

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



**“ANALISIS DE LAS CONDICIONES METEOROLOGICAS
PARA EL PRONOSTICO DE NIEBLAS EN EL AEROPUERTO
INTERNACIONAL JORGE CHAVEZ, AÑO 2021”**

Trabajo de Suficiencia Profesional para Optar el Título de:

INGENIERO METEORÓLOGO

FELICIANO CABEZAS GARCÍA

Lima – Perú




2023

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

Document Information

Analyzed document	TSP -FELICIANO CABEZAS G 14 OCT-LINEAS-DE-CCTE.docx (D146904753)
Submitted	10/19/2022 4:33:00 PM
Submitted by	Franklin D. Unsihuay Tovar
Submitter email	funsihuayt@lamolina.edu.pe
Similarity	1%
Analysis address	funsihuayt.unalm@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	DESARROLLO.docx Document DESARROLLO.docx (D14739771)		1
W	URL: https://es.statista.com/estadisticas/635121/accidentes-mortales-de-aviones-de-pasajeros-civile... Fetched: 10/19/2022 4:33:00 PM		2
W	URL: https://repositorio.uci.cu/jspui/handle/123456789/7533 Fetched: 10/19/2022 4:34:00 PM		1

Entire Document

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE CIENCIAS

“ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES METEOROLÓGICAS PARA EL PRONÓSTICO DE NIEBLAS EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL JORGE CHÁVEZ, AÑO 2021”

Trabajo de Suficiencia Profesional para Optar el Título

de: INGENIERO METEORÓLOGO FELICIANO CABEZAS GARCÍA

LIMA-PERÚ 2022 DEDICATORIA

A mi madre Lucinda y a la memoria de mi padre A mis hermanos y a mi esposa.

AGRADECIMIENTO

Deseo agradecer: Al Ing. Wilmer Pulache del área de meteorología CORPAC S.A. por su apoyo incondicional. Universidad Nacional Agraria la Molina, especialmente al Ing. Franklin D. Unsihuay Tovar por su apoyo y comprensión.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN.....	1	I.1. Problemática.....	1	
..... 2	I.2. Objetivos.....	2	I.2.1. Objetivo General.....	2
..... 2	I.2.2. Objetivos Específicos.....	2	II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
..... 3	III. DESARROLLO DEL TRABAJO.....	9	IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	9
..... 11	V. CONCLUSIONES.....	36	VI. RECOMENDACIONES.....	36
..... 37	VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38	VIII.	38
ANEXOS.....	40			
ÍNDICE DE TABLA Tabla 01: Información de visibilidad horizontal mínima del año 2021	12	Tabla 02: Presencia de nieblas.....	12	
..... 12	Tabla 03a: Visibilidad horaria del 1 al 15 de mayo del 2021	40	Tabla 03b: Visibilidad horaria del 16 al 31 de mayo del 2021	41

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS

**“ANALISIS DE LAS CONDICIONES METEOROLOGICAS
PARA EL PRONOSTICO DE NIEBLAS EN EL AEROPUERTO
INTERNACIONAL JORGE CHAVEZ, AÑO 2021”**

Trabajo de Suficiencia Profesional para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO METEORÓLOGO

Presentada por:

FELICIANO CABEZAS GARCÍA

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

Mg. Sc. Eusebio Idelmo Cisneros Tarmeño
PRESIDENTE

Maestro Oscar Enrique Tang Cruz
MIEMBRO

Mg. Sc. Julio Alfonso Arakaki Kiyán
MIEMBRO

Ing. Franklin Delio Unsihuay Tovar
ASESOR

DEDICATORIA

A mi madre Lucinda y a la memoria de mi padre

A mis hermanos y a mi esposa.

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer:

Al Ing. Wilmer Pulache del área de meteorología CORPAC S.A. por su apoyo incondicional.

Universidad Nacional Agraria la Molina, especialmente al Ing. Franklin D. Unsihuay Tovar por su apoyo y comprensión.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	vi
ABSTRACT	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problemática	2
1.2. Objetivos.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
III. DESARROLLO DEL TRABAJO	8
3.1. Análisis de los datos provenientes del METAR para la identificación de nieblas durante el año 2021.	8
3.2. Análisis de las condiciones atmosféricas en niveles de superficie y altura que permita describir las condiciones meteorológicas asociadas a la formación de nieblas	8
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	10
4.1. Análisis de los datos provenientes del METAR para la identificación de nieblas durante el año 2021.	10
4.2. Análisis de las condiciones atmosféricas en niveles de superficie y altura que permita describir las condiciones meteorológicas asociadas a la formación de nieblas.	11
4.2.1. Condiciones atmosféricas en superficie.	11
4.4.2. Condiciones atmosféricas en altura de las variables meteorológica. Altura geopotencial (m _{gp}), líneas de corriente y magnitud del viento (Kt). Humedad específica (g/Kg) en 850 hPa.	15
4.3. Metodología para el pronóstico de nieblas en el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez. (caso 05 de mayo 2021).....	30
V. CONCLUSIONES	32
VI. RECOMENDACIONES	33
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34
VIII. ANEXOS.....	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Información de visibilidad (m) mínima año 2021. Visibilidad mínima de 24 horas en el aeropuerto internacional Jorge Chávez. Periodo 2021.	10
Tabla 2. Días y horas con ocurrencia de nieblas.	11
Tabla 3. Visibilidad horaria del 1 al 15 de mayo del 2021	37
Tabla 4. Visibilidad horaria del 16 al 31 de mayo del 2021	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vector Viento a 10m (kt) y Presión a Nivel Medio del Mar (hPa).....	12
Figura 2. Vector Viento a 10m (kt) y Presión a Nivel Medio del Mar (hPa).....	12
Figura 3. Vector Viento a 10m (kt) y Presión a Nivel Medio del Mar (hPa).....	13
Figura 4. Vector Viento a 10m (kt) y Presión a Nivel Medio del Mar (hPa).....	13
Figura 5. Vector Viento a 10m (kt) y Presión a Nivel Medio del Mar (hPa).....	14
Figura 6. Vector Viento a 10m (kt) y Presión a Nivel Medio del Mar (hPa).....	14
Figura 7. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (m _g p) a 200 hPa. Del 02 05 2021/12z. Modelo ERA5.....	15
Figura 8. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (m _g p) a 200 hPa. Del 03 05 2021/12z. Modelo ERA5.....	16
Figura 9. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (m _g p) a 200 hPa. Del 04 05 2021/12z. Modelo ERA5.....	16
Figura 10. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (m _g p) a 200 hPa. Del 05 05 2021/12z. Modelo ERA5.....	17
Figura 11. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (m _g p) a 200 hPa. Del 06 05 2021/12z. Modelo ERA5.....	17
Figura 12. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (m _g p) a 200 hPa. Del 07 05 2021/12z. Modelo ERA5.....	18
Figura 13. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (m _g p) a 500 hPa. Del 02 05 2021/12z. Modelo ERA5.....	19
Figura 14. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (m _g p) a 500 hPa. Del 03 05 2021/12z. Modelo ERA5.....	19
Figura 15. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (m _g p) a 500 hPa. Del 04 05 2021/12z. Modelo ERA5.....	20
Figura 16. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (m _g p) a 500 hPa. Del 05 05 2021/12z. Modelo ERA5.....	20
Figura 17. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (m _g p) a 500 hPa. Del 06 05 2021/12z. Modelo ERA5.....	21

Figura 18. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (m _{gp}) a 500 hPa. Del 07 05 2021/12z. Modelo ERA5	21
Figura 19. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (m _{gp}) a 850 hPa. Del 02 05 2021/12z. Modelo ERA5	22
Figura 20. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (m _{gp}) a 850 hPa. Del 03 05 2021/12z. Modelo ERA5	23
Figura 21. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (m _{gp}) a 850 hPa. Del 04 05 2021/12z. Modelo ERA5	23
Figura 22. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (m _{gp}) a 850 hPa. Del 05 05 2021/12z. Modelo ERA5	24
Figura 23. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (m _{gp}) a 850 hPa. Del 06 05 2021/12z. Modelo ERA5	24
Figura 24. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (m _{gp}) a 850 hPa. Del 07 05 2021/12z. Modelo ERA5	25
Figura 25. Humedad Específica (g/Kg) a 850 hPa. Del 02 05 2021/12z. Modelo ERA5	25
Figura 26. Humedad Específica (g/Kg) a 850 hPa. Del 03 05 2021/12z. Modelo ERA5	26
Figura 27. Humedad Específica (g/Kg) a 850 hPa. Del 04 05 2021/12z. Modelo ERA5	26
Figura 28. Humedad Específica (g/Kg) a 850 hPa. Del 05 05 2021/12z. Modelo ERA5	27
Figura 29. Humedad Específica (g/Kg) a 850 hPa. Del 06 05 2021/12z. Modelo ERA5	27
Figura 30. Humedad Específica (g/Kg) a 850 hPa. Del 07 05 2021/12z. Modelo ERA5	28
Figura 31. Temperatura Potencial Equivalente (K) y Velocidad Vertical (Pa*10 ⁻² /s)	29
Figura 32. Configuración sinóptica durante la ocurrencia de niebla del 05 de mayo a las 12Z	31

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Visibilidad horaria del 1 al 15 de mayo del 2021	37
Anexo 2: Visibilidad horaria del 16 al 31 de mayo del 2021	38

RESUMEN

Una de las condiciones más perjudiciales en la industria aeronáutica es la formación de nieblas sobre la pista, ya que la consecuente reducción de visibilidad por debajo de los correspondientes umbrales puede generar interrupción de las operaciones. En el presente trabajo se han analizado este fenómeno de nieblas ocurrido el día 05 de mayo de 2021, con datos obtenidos del METAR (en inglés: Meteorological Aerodrome Report); Así mismo con la información de reanálisis en niveles de superficie y altura se encontró que en superficie la presión atmosférica se incrementa significativamente un día antes del evento y durante el evento, pasando de 1 023 a 1 029 hPa. Así mismo se identificó un sistema alta presión al frente de las costas de Lima favoreciendo la subsidencia y los flujos del viento del sur impulsando el ingreso de masa de aire seco. En niveles de altura se identificó la presencia de vaguadas y una onda muy amplificadas, lo que impulsó el ingreso de aire frío en niveles bajos. En la vertical desde el aeropuerto Jorge Chávez y mar peruano; se identificó la presencia de masa de aire cálido ubicada por encima del nivel de 720 hPa y a para el día 04 cae hasta 840 hPa, lo cual permitió una inversión a menor nivel de altura; así como para el día del evento descendió aún más, indicativo que los techos de nubes también estarían muy bajos. A nivel local se tuvo la advección de aire frío y seco a nivel de superficie, y el incremento de la subsidencia provocando que las nubes desciendan y se acerquen al suelo dando paso al desarrollo de la niebla.

Palabras clave: Niebla, pronóstico, predicción, fenómeno meteorológico.

ABSTRACT

One of the most damaging conditions in the aeronautical industry is the formation of fog on the runway, since the consequent reduction in visibility below the corresponding thresholds can generate interruption of operations. In the present work, this fog phenomenon that occurred on May 5, 2021, has been analyzed with data obtained from the METAR (Meteorological Aerodrome Report); Likewise, with the reanalysis information on surface and height levels, it was found that on the surface the atmospheric pressure increases significantly one day before the event and during the event, going from 1023 to 1029 hPa. Likewise, a circulation was identified. high in front of the coast of Lima, favoring subsidence and southerly wind flows, driving the entry of dry air mass. At high levels, the presence of troughs and a highly amplified wave were identified, which promoted the entry of cold air at low levels. In the vertical from the Jorge Chávez airport and the Peruvian sea, the presence of a warm air mass located above the 720 hPa level was identified and by day 04 it fell to 840 hPa, which allowed an inversion at a lower height level; as well as for the day of the evento it descended even more, indicating that the cloud ceilings would also be very low. At the local level, there was the advection of cold and dry air at the surface level, and the increase in subsidence causing the clouds to descend and approach the ground, giving way to the development of fog.

Keywords: Fog, forecast, prediction, meteorological phenomenon.

I. INTRODUCCIÓN

La oficina meteorológica de la Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial CORPAC S.A. tiene como una de las funciones principales preparar y difundir los pronósticos de los aeródromos del Perú (TAF) que tienen a su cargo; así como mantener una vigilancia meteorológica continua para enmendar o cancelar dicho producto. Los servicios están enfocados en la seguridad de las operaciones aéreas a nivel nacional, como es el caso de la prevención de incidentes y accidentes aéreos para salvaguardar la salud y la integridad de todos los usuarios. Por lo que CORPAC S.A implementó el Sistema de Gestión de Calidad con certificación ISO-9001-2015, la que exige el cumplimiento normativo.

El documento que regula las actividades aeronáuticas es la RAP 303 (Regulación Aeronáutica del Perú) y CORPAC S.A la hace cumplir en el campo de la meteorología; tanto en las Oficinas de Meteorología (OMA) y de Vigilancia (OVM). La DGAC (Dirección General de Aviación Civil), es responsable de normar, vigilar, fiscalizar, sancionar, así como desarrollar estrategias para lograr que las actividades de aeronáutica civil y la navegación aérea civil, logren un nivel de seguridad operacional aceptable.

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) tiene entre sus objetivos velar por los problemas de la aeronáutica mundial. También se encarga de satisfacer las necesidades de los pueblos en lo relativo a transportes aéreos seguros.

Los fenómenos meteorológicos son eventos que pueden afectar las operaciones aeronáuticas, es por ello que uno de los temas de interés es el estudio de la ocurrencia de las nieblas.

Así mismo la calidad de los pronósticos emitidos juega un rol crucial, ya que los fenómenos adversos causan serios problemas en los aeropuertos, haciendo de la información meteorológica un elemento imprescindible en la gestión aeroportuaria. (Pérez. 2015).

1.1. Problemática

El pronóstico meteorológico aeronáutico es fundamental para brindar información oportuna y prevenir accidentes aéreos, ya que actualmente es el modo de transporte más rápido y seguro; sin embargo, sigue dependiendo de las condiciones atmosféricas por el comportamiento de los fenómenos meteorológicos que ocurren en la tropósfera, como es el caso de la ocurrencia de las nieblas que reducen la visibilidad generando condiciones adversas en el aterrizaje y despegue del transporte aéreo.

“Según la estadística a nivel mundial el número de accidentes mortales por país desde 1945 a setiembre de 2019, el Perú ha acumulado 60 accidentes con víctimas mortales en aviación civil”. (Orús, 2020)

“Es importante que los pronósticos de aeródromos (TAF) emitidos, sea lo más cercano a la realidad; de ahí la importancia que la precisión de un pronóstico sea un indicador que elevará la calidad del servicio meteorológico brindado (León, 2005).

1.2. Objetivos

Objetivo general

- Analizar las condiciones meteorológicas asociadas a la formación de nieblas con fines de pronóstico en el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez

Objetivos específicos

- Analizar los datos meteorológicos provenientes del METAR para identificar la ocurrencia de nieblas durante el año 2021 y determinar la frecuencia de niebla a nivel horario y diario.
- Analizar las condiciones atmosféricas en niveles de superficie y altura que permita describir las condiciones meteorológicas asociados a la formación de nieblas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

METAR (Meteorological Aerodrome Report), son observaciones meteorológicas aeronáuticas, éstas se realizan de acuerdo al manual de procedimientos de observaciones meteorológicas. Se evalúan los elementos meteorológicos siguiendo la siguiente secuencia de observaciones:

Visibilidad, alcance visual en la pista (RVR), Tiempo Presente, nubosidad, Temperatura del aire, temperatura del punto de rocío, dirección y velocidad del viento, QNH (presión altimétrica), cizalladura del viento, información sobre el estado de la pista, información del pronóstico tipo tendencia de corta duración (TREND) proporcionada por el personal de la Oficina Meteorológica Aeronáutica, entre otros (Temperatura máxima y mínima, precipitación acumulada en cada hora, nubosidad bajo los mínimos en el caso del Aeródromo (AD) Cusco y peligro aviario) (RAP 303, 2022).

Visibilidad horizontal, en sentido aeronáutico es el valor más elevado entre los siguientes:

- La distancia máxima a la que puede verse y reconocerse un objeto de color negro de dimensiones convenientes, situado cerca del suelo, al ser observado ante un fondo brillante. Está representada por el alcance óptico meteorológico.
- La distancia máxima a la que puedan verse e identificarse las luces de aproximadamente 1000 candelas ante un fondo no iluminado. Varía con la iluminación del fondo. (RAP 303, 2022).

Visibilidad reinante, el valor máximo de la visibilidad, observado de conformidad con la definición de visibilidad, al que se llega dentro de un círculo que cubre por lo menos la mitad del horizonte o por lo menos la mitad de la superficie del aeródromo. Estas áreas podrían comprender sectores contiguos o no contiguos. (RAP 303, 2022)

TAF (Terminal Aerodrome Forecast), es el pronóstico de aeródromo y son elaborados por meteorólogos bajo las normas vigentes. (RAP 303, 2022)

QNH, Reglaje de la subescala del altímetro para obtener elevación estando en tierra. (RAP 303, 2022)-

Grupos de Cambio del TAF, el criterio para su inclusión o enmienda, se deben basar en cualquiera de los siguientes fenómenos meteorológicos o combinaciones de los mismos que se pronostica que empiezan o terminan o cambian de intensidad: niebla engelante, precipitación engelante, precipitación moderada o fuerte (incluyendo chubascos), tormenta (con precipitación), tempestad de polvo y tempestad de arena.

