

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LAMOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



**VERIFICACIÓN DEL PRONÓSTICO DE LA VELOCIDAD DEL
VIENTO Y LA TEMPERATURA DEL AIRE CON EL MODELO
BRAMS PARA LA COSTA CENTRAL**

Presentado por:

Sara Teresa Olivares Huapaya

Trabajo Monográfico para Optar el Título de:

INGENIERO METEORÓLOGO

Lima – Perú

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS

**“VERIFICACIÓN DEL PRONÓSTICO DE LA VELOCIDAD DEL
VIENTO Y LA TEMPERATURA DEL AIRE CON EL MODELO
BRAMS PARA LA COSTA CENTRAL”**

Presentado por:

Sara Teresa Olivares Huapaya

Trabajo Monográfico para Optar el Título de:

INGENIERO METEORÓLOGO

Sustentada y aprobada por el siguiente Jurado:

Dr. Ernesto Ever Menacho Casimiro

PRESIDENTE

M. Sc. Eusebio Cisneros Tarmeño

MIEMBRO

Mg. Sc. Victoria Calle Montes

MIEMBRO

Mg. Sc. Victoria Calle Montes

ASESORA

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-----------|
| RESUMEN | i |
| ABSTRACT | ii |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. OBJETIVOS..... | 2 |
| 1.1.1. OBJETIVO GENERAL..... | 2 |
| 1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 2 |
| II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 3 |
| 2.1. QUÉ ES LA VERIFICACIÓN..... | 3 |
| 2.1.1. PROPÓSITO DE LA VERIFICACIÓN..... | 3 |
| 2.1.2. VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DEL PRONÓSTICO | 4 |
| 2.1.3. MÉTODOS DE EVALUACIÓN | 4 |
| 2.2. MEDIDAS DE VERIFICACIÓN | 5 |
| 2.2.1. CORRECTA PROPORCIÓN (PC) | 5 |
| 2.2.2. PORCENTAJE O RAZÓN DE ACIERTO (HR)..... | 6 |
| 2.2.3. COEFICIENTE DE HEIDKE SKILL SCORE (HSS) | 6 |
| 2.2.4. FALSE ALARM RATIO (FAR):..... | 6 |
| 2.2.5. EL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN (R)..... | 7 |
| 2.2.6. HIT SCORE:..... | 7 |
| 2.2.7. HIT SKILL SCORE: | 7 |
| 2.3. ATRIBUTOS ESCALARES DE LAS TABLAS DE CONTINGENCIA DE 2X2 | 7 |
| 2.4. MODELOS REGIONALES..... | 8 |
| 2.5. BRAMS | 8 |
| 2.6. REANÁLISIS..... | 9 |
| 2.7. VIENTO | 10 |
| 2.8. PRUEBA DE FISHER | 11 |
| III. DESARROLLO DEL TEMA | 13 |
| 3.1. ZONA DE ESTUDIO | 13 |
| 3.2. MATERIALES Y MÉTODOS | 14 |
| 3.3. METODOLOGÍA | 14 |
| 3.3.1. RELACIÓN ENTRE EL PRONÓSTICO DEL MODELO BRAMS Y LOS DATOS OBSERVADOS EN UN PUNTO DE GRILLA | 14 |

