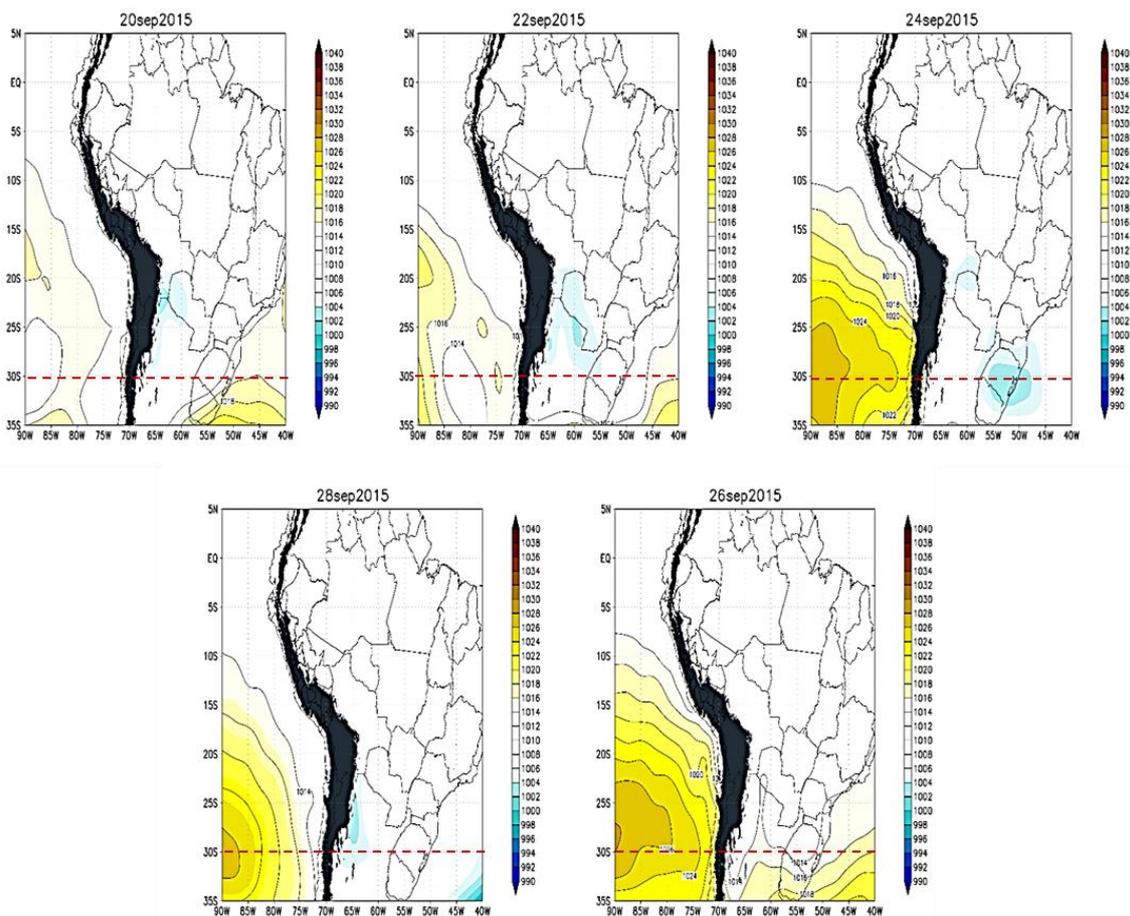


Figura 26: Análisis sinóptico en niveles bajos, isobaras del APSO (matiz de color), contornos altos de las presión (líneas negras) OC septiembre del 2015

5.3.1.2. Análisis isotérmico

En la Figura 27, el día 21 de noviembre del 2015; se muestra los valores de temperatura mayores a 20°C en la zona de Perú, Bolivia y Brasil, donde los valores más altos se ubican en la zona sur de Perú y suroeste de Bolivia, es importante resaltar las temperaturas mayores a 20°C; las cuales se encuentran ubicadas entre la Amazonia de Perú, nordeste de Bolivia y oeste de Brasil. También se aprecia temperaturas menores a 20°C se cerca de la Amazonia peruana que se extiende desde latitudes mayores como una vaguada.

Los días 25 y 29 del mes de noviembre del 2015 corresponden a los días donde ocurre la OC, el día 25 muestra mayores valores que se ubican entre los 5°N-27°S y 80°W - 54°W, donde los valores más altos se ubican en la zona sur de Perú y suroeste de Bolivia, Asimismo; los valores superiores a 20°C abarcan mayormente el continente sudamericano. Se presenta desde las 0000Z-1200Z temperaturas entre los 20°C a 23°C hasta el día 28 de noviembre de 2015 a las 0600Z en la Amazonia Peruana, parte oeste de Brasil y Bolivia. El día 29 de noviembre del 2015, la intensidad de la temperatura disminuye en la zona sur de Perú, norte de Chile y este de Bolivia, donde los valores mayores de 20°C aún se mantienen en gran parte de Perú y temperaturas aisladas en Colombia, Venezuela y Guayana. El día 02 de diciembre del 2015 corresponde al día OC+3, en el cual se aprecia el aumento de temperaturas en la zona sureste de Brasil, también al norte del continente se parecía temperaturas menores a 19°C al norte de Perú; en el cual se muestra una advección fría.

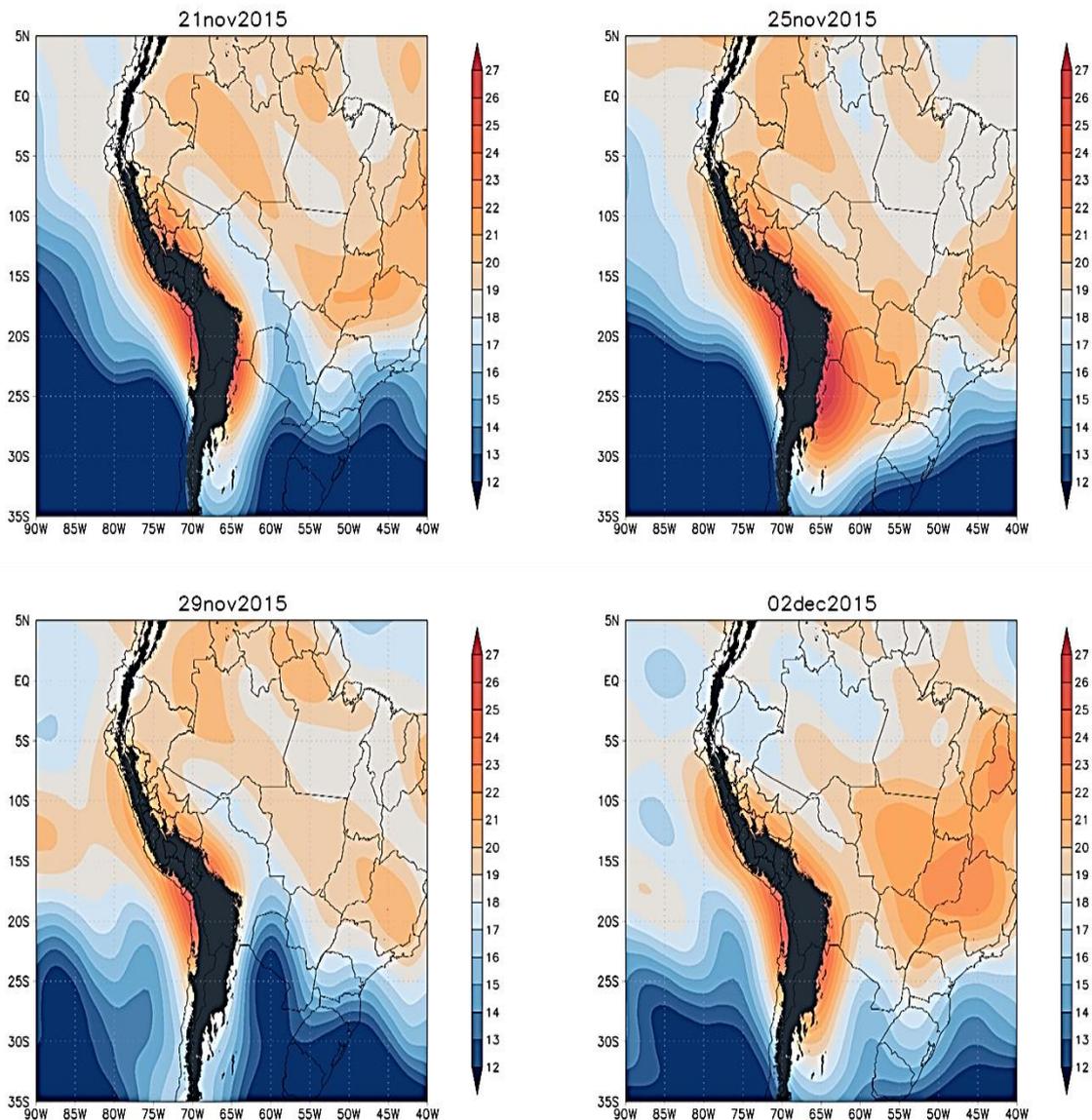


Figura 27: Análisis sinóptico a nivel de 850 hPa, isotermas (matiz de color, °C) en la OC de noviembre del 2015

En la Figura 28, el día 25 de diciembre del 2013, corresponde al día OC-4, en el cual se observa los valores más altos al sur de Perú, este de Chile y noroeste de Argentina. Al norte de Perú se observa temperaturas menores de 19°C que posteriormente se desplazaran más al sur. El día 27 del mes mencionado, los máximos valores se encuentran al oeste de Chile y noreste de Argentina, posteriormente a las 0000Z-1200Z del día 28 del mes mencionado se muestra que las temperaturas mayores a 20°C se ubican en la zona sur de Perú, las temperaturas menores se ubican en la parte norte las cuales limitan a los

departamentos de Ucayali, Huánuco y Ancash. El día 29 del mes mencionado, corresponde el día de inicio del evento de OC, donde las temperaturas mayores a 20°C se desplazan al norte cubriendo gran parte del área de Perú, a las 0600Z-1200Z estas temperaturas solo llegan a cubrir los departamentos de Ucayali, Madre de Dios y sur de Perú. Además, a las 1800Z las temperaturas mayores a 20°C se ubican al centro y sur de Perú. El día 31 del mes mencionado corresponde al último día del evento de OC, donde a las 0000Z-1200Z las temperaturas mayores a 20°C se ubican en la región central de la Amazonia Peruana, al igual que el día anterior a este. El día 02 de enero 2014 corresponde al día OC+2; en el cual se aprecia la disminución de las temperaturas superiores a 20°C dirigiéndose al sur de Perú, norte de Chile y noroeste de Bolivia, a las 1200Z se aprecia que las temperaturas menores de 19°C se encuentran ubicadas cerca del departamento de Madre de Dios y a las 1800Z las temperaturas menores a 20°C se mantienen al norte del continente.

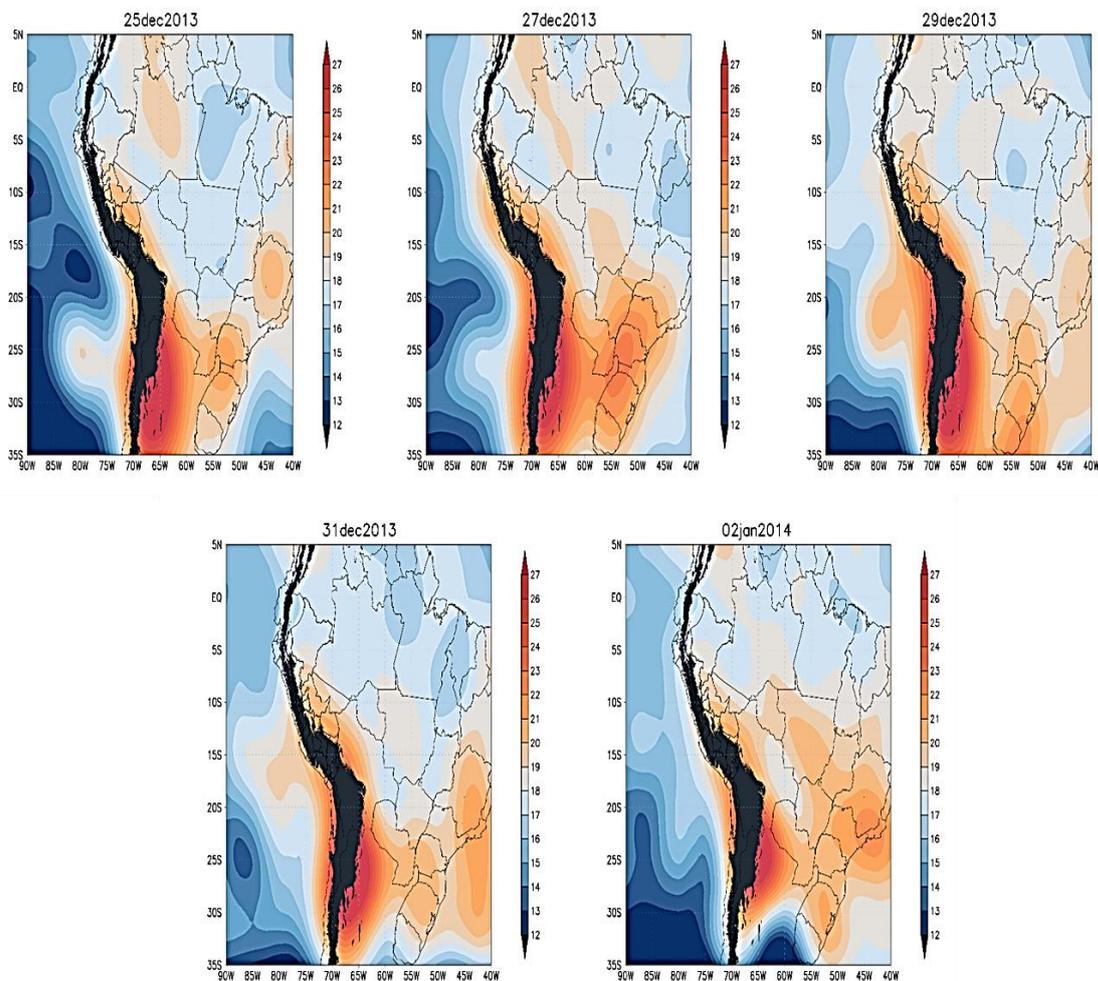


Figura 28: Análisis sinóptico a nivel de 850 hPa, isotermas (matiz de color, °C) en la OC de diciembre del 2013

En la Figura 29, en el día 20 de setiembre del 2015 corresponde al día OC-3, se aprecia que los valores superiores a 20°C se encuentran en la zona central del continente bordeando parte de Perú, sur de Bolivia, centro y sur de Brasil. Posteriormente las temperaturas mayores a 20°C se ubican en la zona central de Brasil expandiéndose hasta la parte suroeste de Perú a las 1200Z del día 21. El día 22 del mes mencionado corresponde al día OC-1, donde las temperaturas se expanden en gran parte del área de Perú y sureste de Brasil. El día 24 del mismo mes corresponde el día final del evento de OC, en el cual se aprecia dos núcleos máximos en la parte sur de Bolivia y sureste de Brasil.

El día 26 del mes mencionado muestra disminución de la temperatura en gran parte del área del centro y sur de Perú y sureste de Brasil. Sobre este punto es importante mencionar que se genera una división por el ingreso de aire frío por el centro del continente en forma de una vaguada; este ingreso de este aire frío se volverá discontinuo con desplazamiento al norte en el día 28 el cual provoca alejamiento de los núcleos generados en los días anteriores ya mencionados.

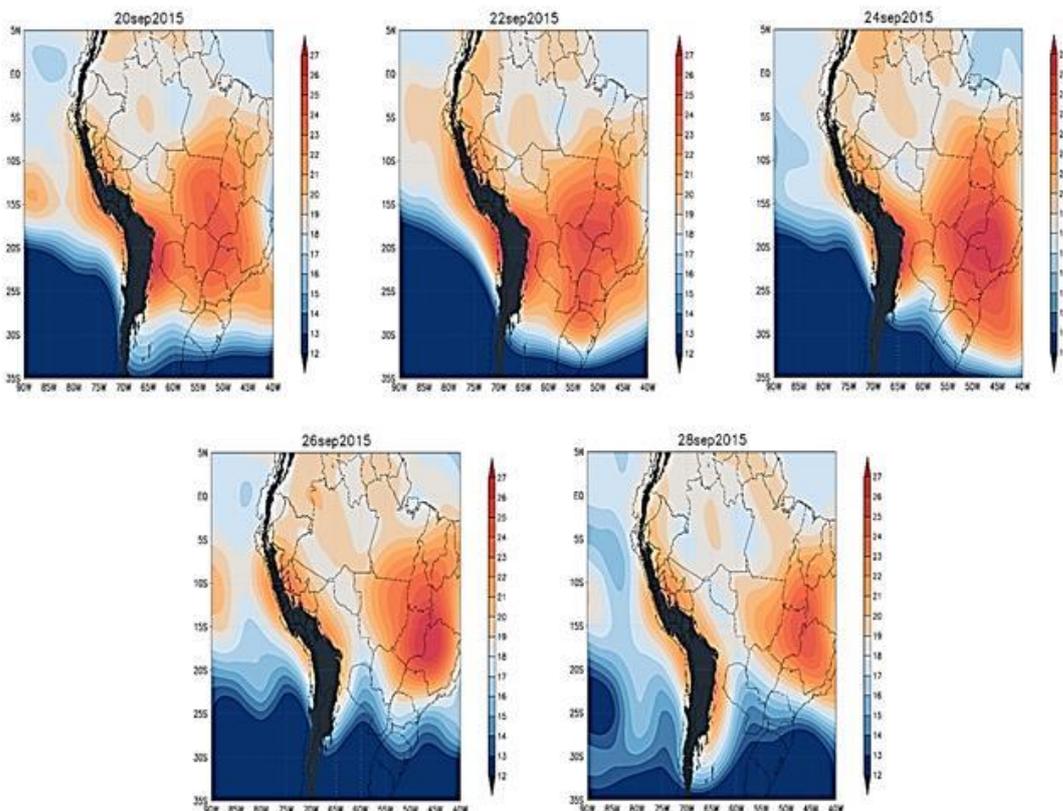


Figura 29: Análisis sinóptico a nivel de 850 hPa, isotermas (matiz de color, °C) en la OC de septiembre del 2015

5.3.1.3. Análisis de los índices de estrés térmico.

Las Figura 30 a y 30 a'; corresponden al día 23 de noviembre del 2015 con el ICH, el cual muestra la zona occidente de Loreto; en el cual la sensación de discomfort es soportable, mientras que en la zona la sensación es variante.

Las imágenes 31 f y 31 f', corresponden al día 23 de noviembre del 2015 con el IDH, donde la mayor parte del área de Loreto indica incomodidad por presencia de calor y la zona este de Loreto posee una sensación de comodidad en la tarde, los valores por la noche sugieren aumento en la sensación de incomodidad por calor en toda la región norte de la Amazonia Peruana.

Las imágenes 32 k y 32 k', corresponden al día 23 de noviembre del 2015 con el IC, donde la temperatura aparente disminuye al este de la Amazonía Peruana, el rango de valores que se aprecia en la primera imagen señala que en la parte oriental la sensación es de fatiga, mientras que en la zona occidental de Loreto es de insolación a las 13:00 p.m., la segunda figura muestra en la región norte de la Amazonía la percepción de fatiga mayormente al inicio de la noche.

Las imágenes 33 p y 33 p', corresponden al día 23 de noviembre del 2015, en el cual se muestra el IRE en la región norte de la Amazonia Peruana indicando ningún efecto adverso en las personas vulnerables de diferentes edades.

Las imágenes 30 b, 30 c y 30 d; muestran el índice ICH, el cual corresponde a los días donde se presentó el evento de OC, a partir del día 25 al 27 de noviembre del 2015, se presenta la sensación de incomodidad soportable en el centro Loreto y discomfort en la parte occidental de la Amazonia Peruana y el día 29 de noviembre del 2015 se percibe incomodidad soportable que se extiende en la mayoría del área de la región norte, también presenta discomfort en la parte occidental de la amazonia peruana. Las imágenes 30 b', 30 c' y 30 d', corresponden a los días donde se presentó el evento de OC, en el cual se muestra que en estos días la sensación es de incomodidad soportable en la mayor parte del área.

Las imágenes 31 g, 31 h y 31 i, corresponden a los días donde se presentó el evento de OC con IDH, lo cual muestra que el periodo seleccionado, la sensación en la zona occidental es de stress debido al calor e incomodidad por el calor en la parte central y oriental de la región norte a las 1800Z. Las imágenes 31 g', 31 h' y 31 i', corresponden a los días donde

se presentó el evento de OC, los cuales muestran el aumento de la sensación de incomodidad por calor y la presencia aun de stress en la zona occidental de la región norte.

Las imágenes 32 l, 32 m, 32 n, 32 l', 32 m' y 32 n', corresponden a los días donde se presentó el evento de OC con el IC, los mayores valores de temperatura aparente que se encuentran en la zona suroeste presentan sensación de insolación y golpe de calor, mientras en la zona este se presenta la sensación de fatiga. Las imágenes 33 q, 33 r y 33 s, corresponden a los días donde se presentó el evento de OC con el IRE, los cuales muestran en la zona suroeste valores por encima de 0.15 por lo que las personas con mayor probabilidad de vulnerabilidad son jóvenes y ancianos, la zona este afecta mayormente a personas mayores de edad. Las imágenes 33 q', 33 r' y 33 s', corresponden a los días donde se presentó el evento de OC, los cuales muestran que el IRE aumenta el día 25 de noviembre del 2015 afectando en la zona oeste y centro de Loreto a jóvenes y posteriormente disminuyendo su intensidad.

Las imágenes 30 e y 30 e', corresponden al día 01/12/15 o OC+2 con el ICH, y muestran en la región amazónica la disminución de la sensación, predominando al este del departamento de Loreto la sensación de variación. Las imágenes 31 j y 31 j' con el IDH, mantienen la sensación de incomodidad por el calor en la mayor parte de la región Amazónica Peruana, al este la sensación disminuye llegando al rango de comfortable. Las imágenes 32 o y 32 o'), corresponden al día OC+2 con el IC, en el cual se aprecia al este de la amazonia peruana valores entre (27-32) °C ocasionando en el cuerpo humano fatiga, en la parte occidental se aprecia pequeña insolación en las personas. Las imágenes 33 t y 33 t', corresponden al día OC+2 con el IRE, en donde se muestra disminución del IRE, indicando que en la zona este no presenta efectos en las personas, mientras que en la zona central y oeste aun afecta mayormente a ancianos.

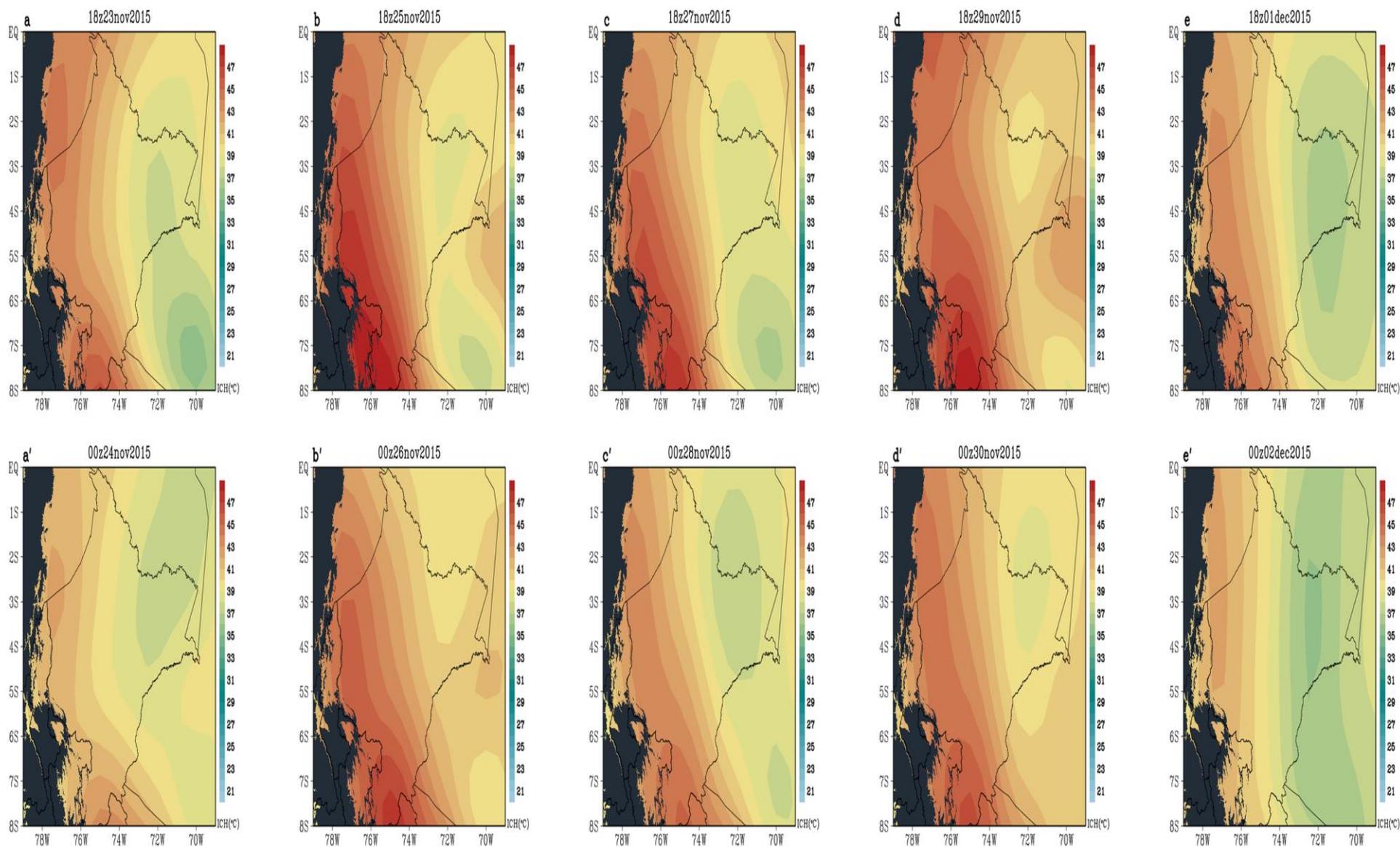


Figura 30: Análisis de ICH (matiz de colores, °C) en la región norte de la Amazonia Peruana

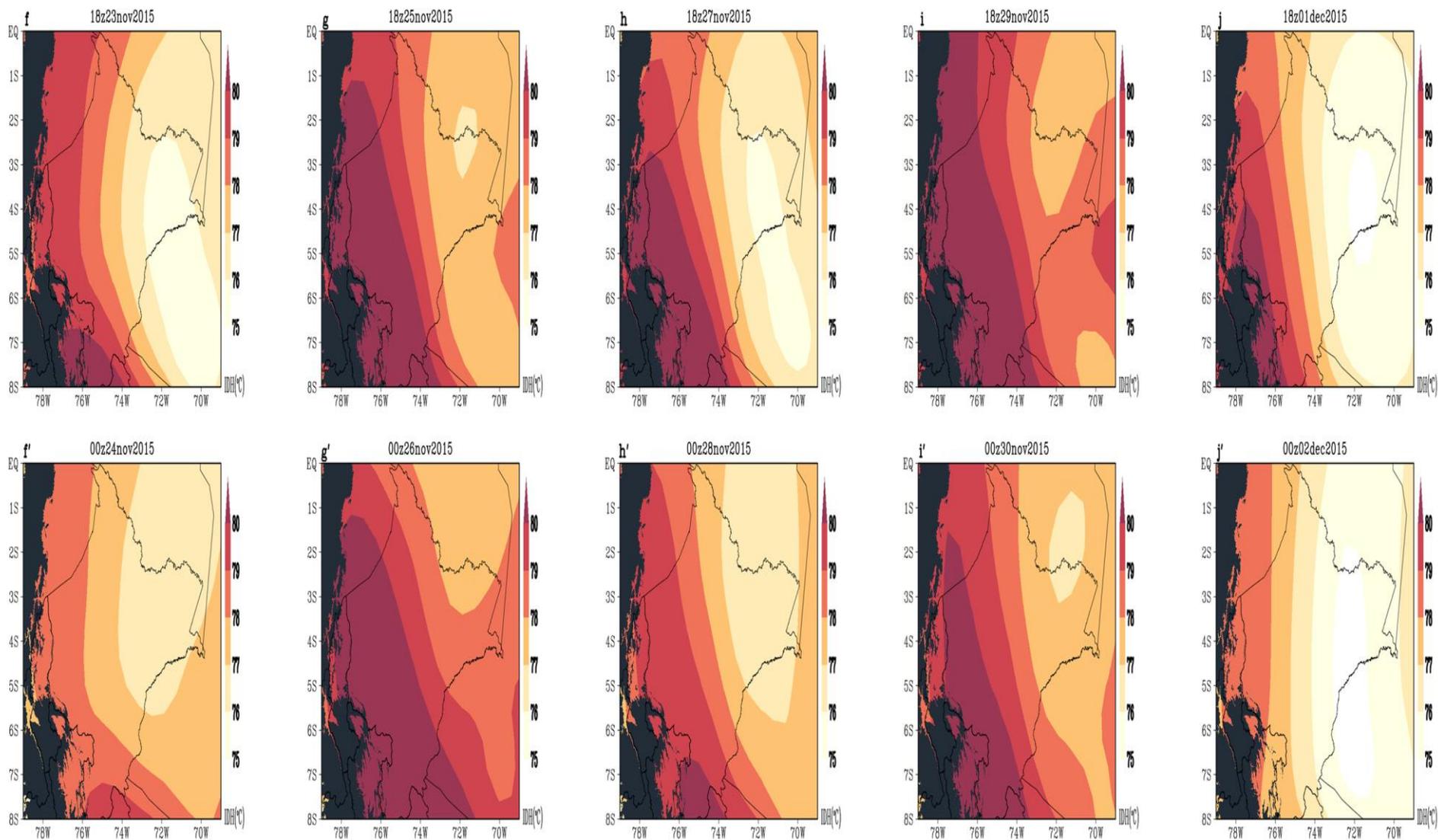


Figura 31: Análisis de IDH (matiz de colores, °C) en la región norte de la Amazonia Peruana