Además, otros criterios se basan en los cambios de la dirección y velocidad del viento, cambios en la visibilidad, cambios en la altura del techo de nubes BKN o OVC o cambios en la cantidad de nubes (RAP 303 – AP E – 3)

OMA, Oficina Meteorológica de Aeródromo, es una oficina situada en un aeródromo designada para suministrar servicio meteorológico para la navegación aérea internacional.” (RAP 303, 2022)

OACI, es la Organización de Aviación Civil Internacional, es una agencia de la Organización de las Naciones Unidas creada por el convenio sobre Aviación Civil Internacional para promover los reglamentos y normas únicos en la aeronáutica mundial. (RAP 303, 2022)

RAP, es la Regulación Aeronáutica del Perú dispone las reglas aplicables a la entidad del Estado delegada por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) para proveer el servicio de información aeronáutica. La regulación que tiene que cumplirse la normativa nacional. (RAP 303, 2022).

Niebla, son gotas de agua excesivamente pequeñas, casi microscópicas, que parecen flotar en el aire, reduciendo la visibilidad horizontal a menos de 1 km. Si la visibilidad es mayor que 1 km, pero menor a 10 km., estaremos ante una neblina. Cuando hablamos de niebla o neblina se refiere al mismo fenómeno físico, diferenciándose en la densidad y tamaño de gotas de agua que la constituyen. (OMM, 2017)

Niebla engelante, se produce a temperaturas por debajo de 0 °C cuando las gotitas de niebla subfundida se congelan al entrar en contacto con el suelo u otros objetos para formar cencellada blanca. En la observación y predicción del tiempo para la aviación, cualquier tipo de niebla que consista predominantemente en gotitas de agua a temperaturas por debajo de 0 °C se considera niebla engelante, independientemente de que se deposite cencellada blanca o no. La niebla puede formarse en diversas situaciones meteorológicas, pero en todo caso es el resultado de la saturación del aire. (OMM, 2017, pág. 3.2.1.1.1)

La niebla advectiva es producida por masas de aire húmedo sobre una superficie fría, provocando el enfriamiento de los niveles superficiales hasta el punto de rocío. La máxima frecuencia de niebla advectiva, se presenta con la velocidad del viento, bajo tales condiciones la niebla es relativamente superficial y estable, caracterizada por una inversión superficial. (Petterssen, 1956)

Otro mecanismo de formación de niebla relacionados a la advección es la niebla marina, niebla por brisa de mar-tierra y nieblas de aire tropical.

Las nieblas marinas, ocurren como resultado de la advección del aire marino cálido sobre una región afectada por una corriente oceánica fría, es común encontrarlas sobre el mar en regiones donde se encuentren los límites de las corrientes oceánicas frías. Su evolución es determinada por la influencia del enfriamiento radiactivo en el tope de la capa de niebla, las subsidencias, la llovizna y los flujos turbulentos de calor y humedad desde la superficie. (Yabra, 2021)

Las nieblas por brisas de mar-tierra, son un fenómeno puramente costero y ocurren cuando el aire cálido y húmedo sobre el continente es transportado sobre la fría costa oceánica conduciendo a la saturación de la masa de aire desde abajo. (Yabra, 2021, pág. 6)

Niebla por enfriamiento radiactivo, se produce cuando una masa de aire húmeda se encuentra en contacto con una superficie de suelo que se enfría progresivamente debido a la excesiva irradiación del suelo durante la noche. Este enfriamiento da lugar a una inversión térmica en los niveles próximos al suelo dependiendo de la altura de la inversión para que se produzca la mezcla turbulenta. Bajo condiciones de calma el flujo turbulento es cero, provocando una inversión muy superficial y una niebla poco profunda. Frecuentemente en las primeras horas del día se desarrollan ciertos movimientos, que dan lugar a la formación de una niebla de mayor espesor.

Niebla de inversión, generalmente son observados como resultados de una extensión hacia los niveles inferiores de la capa de estratos, la cual se encuentra ubicada debajo de la inversión térmica. La niebla de inversión ocurre a lo largo de la costa oeste subtropicales, en la cual la situación sinóptica generalmente es caracterizada por:

Una circulación anticiclónica y una semipermanente inversión de subsidencia entre los niveles de 200 a 600 m.s.n.m. Una apreciable variación diurna a temperaturas sobre el

continente con un buen desarrollo del sistema de masas de aire sobre superficies de afloramiento de agua fría a lo largo de la costa. (Petterssen, 2011)

Neblina, son gotitas de agua microscópicas en la atmósfera cercana a la superficie terrestre donde la visibilidad horizontal es mayor a 1 km. pero menor a 9 km. en este caso las gotitas de agua en suspensión en el aire, son mucho más pequeñas y dispersas que en la niebla. (García, 1942).

Visibilidad, se define como la mayor distancia horizontal hasta donde son reconocibles objetos o detalles del paisaje por un observador de vista normal que los haya contemplado a la luz del día, definición que recibe el nombre de visibilidad horizontal, se utiliza para describir la transparencia del aire en la dirección horizontal. (Petterssen, 2011).

Visibilidad vertical, es la mayor distancia a la que es visible un objeto en la vertical de un punto, puede variar en diferentes direcciones. Un piloto que vuela en aire por encima de una capa de neblina puede no ser capaz de ver el suelo, aunque la aeronave es perfectamente visible desde el suelo. Esto se debe a la reflexión y dispersión de la luz desde la parte superior de la capa de neblina. En otros casos, cuando hay una capa poco profunda de neblina o niebla en el suelo, el piloto, volando por encima de la capa, puede ver el suelo directamente debajo de él, pero no puede ver el campo de aterrizaje cuando se acerque para aterrizar. En tales casos, la parte del terreno que es visible para el piloto aumenta con la altitud de la aeronave. (Petterssen, 2011, págs. 43,45).

Confluencia, es el acercamiento progresivo de las líneas de corriente en la dirección del flujo de aire.

Difluencia, es la separación progresiva de las líneas de corriente en la dirección del flujo de aire.

Una onda, consta de crestas y amplitud, son fenómenos ondulatorios en el flujo de aire que se forman en la atmósfera.

En un estudio sobre Análisis Climático y Sinóptico de las nieblas en el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez, se concluyó que el mayor número de casos se localizan entre las 06 y 08 HL, siendo las 07 HL la que presentó 203 casos, formándose las nieblas entre las 22 y 05 HL, para disiparse entre las 09 y 12 HL, no se presentó ningún caso entre las 13 y 16 HL. También encontró que las nieblas se presentan entre diciembre y octubre, con mayor número de casos entre marzo y junio; con valor hasta de tres casos/año en abril. En

noviembre, no se presentó ningún caso a nivel estacional. El mayor número de casos se presentó en otoño y verano con 166 y 126 casos respectivamente. Mientras, que en la primavera presenta más casos que en invierno; con 22 y 14 casos. Con una máxima hora que ocurre a las 07 HL en las cuatro estaciones a nivel interanual, las nieblas presentan un máximo de 41 casos/año en 1989, y un mínimo de 1 caso/año en 1969 y 1992. (Anchayhua, 2001).

El estudio, entorno Sinóptico en la Ocurrencia de Nieblas en Lima, encontró que el anticiclón del pacífico sur era intenso, con núcleo de 1032 hPa. Generando flujos predominantes del sur en niveles bajos en zonas adyacentes a la costa peruana y chilena. La formación de la niebla en la costa central del Perú estuvo asociada a flujos en superficie predominantes del sur y el ingreso de flujos del norte en niveles de 850 hPa. Se encontró también la presencia de una vaguada en el Pacífico oriental en niveles medios, la cual estuvo asociada a la formación de sistemas de baja presión que favorecieron la advección fría y como consecuencia el descenso de la temperatura del aire en la costa central. En las imágenes de satélite se observó que el flujo del sur incentiva estabilidad y formación de nubosidad estratiforme a lo largo de la costa peruana. (Quispe, Chira 2003).

III. DESARROLLO DEL TRABAJO

El presente trabajo desarrollado es de tipo no experimental, que analiza las condiciones meteorológicas para el pronóstico de nieblas en el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez de la ciudad de Lima, ubicada a una latitud de 12°01'18.7" °S, longitud de 077°06'51.54" W y 12 m. de altitud.

Para cumplir con los objetivos del trabajo se siguieron los siguientes pasos:

3.1. Análisis de los datos provenientes del METAR para la identificación de nieblas durante el año 2021.

Para cumplir con este objetivo, se recurrió a la información disponible de METAR del aeropuerto internacional Jorge Chávez, data proporcionada por la oficina de Climatología de CORPAC S.A. Seguidamente se identificó y se contabilizó la información con ocurrencia de nieblas durante el 2021, los cuales se ordenaron en forma horaria y diaria.

3.2. Análisis de las condiciones atmosféricas en niveles de superficie y altura que permita describir las condiciones meteorológicas asociadas a la formación de nieblas

Para el cumplimiento de este objetivo se utilizaron las salidas del modelo numérico Europeo – ERA5, en los niveles de superficie, 850, 500 y 200 hPa.

De todos los casos identificados en el objetivo anterior, se elige como un caso de estudio la niebla ocurrida el 05 de mayo del 2021.

En superficie, se analizaron las configuraciones de los sistemas de altas y bajas presiones.

En el nivel de 850 hPa, se analizaron las circulaciones ciclónicas y anticiclónicas; en 500 hPa, se observaron las vaguadas y dorsales; finalmente en el nivel de 200 hPa, se analizaron las líneas de corriente, difluencias y confluencias.

Con estos resultados, se establece una posible metodología que permita realizar el pronóstico de nieblas en el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez.

a. Contribución en la solución de situaciones problemáticas.

Las aeronaves se enfrentan a la influencia de los fenómenos meteorológicos. Las causas más importantes durante la fase de vuelo cercanas a la superficie son la baja visibilidad, niebla y la lluvia, mientras que para mayor altitud son las turbulencias, las tormentas y la turbulencia en aire claro (CATs). Existe mayor probabilidad de ocurrencia del fenómeno de niebla entre los meses de abril y mayo; sin embargo, utilizando las herramientas pertinentes se realiza el pronóstico de tiempo.

b. Análisis y contribución.

La formación profesional en meteorología permite contar con una base física y matemática, por lo que es posible comprender los resultados numéricos y orientarlos hacia un diagnóstico y pronóstico del tiempo atmosférico con el propósito de contribuir a la actividad humana. En este trabajo se analizó las condiciones meteorológicas asociadas a la formación de nieblas con fines de pronóstico en el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez, haciendo uso de los conocimientos e interpretación de la salida de los modelos numéricos.

En base a la experiencia laboral en la institución de CORPAC S.A., en las Oficinas de Meteorología (OMA) en sus diferentes posiciones (OMA-1, OMA-2, OMA-3), se ha logrado establecer las condiciones o señales meteorológicas que permiten detectar la ocurrencia de nieblas con anticipación en el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez.

c. Beneficio obtenido por el centro laboral

La tecnología, la información e interacción y las actividades que se realizan en el centro laboral incrementa el beneficio de aprendizaje y experiencia para la toma de decisiones y estrategias frente a las situaciones problemáticas. Esto nos permite a seguir contribuyendo afín de generar mayor información.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de los datos provenientes del METAR para la identificación de nieblas durante el año 2021.

De acuerdo a la Tabla 1, solo ocurrieron nieblas el 25 de abril y el 05 de mayo. Se tuvo mayor presencia de neblinas en días y horas. En la Tabla 2, para el primer día, la duración de la niebla fue de aproximadamente 02 horas y para el segundo día fue aproximadamente 03 horas.

Tabla 1. Información de visibilidad (m) mínima año 2021. Visibilidad mínima de 24 horas en el aeropuerto internacional Jorge Chávez. Periodo 2021. Nieblas; color rojo y Neblinas; color negro

DÍA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1	7000	9999	9999	8000	5000	7000	7000	8000	7000	4000	6000	9999
2	5000	9999	6000	7000	8000	7000	6000	7000	2000	5000	5000	9999
3	9000	9999	9999	8000	5000	8000	6000	8000	6000	7000	7000	2700
4	7000	7000	9999	9999	2000	5000	5000	7000	8000	6000	6000	8000
5	7000	9999	7000	9999	900	5000	8000	8000	6000	7000	7000	8000
6	8000	9999	6000	8000	6000	6000	7000	8000	8000	9999	5000	7000
7	8000	9000	9999	9999	8000	5000	5000	9000	7000	7000	7000	9999
8	5000	7000	9999	6000	5000	3000	7000	9000	6000	6000	9999	8000
9	8000	9999	9999	7000	1500	4000	4000	7000	7000	6000	8000	9999
10	9999	9999	9000	9999	1500	6000	4000	7000	5000	3500	7000	8000
11	9000	9999	7000	9999	7000	6000	3000	5000	5000	7000	8000	9999
12	8000	9999	9999	9999	3000	6000	2500	5000	5000	7000	6000	8000
13	9999	9999	9999	9000	6000	8000	4000	9000	7000	7000	7000	7000
14	7000	9999	9000	5000	2000	5000	7000	8000	3000	6000	8000	5000
15	8000	9999	9999	8000	3000	3500	8000	3000	4000	8000	8000	8000
16	6000	9999	9999	7000	2000	9999	3000	4000	5000	4500	8000	9000
17	9999	9999	9999	4000	1200	6000	6000	6000	4000	5000	7000	4500
18	6000	9000	9999	5000	3000	6000	6000	4000	3000	5000	7000	3000
19	8000	3500	9999	9999	4000	9999	6000	5000	8000	6000	8000	9999
20	6000	2000	8000	7000	1700	7000	2500	6000	5000	7000	8000	6000
21	8000	9999	9999	1500	6000	6000	5000	5000	7000	7000	9999	9000
22	9999	8000	9999	3000	8000	7000	5000	7000	7000	6000	4500	6000
23	3000	9999	9999	4000	9999	9999	7000	4000	4000	7000	8000	3000
24	4000	9999	9000	5000	9000	9999	6000	5000	3000	4000	7000	9999
25	9999	7000	9999	800	4000	6000	7000	4000	8000	5000	6000	9999
26	9999	9999	9999	3000	2000	7000	7000	6000	7000	3000	6000	9999
27	9999	9999	9999	9999	1200	6000	5000	5000	4000	9999	6000	9999
28	9999	6000	9999	3000	3000	5000	5000	3000	2500	5000	6000	9999
29	9000		9999	1400	6000	5000	7000	1400	3500	7000	9999	9999
30	9999		9999	4000	6000	5000	6000	5000		6000	9999	8000
31	9999		9999		8000		7000	5000		6000		9999
Min	3000	2000	6000	800	900	3000	2500	1400	2000	3000	4500	2700
Niebla	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Nebli.	4	2	0	11	18	10	13	15	15	10	3	5

Tabla 2. Días y horas con ocurrencia de nieblas.
Período de presencia de nieblas

MES	DÍA	DURACIÓN	
		INICIO	FIN
ABR	25	12Z	13Z
MAY	5	11Z	13Z

4.2. Análisis de las condiciones atmosféricas en niveles de superficie y altura que permita describir las condiciones meteorológicas asociadas a la formación de nieblas.

4.2.1. Condiciones atmosféricas en superficie.

4.2.1.1 Viento horizontal a 10 m y Presión a Nivel Medio del Mar.

De acuerdo a las figuras 1, 2, 3, 4, 5 y 6; el 02 y 03 de mayo se observa un sistema de alta presión dividido por uno de baja presión, dejando una alta al norte ubicada alrededor 18°S y 78°W con valor de 1017 hPa; mientras que la otra alta se ubica al oeste con 45°S y 98°S con valor de 1023 hPa.; mientras que al frente del litoral, entre Ica y Lima el viento presento una velocidad de 5 a 15 kt. El día 04, la alta presión ubicada más al sur avanza e invade al continente con un alta migratoria; mientras la que se ubica en el océano Pacífico Oriental Sur incrementa su valor significativamente hasta 1029 hPa. dejando hacia el norte entre ambas altas y cerca de la cordillera la baja presión; configurándose para el día 05, un canal (vaguada invertida) aumentando el gradiente de presión en dicho sector; mientras que hacia el norte el gradiente es casi nulo. Además, para el día 04, frente al litoral de Ica hasta la Libertad, la velocidad del viento se incrementa alcanzando valores de 15 a 20 kt.; en tanto que para el día del evento (día 05), este incremento se observó desde el litoral de Arequipa hasta Lima. Para los siguientes días la intensidad de la Alta del Pacífico disminuye significativamente alcanzando un valor de 1023 hPa.