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 3.3.2. | CORRELACIÓN ENTRE EL PRONÓSTICO DEL MODELO BRAMS Y LOS DATOS OBSERVADOS EN UN PUNTO DE GRILLA | 15 |
| 3.3.3. | EVALUACIÓN DEL PRONÓSTICO DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO | 16 |
| 3.3.4. | VERIFICACIÓN DE PRONÓSTICO BINARIO DEL MODELO BRAMS PARA UN EVENTO DE VELOCIDAD DEL VIENTO..... | 16 |
| 3.3.5. | EVALUACIÓN DEL PRONÓSTICO DE LA TEMPERATURA DEL AIRE DEL MODELO BRAMS | 17 |
| IV. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 18 |
| 4.1. | RELACIÓN ENTRE EL PRONÓSTICO DEL MODELO BRAMS Y LOS DATOS OBSERVADOS EN UN PUNTO DE GRILLA..... | 18 |
| 4.1.1. | PRUEBA DE F DE LA VARIANZA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO PRONOSTICADO DEL MODELO BRAMS Y LOS DATOS OBSERVADOS..... | 18 |
| 4.2. | CORRELACIÓN ENTRE EL PRONÓSTICO DEL MODELO BRAMS Y LOS DATOS OBSERVADOS EN UN PUNTO DE GRILLA | 26 |
| 4.3. | EVALUACIÓN DEL PRONÓSTICO DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO DEL MODELO BRAMS | 32 |
| 4.4. | VERIFICACIÓN DE PRONÓSTICO BINARIO DEL MODELO BRAMS PARA UN EVENTO DE VELOCIDAD DEL VIENTO | 39 |
| 4.5. | EVALUACIÓN DEL PRONÓSTICO DE LA TEMPERATURA DEL AIRE DEL MODELO BRAMS | 40 |
| 4.5.1. | PRUEBA ESTADÍSTICA DE FISHER (F)..... | 40 |
| 4.5.2. | RELACIÓN ENTRE EL PRONÓSTICO DE LA TEMPERATURA DEL AIRE DEL MODELO BRAMS Y LOS DATOS DE REANÁLISIS..... | 48 |
| 4.5.3. | COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE LA TEMPERATURA DEL AIRE PRONOSTICADA Y DE REANÁLISIS | 53 |
| V. | CONCLUSIONES..... | 56 |
| VI. | RECOMENDACIONES..... | 59 |
| VII. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 60 |
| VIII. | ANEXOS..... | 62 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas | 13 |
| Tabla 2: Tabla de contingencia de binaria..... | 16 |
| Tabla 3: Prueba de Fisher para Varianzas de la velocidad del viento y el observado..... | 18 |
| Tabla 4: Prueba de Fisher para Varianzas de la velocidad del viento pronosticado y observado..... | 20 |
| Tabla 5: Prueba de Fisher para Varianzas de la velocidad del viento pronosticado y observado..... | 22 |
| Tabla 6: Prueba de Fisher para Varianzas de la velocidad del viento pronosticado y observado..... | 24 |
| Tabla 7: Valores de dispersión de los datos de pronóstico y observados..... | 32 |
| Tabla 8: Tabla de contingencia de 3x3 de número de datos del pronóstico de velocidad del viento por categoría | 33 |
| Tabla 9: Tabla de frecuencia relativa. Pisco..... | 33 |
| Tabla 10: Medidas de verificación entre pronóstico y observación. Pisco | 33 |
| Tabla 11: Tabla de contingencia de 3x3 de número de datos del pronóstico de velocidad del viento por categoría..... | 34 |
| Tabla 12: Tabla de frecuencia relativa. Nasca..... | 35 |
| Tabla 13: Medidas de verificación entre pronóstico y observación. Nasca. | 35 |
| Tabla 14: Tabla de contingencia de 3x3 de número de datos del pronóstico de velocidad del viento por categoría..... | 36 |
| Tabla 15: Tabla de frecuencia relativa | 36 |
| Tabla 16: Medidas de verificación de performance o desempeño correspondiente entre el pronóstico y la observación | 37 |
| Tabla 17: Tabla de contingencia de 3x3 de número de datos del pronóstico de velocidad del viento por categoría..... | 38 |
| Tabla 18: Tabla de frecuencia relativa | 38 |
| Tabla 19: Medidas de verificación de performance o desempeño correspondiente entre el pronóstico y la observación | 39 |
| Tabla 20: Tabla de contingencia por categorías de pronósticos de un evento binario (velocidad mayor de 10 kt): Número de casos pronosticados. Estación Pisco..... | 39 |
| Tabla 21: Tabla de contingencia por categorías de pronósticos de un evento binario (velocidad mayor de 10 kt): Frecuencia relativa porcentual. Estación Pisco..... | 40 |