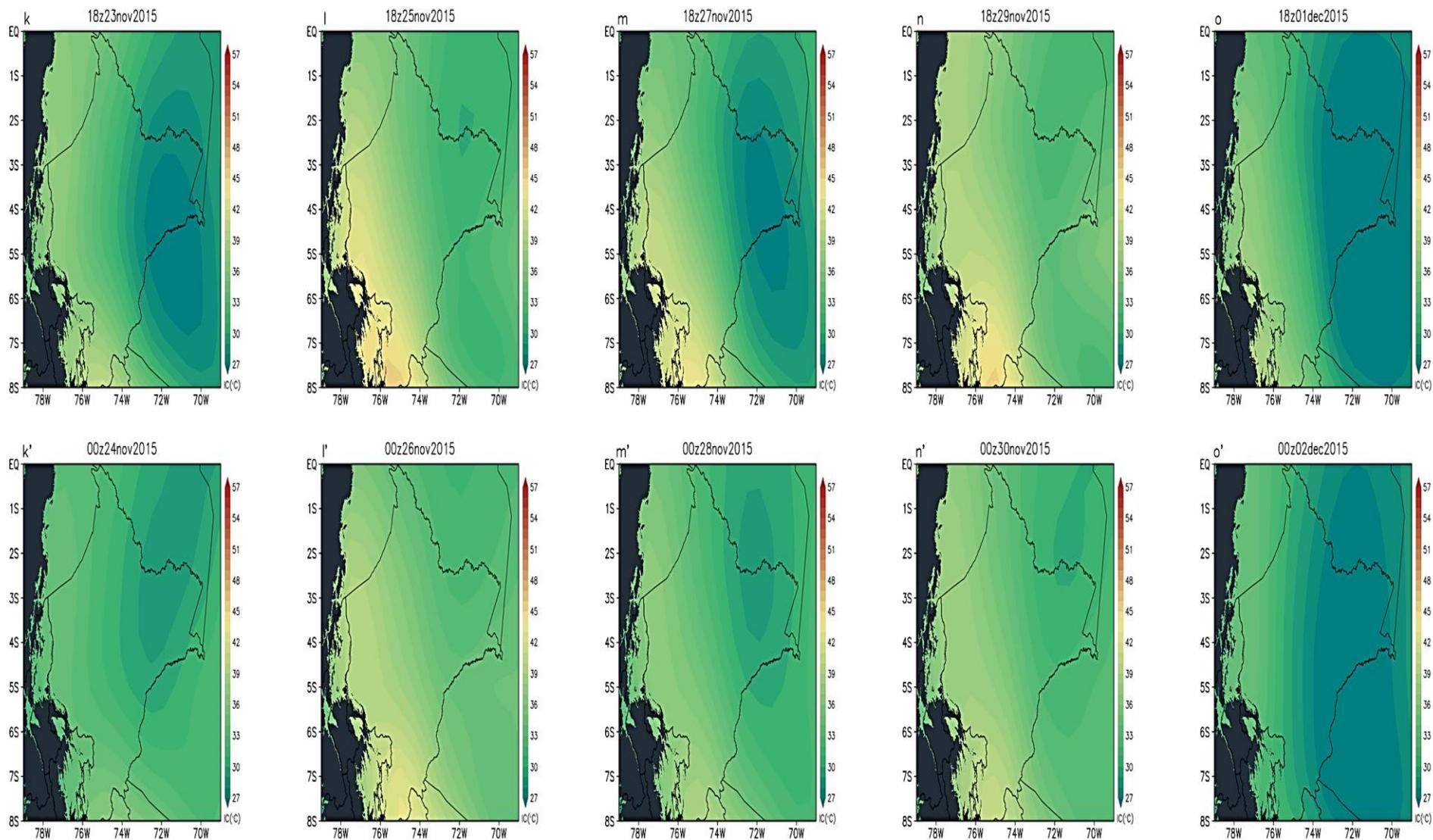


Figura 32: Análisis de IC (matiz de colores, °C) en la región norte de la Amazonia Peruana

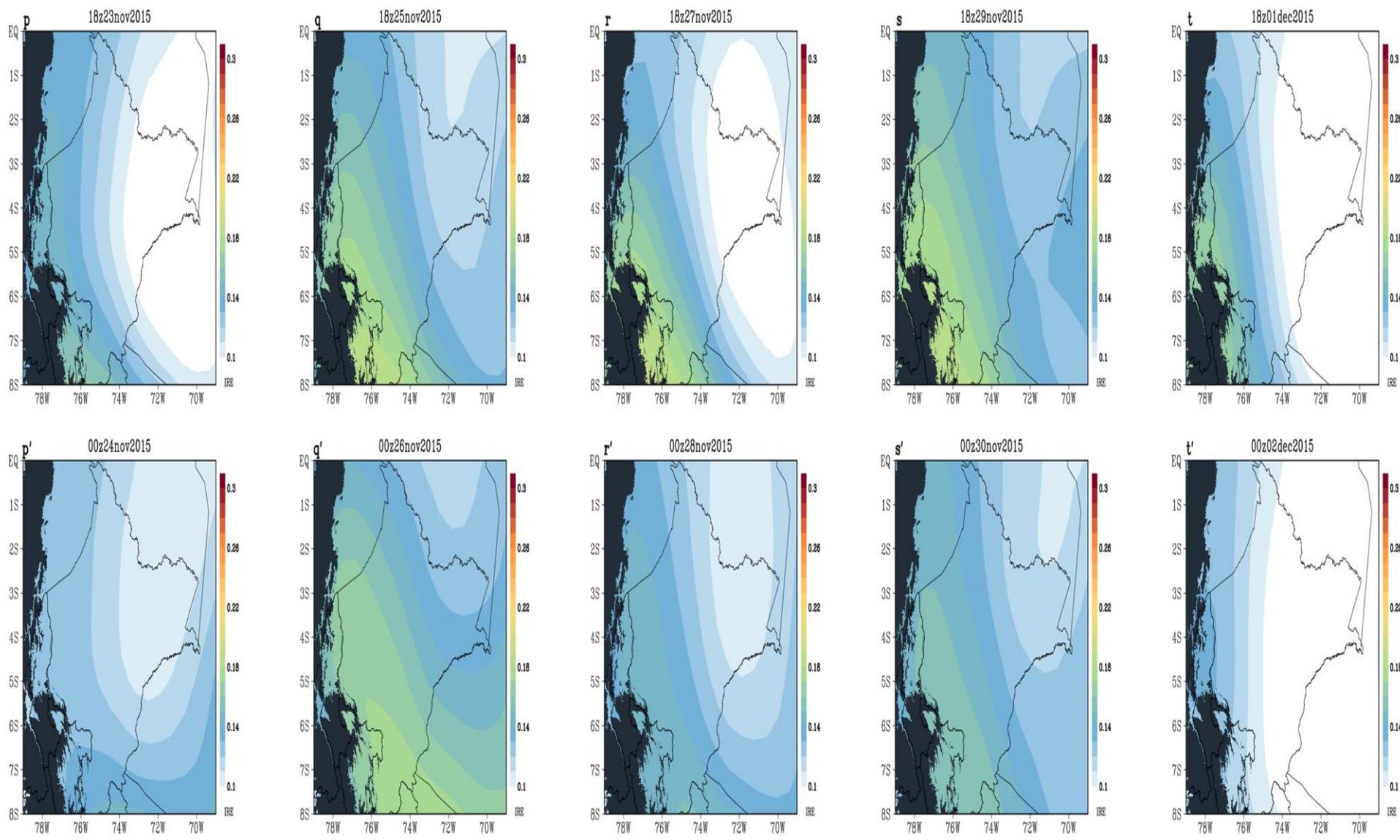


Figura 33: Análisis de IRE (matiz de colores) en la región norte de la Amazonia Peruana

Las figuras 34 a y 34 b, corresponden a los días 25 y 27 de diciembre del 2013 respectivamente con el ICH, muestran la sensación de incomodidad soportable en la población del departamento de Ucayali. Sin embargo; disminuye la sensación al pasar las horas lo cual se muestra en la figura 34 a' y 34 b'. Las figuras 34 c y 34 d, corresponden a los días del evento de OC (29 hasta 31) de diciembre del 2013, donde la sensación aumenta provocando incomodidad en la zona occidental y central las cuales se mantienen (véase las figuras 34 c' y 34 d') hasta el último día del evento. Posteriormente variando a una incomodidad soportable que va disminuyendo en el transcurso de las horas (véase la imagen 34 e y e').

Las figuras 35 f, 35 g, 35 f' y 35 g', corresponden a los días 25 y 27 de diciembre del 2013 con el IDH, muestran la presencia de incomodidad debido al calor. Las figuras 35 h, 35 i, 35 h' y 35 i' corresponden a los días 29 y 31 de diciembre del 2013, donde el valor del IDH es mayor a 80°C; lo cual indica la sensación de stress por el calor, afectando a la población en este periodo. Las figuras 35 j y 35 j', corresponden al día 02/01/14, disminuyendo a una sensación de incomodidad por el calor soportable.

Las figuras 36 k y 36 l, corresponden a los días 25 y 27 de diciembre del 2013 con el IC, presentando sensación de fatiga en la zona este de la región centro y presencia de insolación al suroeste (alerta de precaución) en los habitantes, las figuras 36 k' y 36 l' presentan la disminución de sensación de fatiga (sin preocupación). Así mismo, Las figuras 36 m, 36 n, 36 m' y 36 n', se lleva a cabo la OC, muestra en la región norte y este de Ucayali la sensación de insolación. Es importante considerar el área suroeste (alerta de peligro) de Ucayali que se mantiene en las próximas horas, el día 31 de diciembre del 2013 (último día del evento de OC) la sensación de insolación disminuye paulatinamente en el departamento de Ucayali en las próximas horas. Las figuras 36 o y 36 o' corresponden al día 02/01/14, presenta sensación de fatiga (alerta normal) en la parte norte de Ucayali e insolación en la zona sur (alerta de preocupación). Estas van disminuyendo en el transcurso del día llegando a la normalidad.

Finalmente las imágenes 37 p, 37 p', 37 q y 37 q', corresponden a los días 25 y 27 de diciembre del 2013 con el IRE, muestran que las personas más vulnerables son los ancianos que se encuentran en actividad, mientras que las imágenes 37 r, 37 r', 37 s y 37 s', en los días del evento de OC afectan tanto a personas mayores como a jóvenes. Las imágenes 37 t y 37 t' corresponden al día 02/01/14; las cuales indican que las personas más vulnerables son los ancianos.

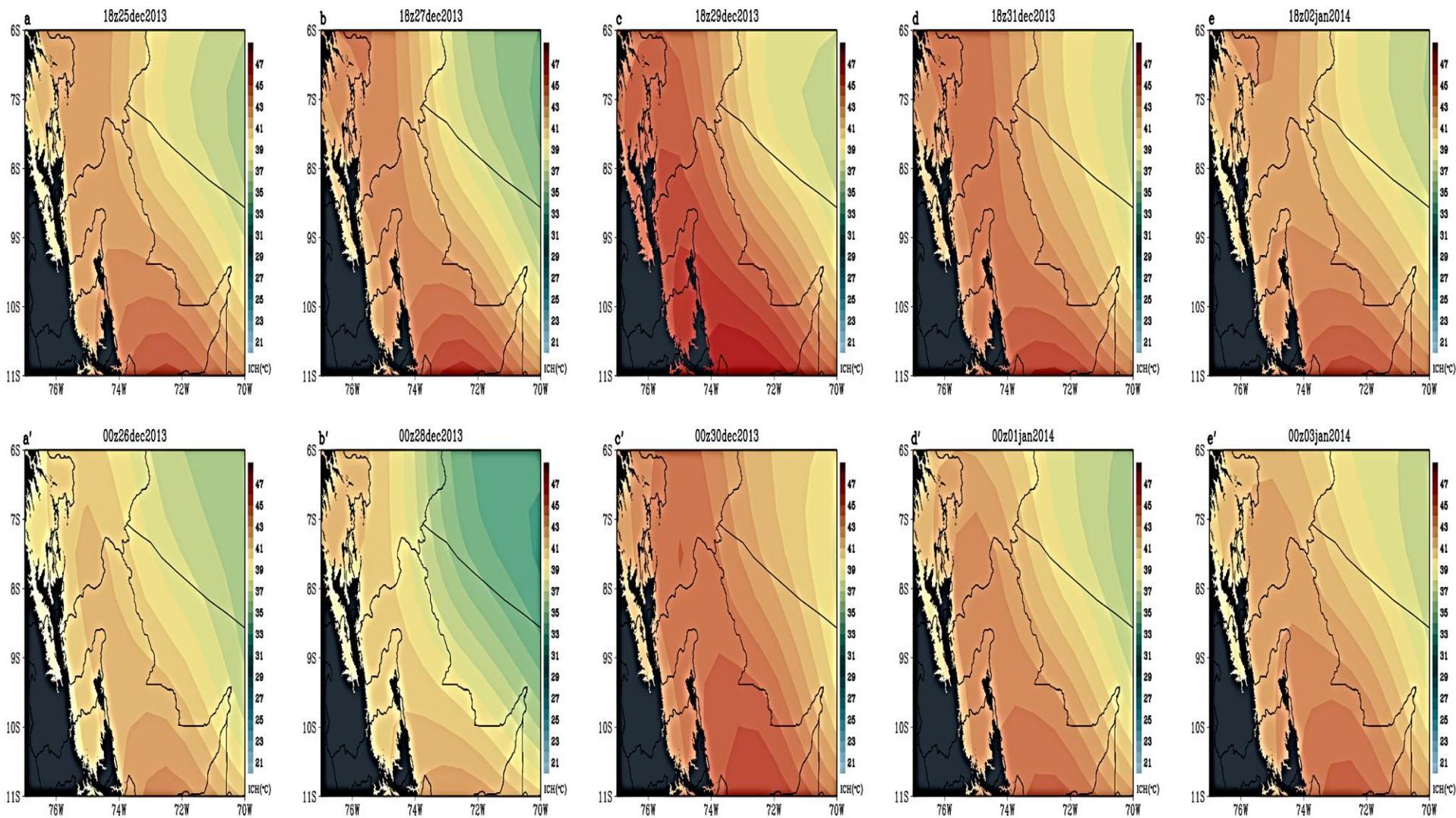


Figura 34: Análisis de ICH (matiz de colores, °C) en la región centro de la Amazonia Peruana

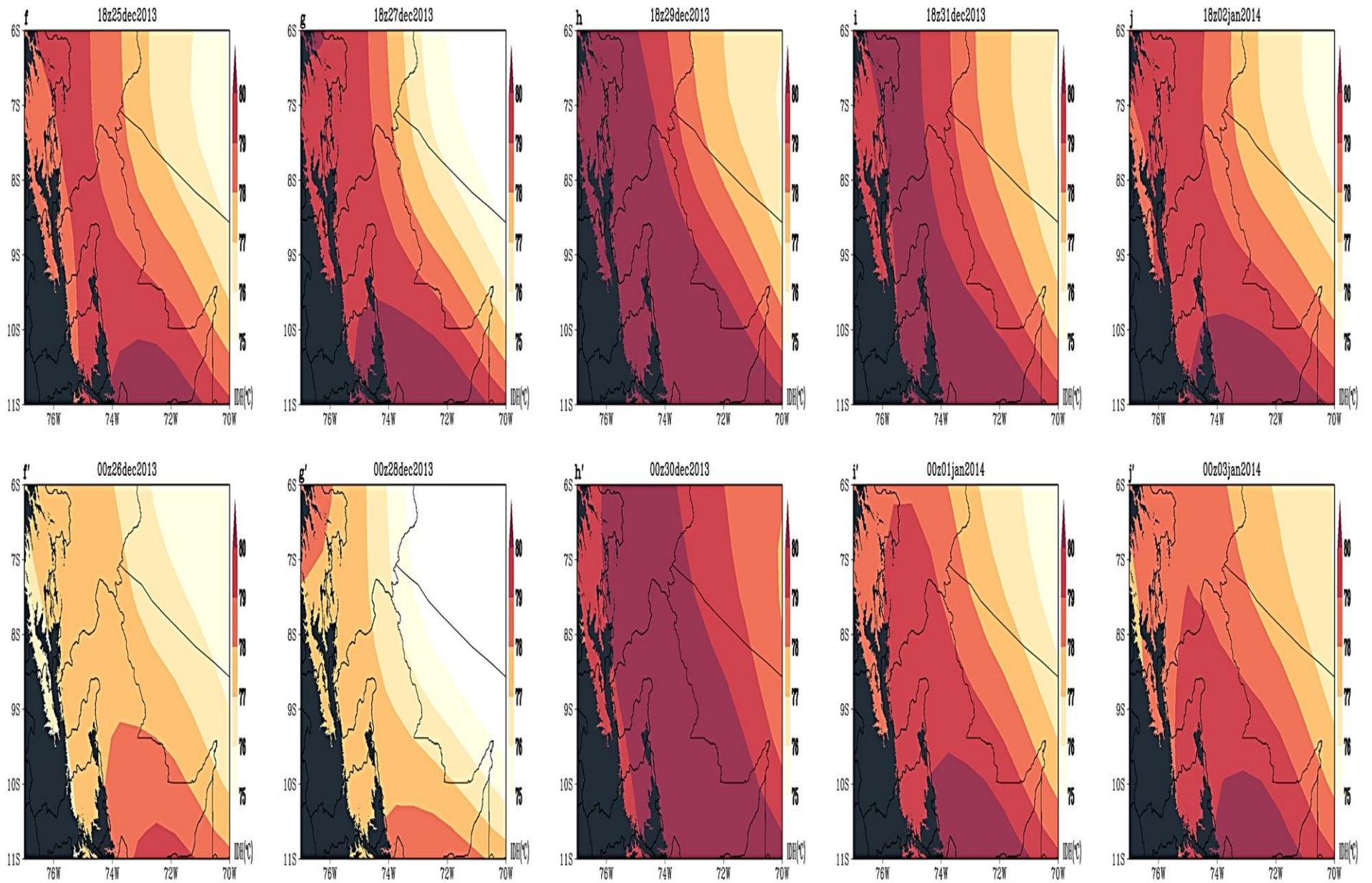


Figura 35: Análisis de IDH (matiz de colores, °C) en la región centro de la Amazonia Peruana

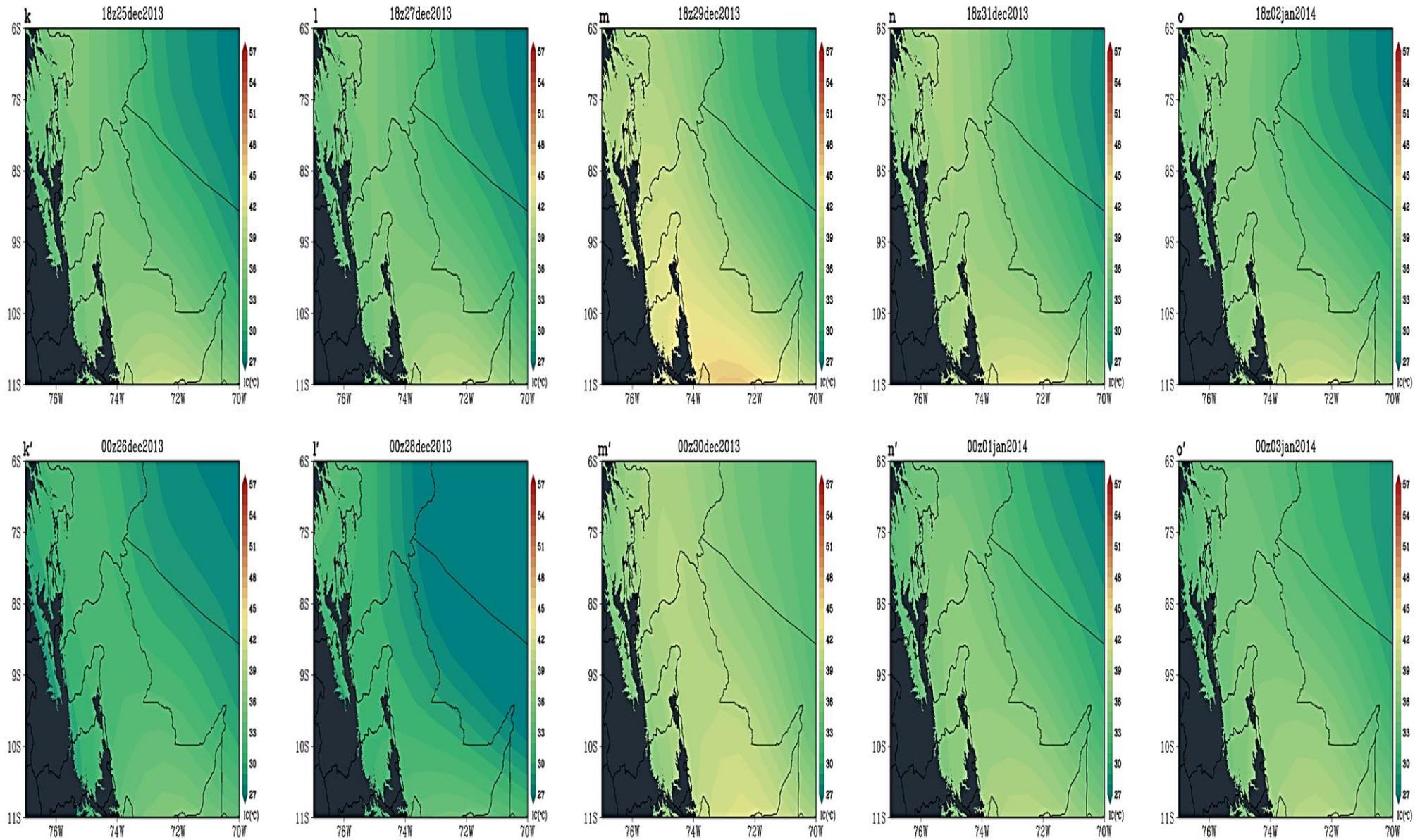


Figura 36: Análisis de IC (matiz de colores, °C) en la región centro de la Amazonia Peruana.

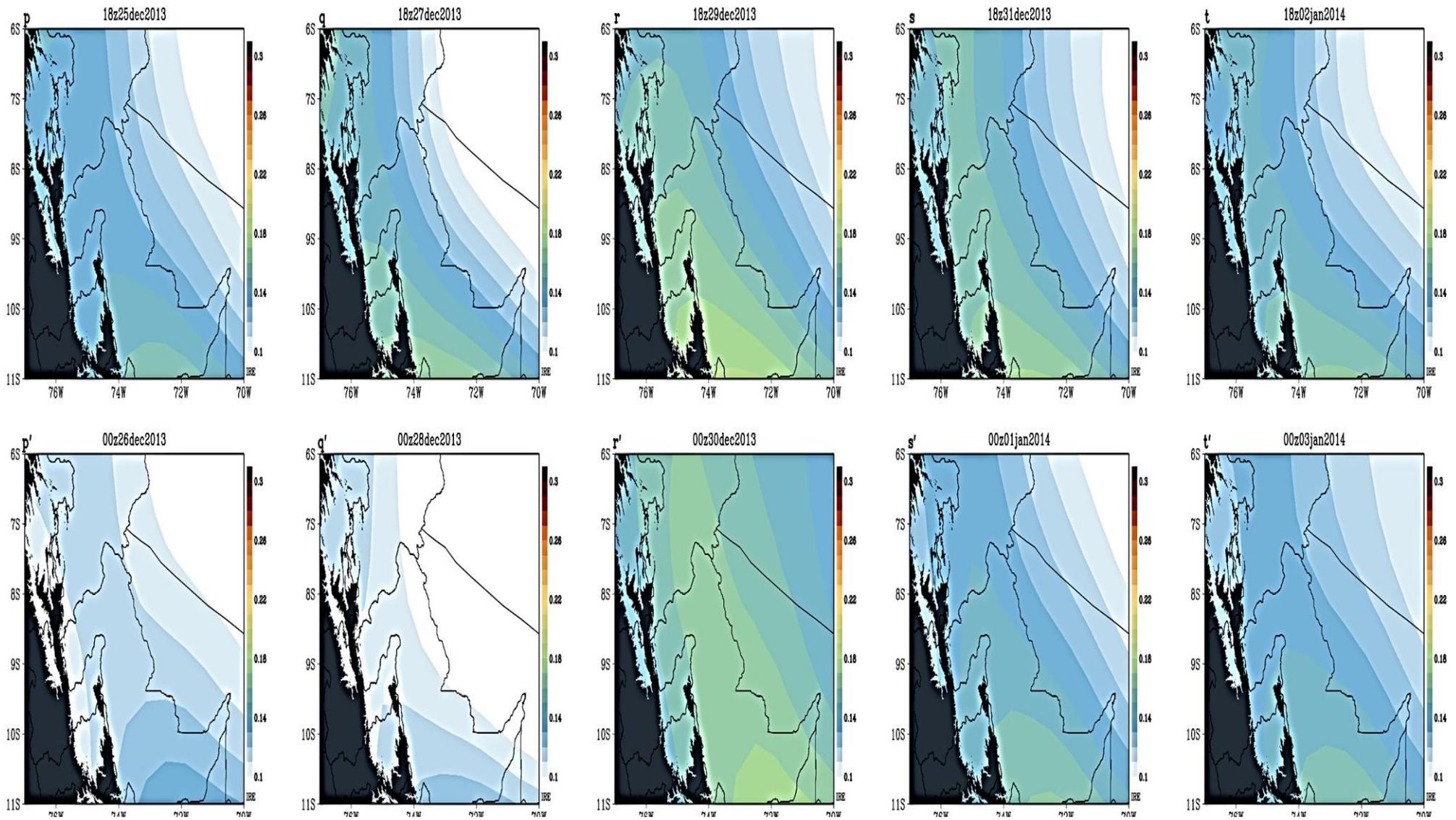


Figura 37: Análisis de IRE (matiz de colores) en la región centro de la Amazonia Peruana.

La figura 38, muestra el índice ICH que se dieron en la región sur de la Amazonia peruana, las imágenes (a, a' y a'') corresponden al día 20 a las 1800Z, 0000Z y al día 21 a las 0600Z respectivamente con el ICH, presentando incomodidad en la interacción entorno- individuo y a las 0600Z sensación de discomfort soportable. Las imágenes (b, b' y b'') corresponden al día 24 a las 13,18 horas y al día 25 a las 0600Z respectivamente en el cual se lleva a cabo la finalización del evento de OC con el ICH, presentado sensación de incomodidad que se mantiene hasta inicios de la noche, posteriormente esta sensación disminuye a un discomfort soportable en la media noche. Las imágenes (c, c' y c''), corresponde al día 27 a las 1800Z y al día 28 a las 0000Z y 0600Z respectivamente, la sensación de incomodidad se mantiene hasta la media noche, posteriormente su intensidad disminuye a una incomodidad soportable.

La figura 39 muestra el índice IDH que se dieron en la región sur de la Amazonia peruana, muestra las imágenes (d, e y f) corresponden al día 20,24 y 27 respectivamente, muestran valores de IDH mayores a 80°C lo cual indica la sensación de stress debido al calor a las 1800Z la cual se mantiene en las próximas horas (véase en las imágenes d', e' y f') y a las 0600Z la sensación de stress se mantiene en el evento de OC, mientras que en los días anteriores y posteriores a la OC se percibe incomodidad por el calor (véase en las imágenes d'', e'' y f'').

La figura 40 muestra las imágenes (g, h y i) corresponden al día 20,24 y 27 respectivamente con el índice IC por la tarde, muestran los mayores valores en la zona occidental de Madre de Dios, considerándose como área en extremo peligro lo cual trae consigo golpes de calor e insolación en la población, esta sensación se mantiene en extremo peligro en el evento de OC a las 0000Z (véase en las imágenes g', h' y i'), posteriormente la sensación disminuye a un rango normal en la zona este y precaución mínima en la zona occidental el día 21 a las 0600Z, el día 25 se considera en extrema precaución la zona occidental de Madre de Dios a las 0600Z, en los días posteriores a las 0600Z la intensidad disminuye a una sensación normal (véase las imágenes g'', h'' y i'').