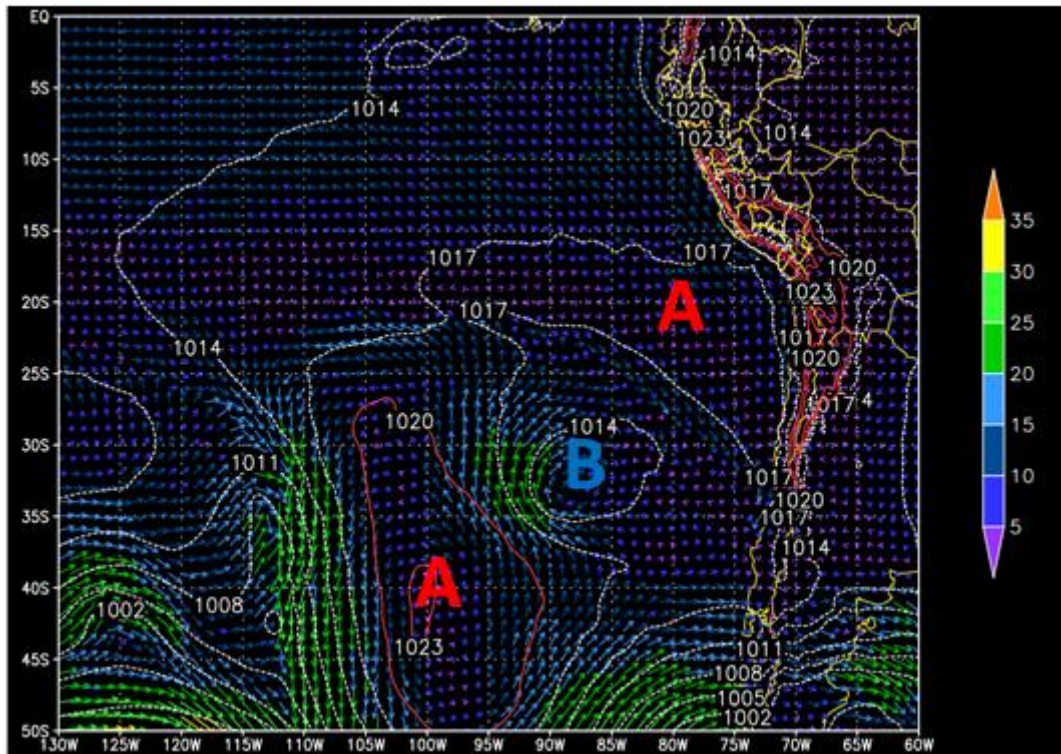


Figura 1. Vector Viento a 10m (kt) y Presión a Nivel Medio del Mar (hPa)
Del 02 05 2021/12z. Modelo ERA5

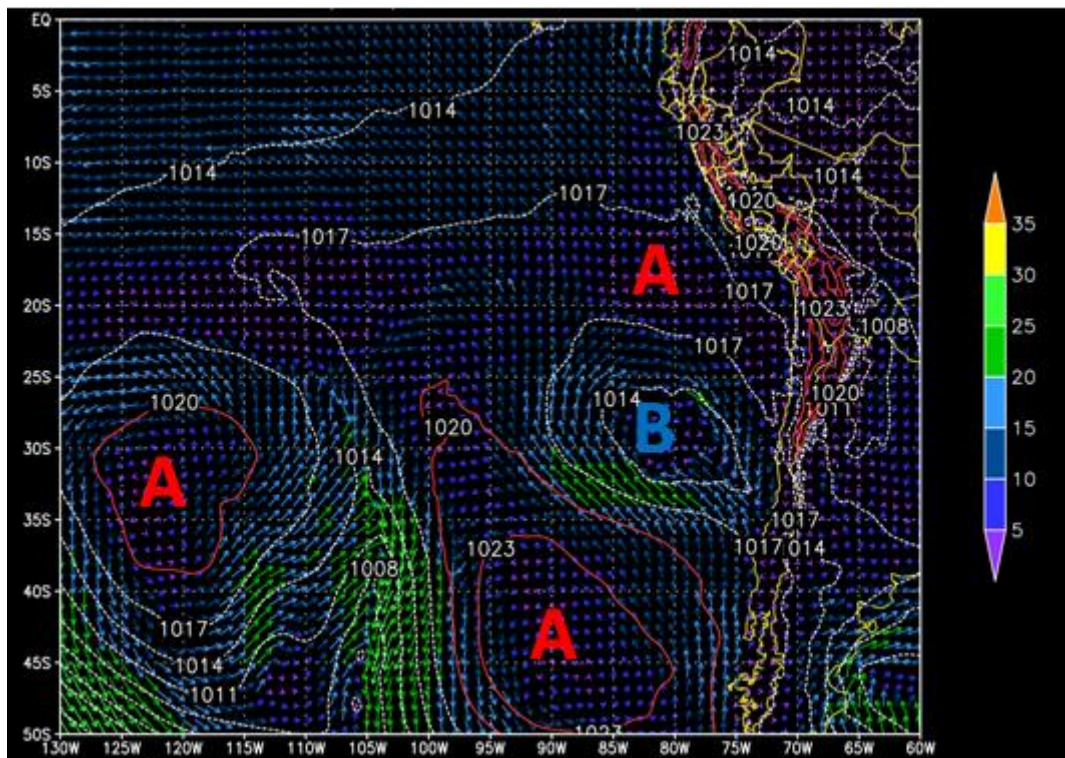


Figura 2. Vector Viento a 10m (kt) y Presión a Nivel Medio del Mar (hPa)
Del 03 05 2021/12z. Modelo ERA5

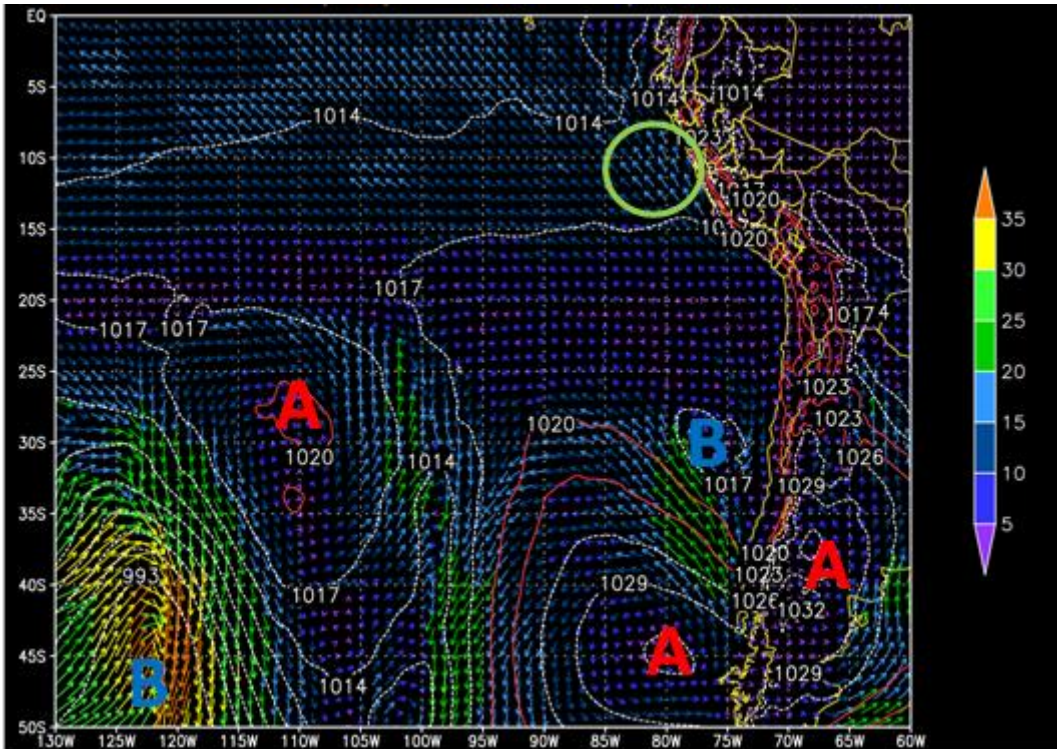


Figura 3. Vector Viento a 10m (kt) y Presión a Nivel Medio del Mar (hPa)
Del 04 05 2021/12z. Modelo ERA5

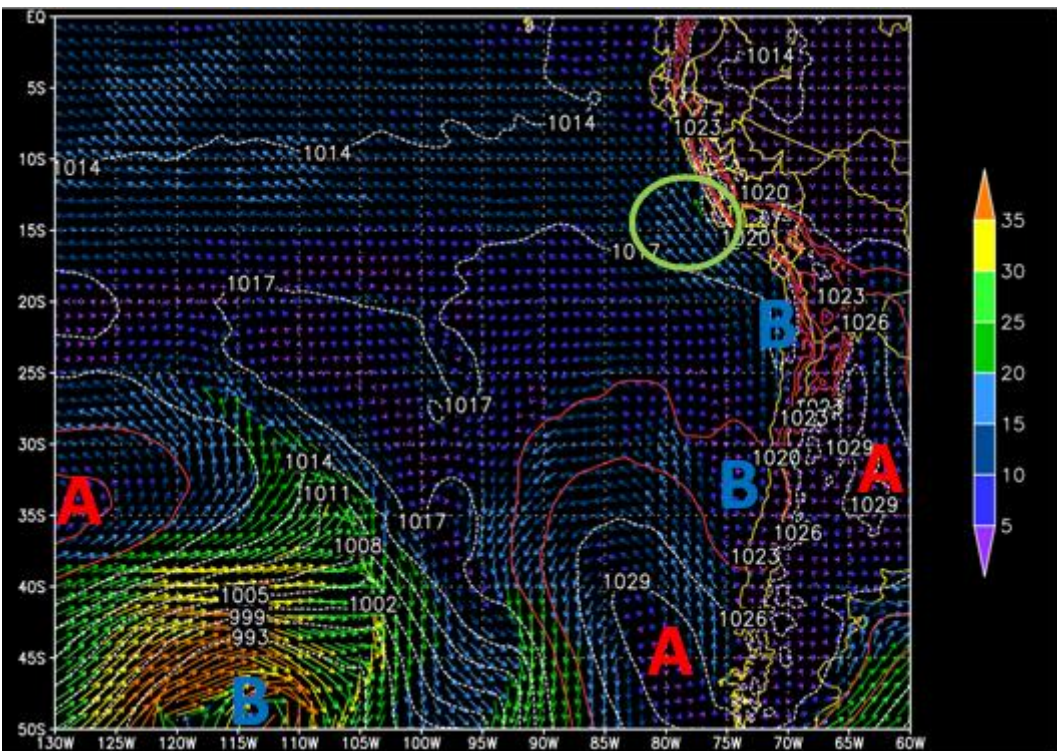


Figura 4. Vector Viento a 10m (kt) y Presión a Nivel Medio del Mar (hPa)
Del 05 05 2021/12z. Modelo ERA5

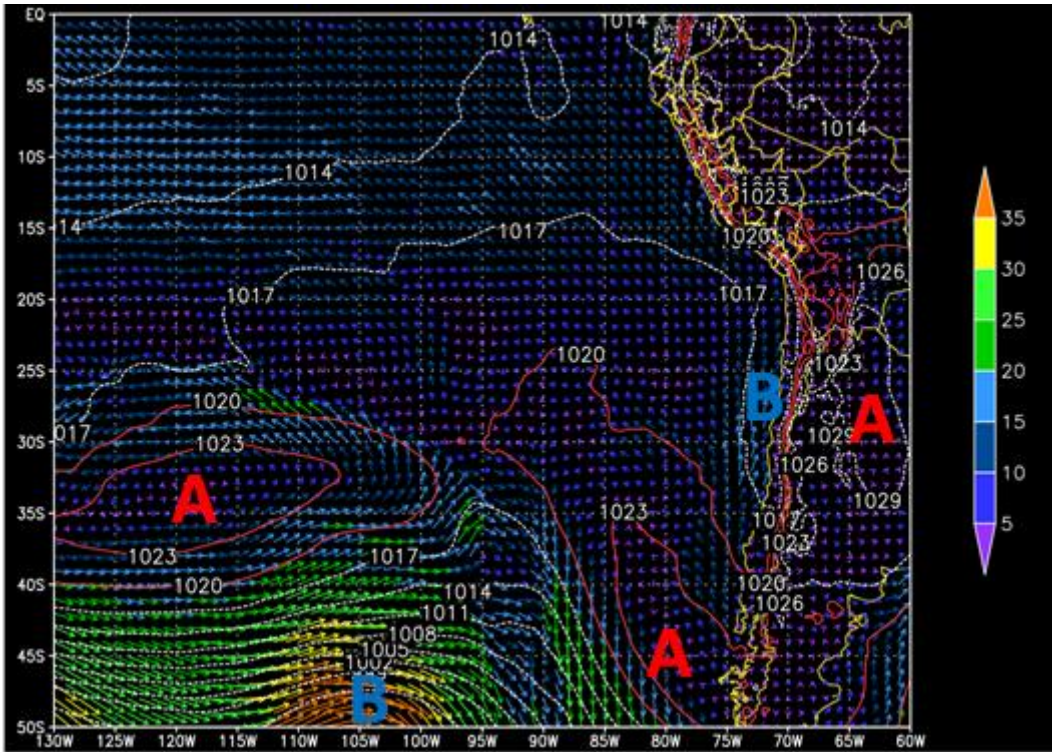


Figura 5. Vector Viento a 10m (kt) y Presión a Nivel Medio del Mar (hPa)
Del 06 05 2021/12z. Modelo ERA5

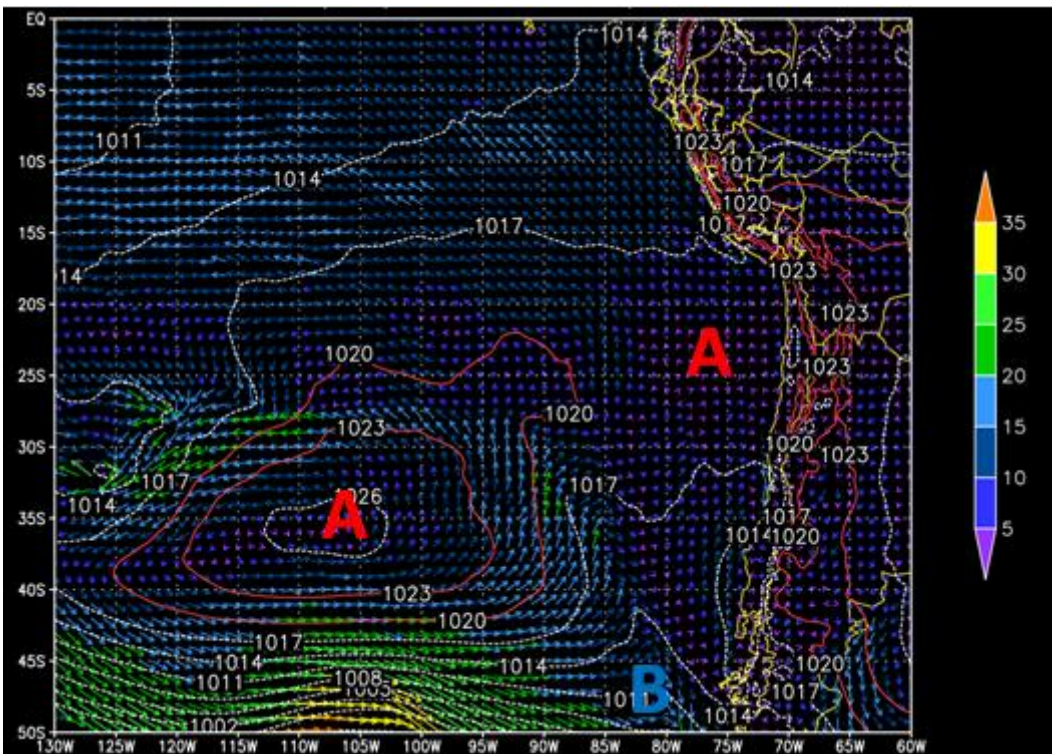


Figura 6. Vector Viento a 10m (kt) y Presión a Nivel Medio del Mar (hPa)
Del 07 05 2021/12z. Modelo ERA5

4.4.2. Condiciones atmosféricas en altura de las variables meteorológica. Altura geopotencial (mgs), líneas de corriente y magnitud del viento (Kt). Humedad específica (g/Kg) en 850 hPa.

4.4.2.1. A 200 hPa.

Al observar las figuras 7, 8, 9, 10, 11 y 12 notamos la presencia de vaguadas dorsales con ejes inclinados y muy amplificadas; además están acompañadas de un jet stream. Para el día del evento (05 de mayo), tanto los ejes de la vaguada y la cuña ubicadas cerca de la cordillera de los Andes de Chile son netamente meridionales. La parte trasera de la vaguada, próxima a la cordillera cumple la función de canalizar la incursión de masas de aire frío hacia bajas latitudes. Posteriormente los ejes de dichos sistemas se inclinan. Sobre la parte tropical a partir del 03 al 06 de mayo se tuvo la presencia de dos sistemas de circulación de alta (C-A); una sobre el continente y otra sobre el océano. La que se ubicó en el océano avanzo de 130°W a 110°W, de tal forma que para el día del evento ese acercamiento dio origen al incremento de vientos frente al Perú en dirección paralela al litoral. Además; Para todo el periodo sobre nuestro país y sobre el océano Pacífico se tuvieron más presencia de confluencias por velocidad y dirección.