La figura 41 muestra las imágenes (j, k y l) que corresponden al día 20,24 y 27 respectivamente con el IRE, este índice indica que las personas más vulnerables probablemente sean afectadas con problemas cardiacos y respiratorios por la tarde, estos efectos se mantiene por la noche en el evento de OC (véase las imágenes j', k' y l'). Las imágenes (j'', k'' y l'') que corresponden al día 21, 25 y 28 a las 0600Z respectivamente, muestran la disminución de los valores del IRE.

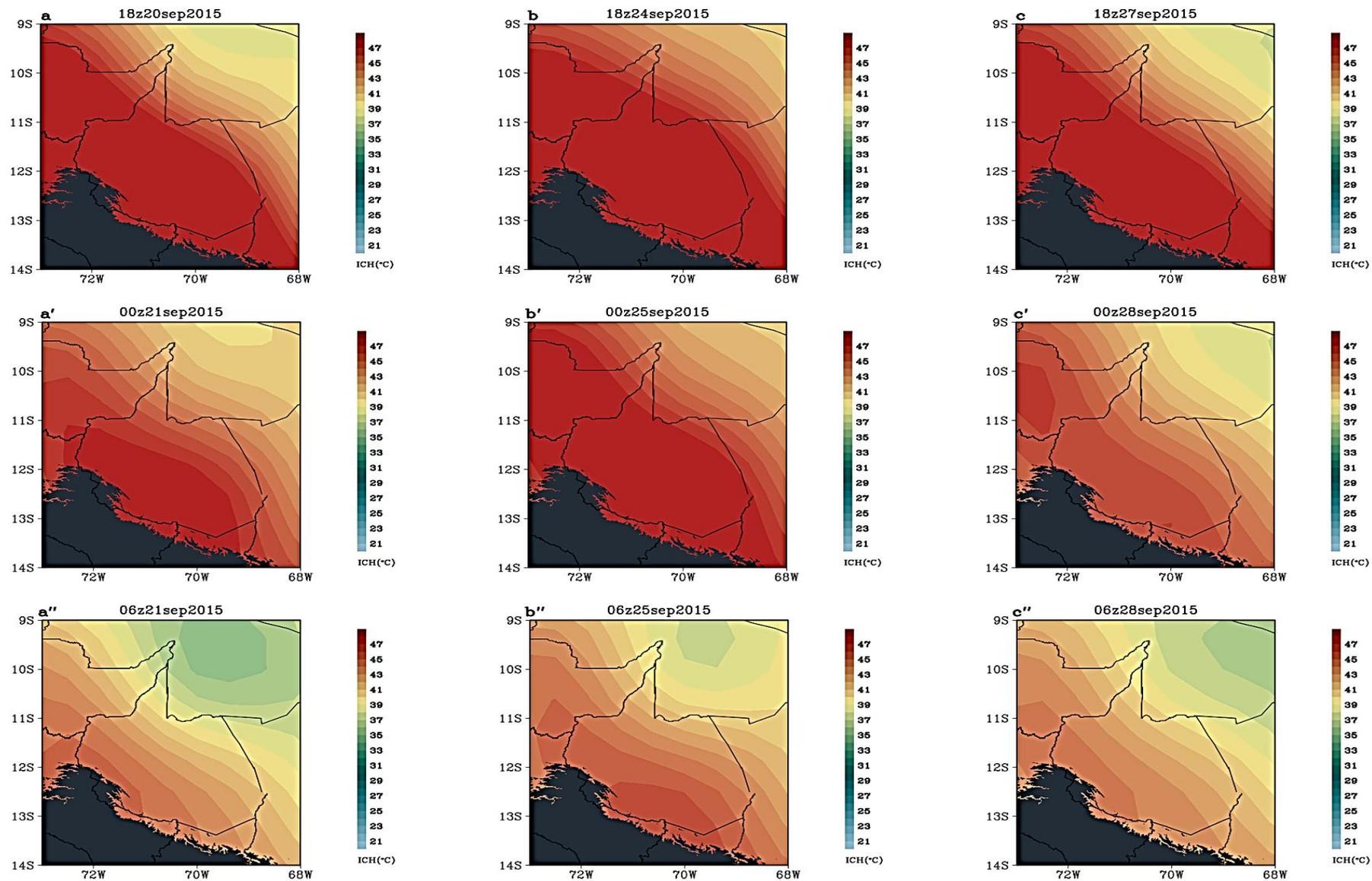


Figura 38: Análisis de ICH (matiz de colores, °C) en la región sur de la Amazonia Peruana.

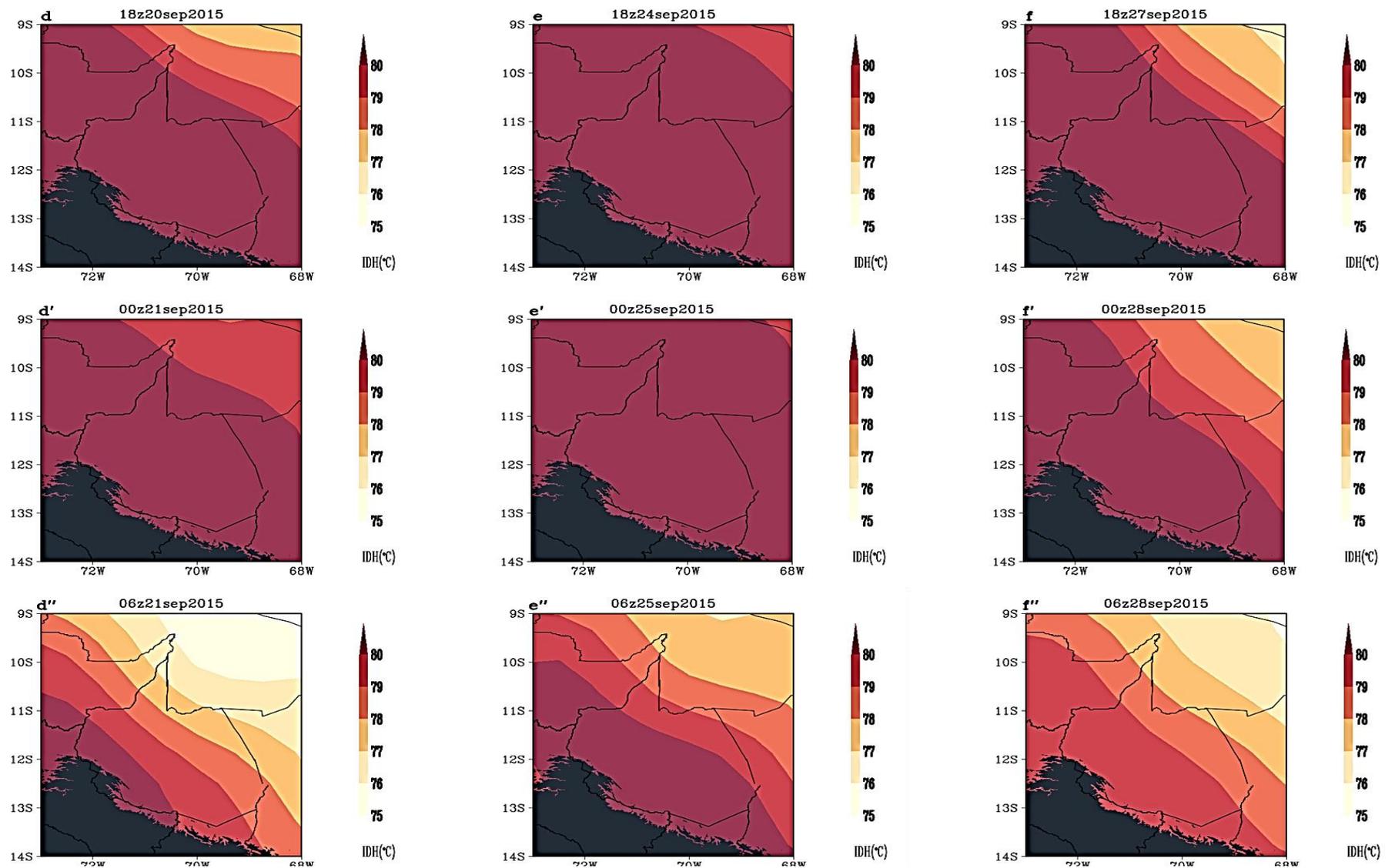


Figura 39: Análisis de IDH (matiz de colores, °C) en la región sur de la Amazonia Peruana

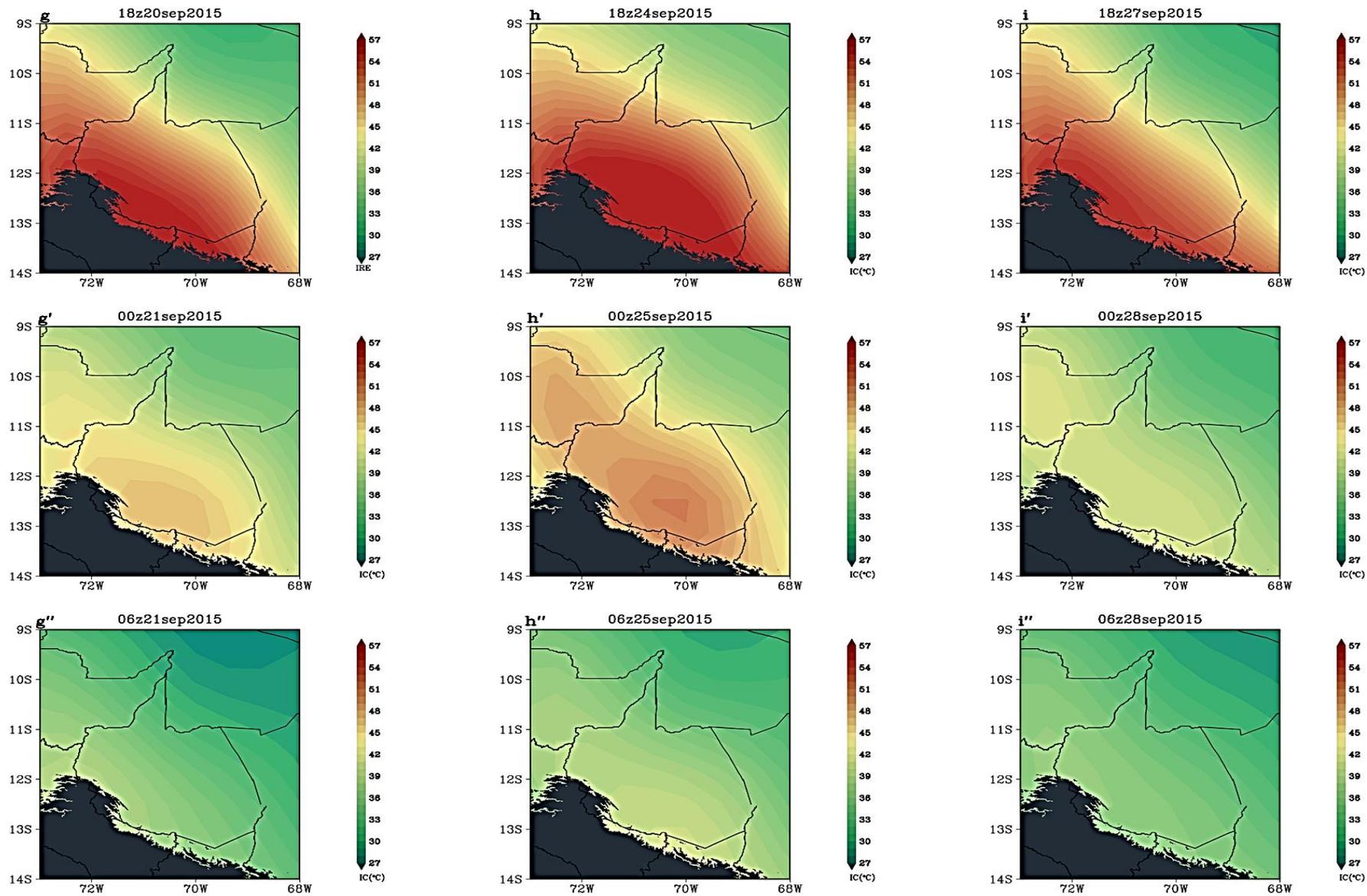


Figura 40: Análisis de IC (matiz de colores $^{\circ}\text{C}$) en la región sur de la Amazonia Peruana.

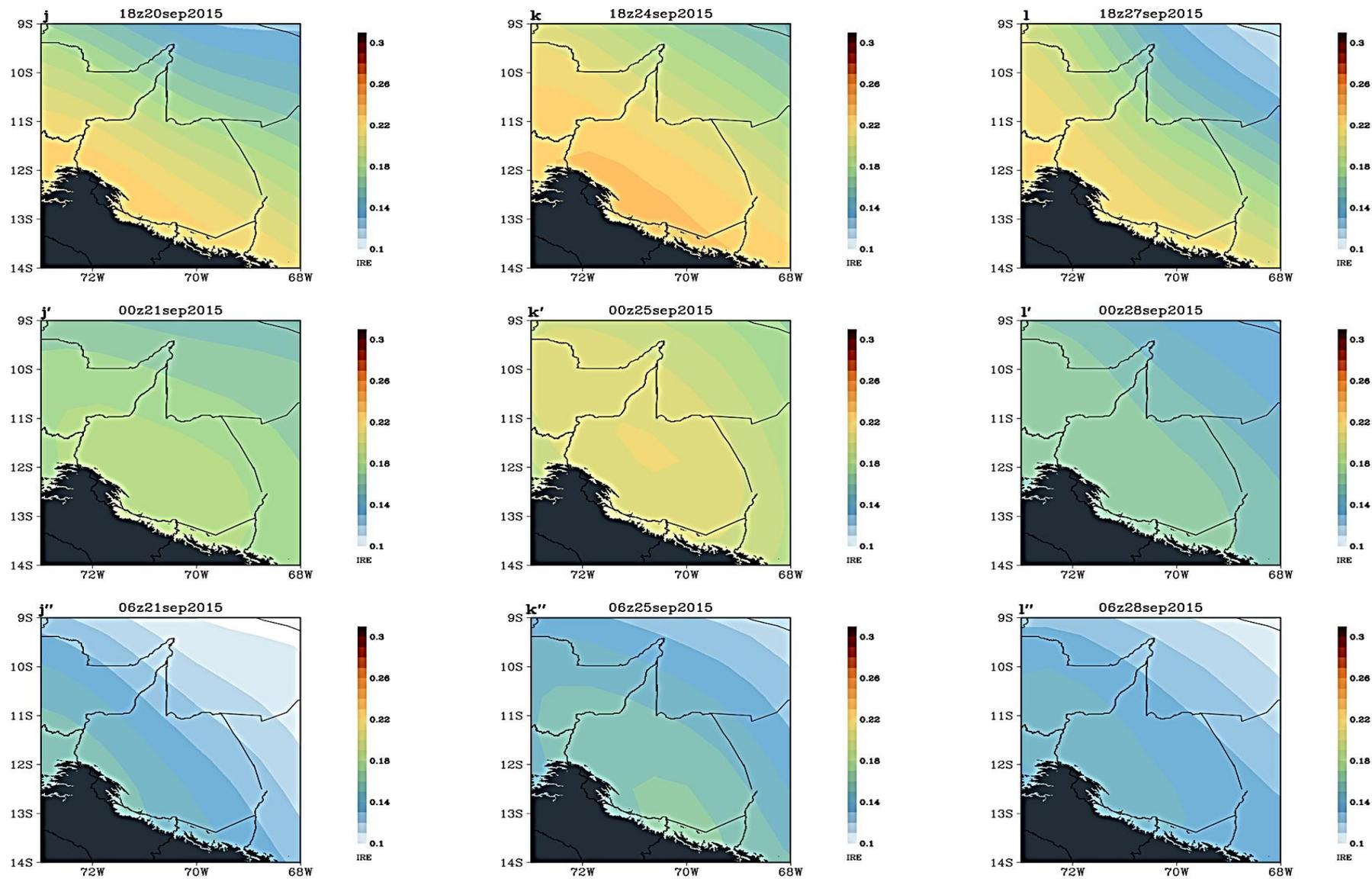


Figura 41: Análisis de IRE (matiz de colores) en la región sur de la Amazonia Peruana

5.3.1.4. Análisis de anomalía de OLR y Precipitación

Las figuras 42 y 43, la imagen (a.1) presenta la zona este de Loreto anomalías positivas de OLR entre 30 y 40 w/m^2 y una anomalía positivas de precipitación de 9-7 mm/día (véase a.2) , además se aprecia el valor de 15 w/m^2 mayormente en gran parte de la Amazonia peruana, asimismo una anomalía de precipitación de 1-5 mm/día, la anomalía de OLR abarca el territorio peruano en los días posteriores llegando a valores de 25 a 35 w/m^2 en el evento de OC (véase b.1), mientras que se presenta anomalía negativa de precipitación en la zona norte y centro de la Amazonia Peruana y positiva al este de Loreto de 1 a 3 mm/día (véase b.2), posteriormente la anomalía de OLR se mantiene en la zona de Loreto con un aumento de intensidad (véase c.1). Además, se presenta una anomalía de precipitación positiva al este de Loreto, centro y sur de la Amazonia peruana.

La figuras 44 y 45, la imagen (a.1) muestra los valores altos de OLR en la parte norte, sur del Perú y parte de Bolivia y con una anomalía positiva de precipitación en la amazonia peruana, en el transcurso de los días se presenta aumento de OLR en la zona central de la amazonia peruana desde 5 a 30 w/m^2 con una anomalía de precipitación que ha aumentado desde 3 a 9 mm/día en la mayoría de la Amazonia Peruana (véase a.2 y b.2). La imagen (c.1) corresponde al evento de OC, donde los valores máximos van desde 30 a 75 w/m^2 y se encuentran en los departamentos de Ucayali, Madre de Dios, noroeste de Loreto y norte de Bolivia con áreas donde hay anomalías negativas de precipitación varían desde 1 a 3 mm/día en la Amazonia Peruana (véase c.2) en los departamentos de Ucayali y Madre de Dios. Las imágenes (d.1 y e.1) presentan disminución de anomalía de OLR y anomalía positiva de precipitación en la Amazonia Peruana. Además se aprecia anomalías negativas de OLR y positivas de precipitación debido al ingreso de un CCM con presencia de agua en la Amazonia Peruana (véase d.2 y e.2).

En las figuras 46 y 47, la imagen (a.1) muestra la presencia de CCM en el área de la Amazonia Peruana con una anomalía de precipitación considerable en este periodo (véase a.2), posteriormente la anomalía de OLR aumenta a valores máximos de 35-60 w/m^2 en la región central y sur de la Amazonia Peruana (véase b.1). Además, se aprecia una precipitación que varía desde 1 a 7 mm/día en estas regiones (b.2). En el periodo del evento de OC la anomalía de OLR se mantiene en la región sur con valores 30-50 w/m^2 indicando cielo despejado (véase c.1) con una precipitación de +9 a +11 mm/día, indicando que al término del evento de OC se presenta precipitación. Se aprecia que en las imágenes (d.1 y e.1) muestran poca intensidad de OLR en la región sur de la Amazonia peruana y con una precipitación que aumenta, así mismo se aprecia una banda de anomalía negativa de tasa de precipitación indicando la presencia de CCM.

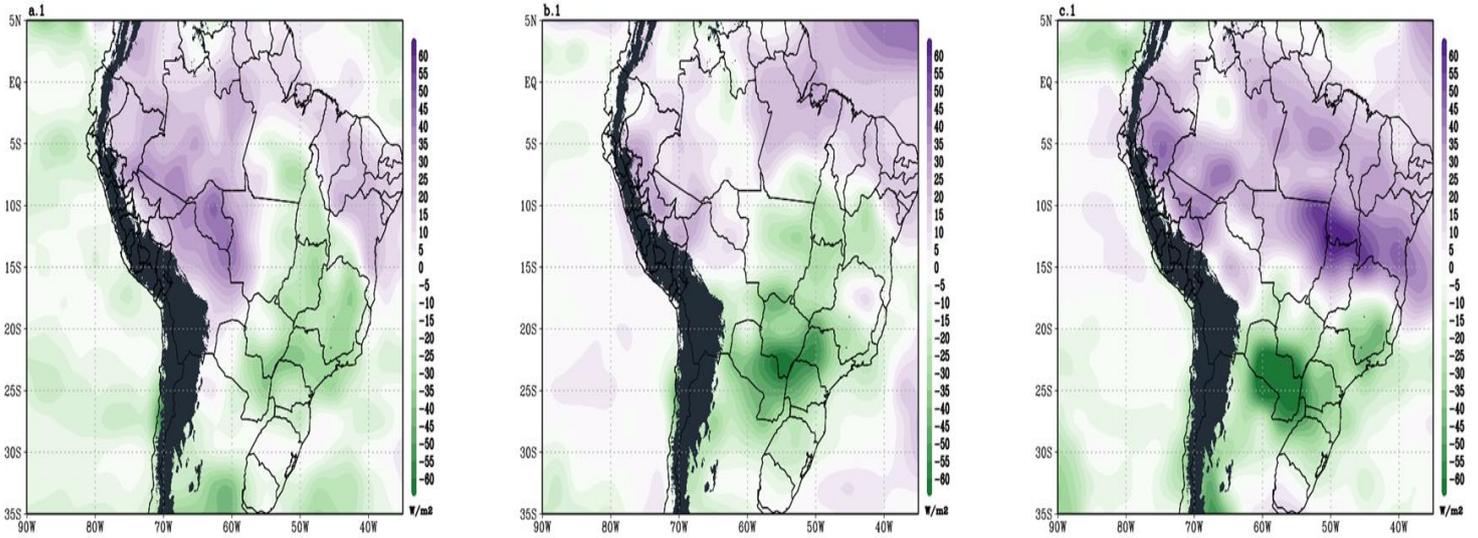


Figura 42: Análisis de anomalías de OLR (matiz de colores, w/m^2) en el evento de OC de noviembre del 2015, a.1) promedio desde el día 18-23, b.1) promedio desde el día 24-29 y c.1) promedio desde el día 30-05.

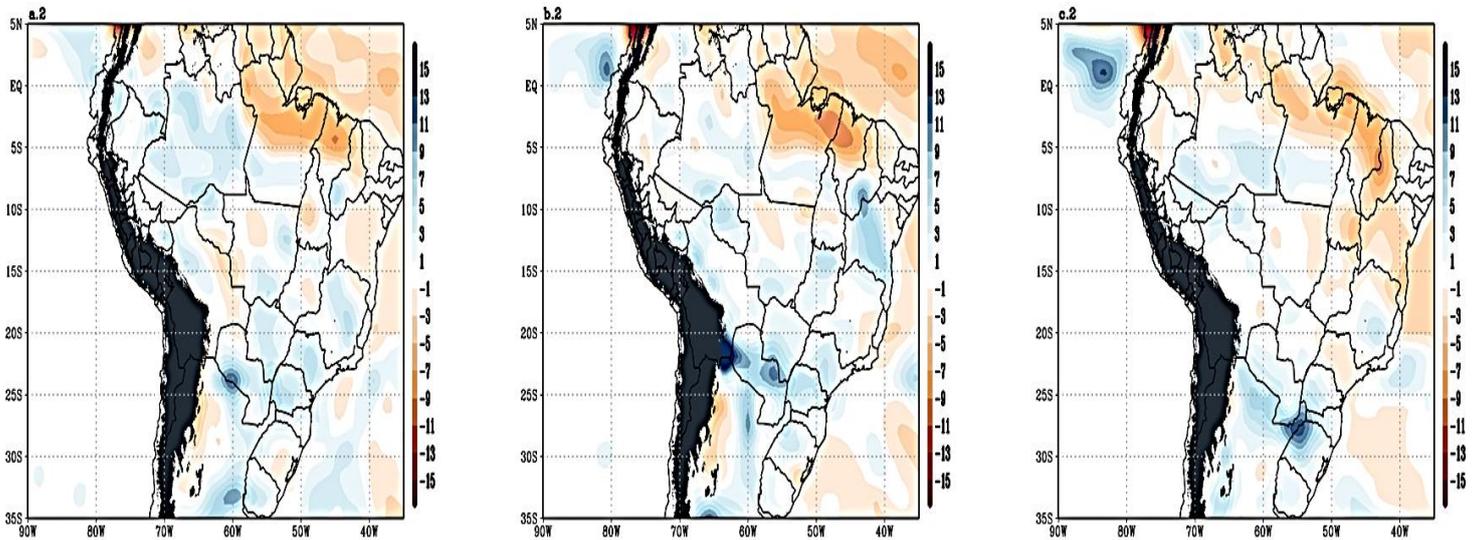


Figura 43: Análisis de anomalías de Precipitación (matiz de colores, $mm/día$) en el evento de OC de noviembre del 2015, a.2) promedio desde el día 18-23, b.2) promedio desde el día 24-29 y c.2) promedio desde el día 30-05

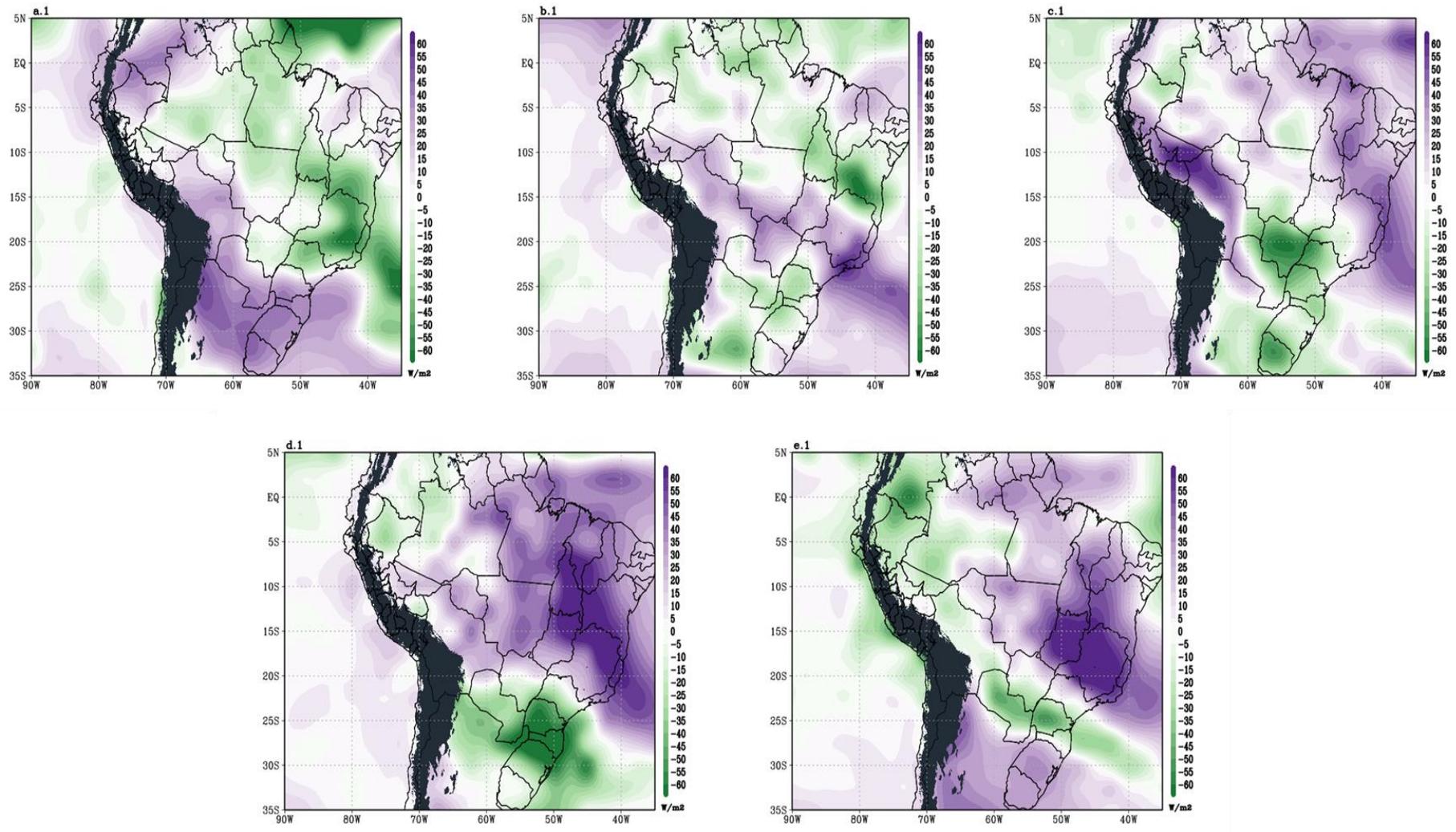


Figura 44: Análisis de anomalías de Precipitación (matiz de colores, mm/día) en el evento de OC de noviembre del 2015, a.2) promedio desde el día 18-23, b.2) promedio desde el día 24-29 y c.2) promedio desde el día 30-05

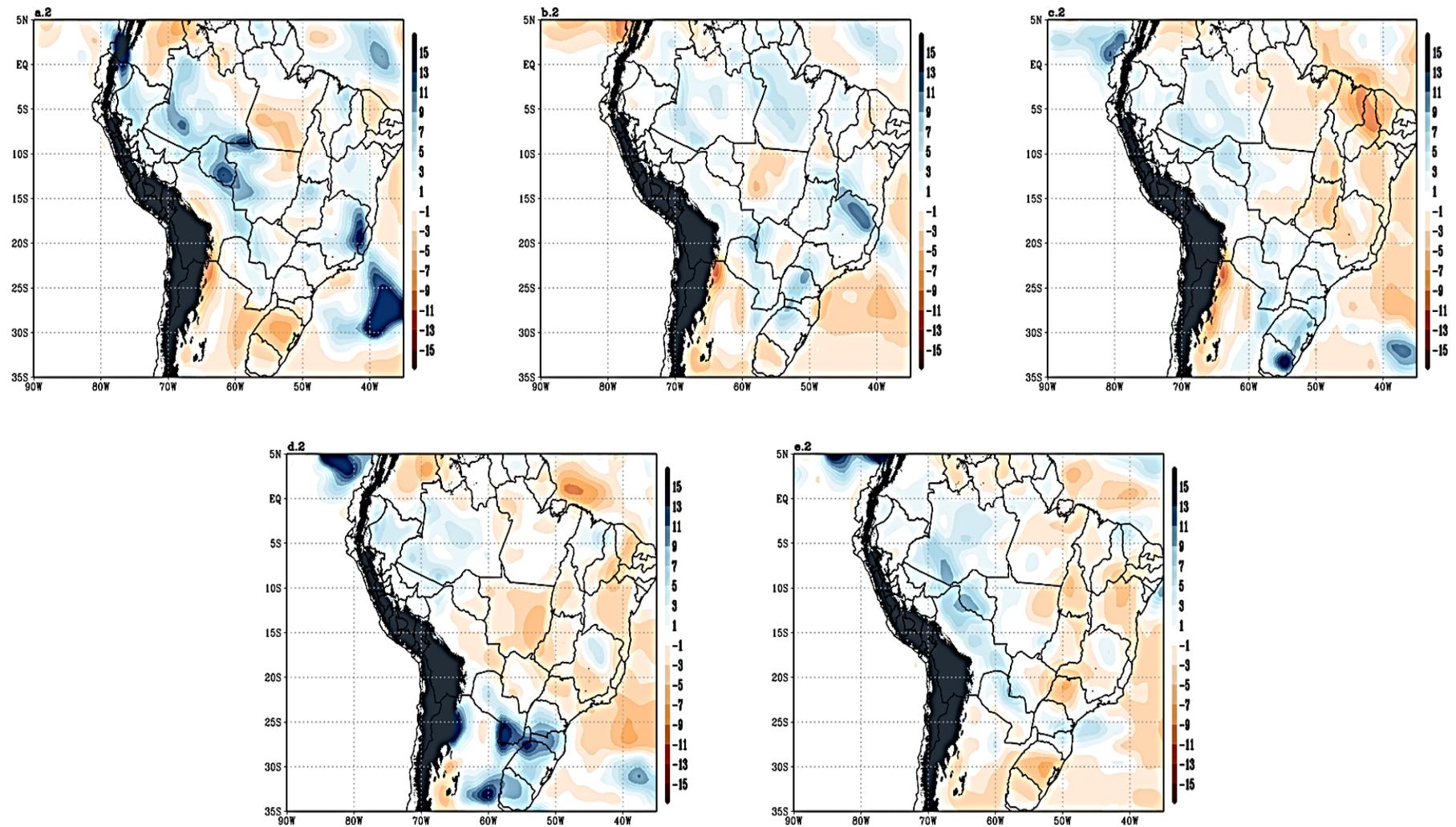


Figura 45: Análisis de anomalías de Precipitación (matiz de colores, mm/día) en el evento de OC de diciembre del 2013, a.2) promedio desde el día 23-25, b.2) promedio desde el día 26-28, c.2) promedio desde el día 29-31, d.2) promedio desde el día 01-03 y e.2) promedio desde el día 04-06

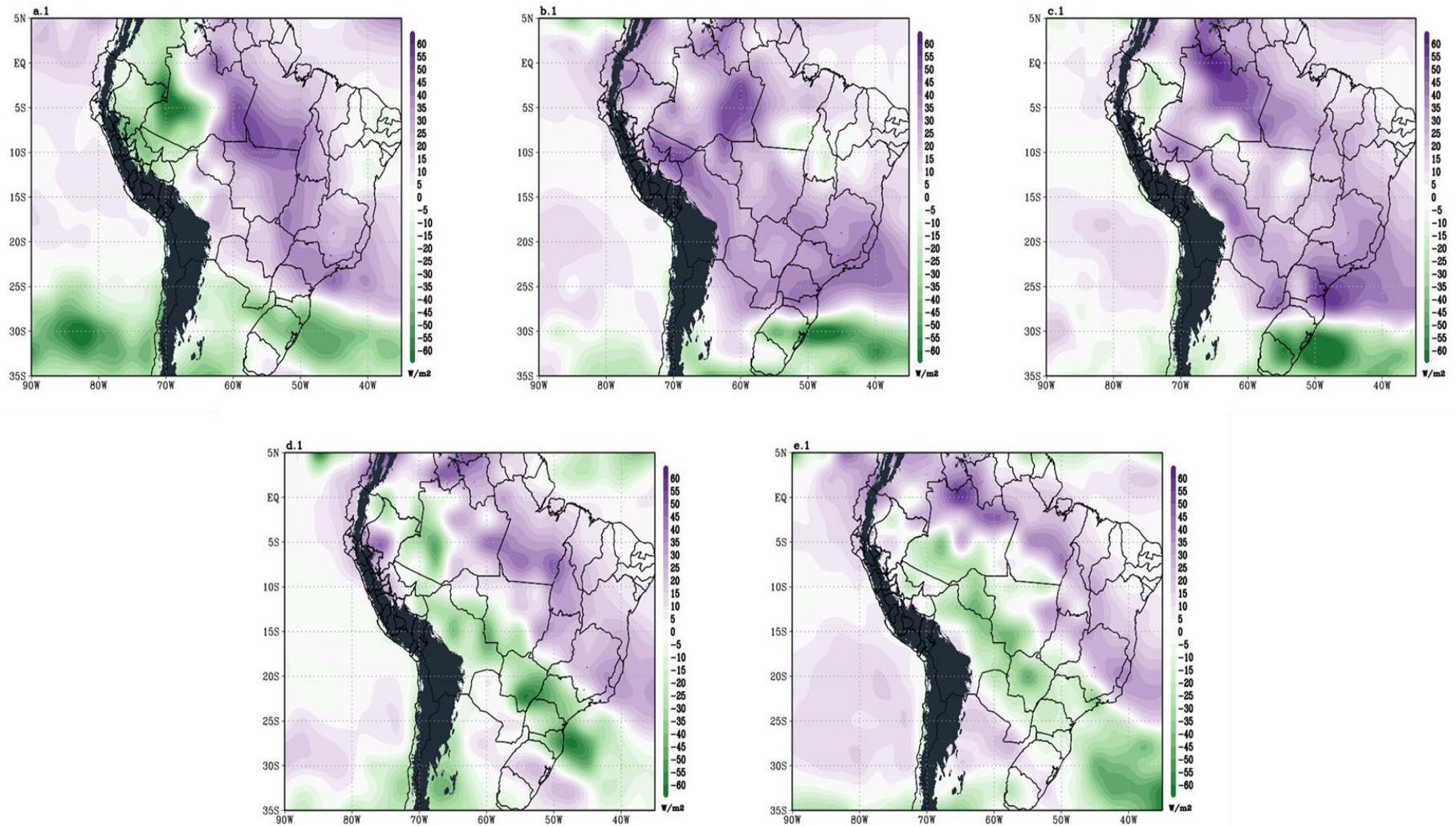


Figura 46: Análisis de anomalías de OLR (matiz de colores, w/m^2) en el evento de OC de septiembre del 2015, a.1) promedio desde el día 19-20, b.1) promedio desde el día 21-22, c.1) promedio desde el día 23-24, d.1) promedio desde el día 25-26 y e.1) promedio desde el día 27-28

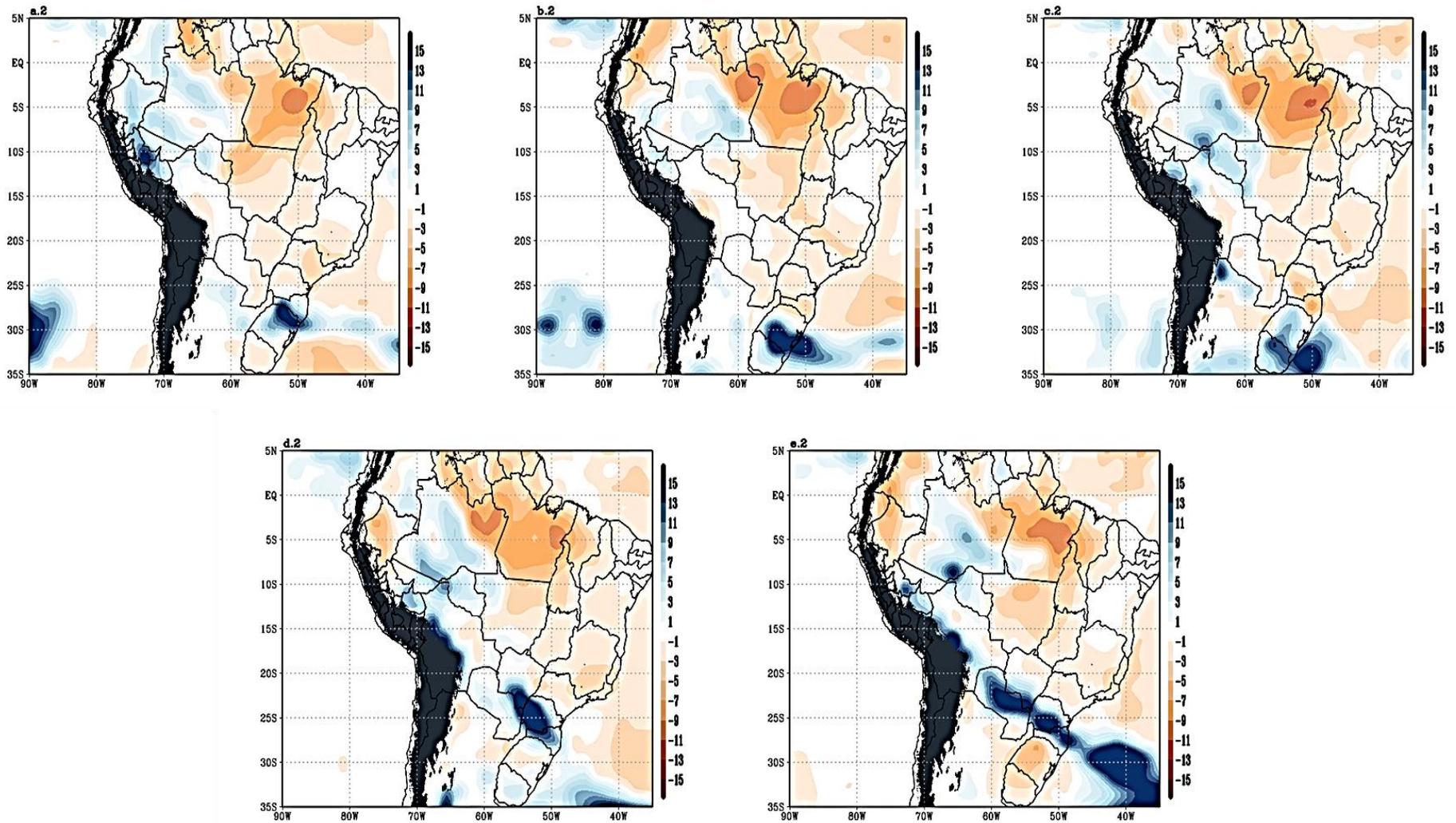


Figura 47: Análisis de anomalías de Precipitación (matiz de colores, mm/día) en el evento de OC de septiembre del 2015, a.2) promedio desde el día 19-20, b.2) promedio desde el día 21-22, c.2) promedio desde el día 23-24, d.2) promedio desde el día 25-26 y e.2) promedio desde el día 27-28

5.3.1.5. Análisis de Isotacas

La figura 48, el día 21 corresponde al día OC-3 donde los vientos provenientes de la parte noreste del continente transportan aire húmedo y cálido a la amazonia peruana, estas llegan a pasar la cordillera y dirigirse al océano pacifico. Sin embargo, el día 25 los vientos provenientes del noreste transportando aire húmedo y cálido que son apoyados por una dorsal que se extiende desde el este de Brasil. Además, la gradiente de presión se aprieta al pie de los Andes, lo cual favorece la formación de un jet nocturno de bajos niveles sobre Bolivia-Paraguay ayudando en la formación de complejos convectivos a mesoescala en la zona sur del continente (véase figura 16). En el periodo del evento se aprecia visiblemente la formación de la dorsal en los tiempos 0600Z-1200Z, indicando que por las noches el aire se mantiene cálido. Posteriormente el día 29 se aprecia que los vientos se vuelven zonales en la región norte del continente y la formación de dos flujos anticiclónico en la zona central de Brasil y Argentina indicando el paso de la AM proveniente del océano pacifico, donde la primera circulación anticiclónica migra al océano atlántico el día 01 de diciembre a las 0000Z y la segunda se desplaza al sur uniéndose con la primera a las 1800Z del día 30 de noviembre. Estas circulaciones anticiclónicas transportan aire frío del sur al continente condensando parcelas de aire con gran humedad y que originaran complejos convectivos (CCM) en la amazonia peruana logrando enfriar el medio ambiente y ocasionando el término del evento, posteriormente el día 02 de diciembre los vientos son más zonales hasta el centro de Perú, donde las masas de aire transportan humedad a la zona occidental y al océano pacifico.

La figura 49, muestra el día 25 vientos procedentes del nordeste apoyados por una dorsal que se forma al este del continente. Sin embargo, no se presenta el jet de bajos niveles (JLL) a las 0600Z, tampoco presenta la circulación del APSO cerca al continente. El ingreso del viento proveniente del nordeste se mantiene hasta el día 27. Sin embargo, las masas de aire cálidas y húmedas son transportados hacia la parte occidental llegando al océano pacifico por la parte norte de Perú con velocidad mayores a 22 kt. El día 29 corresponde al primer día de evento de OC, se aprecia la formación de una dorsal que se extiende desde el este de Brasil, este se mantiene hasta el día 31 la cual apoya a los vientos provenientes del noreste transportando aire húmedo y cálido. Además, la presencia del jet de bajos niveles que se mantiene hasta el día 31 con valores de 32kt ayuda a la formación de complejos convectivos (desarrollo de convección profunda) debido a que permite que la humedad de bajos niveles ascienda en la tropósfera libre que mejora la inestabilidad

mediante el transporte de calor y humedad. El día 02 de enero del 2014 el jet de bajos niveles (JLL) se mantiene continua en los días posteriores, la dorsal pierde su configuración a las 0000Z, también se forma una AM l día 03 la cual se desplaza por el continente hasta llegar al océano atlántico el día 05 a las 0000Z.

La figura 50, el día 20 muestra el JLL (Jet de bajos niveles) ubicada mayormente en Paraguay manteniéndose hasta el día 21, posteriormente se desplaza al sudeste en el día 22 del país mencionado. El día 23 el JLL (Jet de bajos niveles) se ubica en la parte sudeste de Bolivia y gran parte de Paraguay, esta se mantiene hasta el día 24 (el último día del evento de OC) a las 0600Z, posteriormente se desplaza al sudeste terminando en el océano atlántico, en los días siguientes el JLL se origina en la parte de Bolivia de poca duración y de menor intensidad.

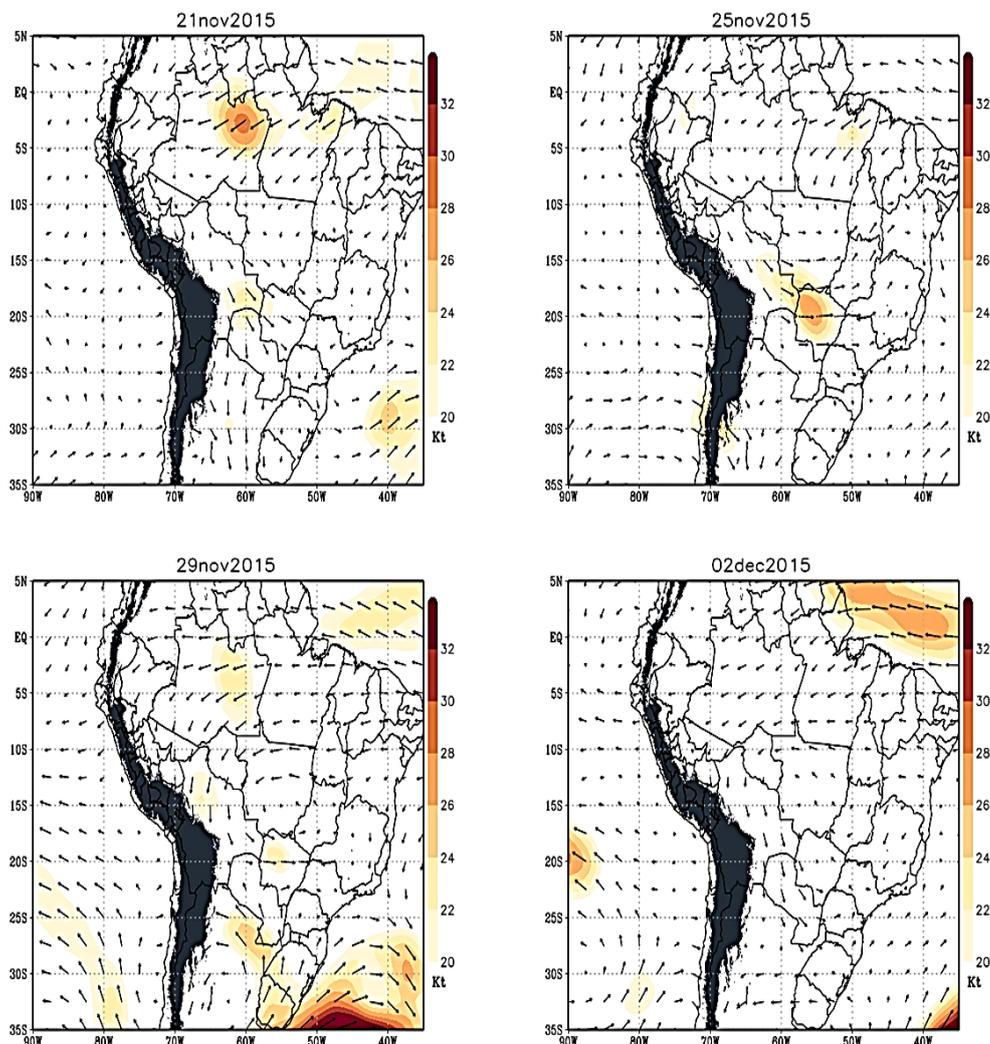


Figura 48: Análisis sinóptico a nivel de 850 hPa, JLL o jet de bajos niveles (matiz de color), Isotacas (vector viento) en la OC de noviembre del 2015.

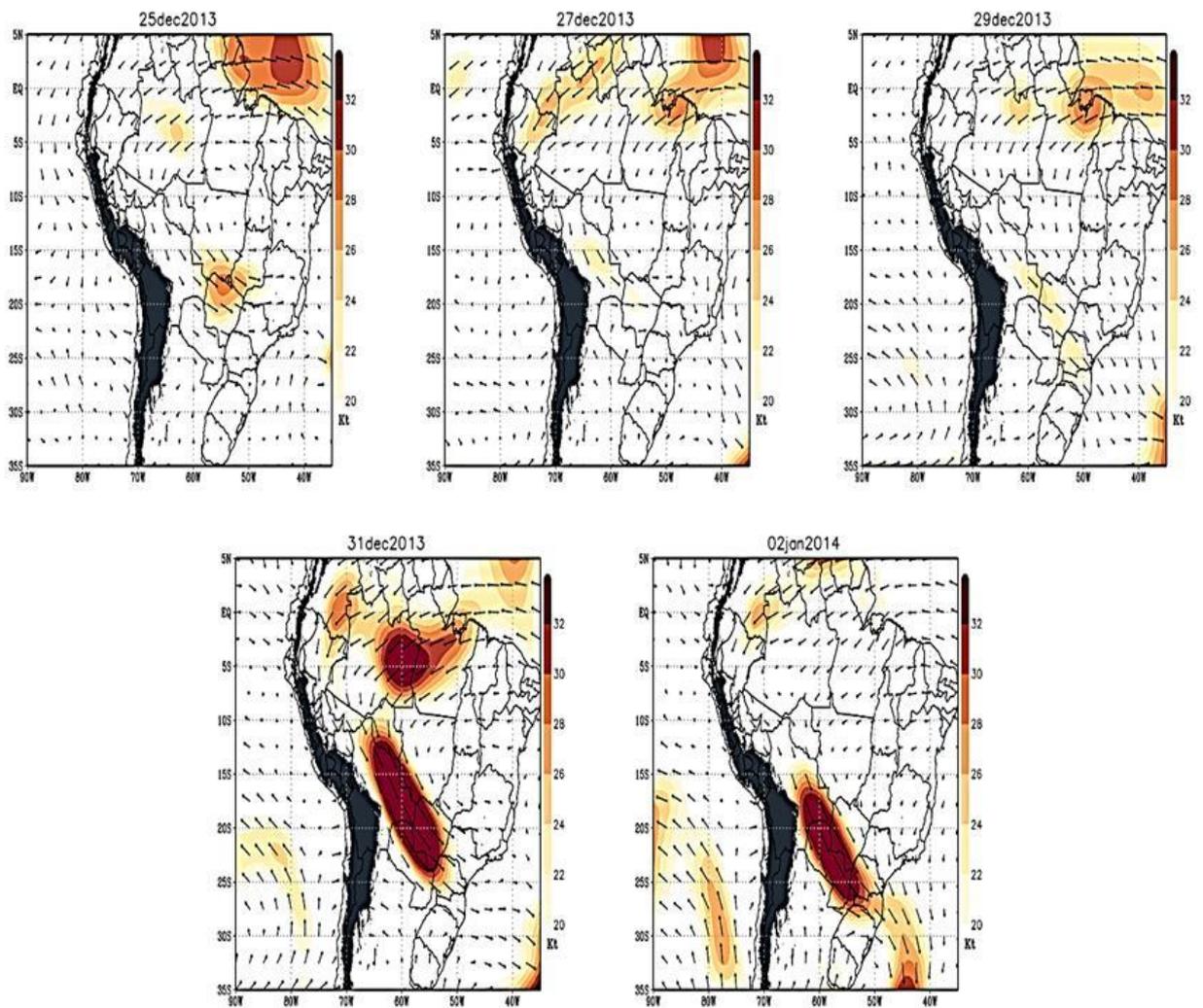


Figura 49: Análisis sinóptico a nivel de 850 hPa, JLL o jet de bajos niveles (matiz de color), Isotacas (vector viento) en la OC de diciembre del 2013

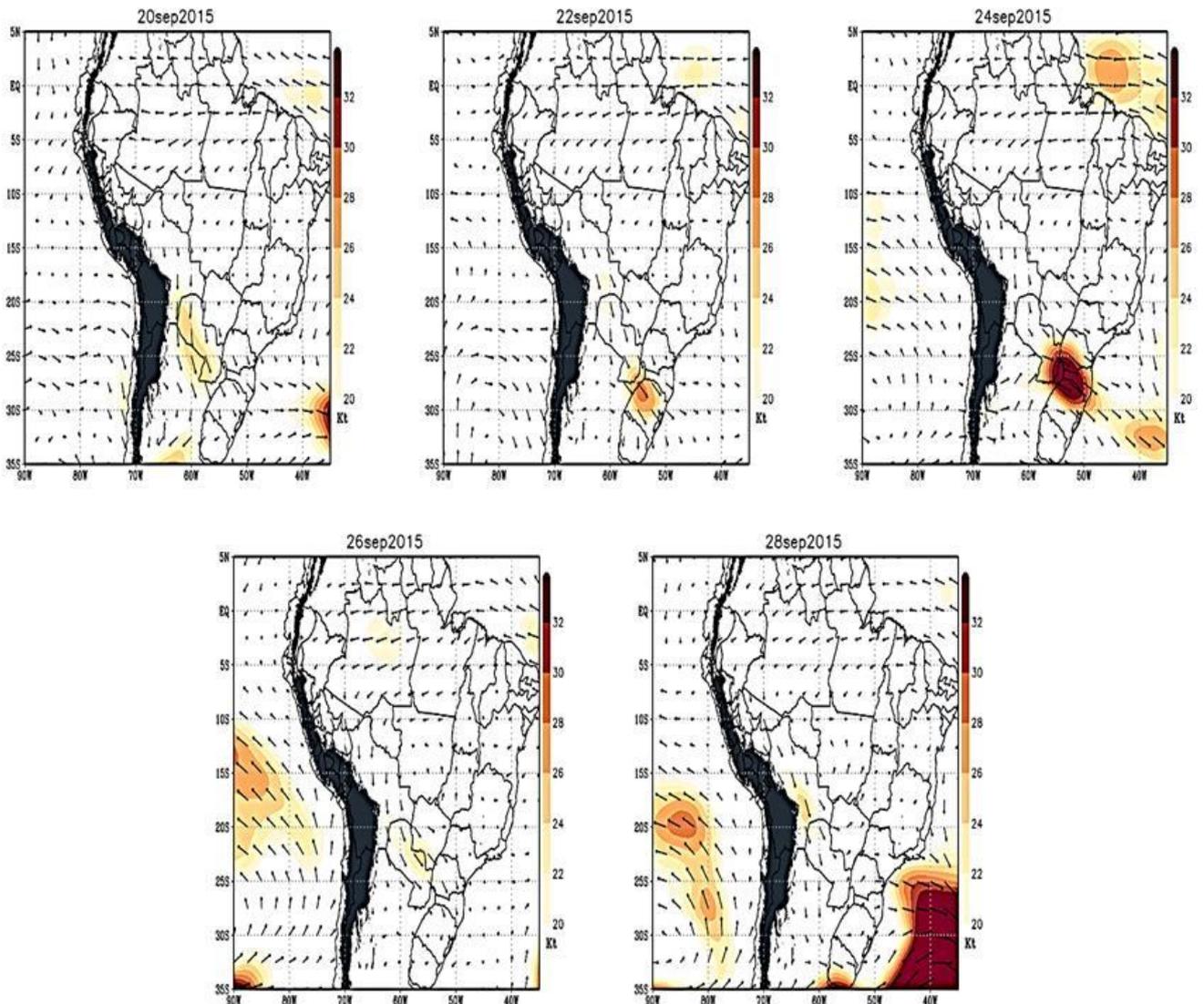


Figura 50: Análisis sinóptico a nivel de 850 hPa, JLL o jet de bajos niveles (matiz de color), Isotacas (vector viento) en la OC de septiembre del 2015

5.3.2. Análisis a niveles medios (500hPa).

5.3.2.1. Análisis de espesor (850-500 hPa)

En la figura 51, el día 21 muestra una masa de aire cálida se encuentra en la zona sureste de Perú, esta se mantiene hasta el día 23 a las 0000Z, es importante mencionar que días anteriores no se muestra la expansión en la atmosfera en la región sur de la amazonia peruana. La expansión de la atmosfera en la región norte se aprecia al inicio del día 25 a las 1800Z manteniéndose hasta el día 30 a inicios de la noche, posteriormente esta expansión tiene una tendencia a disminuir y aleja de la amazonia peruana, aislándose en la parte costera central de Perú, zona sur de Bolivia y sureste de Brasil.

La figura 52, el día 25 muestra la expansión de la capa en la parte sur del continente (norte de Argentina), esta expansión se mantiene al noroeste de Argentina y centro Chile en el día 27, en los días siguientes se aprecia que la expansión logra abarcar gran área de Perú (véase el día 29). El día 31 corresponde al último día del evento de OC, muestra que la capa atmosférica en los niveles establecidos comienza a comprimirse. Sin embargo, la expansión se mantiene al norte de Argentina hasta el sur de Brasil.

La figura 53, muestra que la expansión de la atmosfera se da de manera aislada en el área central del continente, esta se expande en la zona costera de Perú, zona sur de Bolivia y Brasil en el día 22, posteriormente el día 23 la expansión se desplaza a la amazonia peruana y centro del continente la cual se mantiene hasta el día 24 por la noche. El día 26 la expansión se ubica en la zona costa, sierra central de Perú y zona sureste de Brasil, con una tendencia a disminuir en el transcurso de los días (véase el día 28).