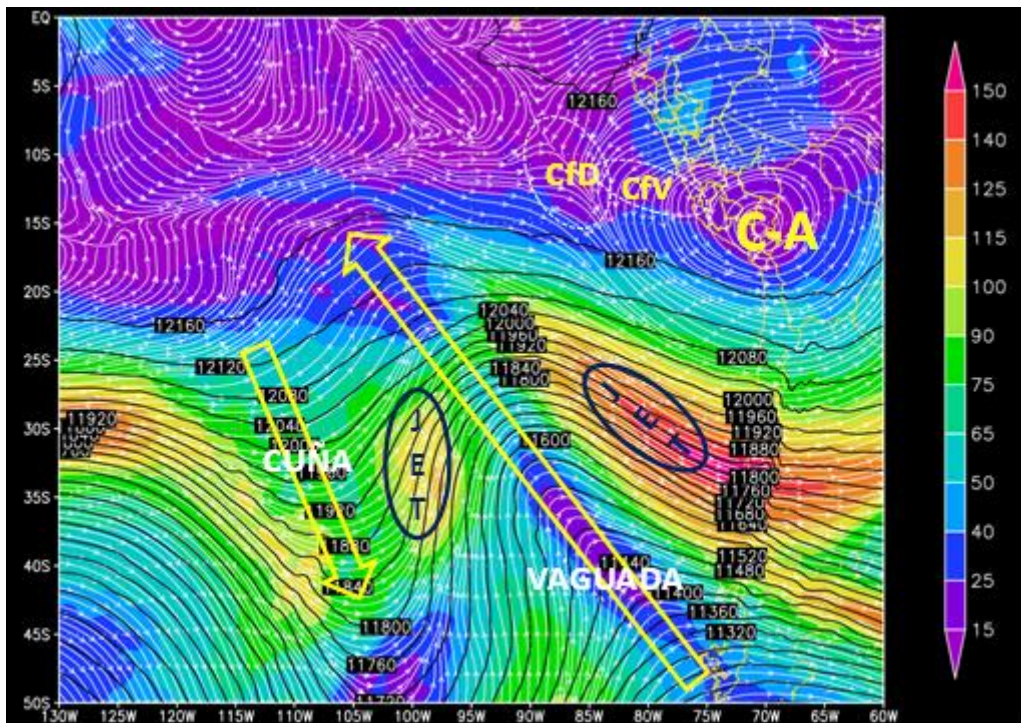


Figura 7. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (mgs) a 200 hPa. Del 02 05 2021/12z. Modelo ERA5

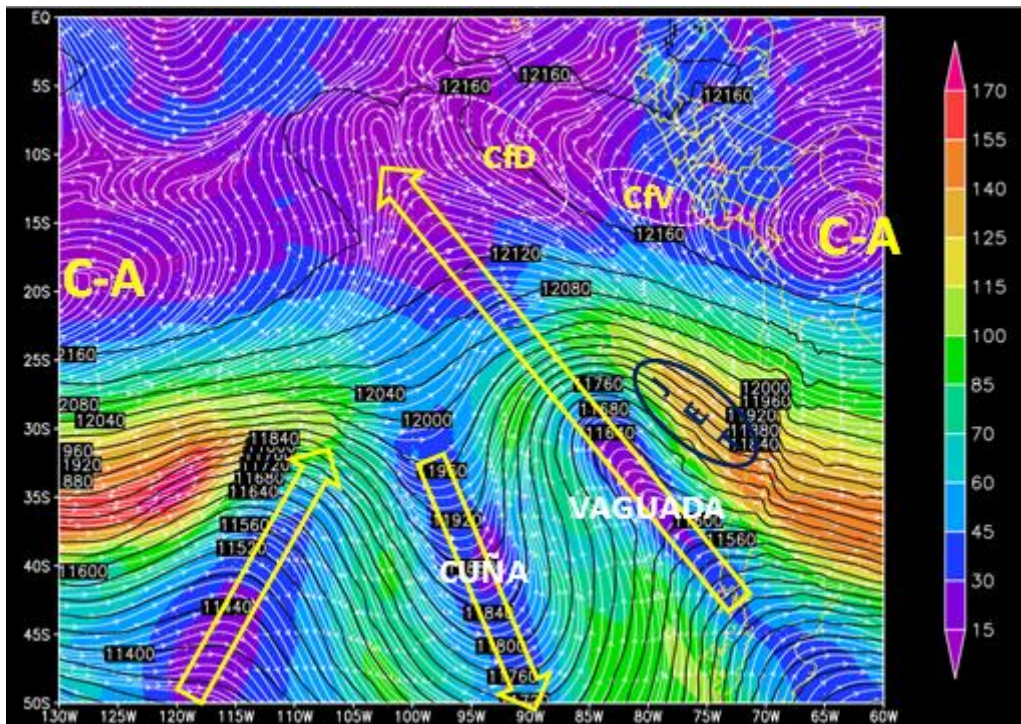


Figura 8. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (mgp) a 200 hPa. Del 03 05 2021/12z. Modelo ERA5

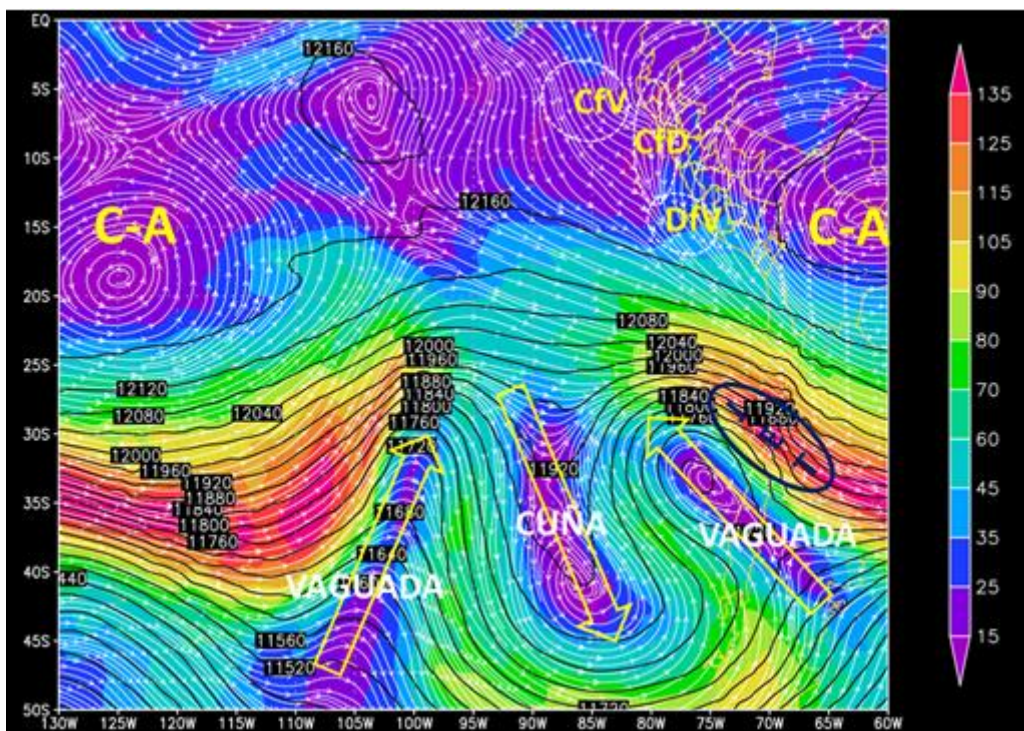


Figura 9. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (mgp) a 200 hPa. Del 04 05 2021/12z. Modelo ERA5

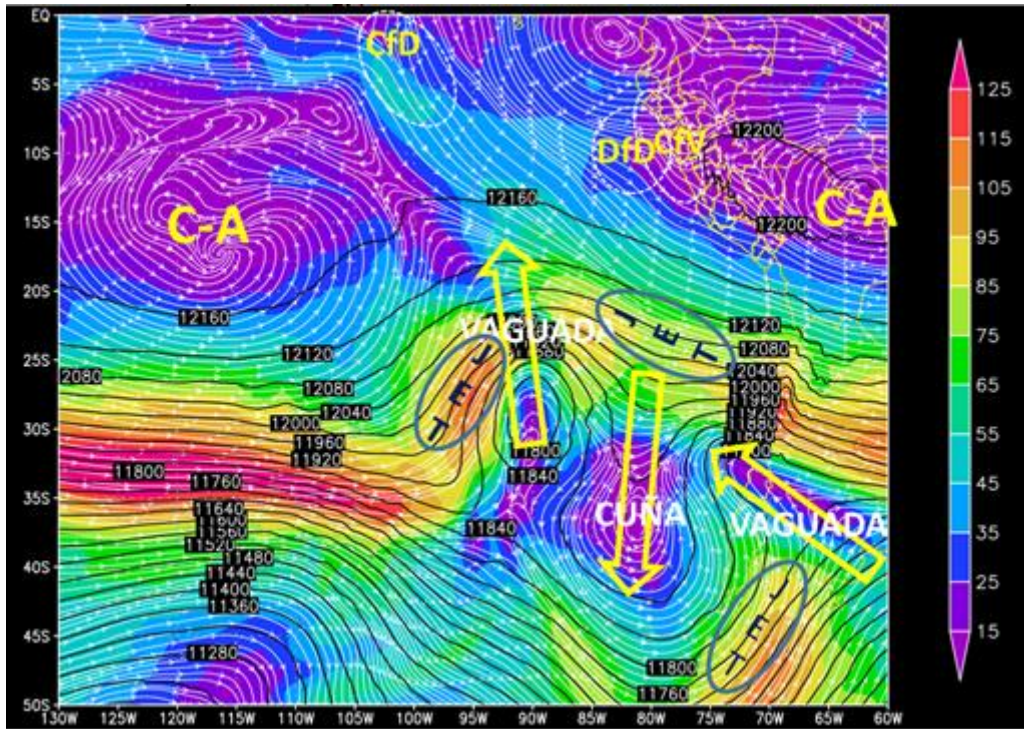


Figura 10. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (mcp) a 200 hPa. Del 05 05 2021/12z. Modelo ERA5

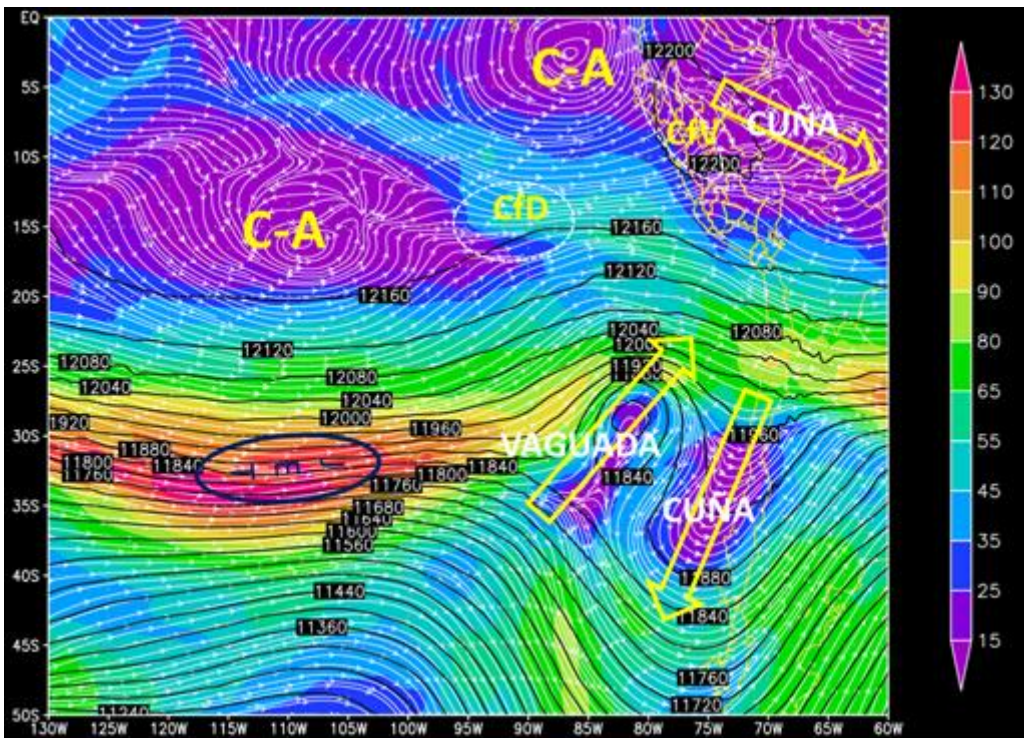


Figura 11. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (mcp) a 200 hPa. Del 06 05 2021/12z. Modelo ERA5

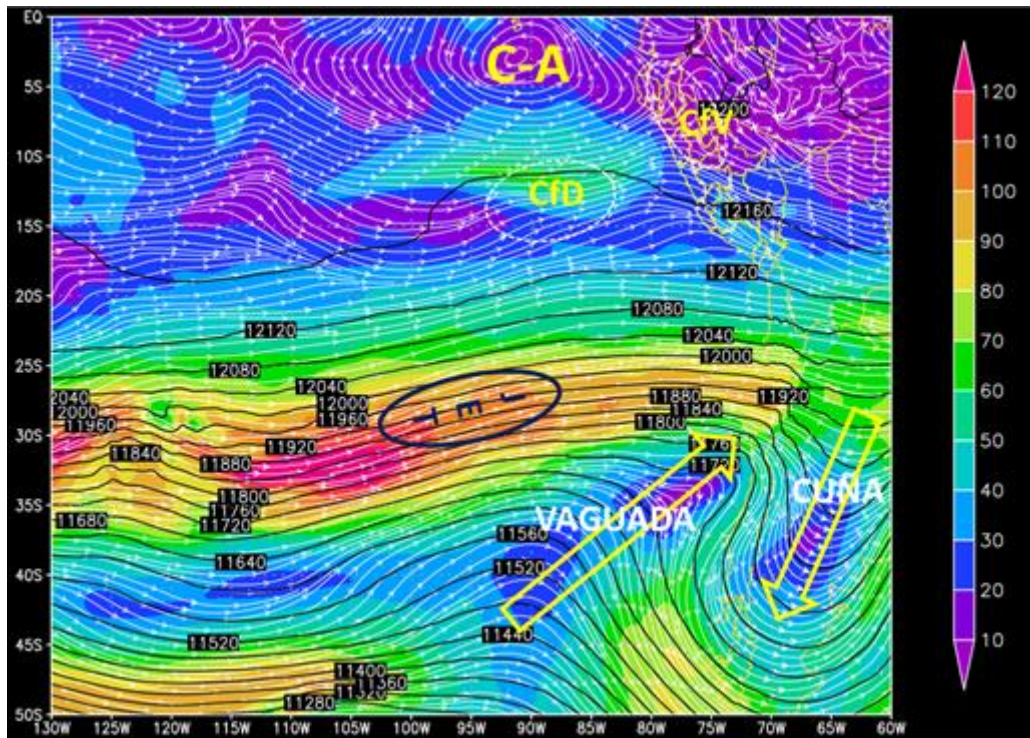


Figura 12. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (mvp) a 200 hPa. Del 07 05 2021/12z. Modelo ERA5

4.4.2.2. A 500 hpa.

Se observa en las figuras 13, 14, 15, 16, 17 y 18 el reflejo de lo que ocurre en la alta atmosfera. Las vaguadas y dorsales continúan muy amplificadas con ejes inclinados y acompañados de velocidad del viento entre 50 a 80 kt. Además, para el día del evento, la cuña y la vaguada se hacen meridionales que ayudando a canalizar el flujo de aire frío hacia el norte paralelo a la cordillera.