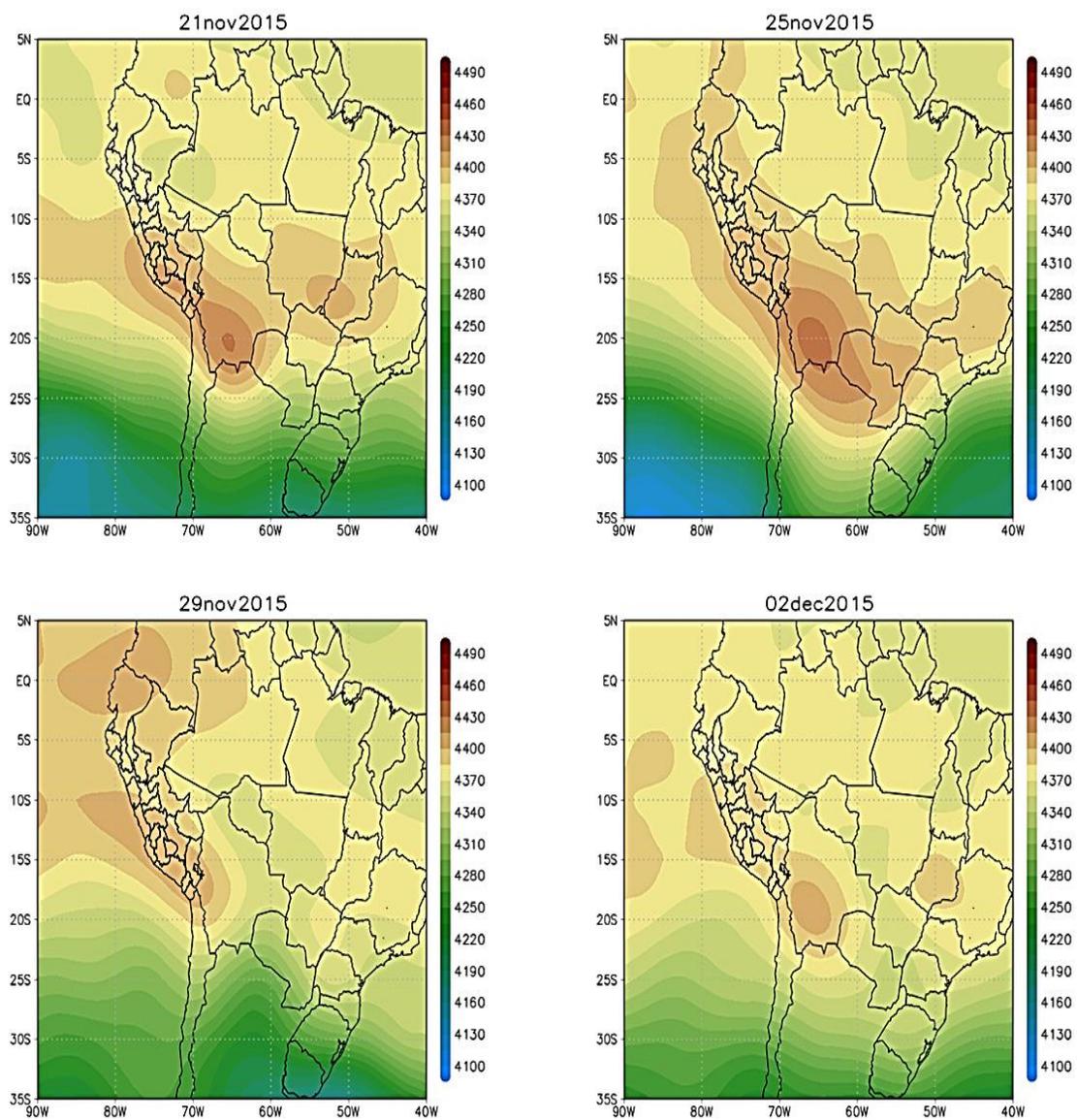


Figura 51: Análisis sinóptico de espesor de altura geopotencial (850-500hPa, en matices de colores) en la OC de noviembre del 2015

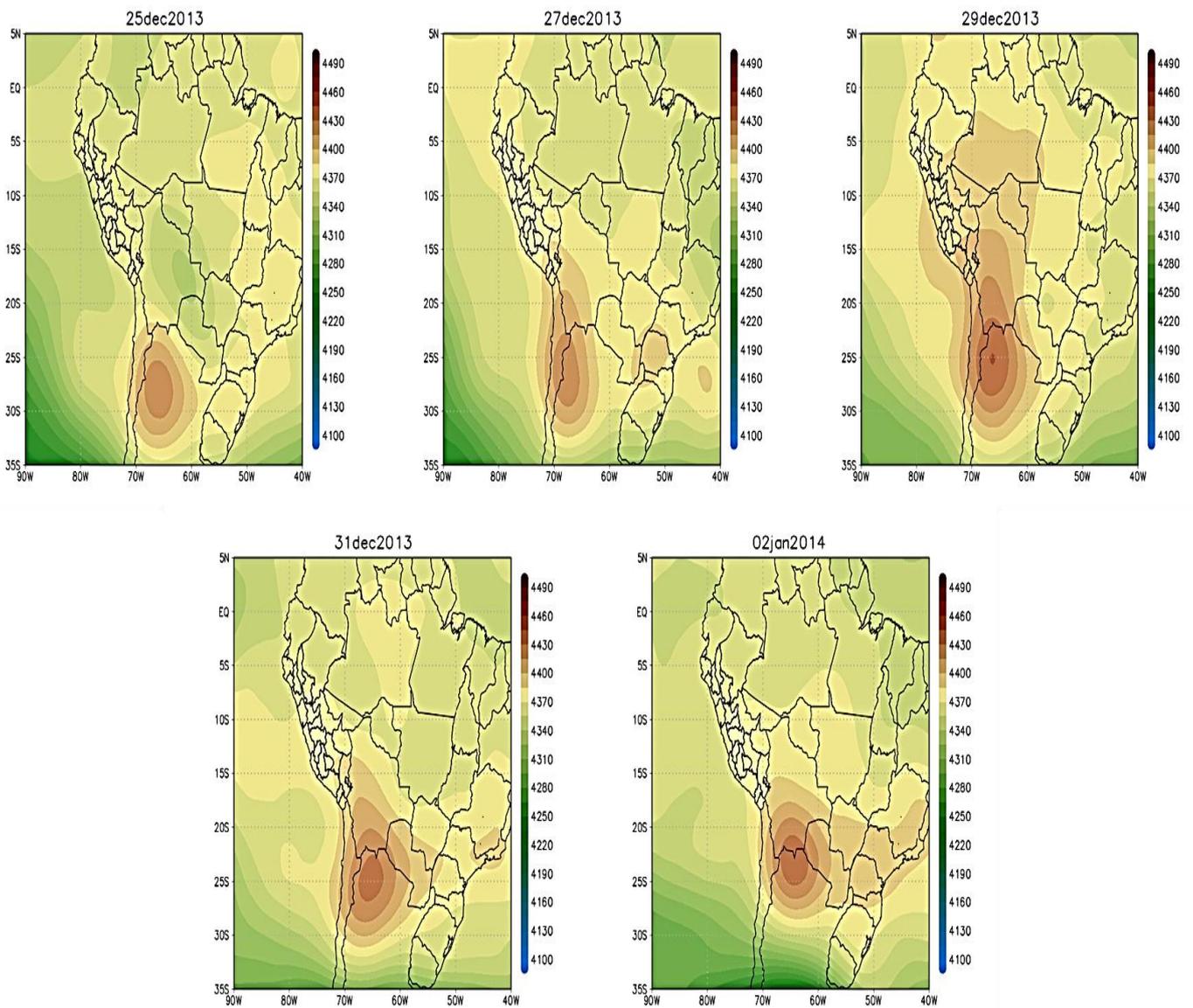


Figura 52: Análisis sinóptico de espesor de altura geopotencial (850-500hPa, en matices de colores) en la OC de diciembre del 2013

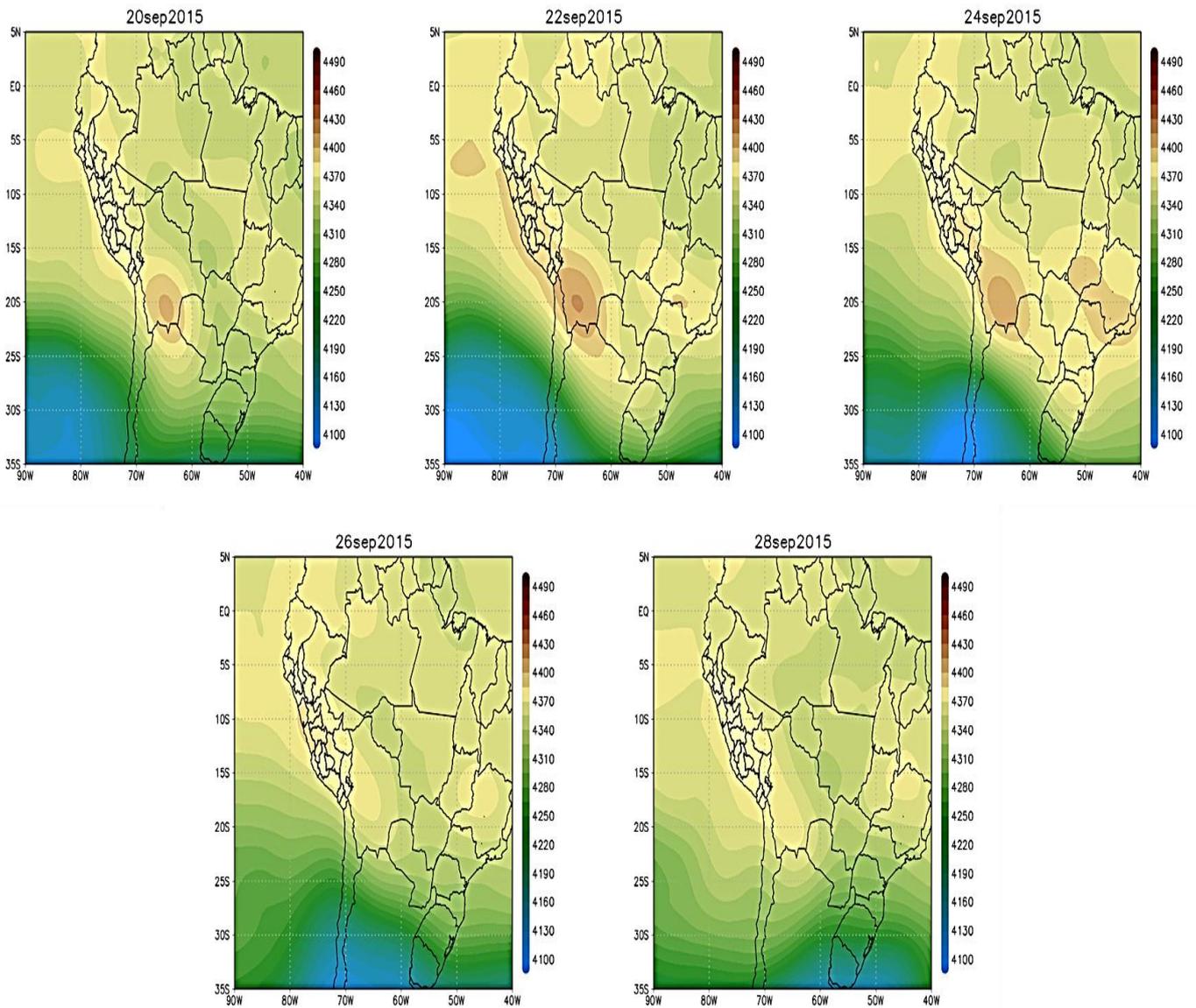


Figura 53: Análisis sinóptico de espesor de altura geopotencial (850-500hPa, en matices de colores) en la OC de septiembre del 2015

5.3.2.2. Análisis de Humedad Relativa promedio (1000-500 hPa)

La figura 54, se aprecia la humedad en la zona este de Loreto llegando a valores desde 70 a 78% a las 1800Z, en los días 22, 23 y 24 se presenta incremento de humedad llegando a valores mayores del 80% en la región norte de la Amazonia. A partir del día 25 se aprecia una disminución de la humedad a las 0000Z en la mayor parte de la Amazonia peruana. Además, la presencia de la circulación anticiclónica en el nivel de 500 hPa ubicada en los días anteriores al este de Bolivia, desplazándose al noroeste de Brasil el día 25 a las 1800Z. Es importante mencionar que el día 26 la circulación anticiclónica duro desde las 0000Z a 0600Z ubicándose paralela a la circulación anticiclónica a nivel de 250hPa lo cual trae gran subsidencia, posteriormente a las 1200Z se muestra la formación de una cuña manteniéndose hasta el día 29 a las 1200Z en la parte norte. Además, el día 29 a las 1800Z se aprecia la formación de una vaguada cerca a las costas de Chile donde se presenta mal tiempo o formación de un CCM en la zona de SSE de Argentina, debido a que la circulación anticiclónica se encuentra debilitado en la parte sureste de Brasil. Es importante mencionar el ingreso de humedad en forma de banda que se da el día 30 con valores mayores al 80% en el sureste del atlántico Sur, el cual trae formaciones de CCM a diferentes niveles (véase en imágenes satelitales) refrescando a niveles bajos en los días siguientes. Posteriormente el día 02 del siguiente mes muestra valores menores del 70% de humedad relativa en la amazonia peruana con la formación de una circulación anticiclónica al suroeste del continente produciendo subsidencia en los niveles superiores y ascenso en niveles inferiores, al igual que en la zona sureste de Brasil.

La figura 55, muestra la humedad es menor a 70%, en la amazonia peruana y con una circulación anticiclónica en la parte sur de Bolivia en el día 25, posteriormente la humedad aumenta hasta cubrir el más del 50% de la amazonia peruana donde la humedad es superior al 70%, este porcentaje de humedad se mantiene hasta el día 28 a las 1200Z. El día 29 corresponde al primer día del evento de OC, donde la humedad de mantiene menor a 70% en la región centro de la amazonia peruana hasta el 30. Así mismo, el 31 se parecía el aumenta la humedad en la amazonia peruana, debido al ingreso de una banda de gran humedad proveniente del sureste del atlántico refrescando el ambiente a niveles bajos (véase en imágenes satelitales), este aumento de humedad se mantiene en los días posteriores.

La figura 56, se aprecia gran humedad en la parte sur de Perú en los departamentos Cusco y Puno la cual se mantiene desde el día 20 al 24, la humedad empieza a aumentar en la parte suroeste de Perú. Además, el día 24 se aprecia el ingreso de humedad proveniente del sureste, la cual se desplaza como una banda por el continente llegando al sureste de Perú (Madre de Dios) el día 26 (véase en imágenes satelitales), manteniéndose gran humedad en el departamento de Madre de Dios hasta el día 27 donde la banda se separa posteriormente y desapareciendo del continente. En el día 28 se aprecia humedad mayor de 70% en Puno y al sur de Madre de Dios.

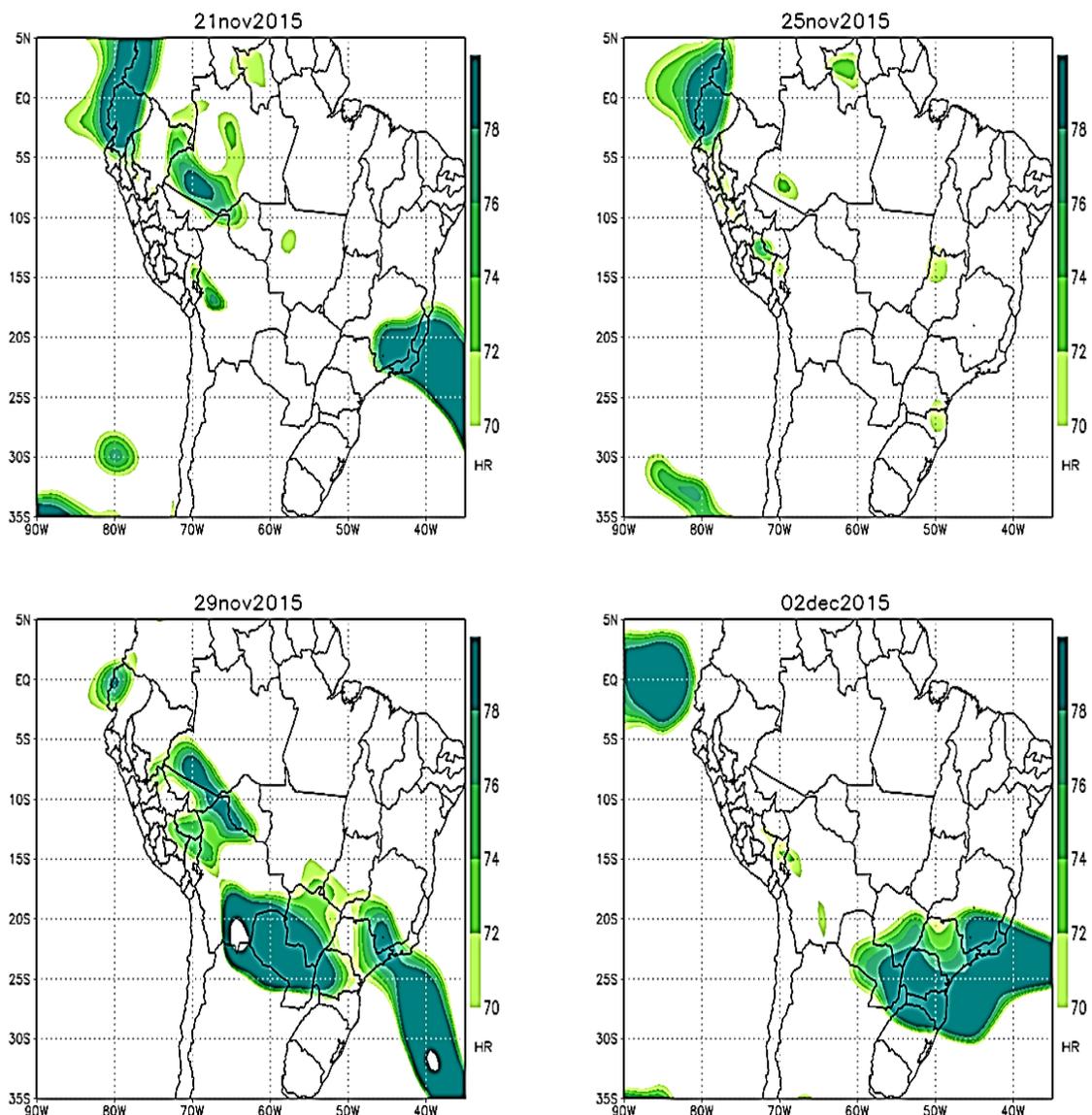


Figura 54: Análisis sinóptico de promedio de Humedad Relativa entre 1000-500hPa (matices de color verde, %) en la OC de noviembre del 2015

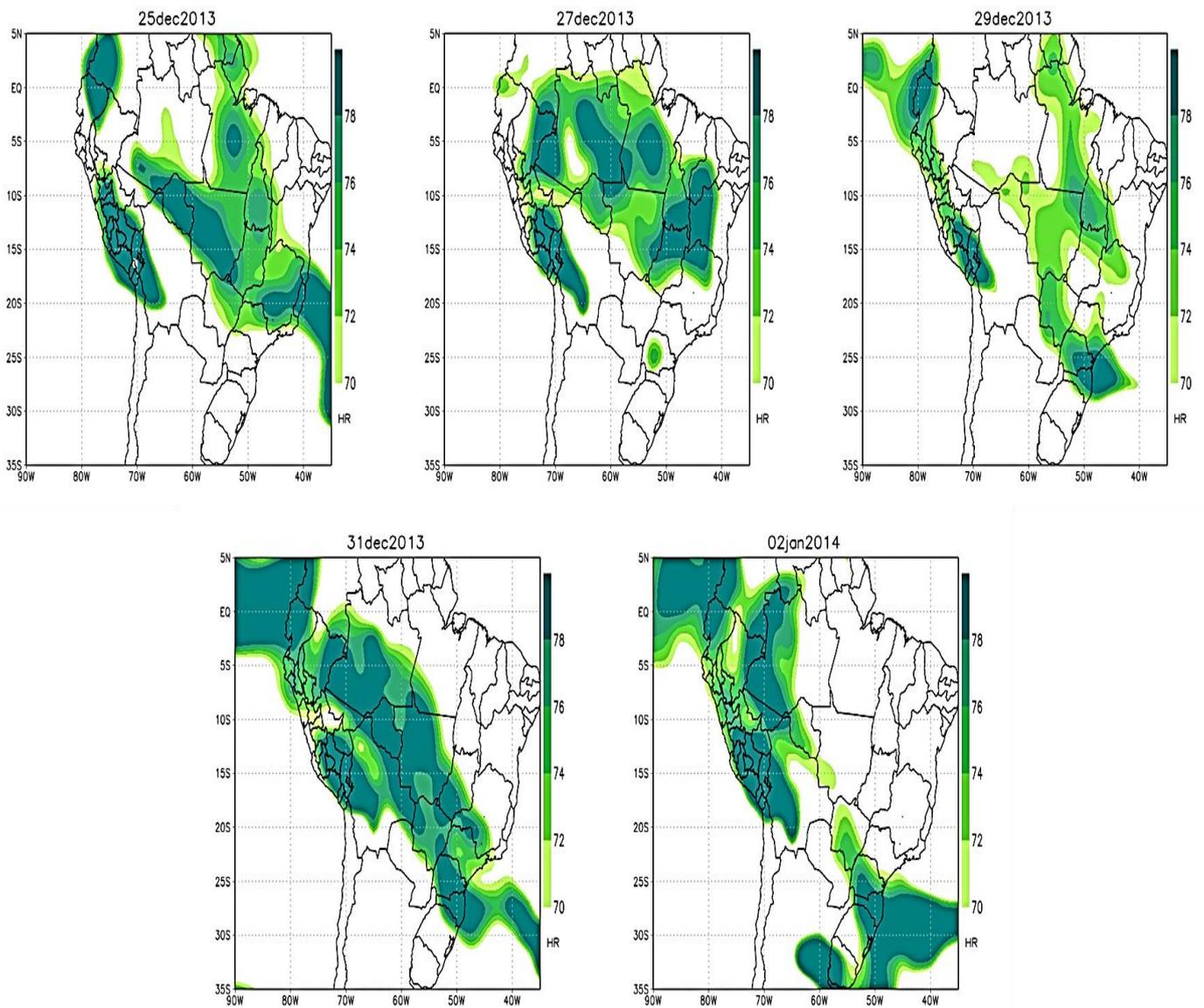


Figura 55: Análisis sinóptico de promedio de Humedad Relativa entre 1000-500hPa (matrices de color verde, %) en la OC de diciembre del 2013

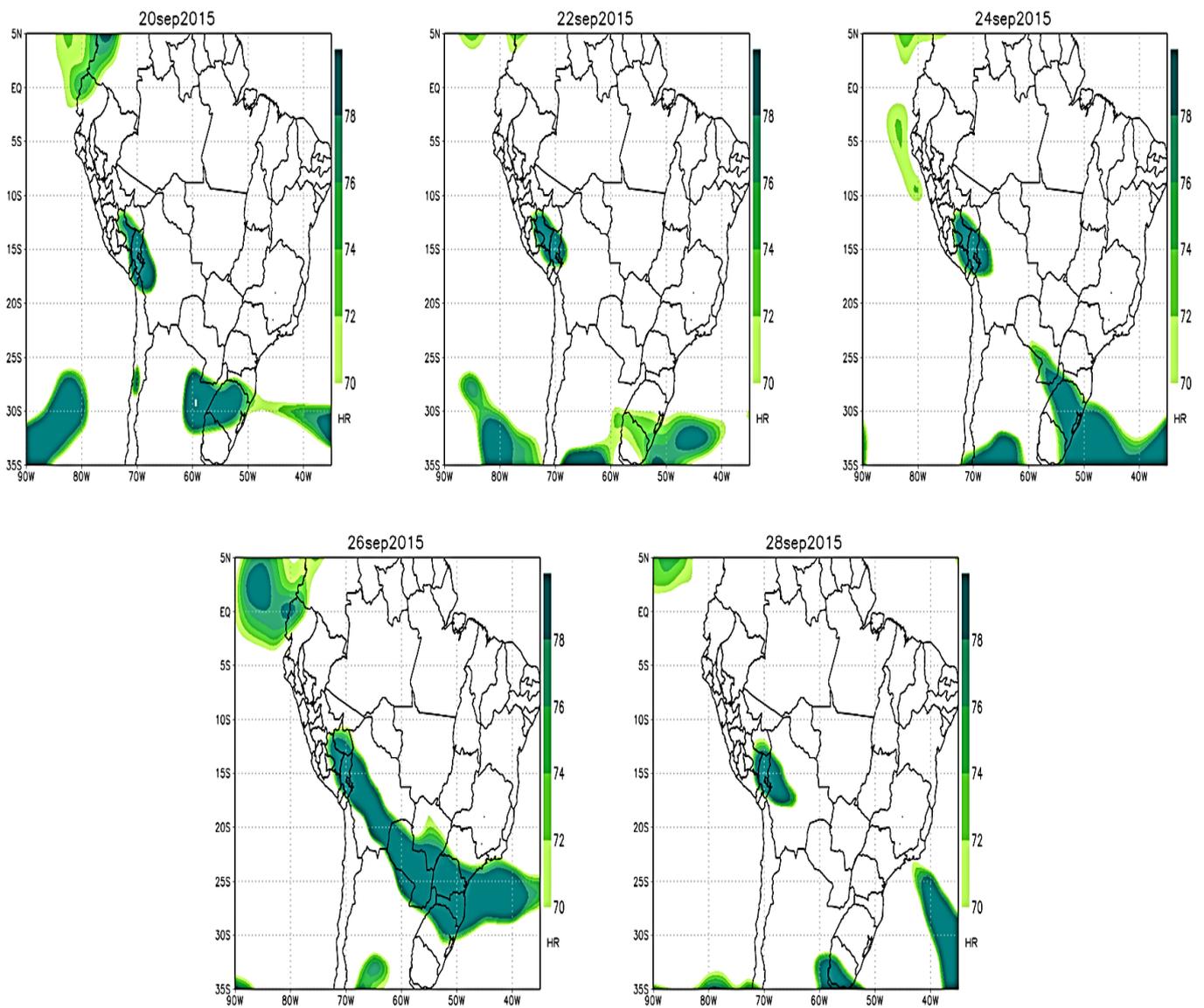


Figura 56: Análisis sinóptico de promedio de Humedad Relativa entre 1000-500hPa (matrices de color verde, %) en la OC de septiembre del 2015

5.3.3. Análisis a niveles altos (250 y 200 hPa).

5.3.3.1. Análisis de Jet Stream (200hPa)

En la figura 57, el día 21 se aprecia el jet stream con valores de 60 a 130Kt cerca al centro del continente de manera zonal lo cual hace que el chorro pase rápidamente por esta zona y produciendo ascensos en los lugares donde la velocidad del Jet subtropical es máxima. El día 25 corresponde a un día dentro del evento de OC, donde el Jet subtropical presenta un flujo meridional con menor intensidad en la parte sur del continente, ocasionando su desplazamiento más lento. Además, la formación de una vaguada paralela a las isohipsas muestra la formación de un CCM en la parte derecha de la vaguada. En el día 29 se mantiene el jet meridional, así mismo el desplazamiento de la vaguada al continente y la formación de una banda que se encuentra al norte de las velocidades máximas en la zona del océano atlántico. En el transcurso de los días se observa aumento de velocidad del jet subtropical, debido a que se une con el jet polar en el océano atlántico, profundizando la vaguada en la parte continental llegando a la zona sur costera de Perú la cual trae consigo aire polar (mas frio) a esta zona.

La figura 58, el día 25 muestra el jet stream con velocidades mayores al sur del continente. Así mismo, la presencia de una vaguada en el océano pacifico profundiza la dorsal en la parte sur de Argentina y el Atlántico. El día 27, la vaguada se acerca al continente profundizándose y con una dorsal debilitada en la parte sur de Argentina, también muestra el paso del jet stream al este donde los mayores valores se encuentran en el océano atlántico al sur del continente. En el día 29 la vaguada se debilita y el jet stream es más zonal con velocidades máximas de 105kt al sur de Chile y Argentina hasta el 31 de diciembre. El día 02 muestra el jet stream de forma meridional al igual la formación de una vaguada al suroeste de Argentina y Chile.

La figura 59, muestra que en los días anteriores al evento la corriente a chorro tiene un comportamiento zonal en la zona central del continente, el día 22, el jet stream se vuelve meridional con velocidades máximas mayores a 130kt, manteniéndose hasta el día 23 con la formación de una vaguada en el océano pacifico y una dorsal en continente. El día 24 la vaguada se encuentra al centro de Chile y Argentina. Además, el jet stream meridional se encuentra en la parte central del continente con velocidades mayores a 120kt en la zona este de Argentina. El día 26 presenta una vaguada que se profundiza en al norte de Chile y

Argentina, esta vaguada paralela a las isohipsas muestra la formación una banda de CCM en la parte derecha de la vaguada, en los días posteriores el jet stream meridional se desplaza más al sur del continente.

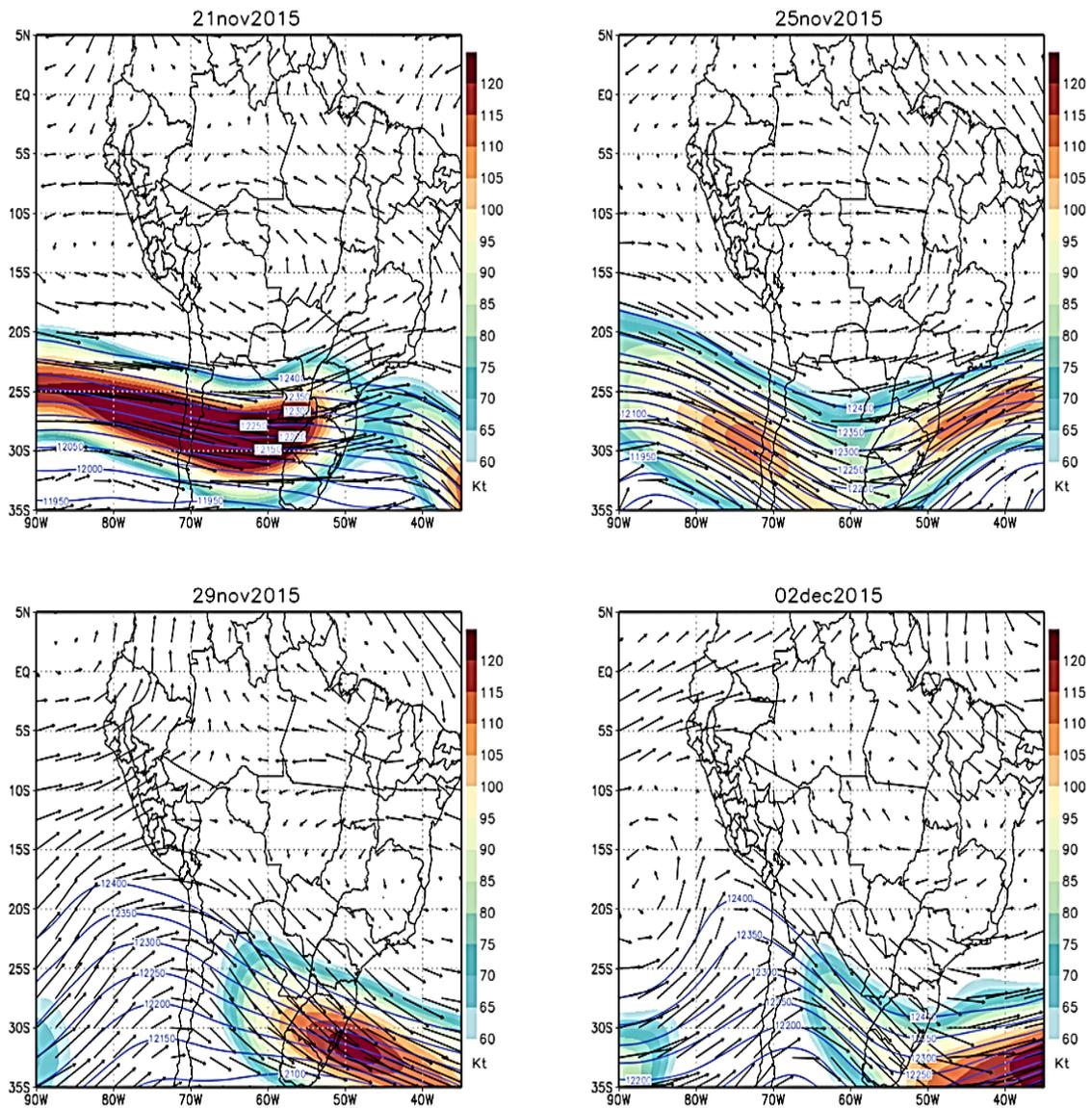


Figura 57: Análisis sinóptico de Jet Stream o Corriente a Chorro a 200hPa (matices de colores, kt), altura geopotencial (línea de color azul) e Isotacas (vector viento, flechas negras) en la OC de noviembre del 2015

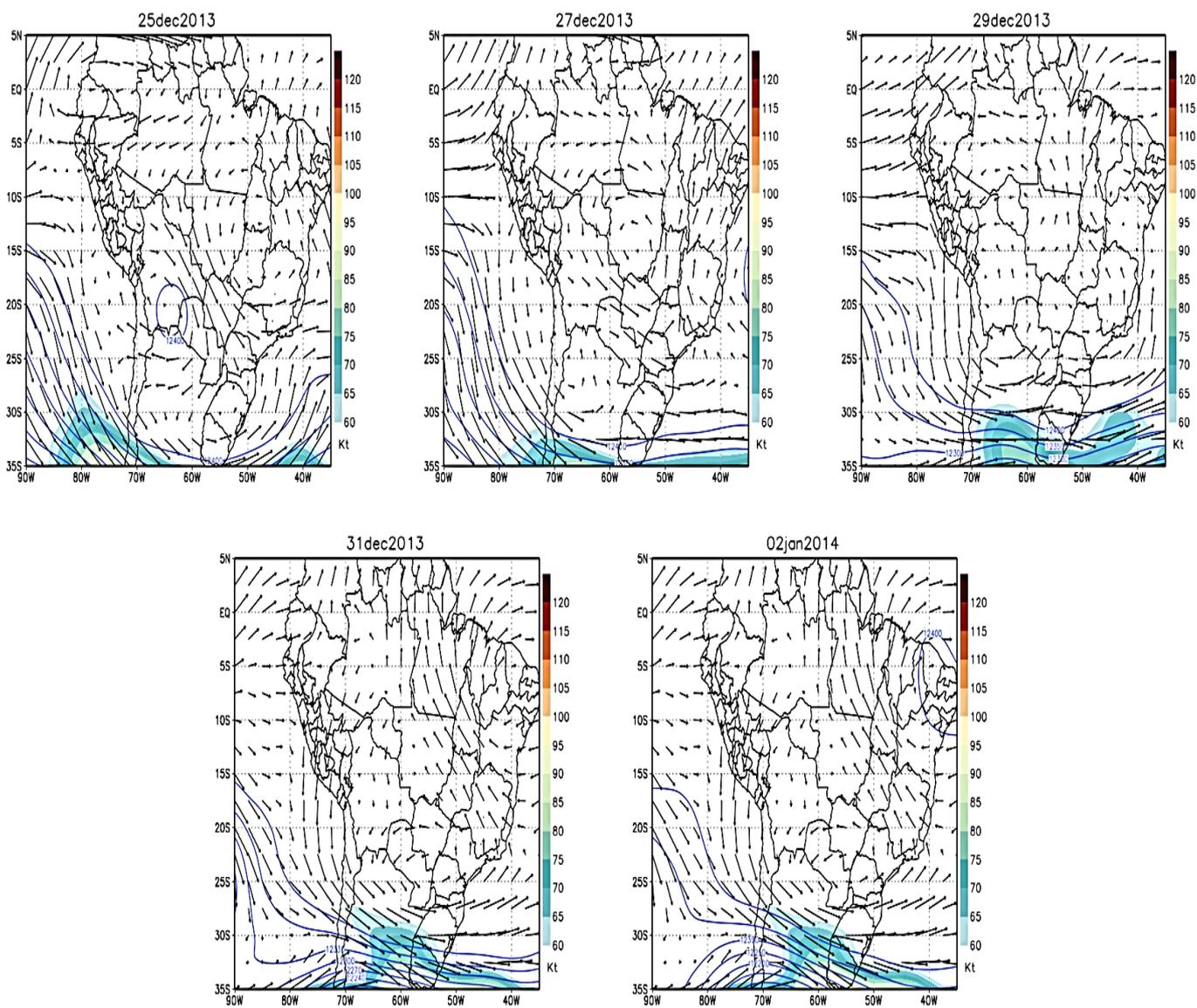


Figura 58: Análisis sinóptico de Jet Stream o Corriente a Chorro a 200hPa (matices de colores,kt), altura geopotencial (línea de color azul) e Isotacas (vector viento, flechas negras) en la OC de diciembre del 2013

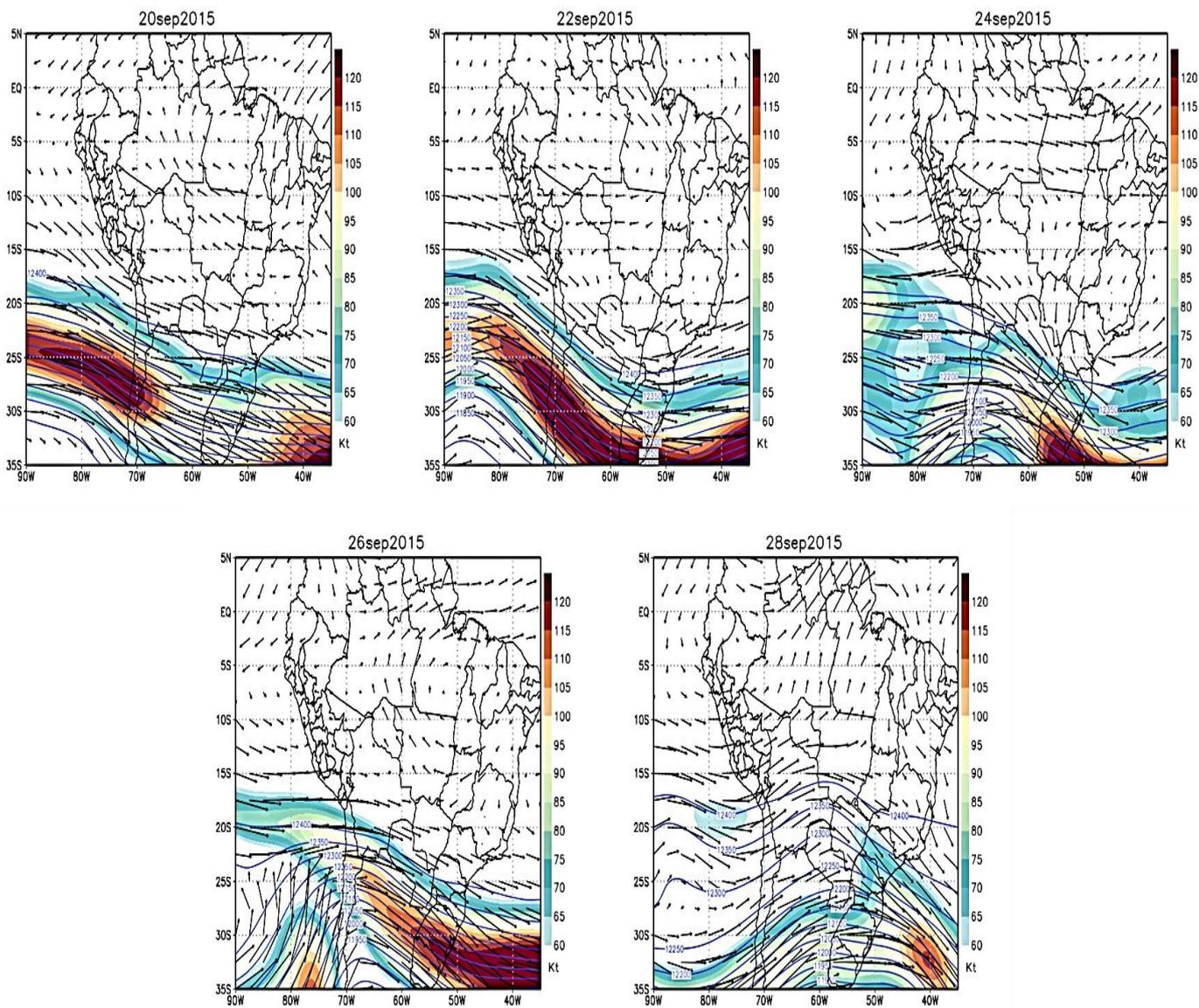


Figura 59: Análisis sinóptico de Jet Stream o Corriente a Chorro a 200hPa (matices de colores, kt), altura geopotencial (línea de color azul) e Isotacas (vector viento, flechas negras) en la OC de septiembre del 2015

5.3.3.2. Análisis de Isotacas (250hPa).

La figura 60, muestra la formación de la AB en la zona de Bolivia, esta circulación se mantiene hasta el día 22 a las 1800Z, posteriormente el día 23 se ubica al sur de Perú donde depende de la liberación de calor latente durante procesos convectivos y la acumulación de radiación sobre la región. Además, la AB a este nivel se encuentra al oeste de la circulación anticiclónica a los 500hPa hasta el día 24 a las 1800Z, lo cual provoca subsidencia más al este a los 500hPa y la ventilación en los 200hPa. Esta circulación anticiclónica en niveles altos de la atmosfera aun no favorece a la formación de una vaguada. El día 25 presenta la formación de la AB cerca a suroeste de Brasil y noreste de Bolivia la cual está más al este que la circulación anticiclónica en los 500hPa, donde a niveles altos se aprecia ascenso de aires y subsidencia en la zona de Bolivia en niveles medios respectivamente. Es importante mencionar que el día 26 se observa que el AB se acopla con la circulación anticiclónica a 500hPa trayendo gran subsidencia desde las 0000Z a 1200Z. Así mismo se aprecia la formación de una vaguada en el océano atlántico que se acerca al continente. El día 27 muestra que el anticiclón se ha extinguido y la vaguada proveniente de la zona noreste de Brasil se encuentra más desarrollada. Además, se presenta la formación de una vaguada al sur del continente la cual se formó el día 29 a las 1800Z y luego a profundizarse cuando la cuña comenzó a desplazarse, esta cuña se mantiene en la zona de Perú hasta las 0000Z del día 30, en los días posteriores la cuña se desplaza al occidente del continente por el ingreso de la circulación ciclónica proveniente del norte de Brasil, es importante mencionar que la presencia de una circulación anticiclónica en la parte SSE de Brasil ayuda al desplazamiento de la circulación ciclónica al continente. El día 01 de diciembre, la circulación ciclónica se mantiene casi en el centro de Brasil y desplazando a la cuña al noroeste del continente, la AB se encuentra al SSE del Brasil la cual se mantiene en los próximos días produciendo ascenso de masa de aire en la zona.

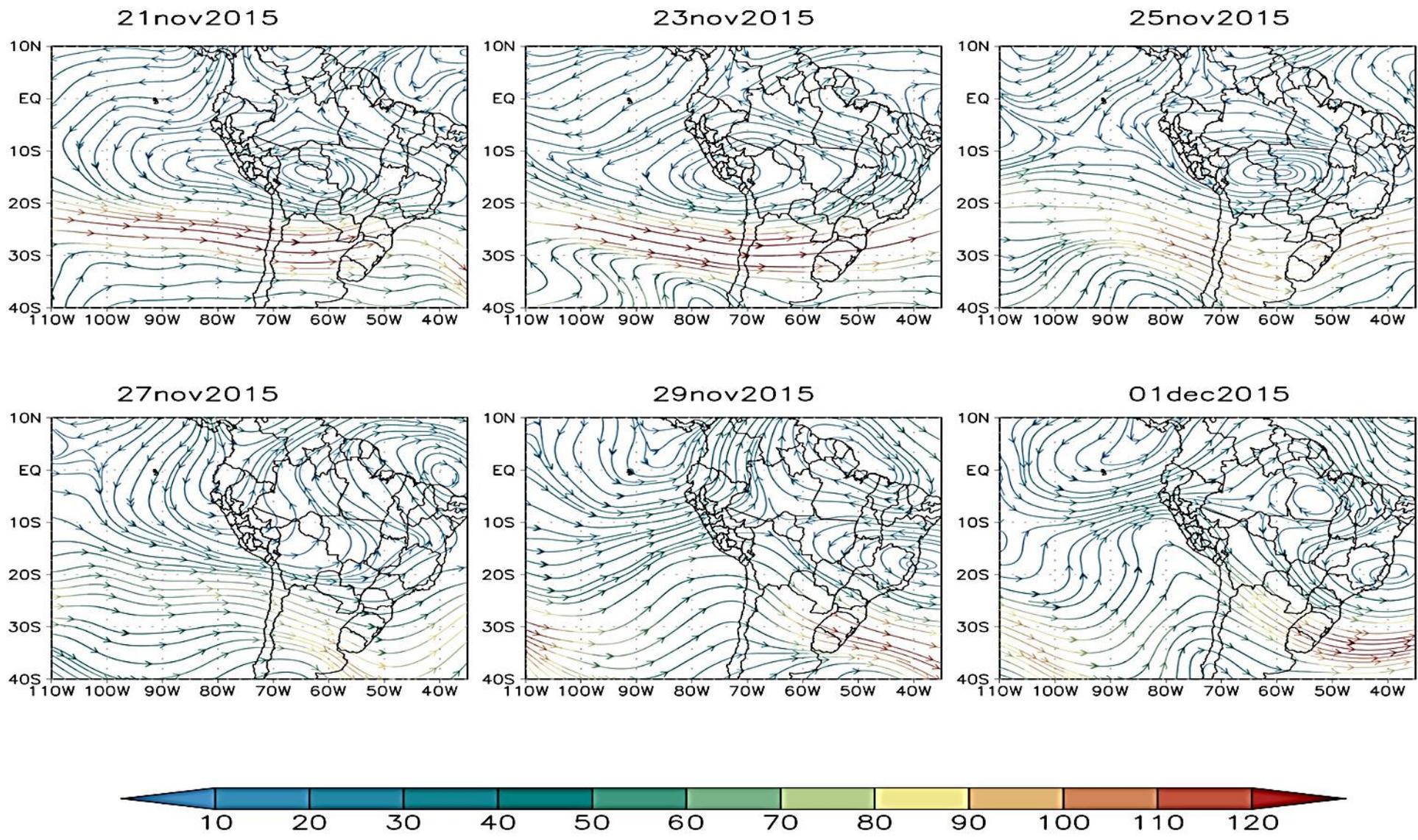


Figura 60: Análisis sinóptico de líneas de corriente a 250hPa (matices de colores), en la OC de noviembre del 2015

La figura 61, el día 25 se aprecia una vaguada profunda ubicada en el océano pacífico en las coordenadas 110 a 80°W y de 40 a 20°S, al mismo tiempo se muestra en la parte continental dos circulaciones las cuales se ubican en la parte sudoeste de Bolivia con circulación ciclónica y en la zona sudeste de Brasil con circulación anticiclónica, mientras tanto se aprecia la formación de una circulación ciclónica en la parte norte de Perú que ayuda a desplazar una dorsal ubicada en la parte del pacífico. El día 27, muestra el desplazamiento de la vaguada al este, mientras tanto la circulación anticiclónica se ubica en la parte noroeste de Brasil, simultáneamente la circulación ciclónica de Perú llega a desplazarse al este y desapareciendo en este tiempo. El primer día del evento de OC (día 29), la circulación anticiclónica se desplaza más al occidente ubicándose al sur de Perú, así mismo la vaguada que se mantiene ubicada en la parte del océano pacífico empieza a debilitarse y dirigirse al este dejando de influenciar a la formación de la dorsal, con el paso del tiempo se aprecia el desplazamiento de la circulación anticiclónica al sur de Bolivia y norte de Argentina, al mismo tiempo la vaguada se mantiene en el océano pacífico. Sin embargo, este no influye en la formación de una dorsal en la parte sur de Argentina. El día 31, corresponde al último día del evento de OC, muestra la extinción de la vaguada y la formación una circulación ciclónica en el océano pacífico. Además, la circulación ciclónica del atlántico comienza a desplazarse al este, esta influye a la circulación anticiclónica a desplazarse al este llegando a ubicarse al sur de Brasil. Finalmente el día 2, se aprecia la circulación ciclónica desplaza a la circulación anticiclónica, esta última se dirige al este llegando a ubicarse al sur de Brasil, ante esto se presenta una nuevamente circulación ciclónica ubicada en la parte norte de Perú.

La figura 62, el día 21 muestra la formación de una circulación anticiclónica ubicada en la parte costa sur de Perú y centro de Brasil, al mismo tiempo la presencia de una vaguada en sur del continente que se desplazaran en los días posteriores. El día 22, se aprecia una circulación de dipolo en la parte central del continente a la vez se aprecia el desplazamiento de una vaguada al suroeste del continente. Posteriormente en el Argentina. Con base a lo mencionado anteriormente el día 25 muestra una circulación anticiclónica cerca de Perú, así mismo el anticiclón al sureste de Brasil. Finalmente el día 26 el anticiclón se encuentra nuevamente en la costa norte de Perú a las 0600Z y la formación de dos circulaciones en la parte este de Brasil, cabe agregar la formación de una vaguada que se profundiza en el continente a las 1800Z.

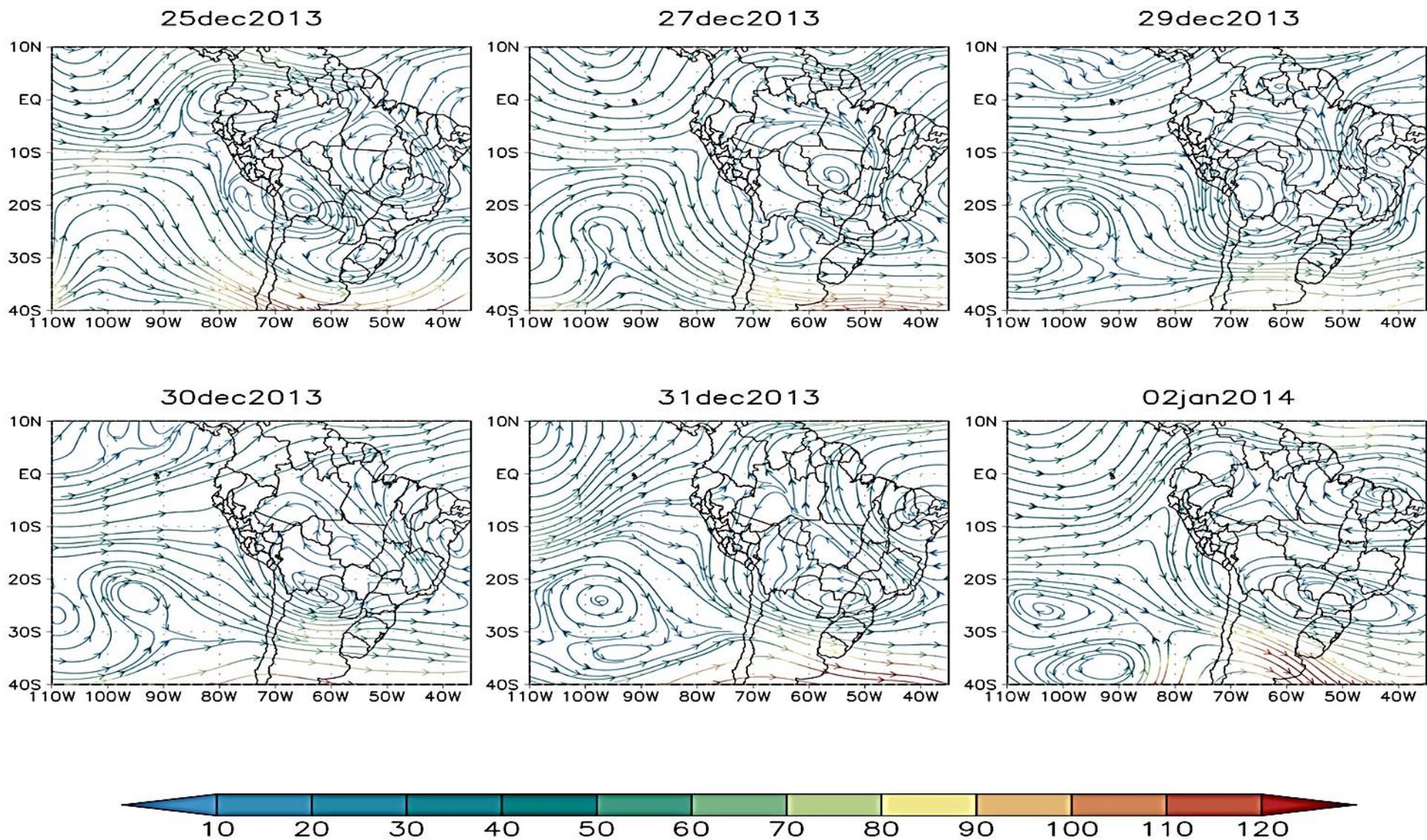


Figura 61: Análisis sinóptico de líneas de corriente a 250hPa (matrices de colores), en la OC de diciembre del 2013

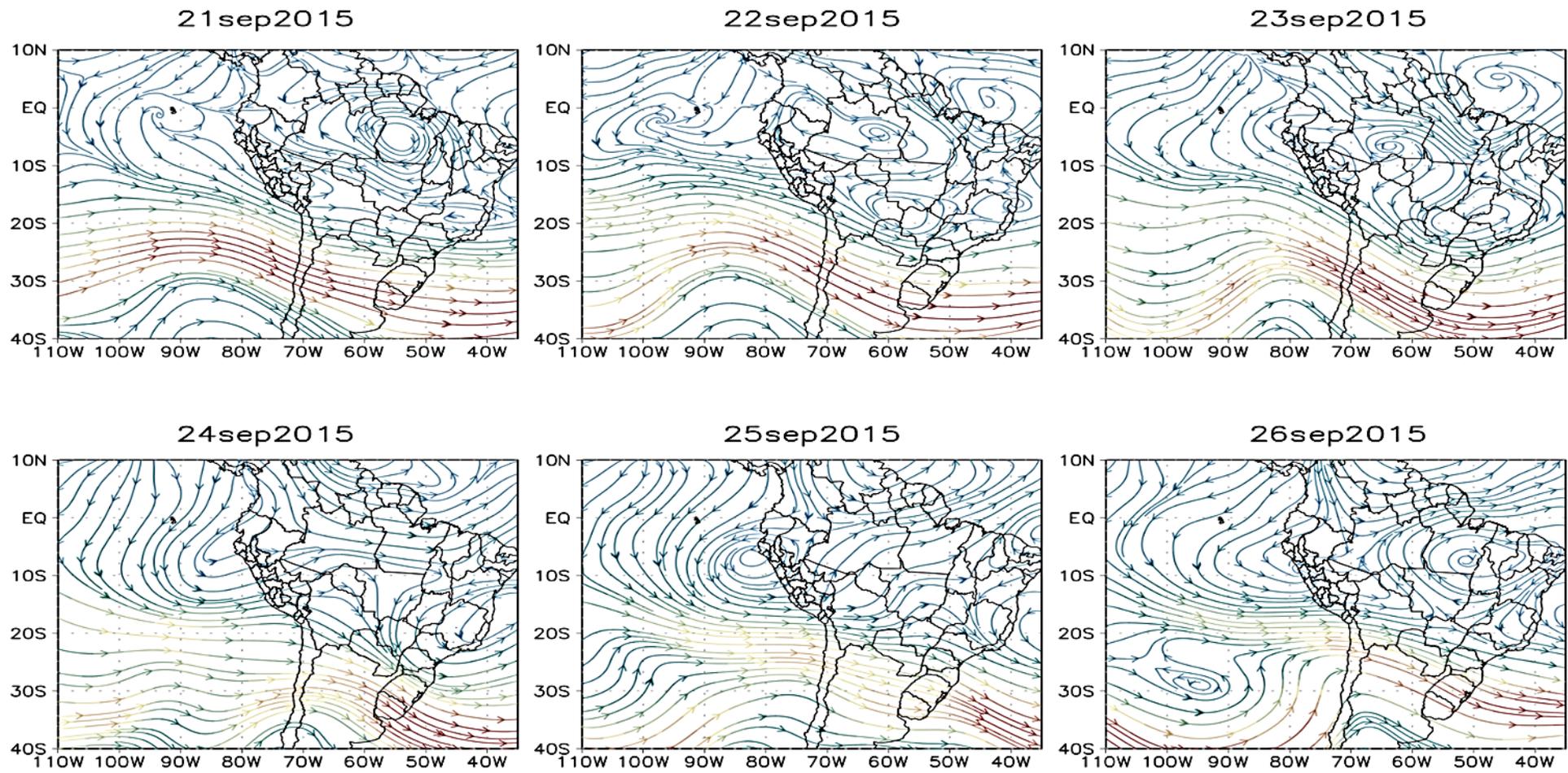


Figura 62 : Análisis sinóptico de líneas de corriente a 250hPa (matices de colores), en la OC de septiembre del 2015

5.4. DESARROLLO DE UN MODELO CONCEPTUAL DE PRONÓSTICO DE EVENTOS DE OC EN LA AMAZONIA PERUANA.

El desarrollo de las variables meteorológicas en la estructura troposférica durante los eventos de OC, los cuales dan diferentes condiciones del tiempo meteorológico. Sin embargo, estos eventos se caracterizan por un cambio brusco de temperatura en niveles de baja tropósfera. Normalmente en estos eventos se muestra buen tiempo en el periodo de duración, con escasas de lluvias y predominancia de masa seca en los niveles medios y altos. Sin embargo, el ingreso de una Alta Migratoria (AM) al continente produce actividad conectiva es la que indica el término del evento, generando lluvias en la región tropical, enfriando el medio ambiente en el área donde se da el evento de OC. Esta situación en continente es producto de ingresos de sistemas de alta, media y baja tropósfera.

5.4.1. Baja tropósfera

Como ya se ha aclarado con anterioridad la formación de una dorsal proveniente del atlántico se expande hasta la amazonia, transportando flujo de humedad cálida sobre el continente, así mismo la presencia del JLL (Jet de bajos niveles) cerca a Bolivia genera la formación de Sistemas Convectivos a Mesoescala por la presencia de una gradiente de presión. Es importante mencionar que la dorsal apoya al ingreso de los flujos provenientes del norte que llegan a recorrer toda la amazonia (véase la figura 63 y figura 64).