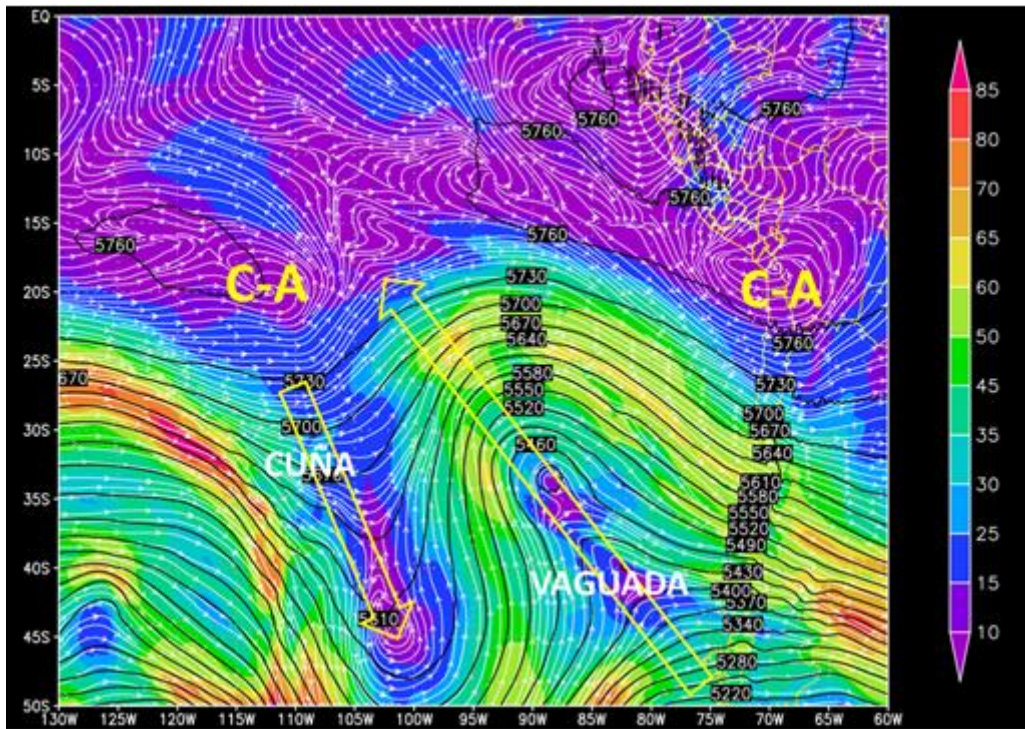


Figura 13. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (mgp) a 500 hPa. Del 02 05 2021/12z. Modelo ERA5

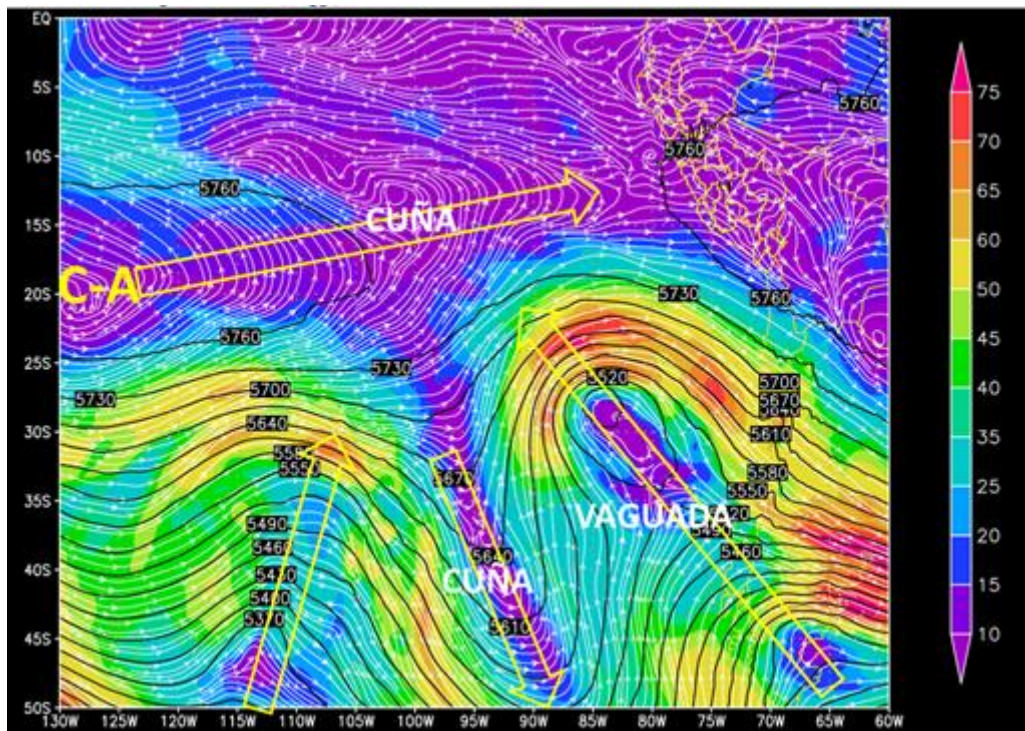


Figura 14. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (mgp) a 500 hPa. Del 03 05 2021/12z. Modelo ERA5

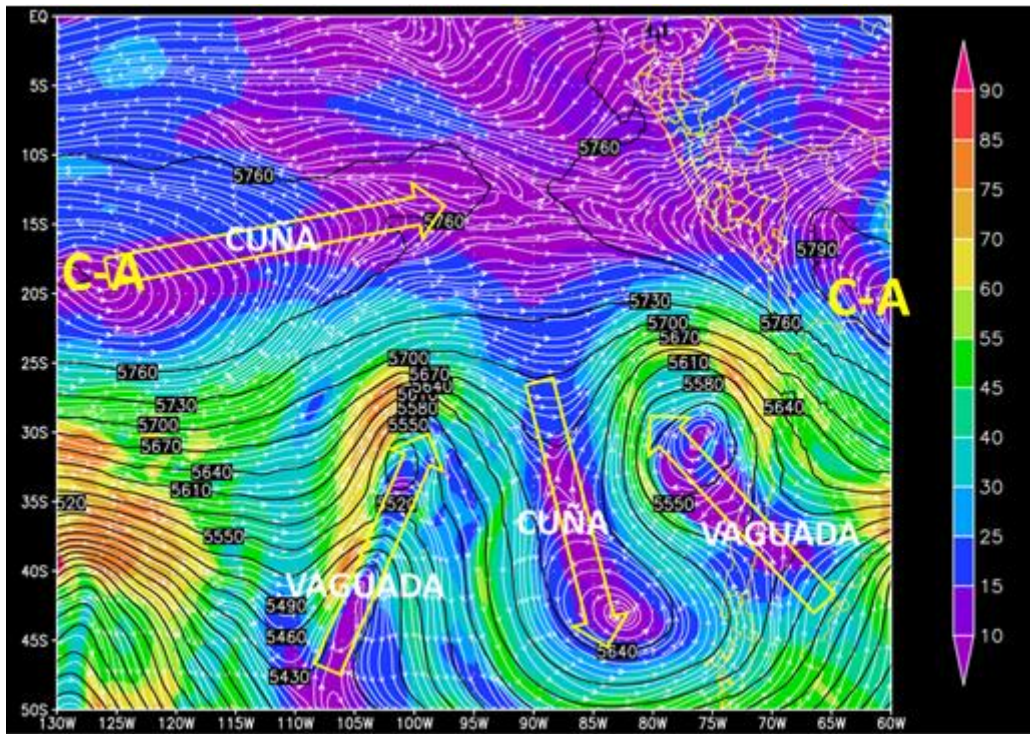


Figura 15. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (mcp) a 500 hPa. Del 04 05 2021/12z. Modelo ERA5

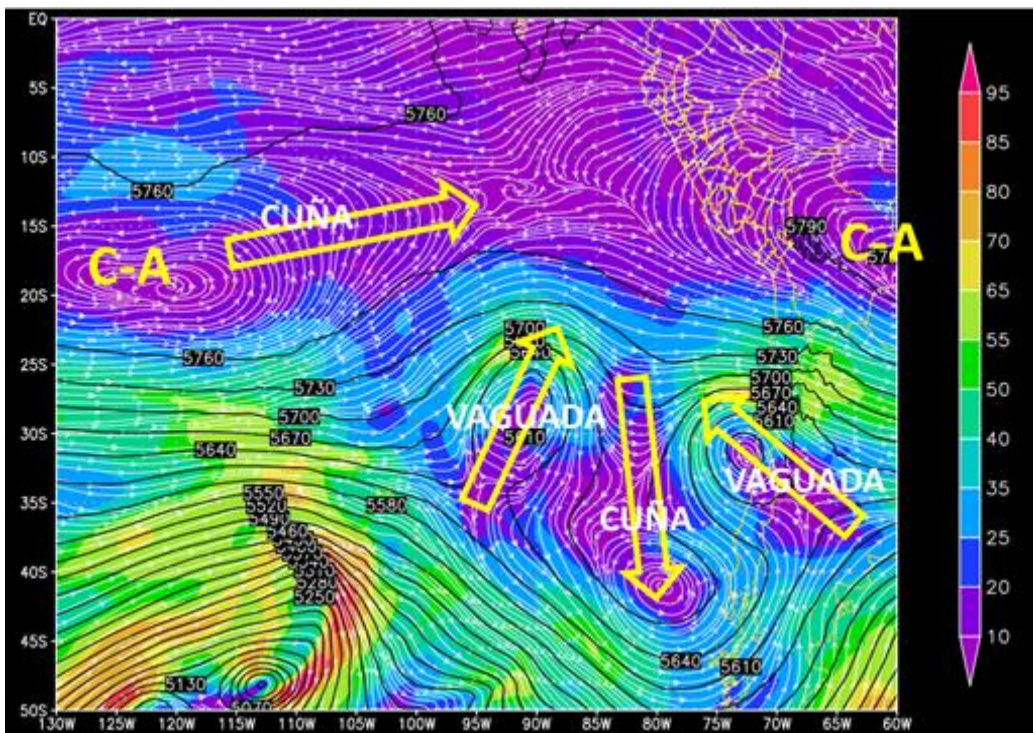


Figura 16. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (mcp) a 500 hPa. Del 05 05 2021/12z. Modelo ERA5

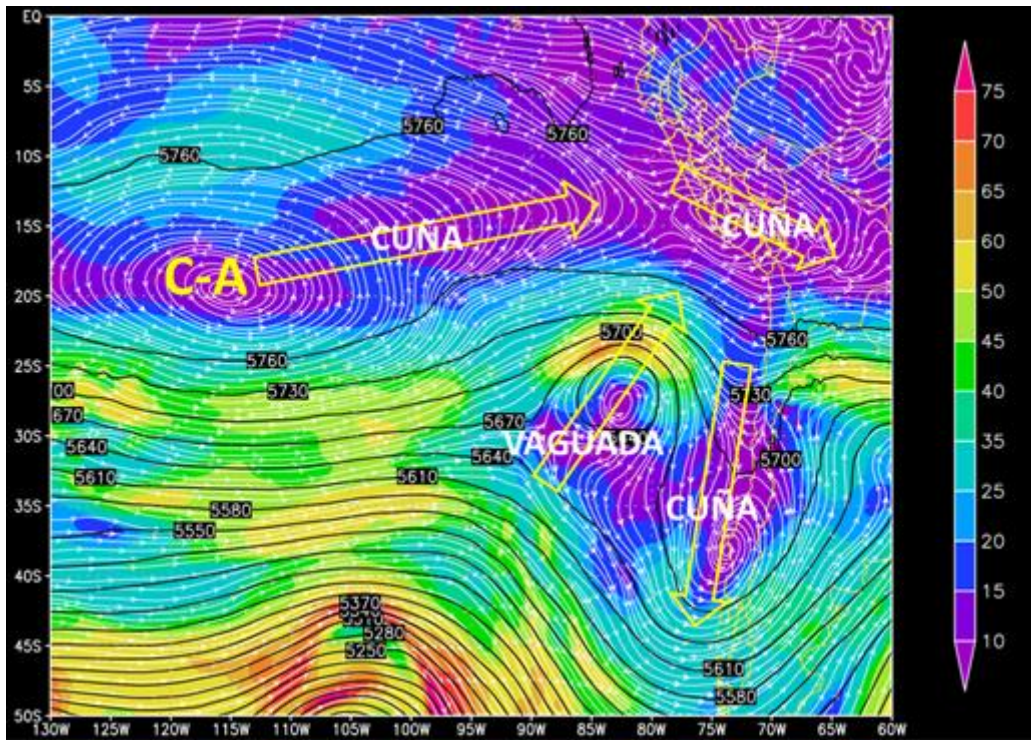


Figura 17. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (mgp) a 500 hPa. Del 06 05 2021/12z. Modelo ERA5

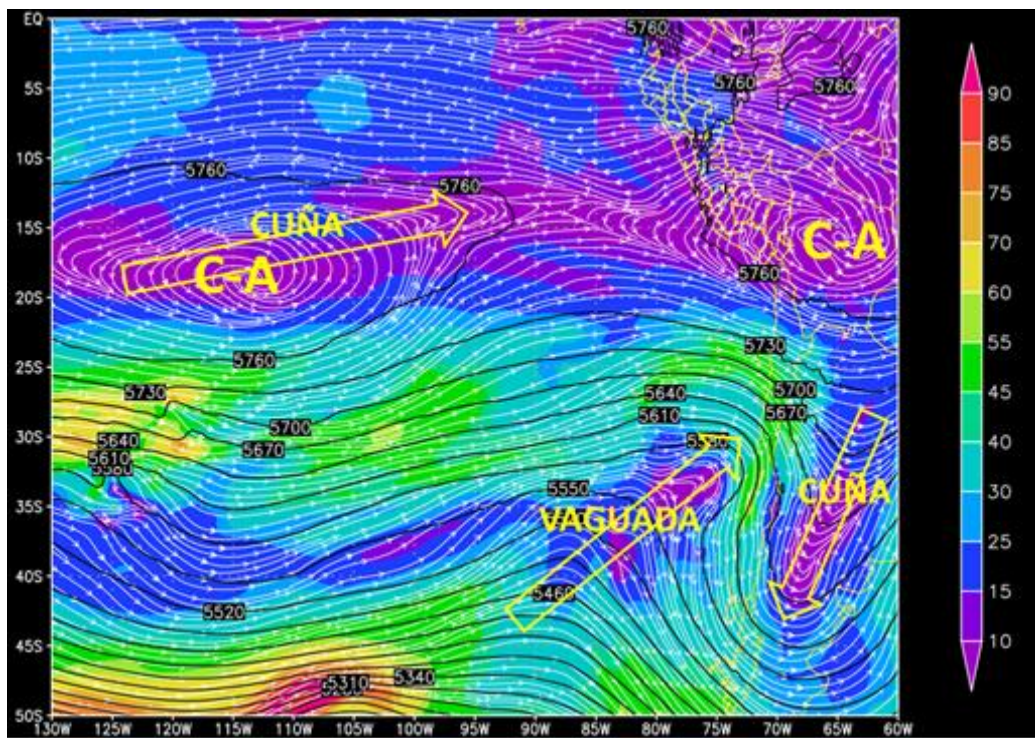


Figura 18. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (mgp) a 500 hPa. Del 07 05 2021/12z. Modelo ERA5

4.4.2.3. A 850 hpa.

Se observa en las figuras 19, 20, 21, 22, 23 y 24 que las vaguadas dorsales continúan siendo similares a los niveles medios y altos de la atmósfera. Esto indica que el sistema que dio origen al mal tiempo en el aeropuerto Int. Jorge Chávez tuvo una gran profundidad en la altura, advectando en niveles bajos masa de aire frío y seco; tal como se aprecia en las figuras 25, 26, 27, 28, 29 y 30, sobre la humedad específica a niveles de 850 hPa.

Las condiciones meteorológicas para el día del evento de nieblas; se aprecia claramente en la Figura 22, circulaciones de bajas (C-B) y altas (C-A) a lo largo de la paralela de la cordillera. Al frente de Lima se formó una circulación de alta, favoreciendo la subsidencia. Además, en la Figura 28, el flujo del viento es netamente del sur impulsando el ingreso de masa de aire seco.