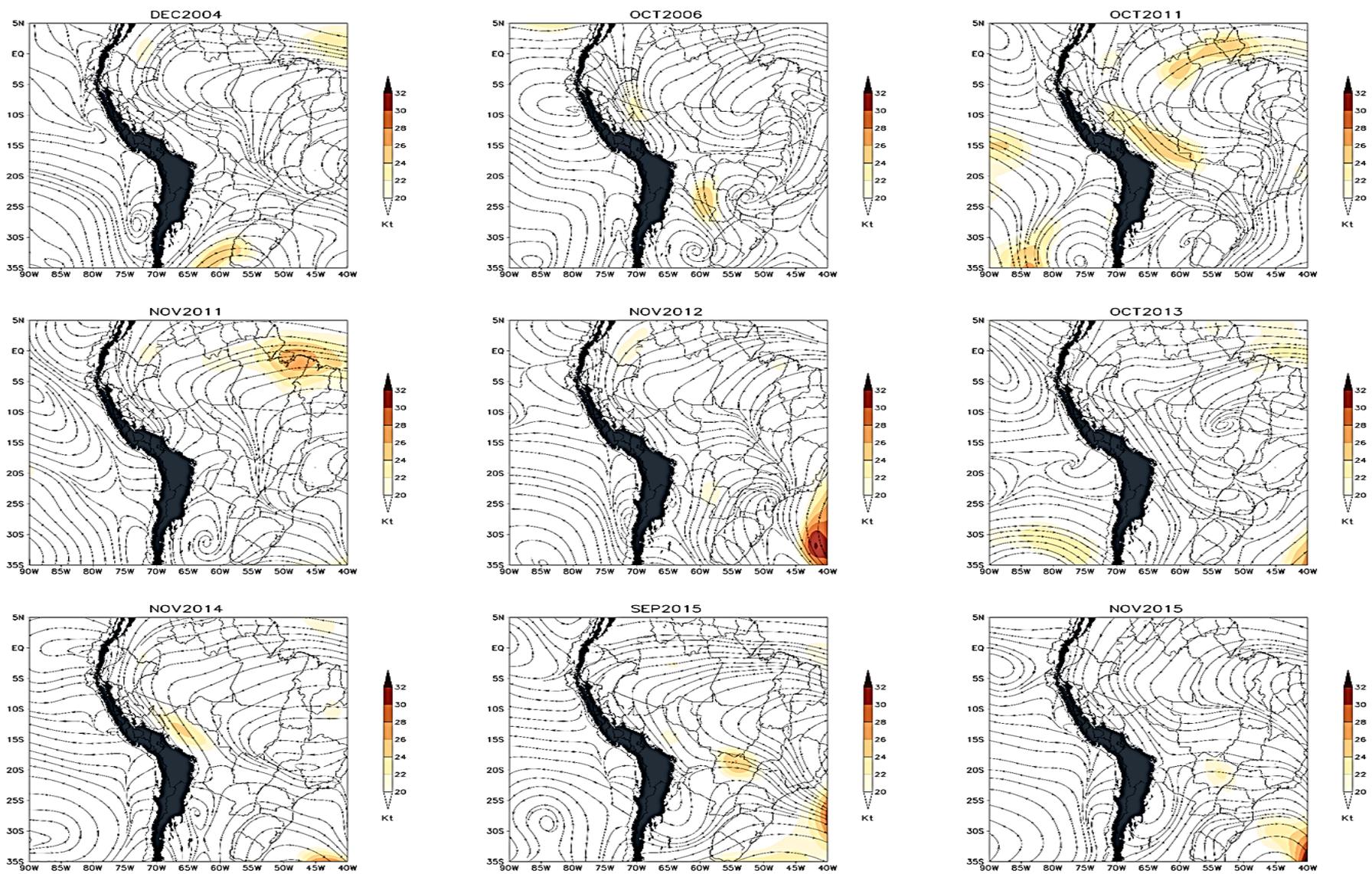


Figura 63: Análisis sinóptico en líneas de corriente a 850hPa de eventos de OC más representativos encontrados en el periodo de (1985-2015)

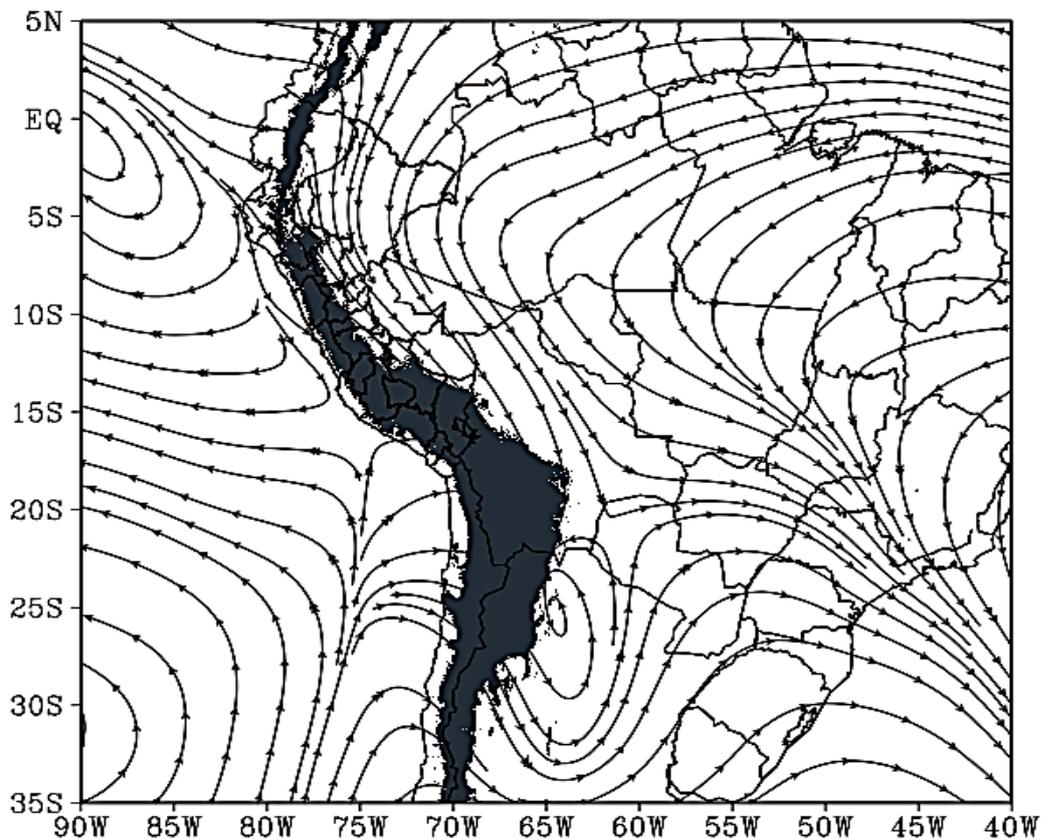


Figura 64: Patrón sinóptico de olas de calor graficadas en líneas de corriente a 850hPa encontrados en el periodo de (1985-2015)

Según se ha visto en los diferentes años donde se llevaron a cabo eventos de olas de calor, se muestra el núcleo (1024hPa) del APSO alejado del continente sudamericano. Sin embargo, con referencia a los 30°S y 90°W se aprecia que el núcleo APSO se encuentra más al sur. Es decir, presenta intensificación en la estación de primavera, así mismo la isobara de 1014 hPa se encuentra desplazado al sur cerca al centro de Chile, lo cual indica que los AM se desplacen más al sur. Así mismo, la dorsal que se ha mencionado con anterioridad en baja tropósfera es observada por una vaguada invertida en la isobara de 1012hPa (véase la figura 65).

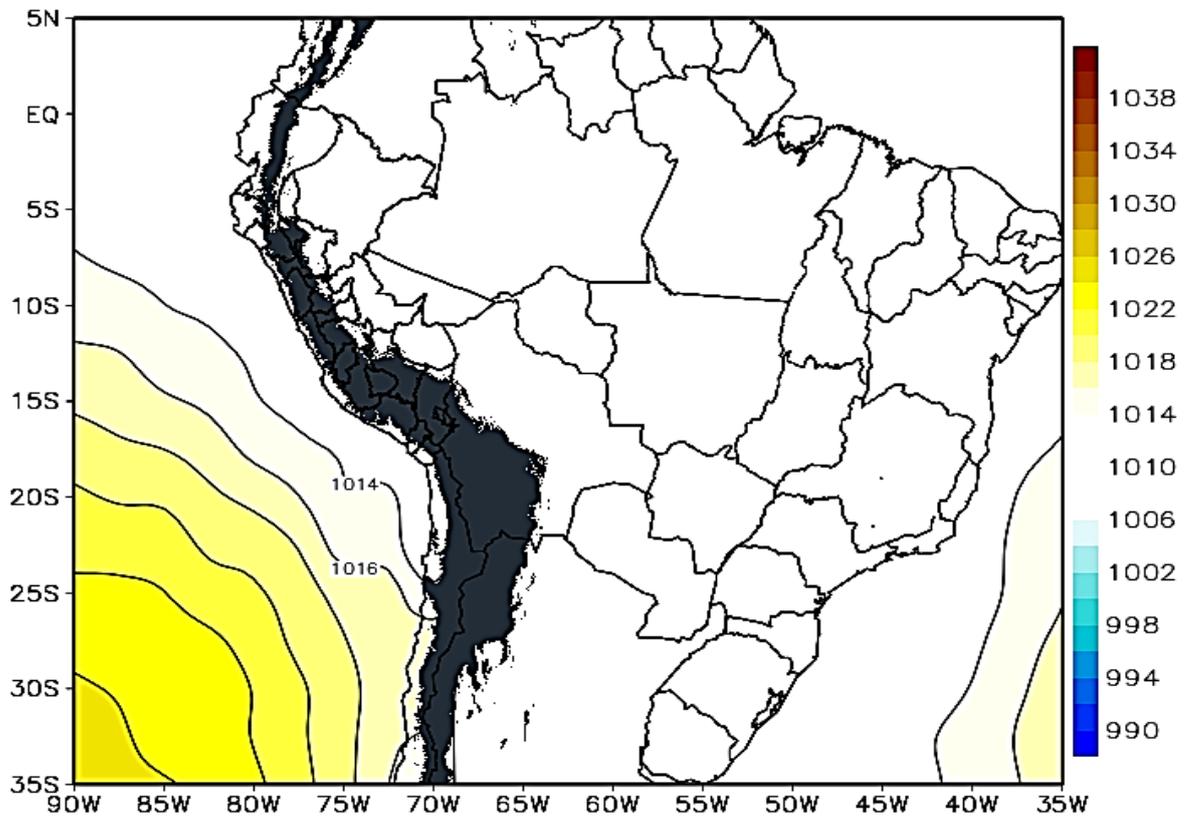


Figura 65 : Análisis sinóptico del APSO de eventos de OC encontrados en el periodo de (1985-2015)

5.4.2. Alta y media tropósfera

Se aprecia dos patrones que se generan, estos patrones son los siguientes:

- ✓ El posicionamiento de la AB al sureste de Bolivia, así mismo se aprecia una vaguada al este de Brasil (VNEB), la cual ingresa en el transcurso del tiempo al continente en las imágenes dic2004, oct2006, oct2011, oct2013 y nov2014. Este patrón es frecuente en la región norte (véase la figura 66).
- ✓ La ubicación de la AB en formación procedente del pacifico la cual se aprecia expandida de manera zonal. Es importante mencionar que en la periferia de la AB se encuentra en la Amazonia peruana en las imágenes: nov2011, nov2015 y sep2015. Este patrón es más frecuente en los episodios que se dan en la región centro (véase la figura 67).

La región sur presenta un comportamiento no tan definido por la AB. Sin embargo, se aprecia la dorsal subtropical profundizada al sur, esta dorsal apoya también a la subsidencia del alta y media troposférica.

Sobre a lo mencionado con anterioridad, se aprecia la AB al Sureste de la Amazonia peruana (ubicada aproximadamente en 67°W y 12°S) en los diferentes meses indicando que en su periferia se sobrepone en la amazonia, la cual produce presencia de subsidencia que se mantiene en los eventos de OC (véase la figura 66).

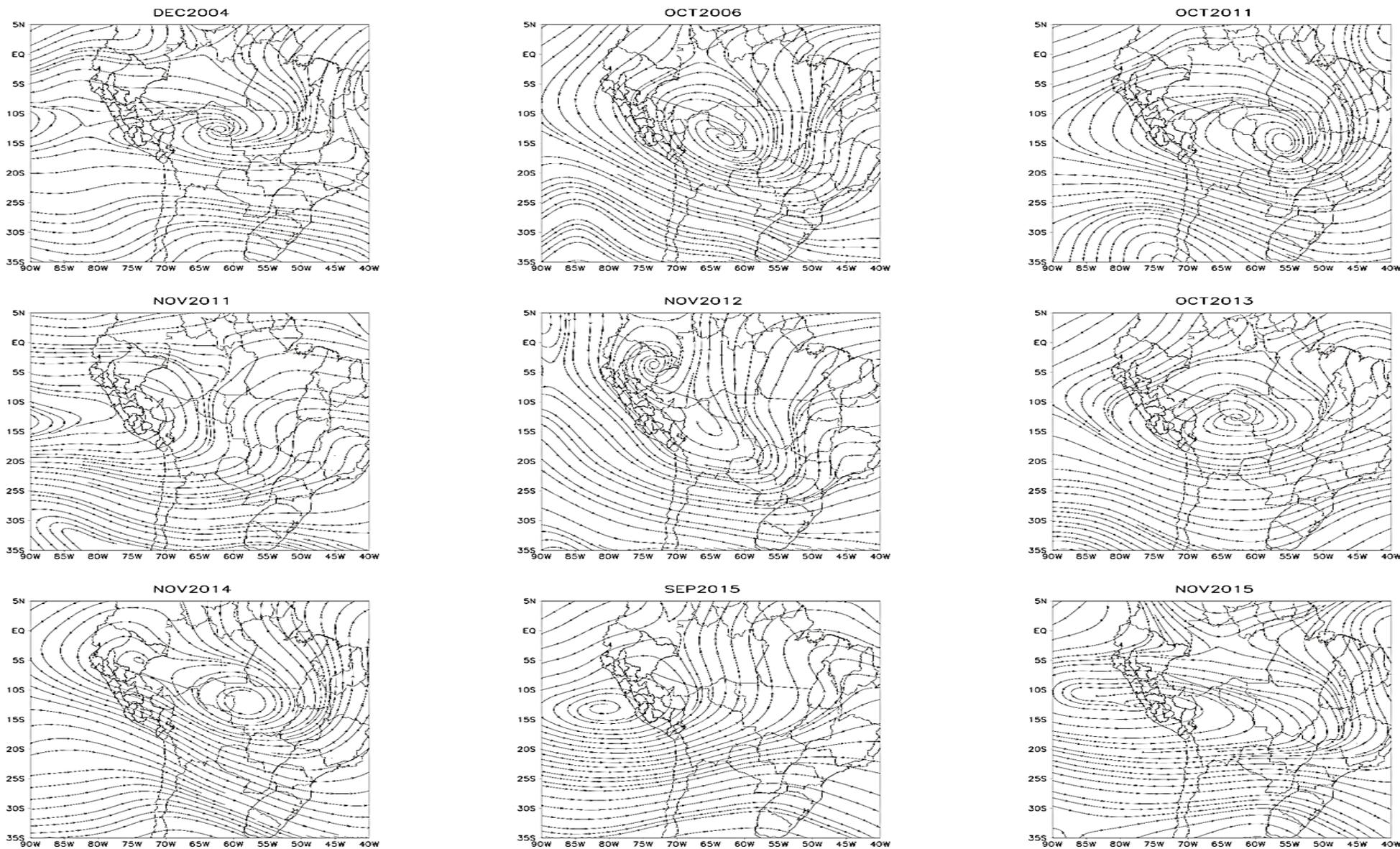


Figura 66: Análisis sinóptico de líneas de corriente a 250hPa de eventos de OC encontrados en el periodo de (1985-2015)

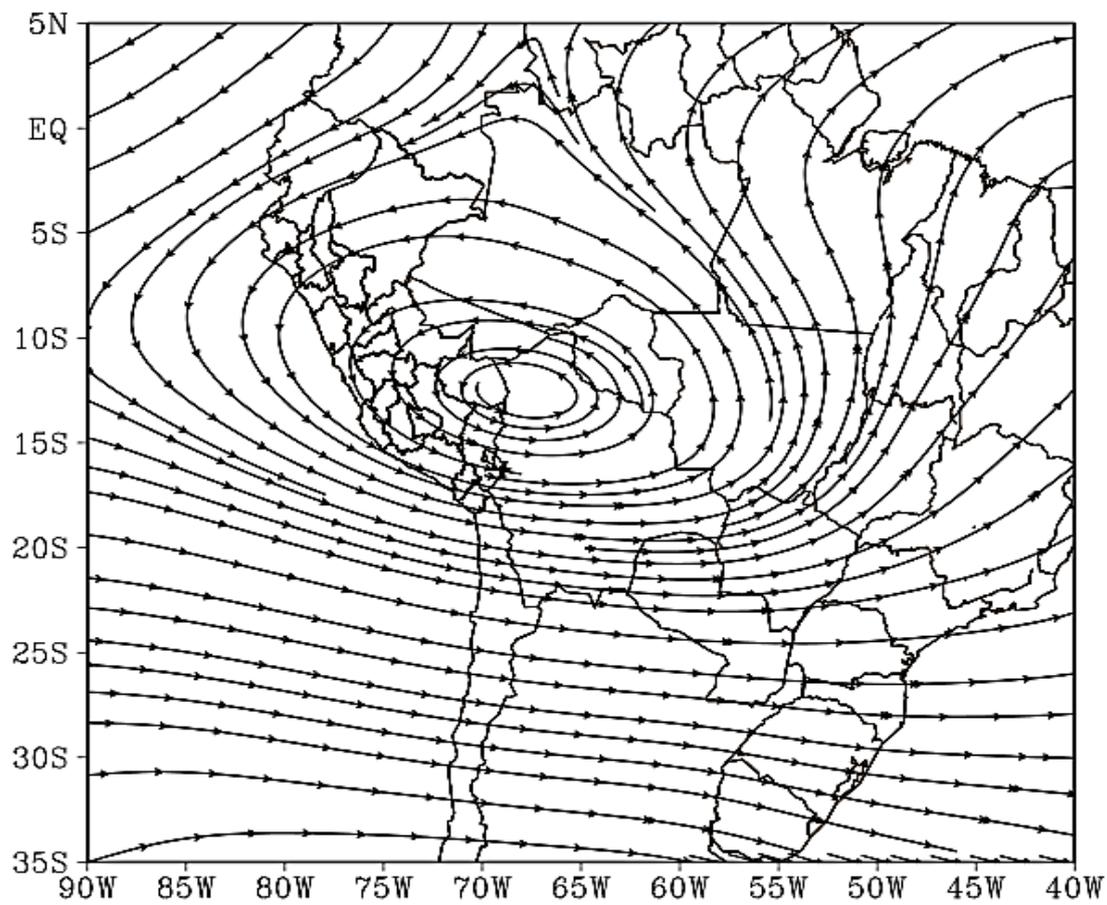


Figura 67: Patrón sinóptico de olas de calor graficadas en líneas de corriente a 250hPa de eventos de OC encontrados en el periodo de (1985-2015)

VI. CONCLUSIONES

Las conclusiones se basan según los objetivos planteados:

Las olas de calor se caracterizan por el incremento continuo de las temperaturas máximas y temperaturas 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. Además, estos eventos se encuentran por encima de su climatología superando valores de 3°C en la temperatura máxima y 2°C en la temperatura mínima, asimismo según el periodo que dura el evento presentan escasa de precipitación y condiciones estables. También, los índices prevén valores extremadamente altos en la parte occidental de la amazonia peruana, percibiendo por la población más vulnerable sensaciones de discomfort, Stress de calor, golpe de calor en las regiones mencionadas y problemas cardiovasculares como respiratorios en la zona sur de la amazonia peruana.

Como se ha mostrado para comprender los mecanismos físicos de los eventos de OC se da por el ingreso de flujos del norte transportando masa de aire cálido y húmedo proveniente del hemisferio norte generando humedad y aumento de temperatura a nivel superficial. Además, la presencia de subsidencia en alta y media tropósfera en los eventos de OC inhibe la formación de complejos convectivos de gran desarrollo vertical favoreciendo el ingreso de radiación solar calentando la superficie. Así mismo en las condiciones sinópticas: predomina una dorsal en baja troposfera proveniente del Atlántico sur, también en la parte periférica de la circulación anticiclónica y presencia de una dorsal en alta y media tropósfera influye en la subsidencia, debido a que genera condiciones de buen tiempo y proporcionando energía a la superficie que favorece el aumento de temperaturas en la amazonia peruana. Al término del evento se presenta el desplazamiento hacia el este de una vaguada en alta troposfera, esta vaguada se profundiza generando la formación de los puntos de circulación con divergencia en altura, esta divergencia genera gran desarrollo convectivo, así mismo la presencia de un collado genera convección profunda. Estos dos

sistemas generan una banda de nubosidad (>70% Humedad relativa) que se expande desde el sureste del continente. Por otra parte, el desplazamiento de un alta migratoria en niveles bajos hacia el Océano Atlántico Sur indica el término del evento de OC, la cual se registran en las estaciones meteorológicas como un cambio brusco de las temperaturas mencionadas con anterioridad por la presencia de lluvias.

Para futuros pronósticos se ha generado un modelo conceptual de los eventos de OC de la siguiente manera:

Presencia de una dorsal en baja troposfera ubicada al este del continente proveniente del Atlántico sur generando ingreso de flujos cálidos y húmedos del norte, así mismo el APSO se encuentra más al sur de alejado del continente Además, en alta tropósfera se presenta una circulación anticiclónica (ubicada aproximadamente en 67°W y 12°S), este sistema al desplazarse hacia el este y que coincide con el paso de una alta migratoria en superficie, influye en la formación de dos puntos de circulación al este del continente generando divergencia en altura y finalizando el evento.

VII. RECOMENDACIONES

El análisis realizado en la presente tesis fue mediante el uso de los datos de Reanálisis del NCEP-NCAR con un grillado de 2.5°, lo cual resulta una desventaja respecto a modelos de mayor resolución, como los regionales o de mesoescala (Eta, MM5, WRF, BRAMS entre otros), por ello se plantea algunas recomendaciones:

- Utilizar otras metodologías para la identificación de los eventos de OC en otras regiones de Perú, debido a su diversidad de climas que se posee.
- Utilizar nuevos índices que den información de cómo afectarían a la población.
- Realizar estudios similares en las demás regiones por su variedad climática.
- Utilizar un modelo con mejor resolución espacial para los índices mencionados en el presente trabajo.
- Definir criterios sinópticos que apoyen a mejorar la elaboración del modelo conceptual establecido.
- Utilizar el modelo desarrollado en este trabajo para futuros pronósticos.
- Realizar nuevas investigaciones relacionados entre la salud humana y eventos extremos para su prevención.
- Implementar estaciones en la Amazonia peruana y monitorear las estaciones.
- Para estudios de OC se deben de contar con la información de personas afectadas para el mejoramiento de los pronósticos.

VIII. REFERENCIAS BIBLOGRAFICAS

- AEMET (Agencia Estatal de Meteorológica, España). 2017. Olas de Calor en España desde 1975. Consultado el 05 de Julio del 2017. Disponible en: http://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/estudios/Olas_Calor_ActualizacionJun2017.pdf
- Alfaro. L. 2014. Estimación de Umbrales de Precipitaciones Extremas para la Emisión de Avisos Meteorológicos. Nota Técnica SENAMHI 001. Lima. Perú.
- Analitis, A; Katsouyanni, A; Biggeri, M; Baccini, G; McGregor, P y Michelozzi. 2008. Temperature Effects on Mortality: Potential Confounding by Air Pollution and Possible Interactions within the PHEWE Project. *Epidemiology*. 19: S214–S214.
- Blanchard. O. 1998. Assesing the Vertical Distribution of Convective Available Potential Energy. *Weather. And Forecasting*.13: 870-877.
- Cavalcanti, I. 2000. Teleconnection patterns orographically induced in model results and from observational data in the austral Winter Southern Hemisphere *International Journal Climatology*. v. 20. p. 1191-1206.
- Gobierno Federal Estados Unidos Mexicanos. Secretaria de Salud. 2012. Prevención y Diagnóstico del Golpe de Calor en Pacientes de 19 A 59 Años en el Primer Nivel de Atención. Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud. Juárez. México.
- Chen, T. 1999. Maintenance of Austral Summer Upper Tropical Circulation Over Tropical South America: the Bolivian High-Nordeste Low System. *J.Atmos.Sci*. v 56.
- Cohen, J. 1989. Um Estudo Observacional de Linhas de Inestabilidade na Amazonia. 153 f. Dissertacao. (Mestrado em Meteorologia)- INPE. San Jose dos Campos.
- Damiao. M. 1999. Un Studo das Condicoes atmosféricas em Janeiro Secos e Humesos no Semiaridos do Nordeste do Brasil e sua Relacao com a Chuva em meses porteriores do região.Dissertado (Mestrado em Meteorologia), UFPB, Campina grande.

- Ferreira, N; Sanches, M. y Silva. M. 2004. Composicao da Zona de Convergencia do Atlantico Sul em Períodos de El Niño e La Niña. Rev. Bras. Meteor. v. 19. p. 89-98.
- Gandu, A. 1998. Impact of Tropical Heat Sources on the South American Tropospheric Upper Circulation and Subsidence, J. Geophys, Res. Volumen 103.
- Gutierrez, R. 2009. Introducción al Análisis Exploratorio de Datos. Universidad del Valle. Versión 2. Cali. Colombia.
- Gutman, G. 1965. The Role of Latent and Sensible Heat for the Development of a High Pressure System Over the Subtropical Andes, in Summer. Jg. Heft, Volumen 18(3).
- Holton, J. R. 1990. An Introduction to Dynamic Meteorology. 4 ta Edición. Elsevier Academic Press, Volumen 88. Massachusetts, USA.
- Hunt, B.G. 2007. A Climatology of Heat Waves from a Multimillennial Simulation. Journal Climate, 20(15): 3802-3821.
- Jones, C. 1990. A circulacao da Alta da Bolivia em Actividade Convectiva sobre a América do Sul. Rev.Bras.Meteor. Volumen 5 (1).
- Karl, T. R. & R. W. Knight. 1997. The 1995 Chicago heat wave: How likely is a recurrence Bull. Amer. Meteor. Soc. 78: 1107–1119.
- Kodama, Y. 1992. Large- Scale Common Features of Subtropical Precipitation Zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ). Part: Characteristics of subtropical Frontal Zones. J. Meteor. Soc. Japan. Volumen 70. p. 813 – 836.
- Kousky, V. 1997. High Frecuency Variability Over Siuth America. In: V International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography. Pretoria: Amer. Meteor. Soc.
- Lenters, J. & Cook. H. 1999. Summertime Precipitation Variability in South America; Role of the Large-Scale Circulation. Monthly Weather Review. Volumen 127. p. 409 -443.
- Marengo. J. & Hastenrath, S. 1993. Case studies of extreme climatic events in the amazon basin. Journal of Climate. Volumen 6 (4). p. 617-627.

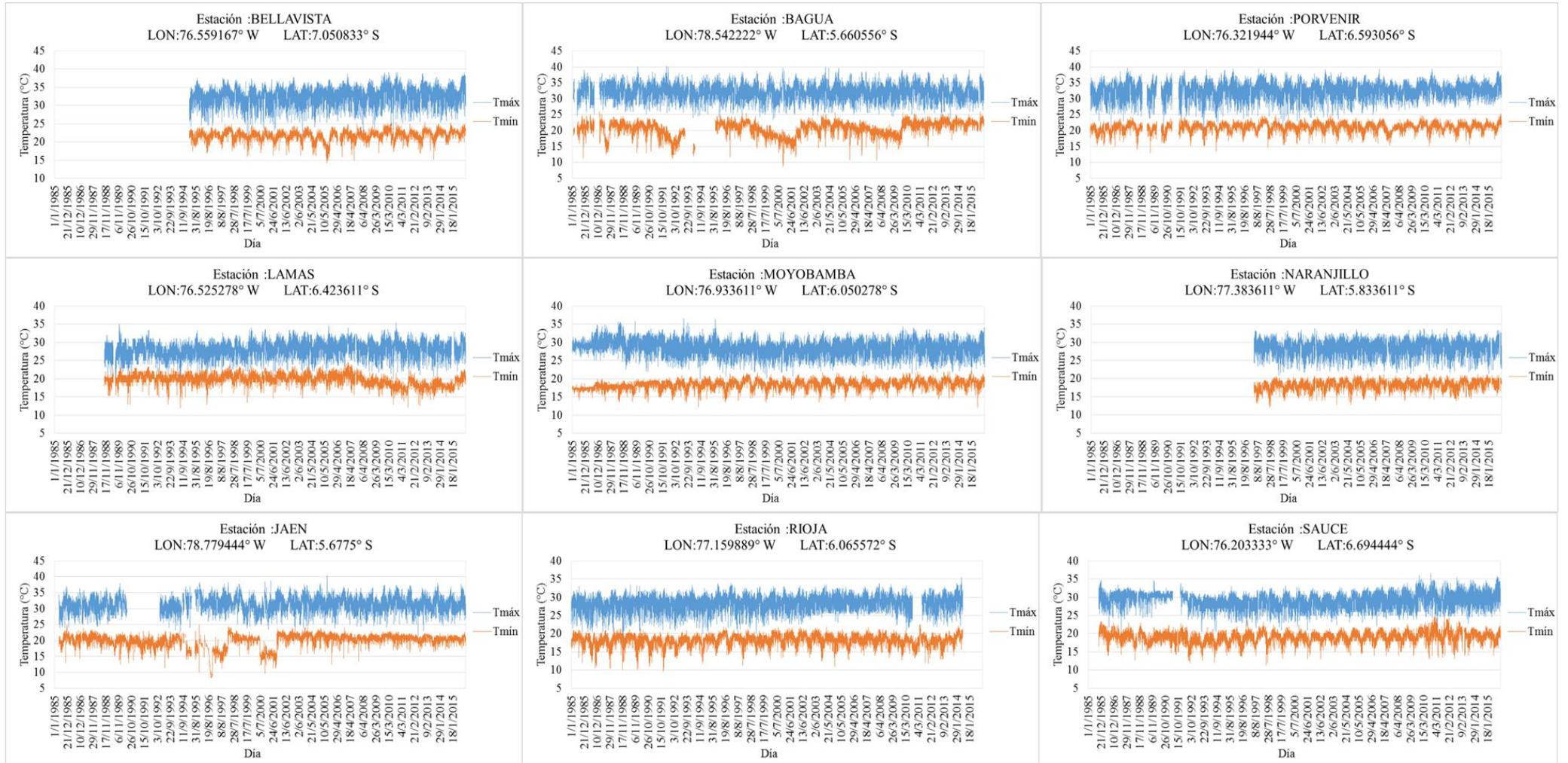
- MINSA (Ministerio de Salud). 2017. Boletín Epidemiológico N°3. Lima. Perú. Consultado el 17 de Junio del 2017. Disponible en: <http://www.hospitalcayetano.gob.pe/Inicio/images/Documentos/Epidemio/VOLUMEN3BOLETI/NEPIDEMIOLOGICO.pdf>
- Molion, J. 1987. Climatologia Dinamica da Regiao Amazonica: Mecanismos de Precipitacao. Rev. Bras. Meteor. Volumen 2, p. 107-117.
- Nath, M & Ngar- Cheung. 2012. A Model Study of Heat Waves Over North America: Meteorological Aspects and Projections for the Twenty-First Century. Journal of Climate. Volumen 25. New Jersey, USA.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric administration). NCEP/NCAR Reanalysis and other datasets Long term means (climatologies) are based on 1981-2010. Consultado el día 21 de Marzo del 2017. Disponible en: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/>.
- Norte, F, et al. 2006. Análisis de una Ola de Calor Extrema en la Región Subtropical de América del Sur. Programa Regional de Meteorología - PRM- IANIGLA – CONICET y Centro de Previsao de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Mendoza, Argentina.
- OMM (Organización Meteorológica Mundial). 2009. Manual de claves internacionales. Consultado el 27 de Octubre del 2017. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/24024/92354/OMM-306-V-I.1-ES.pdf/2bf76d98-73a8-40a2-ae39-8bf527a9a45b>
- Pulgar, J. 2014. Las Ocho Regiones Naturales del Perú. Terra Brasilis (Nova Serie.)Revista da Brasileira de Historia da Geografia e Geografia Histórica. 9 na. Edición. Consultado el 28 de Agosto del 2017. Disponible en: <http://terrabrasilis.revues.org/1027>.
- Peterson, T, et al. 2013. Monitoring and Understanding Changes in Heat Waves, Cold Waves, Floods, and Droughts in the United States. American Meteorological Society. Consultado el 23 de Agosto del 2017. Disponible en: <http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/BAMS-D-12-00066.1>
- Quispe, N. 2005. Condiciones Sinópticas de la Incursión de una Masa de Aire Frío en Sudamérica y su Impacto en los Cultivos de la Selva Caso específico: Verano de

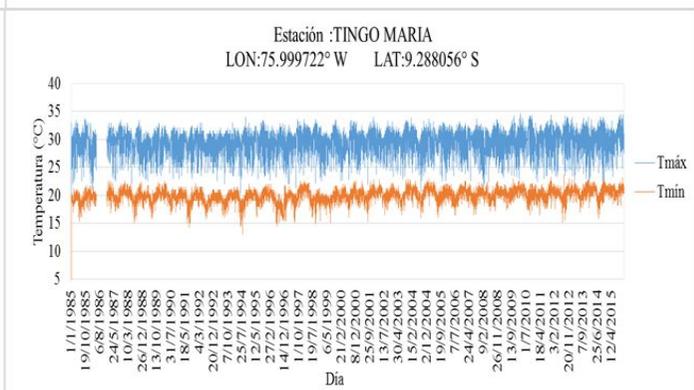
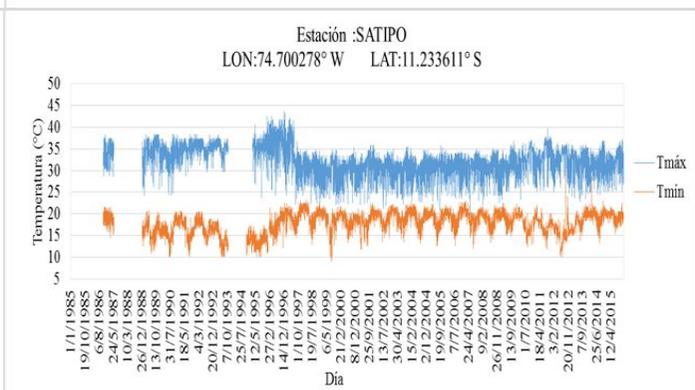
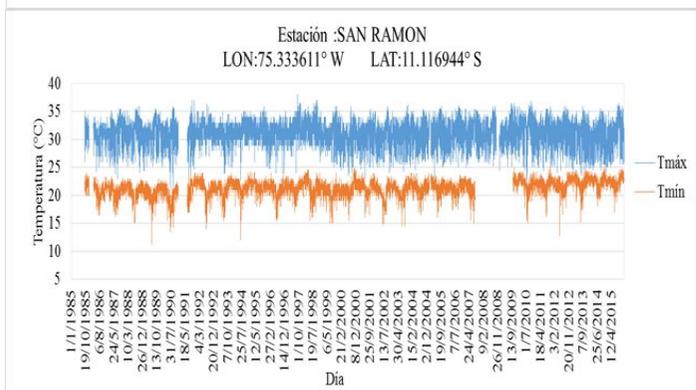
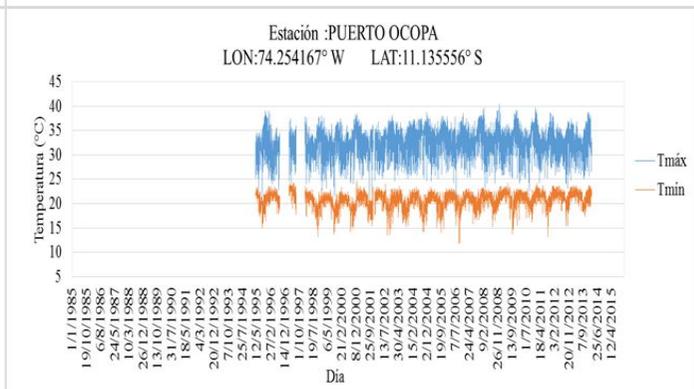
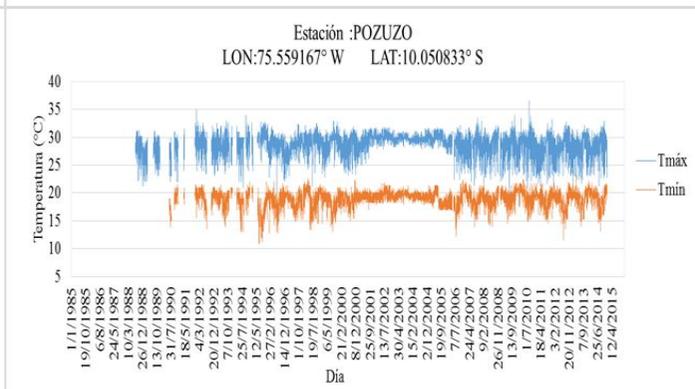
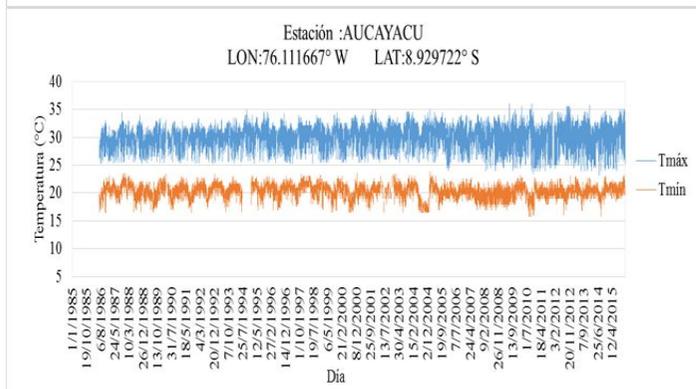
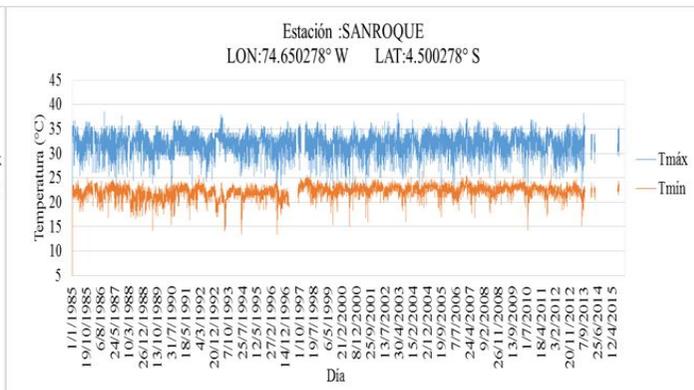
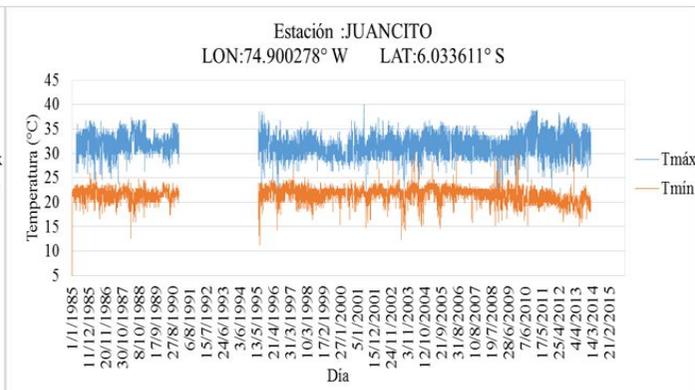
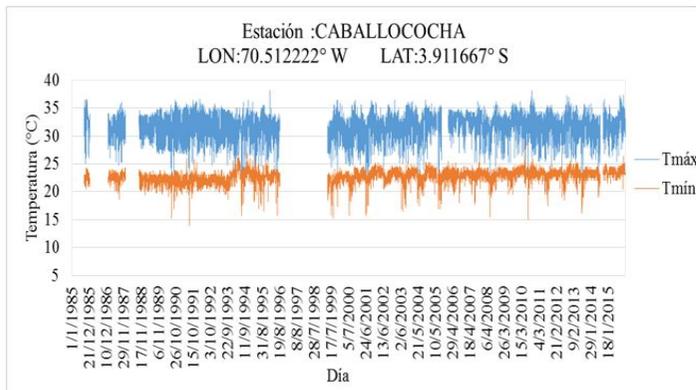
1996 e Invierno de 2000. Tesis de Ingeniero Meteorologo. Universidad Agraria la Molina. Lima, Perú.

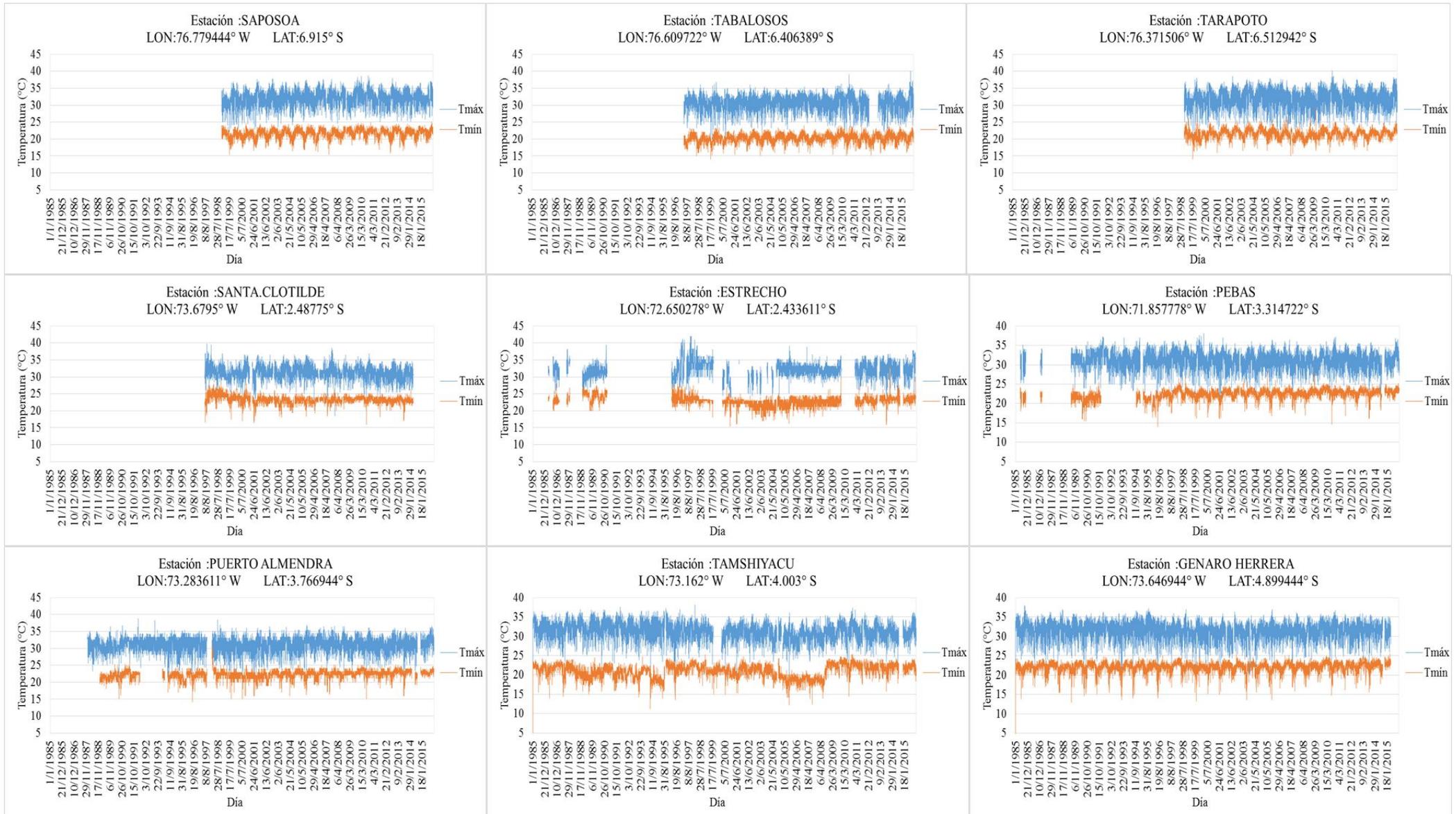
- Santos, W. & Diaz, L. 2017. Índices de Conforto e Desconforto Térmico Humano Segundo os Cenários Climáticos Do IPCC. Consultado el 28 de Agosto del 2017. Disponible en: http://www.sbmet.org.br/cbmet2010/artigos/446_95127.pdf
- Silva, J. et. al., s/f. Analise de índices de conforto térmico na cidade de Belém, PA durante la época menos chuvosa. Universidade Federal Dopara. Consultado el 23 de Julio del 2017. Disponible en: http://www.sbmet.org.br/cbmet2010/artigos/92_57848.pdf
- Stefanon, M; F. D'Andrea; P. y Drobinski, P. 2012. Heatwave Classification Over Europe and the Mediterranean Region. *Environmental. Res. Lett.*, 7(1). 9 pp.
- Steadman, R. 1984: A Universal Scale of Apparent Temperature. *J. Climate Appl. Meteor.*, 23, 1674–1687.
- Tavares; C.; Mendonca, H.; Da Rocha, M. s/f. Avaliação Do Conforto Térmico Para Maceió-Al. Consultado el 14 de Agosto del 2017. Disponible en: http://www.sbmet.org.br/cbmet2010/artigos/460_92436.pdf
- Tsonis, A, 2007. *An Introduction to Atmospheric Thermodynamic*. 2 da. Edición. New York. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Uvo. C.B. 1989. A Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) e a precipitacao no norte do Nordeste do Brasil. Parte I: A posicao da ZCIT no Atlantico Equatorial. In *Climanalise*. Volumen 4 (7). p. 34 – 40.
- Vicedo; A. 2013. Exposición a temperaturas Extremas y Riesgo de Parto Pretérmino. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia. Valencia, España.
- WHO (World Health Organization). 2015. *Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development*. Versión: 1142. Geneva, Switzerland.
- WMO (World Meteorological Organization). 1972. *The Assessment of Human Bioclimate a limited Review of Physical Parameters*. Landsberg; H.E. No 331. Geneva; Switzerland.
- Zaitchik, B.F.; A.K. Macalady, L.R; Bonneau & R. B. Smith, 2006: Europe's 2003 heat wave: A Satellite View of Impacts and Land–Atmosphere Feedbacks. *International. Journal. Climatology*. 26(6): p. 743–769.

IX. ANEXOS

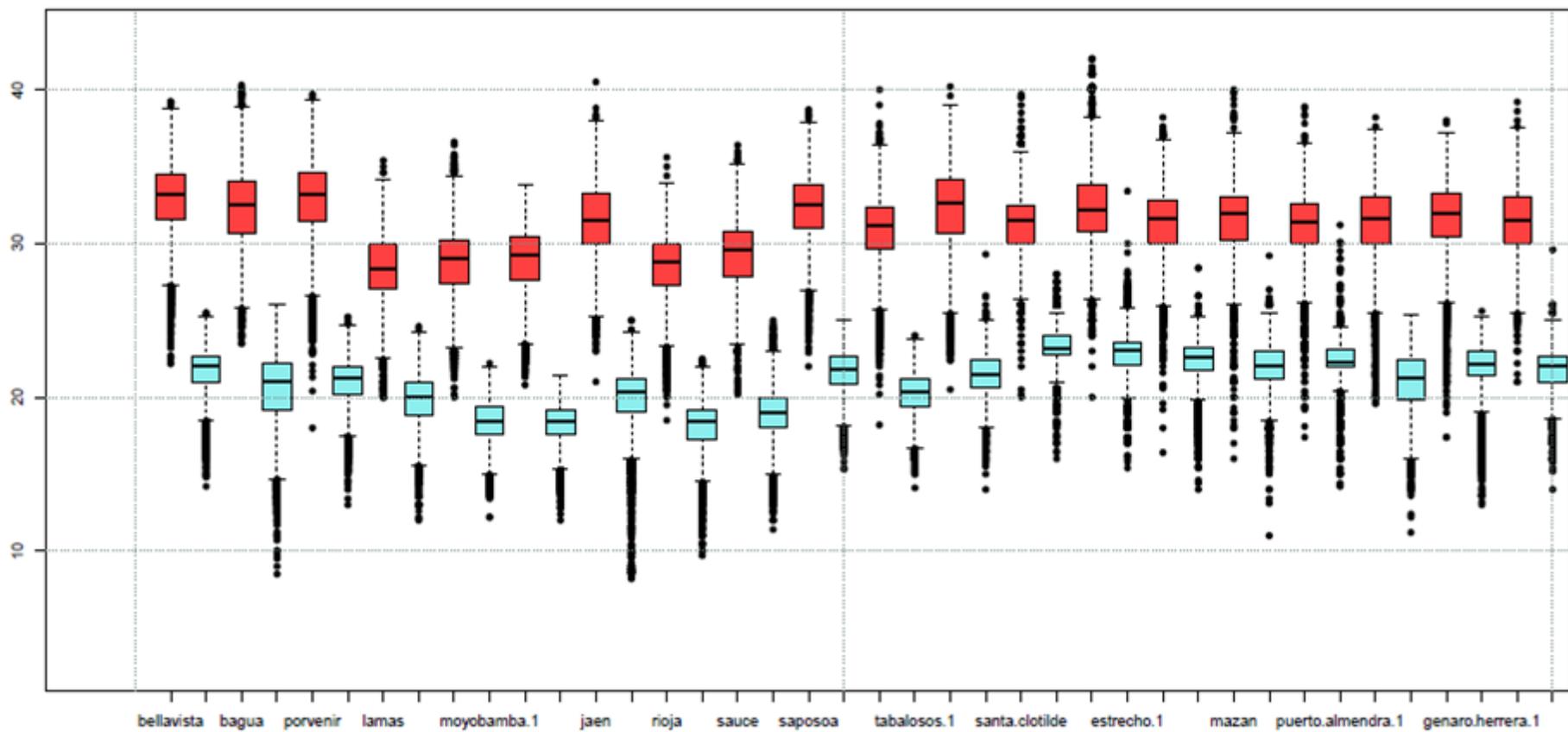
Anexo 1: Gráficas histórica de las estaciones de SENAMHI en el periodo de 1985-2015

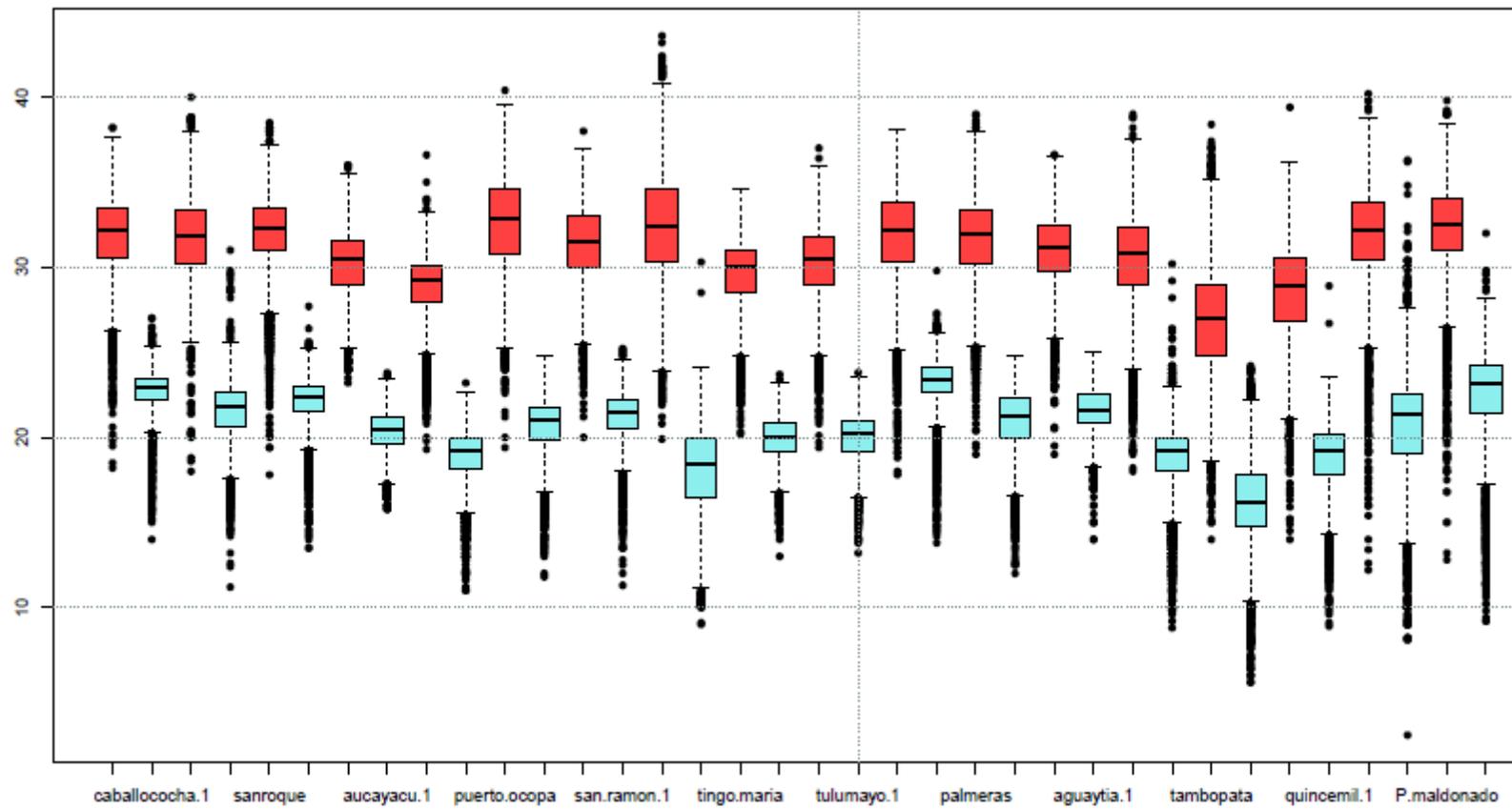






Anexo 2: Gráficas de Boxplot de la data de las estaciones de SENAMHI en el periodo de 1985-2015





Anexo 3: Porcentaje de datos de T_{máx} y T_{mín} de estaciones de SENAMHI obtenidos en el periodo de 1985-2015 para el análisis en los eventos de OC.

Estaciones	LON	LAT	% Datos
BELLAVISTA	76.559167° W	7.050833° S	67%
BAGUA	78.542222° W	5.660556° S	94%
PORVENIR	76.321944° W	6.593056° S	96%
LAMAS	76.525278° W	6.423611° S	87%
MOYOBAMBA	76.933611° W	6.050278° S	100%
NARANJILLO	77.383611° W	5.833611° S	59%
JAEN	78.779444° W	5.6775° S	92%
RIOJA	77.159889° W	6.065572° S	94%
SAUCE	76.203333° W	6.694444° S	96%
SAPOSOA	76.779444° W	6.915° S	55%
TABALOSOS	76.609722° W	6.406389° S	59%
TARAPOTO	76.371506° W	6.512942° S	55%
SANTA.CLOTILDE	73.6795° W	2.48775° S	53%
ESTRECHO	72.650278° W	2.433611° S	60%
PEBAS	71.857778° W	3.314722° S	81%
MAZAN	73.079722° W	3.485° S	74%
PUERTO ALMENDRA	73.283611° W	3.766944° S	83%
TAMSHIYACU	73.162° W	4.003° S	97%
GENARO HERRERA	73.646944° W	4.899444° S	97%
CABALLOCOCHA	70.512222° W	3.911667° S	82%
JUANCITO	74.900278° W	6.033611° S	78%
SANROQUE	74.650278° W	4.500278° S	92%
AUCAYACU	76.111667° W	8.929722° S	90%
POZUZO	75.559167° W	10.050833° S	73%
PUERTO OCOPA	74.254167° W	11.135556° S	57%
SAN RAMON	75.333611° W	11.116944° S	91%
SATIPO	74.700278° W	11.233611° S	85%
TINGO MARIA	75.999722° W	9.288056° S	98%
TULUMAYO	75.900278° W	9.250278° S	75%
CONTAMANA	75.006111° W	7.3525° S	74%
PALMERAS	74.948889° W	8.406667° S	51%
AGUAYTIA	75.514167° W	9.029722° S	51%
QUILLABAMBA	72.691944° W	12.691944° S	79%
TAMBOPATA	69.152222° W	14.22° S	96%
QUINCEMIL	70.750278° W	13.216944° S	58%
IÑAPARI	69.600278° W	10.950278° S	51%
P.MALDONADO	69.200278° W	12.583611° S	52%

Anexo 4: Valores de percentil 90 de las estaciones meteorológicas de SENAMHI obtenidos en el periodo de 1985-2015.

ESTACIONES	Perc.90 Tmáx	Perc.90 Tmín
BELLAVISTA	35.6	23.3
BAGUA	35.4	23
PORVENIR	35.8	22.6
LAMAS	31	21.8
MOYOBAMBA	31.5	20
NARANJILLO	31.2	19.8
JAEN	34.6	21.8
RIOJA	31	20
SAUCE	31.8	21
SAPOSOA	35.1	23.2
TABALOSOS	33.4	22
TARAPOTO	35.5	23
SANTA.CLOTILDE	34	24.5
ESTRECHO	35	24.5
PEBAS	34	23.8
MAZAN	34	23.5
PUERTO ALMENDRA	33.6	23.6
TAMSHIYACU	34.2	23
GENARO HERRERA	34.2	23.4
CABALLOCOCHA	34.4	24
JUANCITO	34.8	23.2
SANROQUE	34.6	23.6
AUCAYACU	32.5	21.8
POZUZO	30.8	20.6
PUERTO OCOPA	35.8	22.6
SAN RAMON	34	23
SATIPO	36.4	20.8
TINGO MARIA	32	21.4
TULUMAYO	32.8	21.7
CONTAMANA	35	24.6
PALMERAS	34.6	23
AGUAYTIA	33.6	23
QUILLABAMBA	33.8	20.8
TAMBOPATA	31	19.4
QUINCEMIL	31.9	21
IÑAPARI	35	24
P.MALDONADO	35.2	25

Anexo 5: Imágenes satelitales IR del GOES-13.