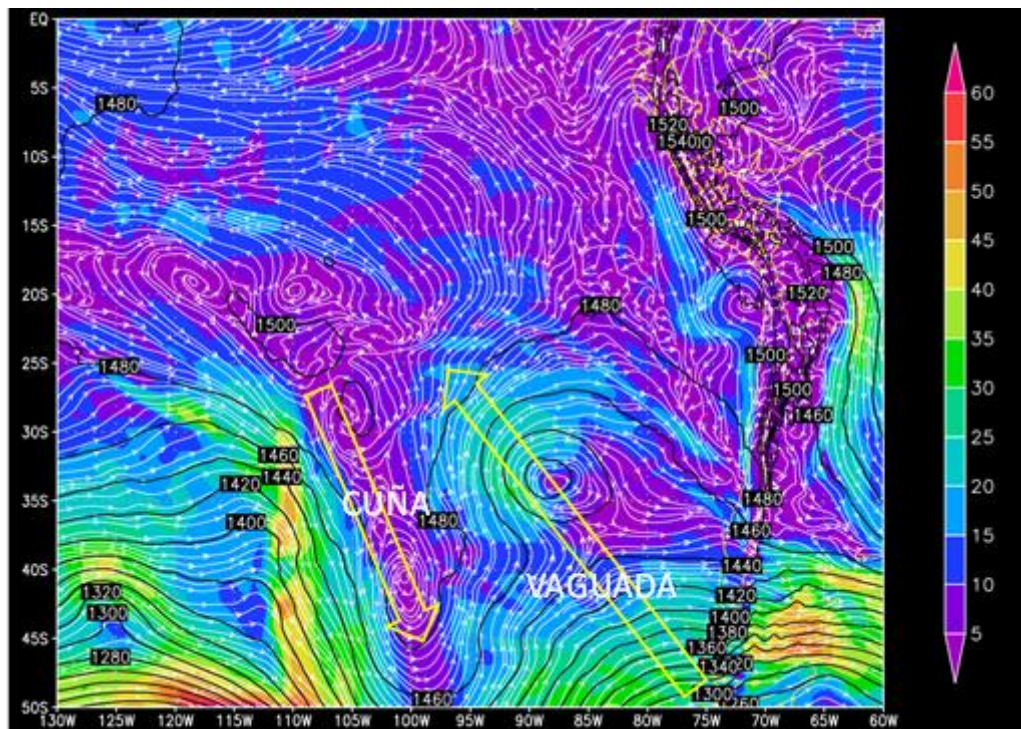


Figura 19. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (m) a 850 hPa. Del 02 05 2021/12z. Modelo ERA5

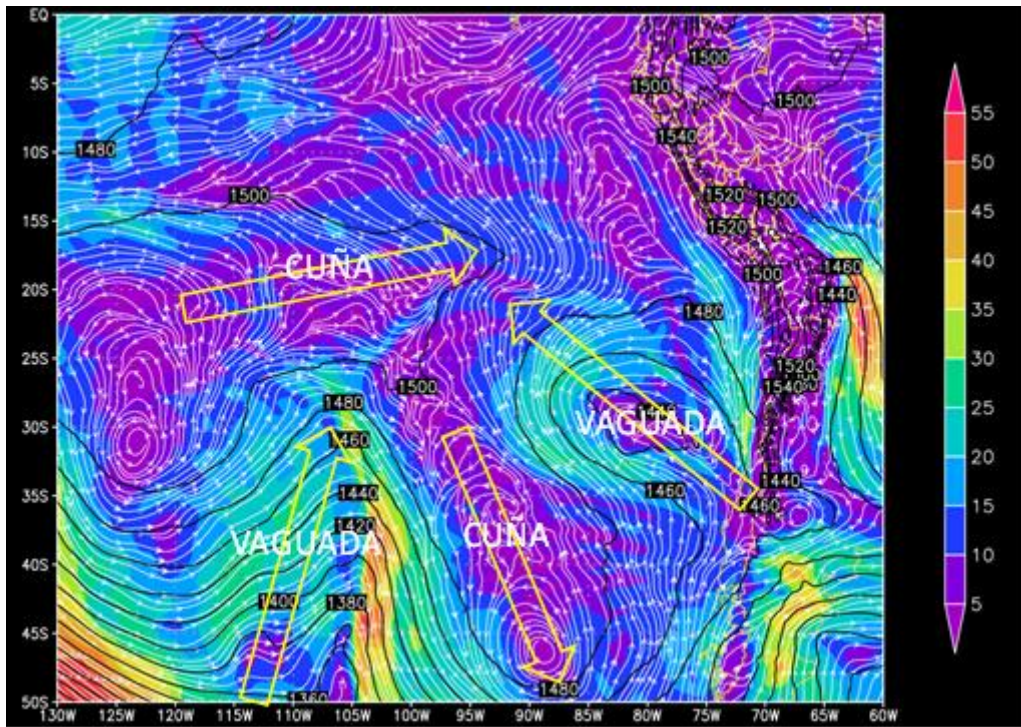


Figura 20. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (m_gp) a 850 hPa. Del 03 05 2021/12z. Modelo ERA5

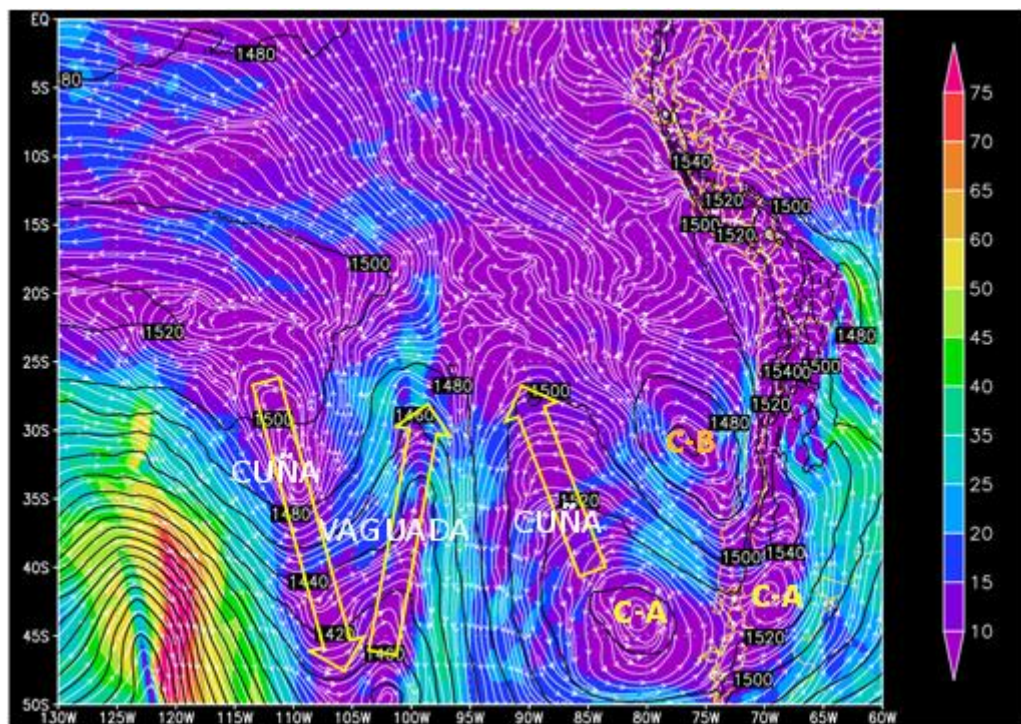


Figura 21. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (m_gp) a 850 hPa. Del 04 05 2021/12z. Modelo ERA5

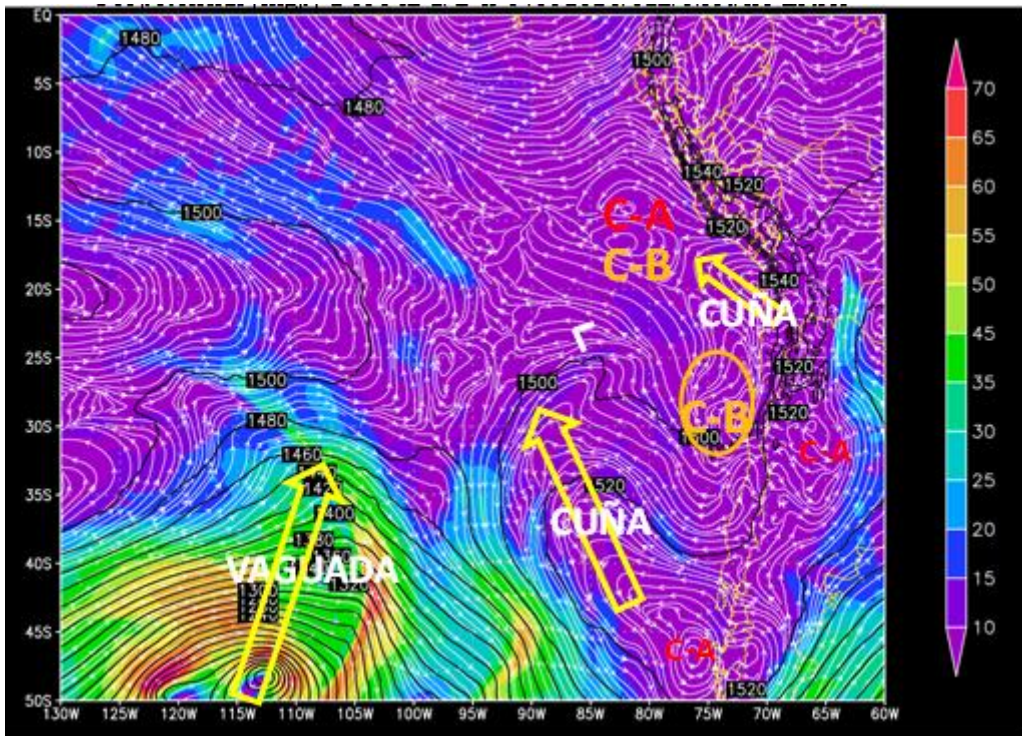


Figura 22. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (mgn) a 850 hPa. Del 05 05 2021/12z. Modelo ERA5

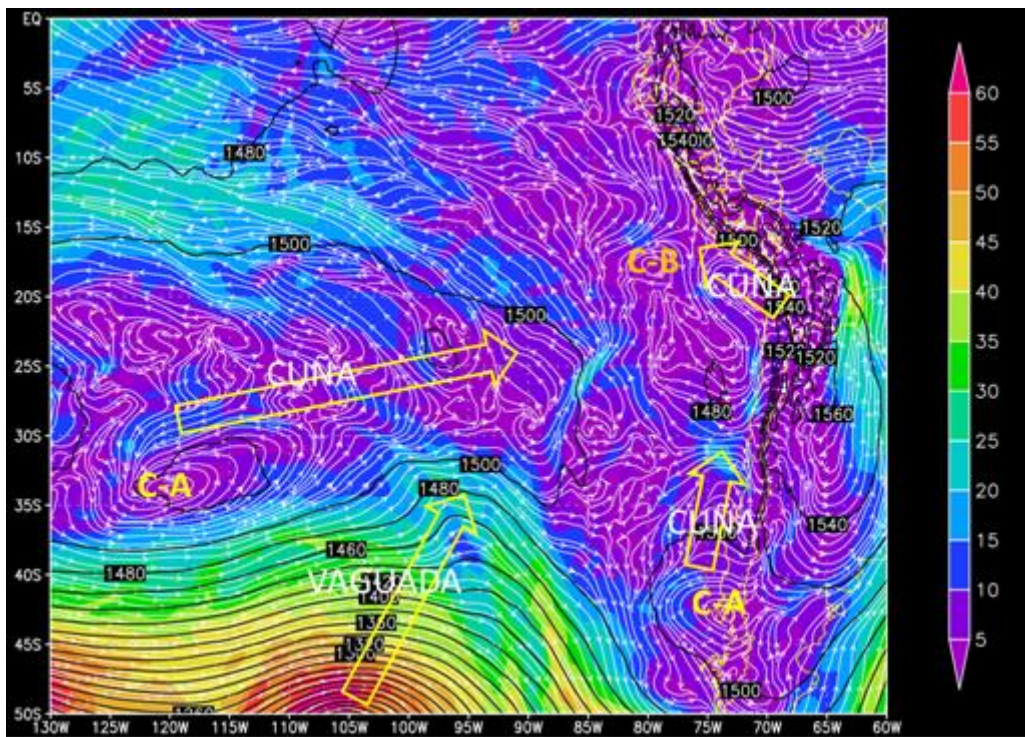


Figura 23. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (mgn) a 850 hPa. Del 06 05 2021/12z. Modelo ERA5

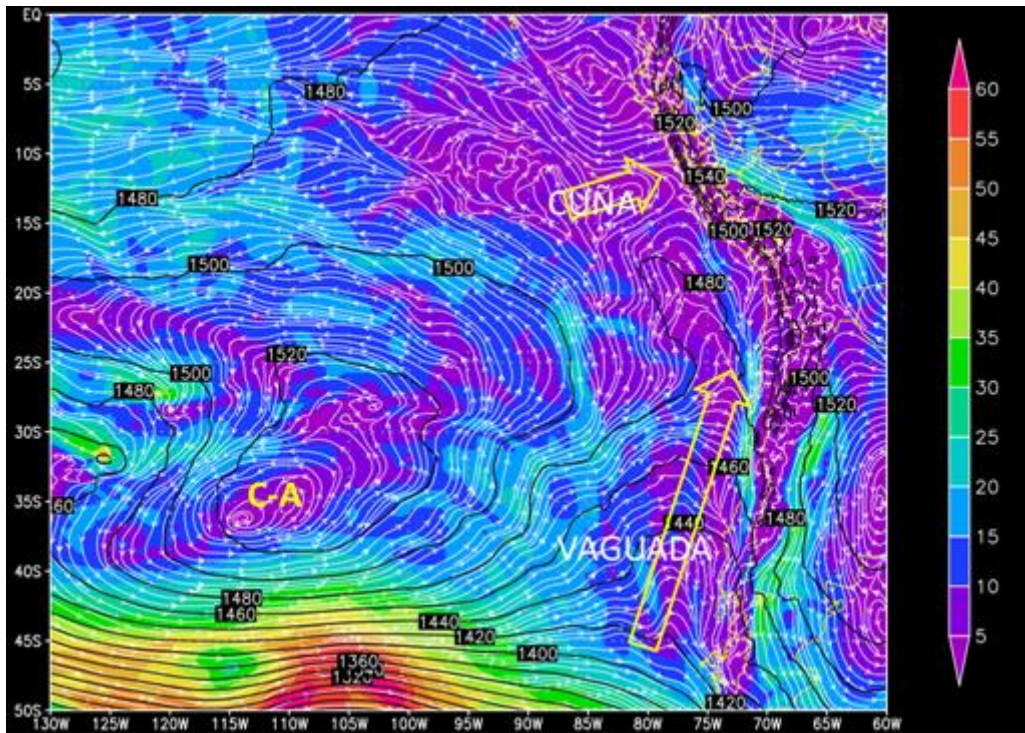


Figura 24. Líneas de corriente y magnitud del viento (kt) y Altura Geopotencial (mgp) a 850 hPa. Del 07 05 2021/12z. Modelo ERA5

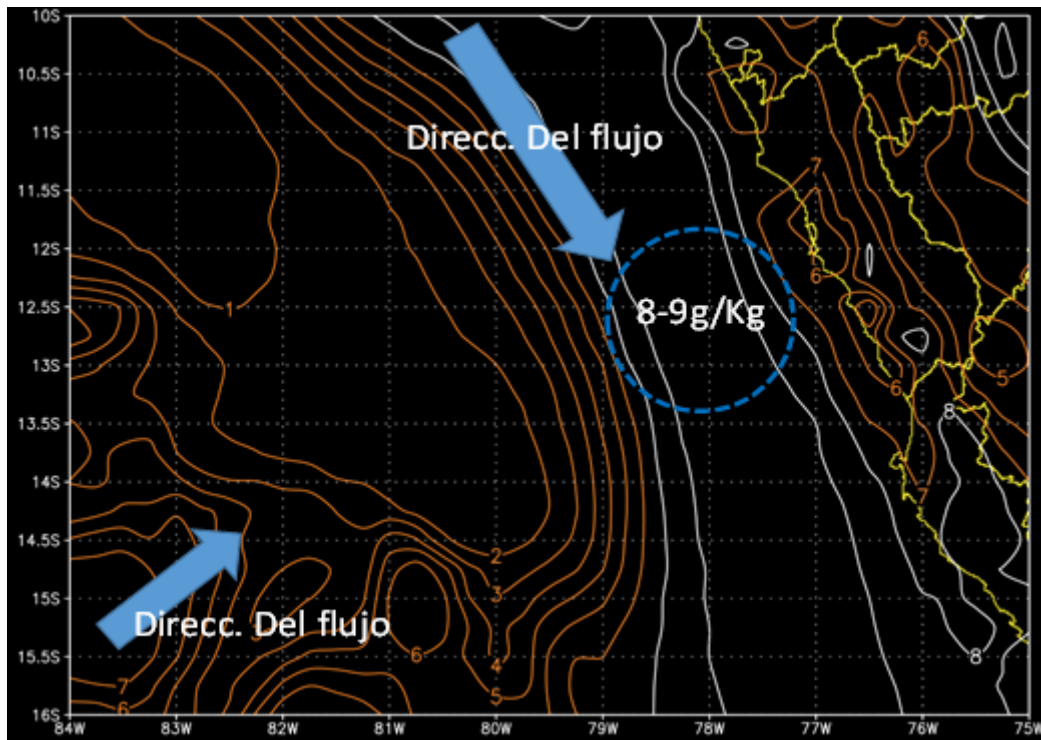


Figura 25. Humedad Específica (g/Kg) a 850 hPa. Del 02 05 2021/12z. Modelo ERA5

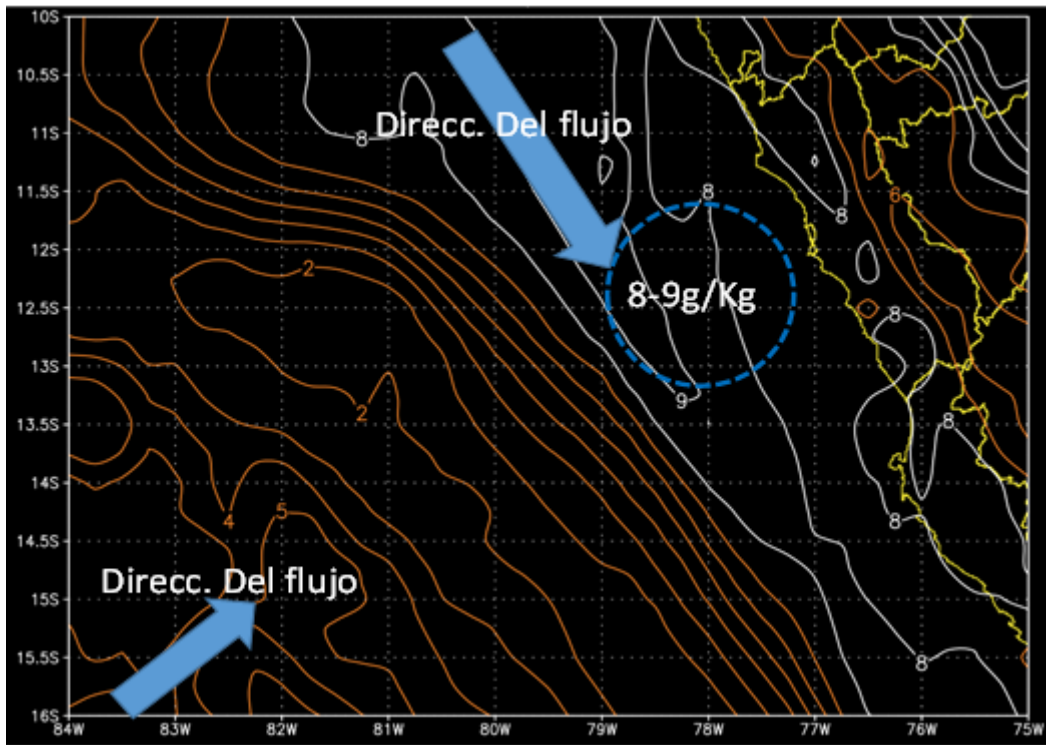


Figura 26. Humedad Específica (g/Kg) a 850 hPa. Del 03 05 2021/12z. Modelo ERA5

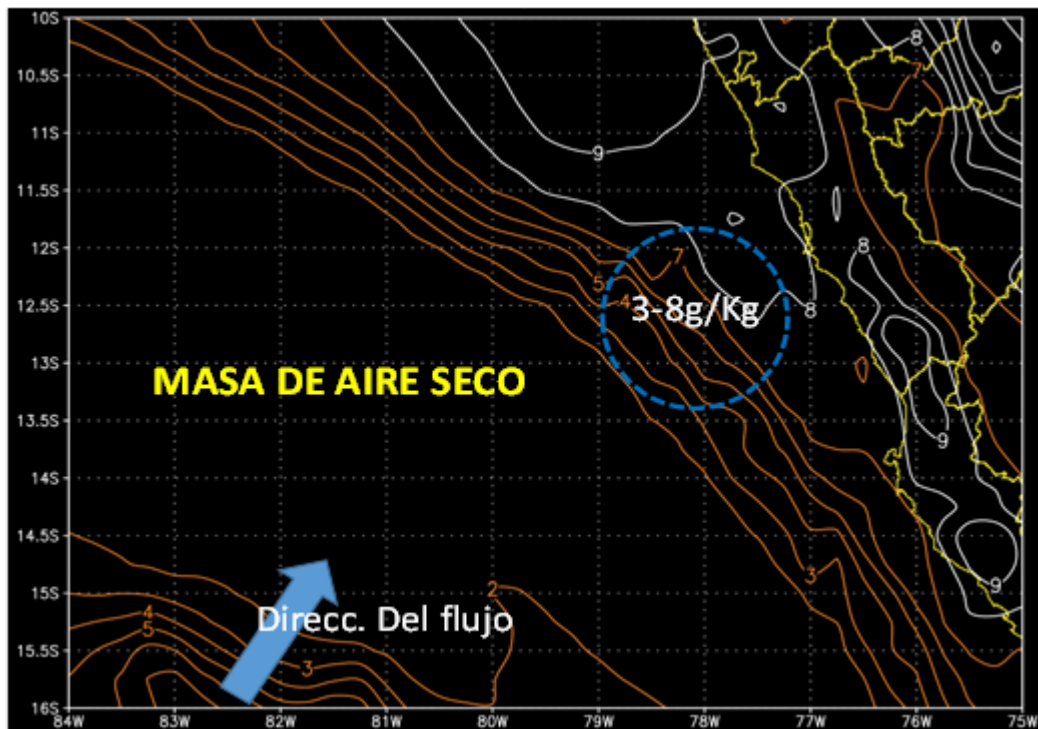


Figura 27. Humedad Específica (g/Kg) a 850 hPa. Del 04 05 2021/12z. Modelo ERA5

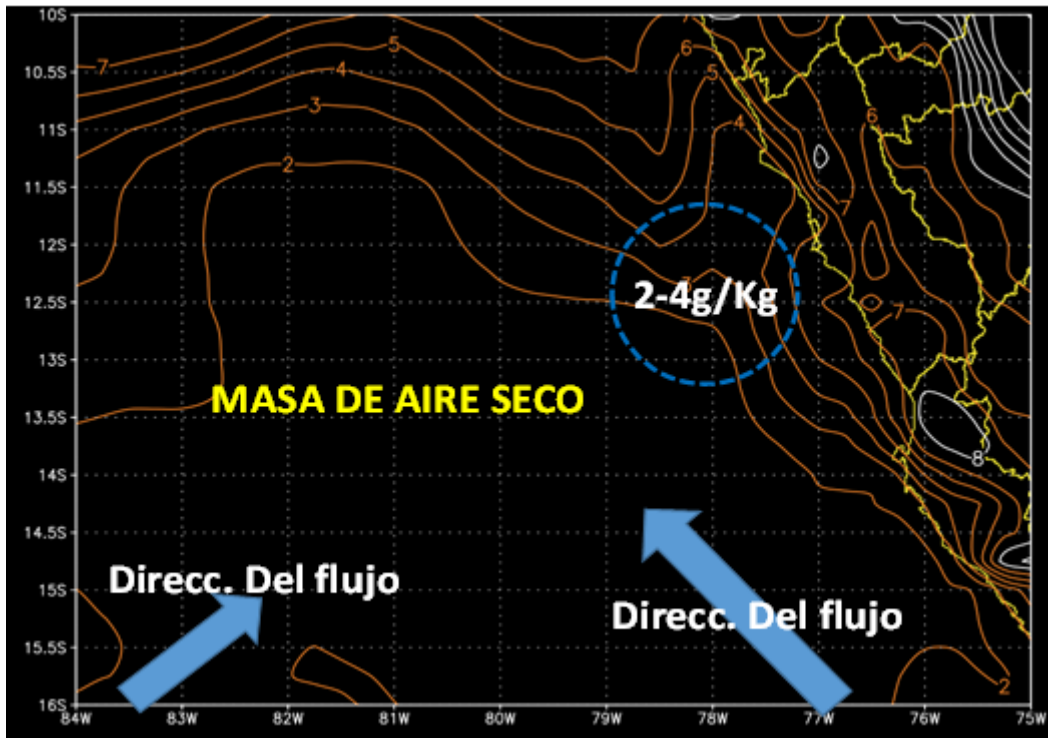


Figura 28. Humedad Específica (g/Kg) a 850 hPa. Del 05 05 2021/12z. Modelo ERA5

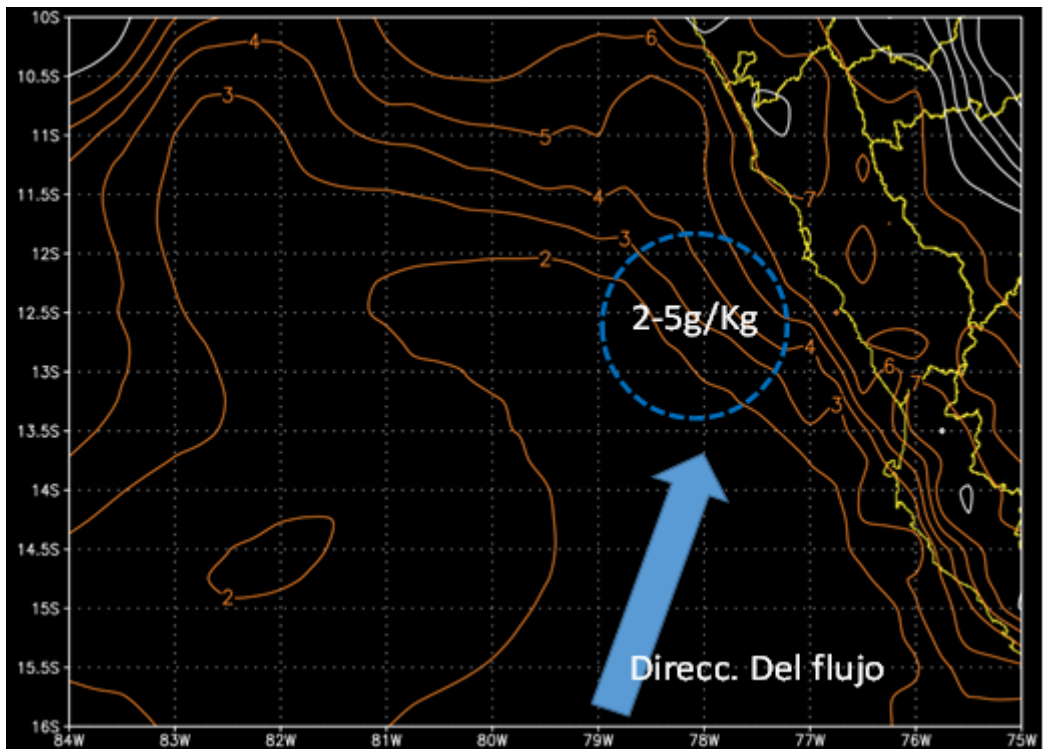


Figura 29. Humedad Específica (g/Kg) a 850 hPa. Del 06 05 2021/12z. Modelo ERA5

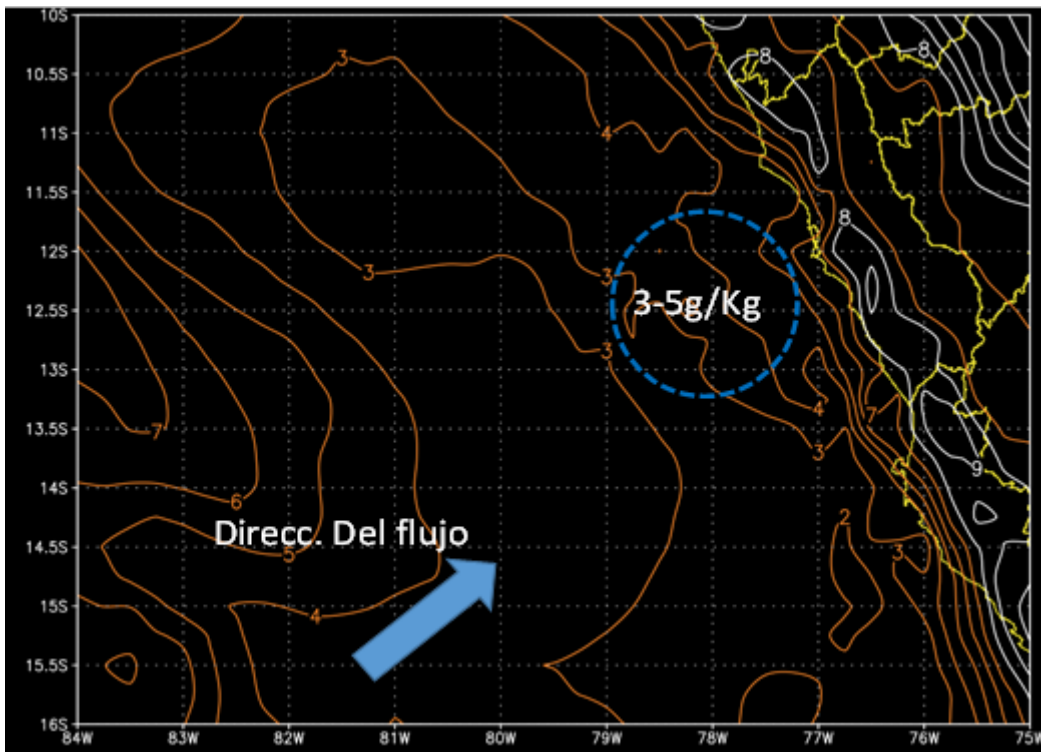


Figura 30. Humedad Específica (g/Kg) a 850 hPa. Del 07 05 2021/12z. Modelo ERA5

4.4.2.4. Condiciones atmosféricas en la vertical del continente y del océano. Temperatura potencial equivalente (K) y velocidad vertical ($\text{Pa} \cdot 10^{-2}/\text{s}$).

En las Figura 31 (a, b, c, d, e y f) presenta la variable de temperatura potencial equivalente en la que nos permite identificar la presencia de masa de aire y en cuya separación se estratifica con apiñamiento de las isolíneas. Este corte se realizó con una latitud constante de 12.1°S y longitud de 76.75°S a 88°S . El apiñamiento observado entre 840 a 880 hPa tiene que ver con la inversión térmica y por debajo de ella ocurrirán el desarrollo de nubes en este caso de tipo estratos o estratos cúmulos. La línea verde que marca el cambio de temperaturas o la presencia de masa de aire cálido; para el día 02 de mayo su parte más alta se ubica por encima del nivel de 720 hPa y para el día 04 cae hasta 840 hPa, lo que provocó que la inversión se ubique a menor nivel de altura. Para el día del evento se aprecia que cayó aún más; indicativo que los techos de nubes también estarían muy bajos en dicho sector.

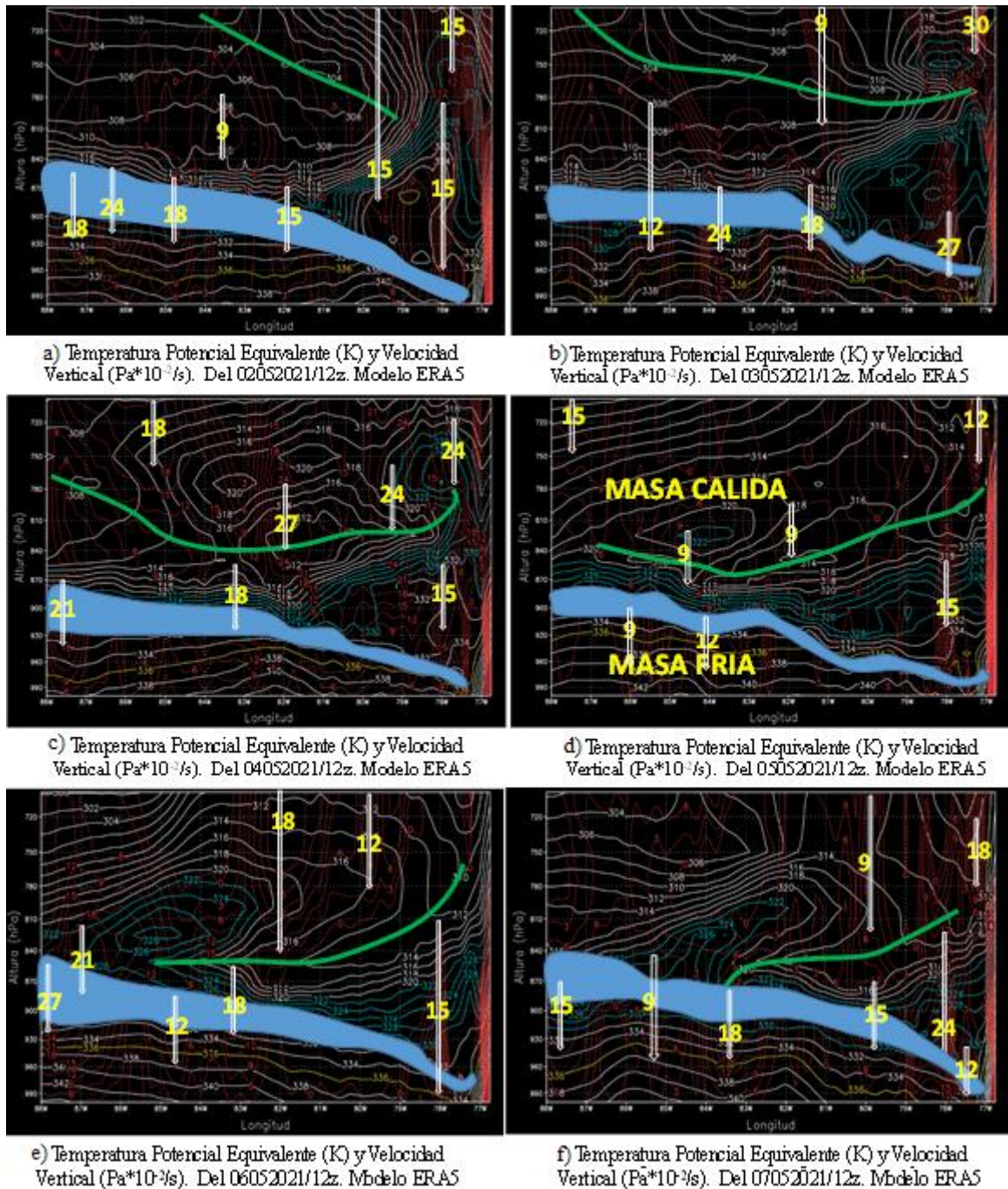


Figura 31. Temperatura Potencial Equivalente (K) y Velocidad Vertical ($\text{Pa} \cdot 10^{-2}/\text{s}$)

4.3. Metodología para el pronóstico de nieblas en el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez. (caso 05 de mayo 2021)

De acuerdo a las cartas analizadas, para pronosticar nieblas según el caso del 05 de mayo 2021 se deben presentar las siguientes condiciones:

- a) A nivel de 200 (Figura. 32a) y 500 hPa (Figura 32b), al sur sobre el océano Pacífico y el continente, se debe tener una cuña meridional muy amplificada por la presencia de dos vaguadas.
- b) En 850 hPa (Figura 32c); se debe configurar una circulación entre el océano y continente tipo alas de mariposa, dejando hacia el norte un callejón de circulaciones ciclónicas y anticiclónicas.
- c) En superficie (Figura 32d), las altas presiones y a 850 hPa, la circulación de alta debe configurar la forma de alas de mariposa, dejando un gradiente muy débil hacia el norte. Además, se debe dar el incremento del viento mar adentro frente a la costa central. Paralela a la cordillera de los Andes, entre las alas de mariposa (al norte), debe quedar un camino de bajas presiones.
- d) Antes del evento a nivel de 850 hPa, debe darse el ingreso de masas de aire húmedo (Figura 32e) del norte y durante el evento se espera la incursión de aire seco proveniente del sur.
- e) En la vertical (Figura 32f) entre el aeropuerto Jorge Chávez y el océano, la base de la inversión térmica disminuye en altura por la incursión de masas cálidas a 850 hPa.

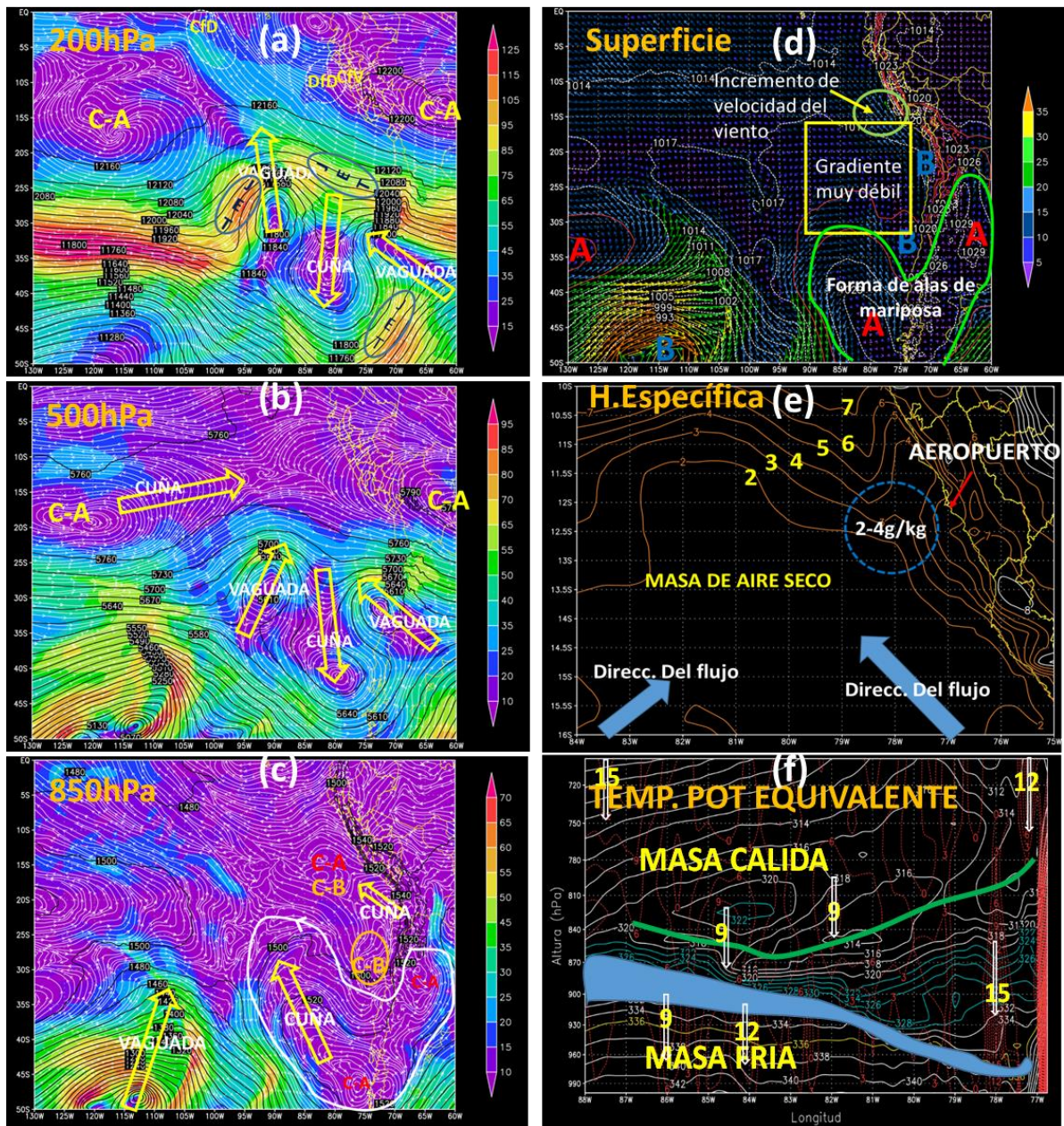


Figura 32. Configuración sinóptica durante la ocurrencia de niebla del 05 de mayo a las 12Z

V. CONCLUSIONES

- Durante el año 2021, según el reporte de los informes METAR del Aeropuerto Jorge Chávez solo se tuvo dos eventos de niebla: el 25 de abril con una duración de 02 horas y el 05 de mayo con duración de 03 horas durante las primeras horas de la mañana.
- En altura a nivel de 200 hPa y 500 hPa entre el Océano del Pacífico Sur Oriental y el continente (100°W a 65°W) se configuró una onda con gran amplitud, con 02 vaguadas y una dorsal, lo que impulsó el ingreso de aire frío en niveles bajos, principalmente cuando la vaguada que marcha delante de la cuña se acerca a la cordillera haciendo que ambos sistemas se amplifiquen aún más y se configuren en forma meridional.
- A nivel de 850 hPa y en superficie, se formó un sistema migratorio configurándose entre el océano del Pacífico Sur Oriental y el continente una figura de “corazón” o “mariposa”; dejando un callejón de bajas paralela a la cordillera; entre el centro y norte de Chile
- La presión atmosférica del Anticiclón del Pacífico Sur, se incrementa significativamente un día antes del evento y durante el evento, pasando de 1 023 a 1 029 hPa, en ambos casos.
- Localmente, frente a la costa central del Perú, se dio el ingreso de aire seco a niveles de 850 hPa, pasando de 8 a 4 g/kg sobre el aeropuerto Jorge Chávez; además desde este punto hacia el océano en dirección zonal se incrementó la subsidencia provocando que el techo de nubes descienda en altura y se acerque al suelo dando paso al desarrollo de la niebla.
- Los patrones sinópticos como: la corriente en chorro, vaguadas y dorsales ubicados entre el océano del Pacífico Sur y el continente sudamericano sur, fueron claros para la ocurrencia del evento de nieblas del 05 de mayo 2021.

VI. RECOMENDACIONES

- Se deben revisar más casos de ocurrencia de nieblas con patrones normales y con presencia de Fenómeno El Niño y/o La Niña-.
- Con los conocimientos adquiridos en la experiencia de pronóstico y vigilancia aeronáutica se debe profundizar en las características y en los mecanismos que dan lugar a la reducción de visibilidad por nieblas para futuras investigaciones.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abigail, O. (2020). Accidentes mortales de la aviación civil a nivel mundial por país 1945-2019. Recuperado de: <https://es.statista.com/estadisticas/635121/accidentes-mortales-de-aviones-de-pasajeros-civiles-por-pais/>
- OMM (2017). Atlas Internacional de Nubes. Recuperado de: <https://cloudatlas.wmo.int/es/freezing-fog.html>
- CORPAC S.A. (2011) Instrucciones de Trabajo de Pronósticos Meteorológicos y Atención a Usuarios, (Rev. 01), Perú
- García, C., (1942). Conceptos sobre condensación y precipitación según las ideas de Sverre Petterssen y Bergeron, aplicado a las características de las masas de aéreas de la costa peruana, Vol. XLIII.
- Lozano, M. (2013). WRF simulation of the atmospheric conditions in some aircraft accidents. Recuperado de <http://hdl.handle.net/2099.1/19237>.
- Moreno, N. (2019). Estructura metodológica para el estudio de imágenes satelitales en la identificación de nubes convectivas que afectan en la aviación. Recuperado de <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/22529>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. RAP 303: Servicio Meteorológico para la Navegación Aérea. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file>
- OACI. (2018). Anexo 3: Servicio Meteorológico para la Navegación Aérea Internacional, (Vigésima edición), Canadá.
- Petterssen, S. (1956). Weather análisis and forecasting New York. McGraw-Hill Book. 2t.
- Petterssen, S. (2011). Introduction to meteorology. Read Books Ltd.
- Quispe, N.; Chira, J. (2003). Entorno Sinóptico en la Ocurrencia de Niebla en Lima. Recuperado de nquispe@senamhi.gob.pe jchira@senamhi.gob.pe

- Sánchez, A. (2015). Sistema Automatizado para la Evaluación de los Pronósticos de Aeródromo. Su Aplicación en el Aeropuerto Internacional Jose Martí. Recuperado de <https://repositorio.uci.cu/jspui/handle/123456789/7533>
- Servan, D. (2021). Índices de Calidad de un Sistema de Gestión de la Calidad de una Oficina de Meteorología Aeronáutica. Recuperado de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/5174>
- Yabra, M. S., de Elía, R., Vidal, L., Nicolini, M., Vasques Ferro, R., Ribero, C. Y., ... & Steven, M. (2021). Las nieblas en los aeropuertos argentinos: revisión de literatura y perspectiva de los pronosticadores. Nota Técnica SMN 89. Recuperado de <http://repositorio.smn.gob.ar/handle/20.500.12160/1540>

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Visibilidad horaria del 1 al 15 de mayo del 2021

Tabla 3. Visibilidad horaria del 1 al 15 de mayo del 2021

DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
HORA	VIS	VIS	VIS	VIS	VIS	VIS	VIS	VIS	VIS	VIS	VIS	VIS	VIS	VIS	VIS
0	9999	CAVOK	9999	8000	9999	8000	9999	9999	7000	9999	9999	9999	CAVOK	8000	9999
1	9999	CAVOK	9999	9999	9999	9000	9999	9999	7000	CAVOK	9999	9999	CAVOK	8000	9999
2	CAVOK	CAVOK	9999	9999	9999	9000	9999	CAVOK	8000	CAVOK	9999	9999	9999	7000	9999
3	CAVOK	CAVOK	9999	9999	9999	9000	9999	CAVOK	8000	CAVOK	8000	9999	9999	6000	9999
4	CAVOK	CAVOK	CAVOK	CAVOK	9999	9000	9999	9999	8000	CAVOK	8000	9999	9999	5000	9999
5	9999	CAVOK	CAVOK	CAVOK	9999	8000	9999	CAVOK	8000	CAVOK	8000	9999	9000	5000	9999
6	9999	CAVOK	CAVOK	CAVOK	5000	6000	9999	CAVOK	8000	CAVOK	8000	CAVOK	9000	5000	9999
7	9000	CAVOK	CAVOK	CAVOK	3000	6000	9999	CAVOK	8000	CAVOK	8000	CAVOK	9000	5000	9999
8	8000	CAVOK	CAVOK	CAVOK	3000	6000	9999	9999	8000	CAVOK	8000	CAVOK	9000	5000	9999
9	7000	CAVOK	CAVOK	CAVOK	4000	7000	9999	9999	8000	7000	9999	9999	9000	4000	8000
10	8000	CAVOK	CAVOK	6000	4000	7000	9999	9999	5000	5000	7000	9999	9000	3500	5000
11	8000	8000	CAVOK	4000	900	7000	9999	8000	2800	4500	7000	9999	8000	4000	5000
12	5000	8000	8000	3000	900	9000	9999	5000	1500	2000	9999	6000	7000	2000	3000
13	6000	8000	5000	2000	900	9000	8000	5000	1500	1500	8000	4000	6000	2500	3000
14	8000	9999	5000	2300	1100	9999	9999	5000	1600	1800	9999	3000	7000	3000	3000
15	8000	CAVOK	5000	5000	2000	9999	9999	5000	2000	2200	9999	3000	7000	3000	3000
16	8000	CAVOK	6000	9999	3000	9999	9999	8000	2000	3500	9999	3000	9999	5000	4000
17	8000	CAVOK	6000	CAVOK	4000	9999	9999	8000	5000	5000	9999	4000	9999	8000	6000
18	8000	CAVOK	8000	CAVOK	6000	9999	9999	9999	8000	5000	9999	5000	9999	9999	7000
19	8000	CAVOK	9999	CAVOK	8000	9999	CAVOK	7000	8000	6000	CAVOK	5000	9999	9999	7000
20	9999	CAVOK	9999	CAVOK	8000	9999	9999	7000	9999	7000	CAVOK	6000	9000	9999	8000
21	9999	CAVOK	9999	9999	8000	9999	CAVOK	8000	9999	9999	CAVOK	6000	9000	9999	9999
22	9999	CAVOK	7000	9999	8000	9999	9999	8000	9999	9999	9999	7000	8000	9999	9999
23	CAVOK	CAVOK	7000	8000	8000	9999	9999	7000	8000	9999	9999	7000	7000	9999	9999

FUENTE: Datos de visibilidad extraídos de los informes METAR. Of. Climatología – CORPAC S.A

Anexo 2: Visibilidad horaria del 16 al 31 de mayo del 2021

Tabla 4. Visibilidad horaria del 16 al 31 de mayo del 2021

DIA	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
HORA	VIS	VIS	VIS	VIS	VIS	VIS	VIS	VIS	VIS	VIS	VIS	VIS	VIS	VIS	VIS	VIS
0	9999	CAVOK	9999	CAVOK	6000	8000	9999	9999	CAVOK	9999	7000	3000	7000	8000	9999	8000
1	CAVOK	CAVOK	9999	CAVOK	6000	9000	9999	9999	CAVOK	9999	7000	4000	7000	8000	9999	8000
2	CAVOK	CAVOK	9999	8000	8000	9000	9999	9999	CAVOK	9999	7000	4000	7000	7000	9999	8000
3	7000	CAVOK	8000	8000	8000	8000	9999	9999	CAVOK	9999	7000	4000	7000	7000	9999	8000
4	5000	9999	8000	6000	7000	8000	9999	9999	CAVOK	9999	7000	4000	7000	7000	9999	8000
5	5000	9999	8000	4000	4000	8000	9999	9999	CAVOK	9999	7000	4000	7000	7000	9999	8000
6	5000	9999	7000	4000	3000	7000	9999	9999	CAVOK	9999	7000	4000	7000	7000	9999	8000
7	3000	8000	6000	4000	1700	7000	8000	9999	9999	8000	5000	4000	8000	6000	9999	8000
8	3000	8000	6000	4000	1700	6000	8000	9999	CAVOK	8000	5000	4000	8000	6000	9999	8000
9	3000	8000	6000	5000	1800	6000	8000	9999	9999	9999	3000	4000	8000	7000	9999	9999
10	3000	7000	5000	4000	3000	6000	8000	9999	9999	8000	3500	3000	7000	6000	9999	9999
11	3500	6000	6000	4000	4000	6000	8000	9999	9999	8000	3500	3000	6000	7000	9999	9999
12	3000	3000	3000	5000	4000	7000	8000	9999	9999	5000	2000	1200	3000	9999	7000	8000
13	2000	2000	3000	7000	2000	8000	9999	9999	9000	4000	2500	1400	4000	9999	6000	9999
14	2800	1200	4000	5000	5000	8000	9999	9999	CAVOK	4000	3000	1400	4000	9999	6000	9999
15	2800	1800	5000	5000	6000	8000	9999	9999	CAVOK	4000	3000	1700	5000	9999	6000	9999
16	5000	2800	5000	8000	6000	9999	9999	9999	9999	4000	2800	1700	5000	9999	6000	9999
17	8000	3000	5000	9999	8000	9999	9999	9999	CAVOK	6000	2800	3000	5000	9999	6000	9999
18	8000	3000	5000	9999	9999	9999	9999	9999	CAVOK	5000	3000	5000	5000	9999	9999	9999
19	8000	4000	5000	9999	9999	9999	9999	9999	CAVOK	5000	5000	7000	7000	9999	9999	9999
20	9999	6000	5000	9999	9999	9999	9999	9999	CAVOK	7000	5000	9999	9999	9999	9999	9999
21	9999	9999	8000	9999	9999	9999	9999	9999	CAVOK	7000	5000	9999	9999	9999	9999	9999
22	9999	9000	8000	8000	9999	9999	9999	9999	9999	6000	5000	7000	9999	9999	9999	9999
23	9999	8000	8000	5000	8000	9999	9999	9999	9999	5000	3000	7000	9999	9999	9999	9999

FUENTE: Datos de visibilidad extraídos de los informes METAR. Of. Climatología – CORPAC S.A