| | |
|---|----|
| Tabla 22: Medidas de verificación de velocidad del viento mayor de 10 kt. Estación Pisco..... | 40 |
| Tabla 23: Prueba de Fisher para Varianzas de temperatura pronosticada y de Reanálisis..... | 41 |
| Tabla 24: Prueba de Fisher para Varianzas de temperatura pronosticada y de Reanálisis..... | 43 |
| Tabla 25: Prueba de Fisher para Varianzas de temperatura pronosticada y de Reanálisis..... | 45 |
| Tabla 26: Prueba de Fisher para Varianzas de temperatura pronosticada y de Reanálisis..... | 47 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Área comprendida de una corrida del BRAMS..... | 13 |
| Figura 2: Distribución de Frecuencia de la velocidad del viento pronosticado. Estación Pisco..... | 19 |
| Figura 3: Distribución de Frecuencia de la velocidad del viento observado. Estación Pisco..... | 19 |
| Figura 4: Distribución de Frecuencia de la velocidad del viento pronosticado. Estación Nasca | 21 |
| Figura 5: Distribución de Frecuencia de la velocidad del viento pronosticado. Estación Nasca | 21 |
| Figura 6: Distribución de Frecuencia de la velocidad del viento pronosticado. Estación Lima..... | 23 |
| Figura 7: Distribución de Frecuencia de la velocidad del viento pronosticado. Estación Lima..... | 23 |
| Figura 8: Distribución de Frecuencia de la velocidad del viento pronosticado. Estación Chimbote | 25 |
| Figura 9: Distribución de Frecuencia de la velocidad del viento pronosticado. Estación Chimbote | 25 |
| Figura 10: Dispersión y correlación de la velocidad del viento entre datos pronosticados (mod. BRAMS) y observados de Pisco..... | 26 |
| Figura 11: Velocidad del viento horario pronosticado y observado. Estación Pisco. | 27 |
| Figura 12: Dispersión y correlación de la velocidad del viento entre datos pronosticados (mod. BRAMS) y observados de Nasca..... | 28 |
| Figura 13: Velocidad del viento horario pronosticado y observado. Estación de Nazca. .. | 28 |
| Figura 14: Dispersión y correlación de la velocidad del viento entre datos pronosticados (mod. BRAMS) y observados de Lima. | 29 |
| Figura 15: Velocidad del viento horario pronosticado y observado. Estación de Lima..... | 30 |
| Figura 16: Dispersión y correlación de la velocidad del viento entre datos pronosticados (mod. BRAMS) y observados de Chimbote..... | 31 |
| Figura 17: Velocidad del viento horario pronosticado y observado. Estación Chimbote .. | 31 |
| Figura 18: Distribución de Frecuencia de temperatura del aire pronosticado. Estación Pisco..... | 41 |

| | |
|---|----|
| Figura 19: Distribución de Frecuencia de temperatura del aire de Reanálisis. Estación Pisco..... | 42 |
| Figura 20: Distribución de Frecuencia de temperatura del aire pronosticado. Estación Nasca | 43 |
| Figura 21: Distribución de Frecuencia de temperatura del aire de Reanálisis. Estación Nasca | 44 |
| Figura 22: Distribución de Frecuencia de temperatura del aire pronosticado. Estación Lima..... | 45 |
| Figura 23: Distribución de Frecuencia de temperatura del aire de Reanálisis. Estación Lima..... | 46 |
| Figura 24: Distribución de Frecuencia de temperatura del aire pronosticado. Estación Chimbote | 47 |
| Figura 25: Distribución de Frecuencia de temperatura del aire de Reanálisis. Estación Chimbote | 48 |
| Figura 26: Dispersión y correlación de la velocidad del viento entre datos pronosticados (mod. BRAMS) y observados de Pisco..... | 49 |
| Figura 27: Velocidad del viento horario pronosticado y observado. Estación Pisco | 49 |
| Figura 28: Dispersión y correlación de la velocidad del viento entre datos pronosticados (mod. BRAMS) y observados de Nasca..... | 50 |
| Figura 29: Velocidad del viento horario pronosticado y observado. Estación Nasca | 50 |
| Figura 30: Dispersión y correlación de la velocidad del viento entre datos pronosticados (mod. BRAMS) y observados de Lima. | 51 |
| Figura 31: Velocidad del viento horario pronosticado y observado. Estación de Lima..... | 52 |
| Figura 32: Dispersión y correlación de la velocidad del viento entre datos pronosticados (mod. BRAMS) y observados de Chimbote..... | 52 |
| Figura 33: Velocidad del viento horario pronosticado y observado. Estación Chimbote .. | 53 |
| Figura 34: Mapa de diferencias de temperaturas entre Pronóstico y Reanálisis de 17 al 24 agosto del 2016..... | 55 |

RESUMEN

El presente trabajo ha tenido el objetivo de realizar una verificación del pronóstico de la velocidad del viento del modelo BRAMS con datos observados de las estaciones meteorológicas de Pisco, Nasca, Aeropuerto Jorge Chávez y Chimbote; así como la verificación del pronóstico de la temperatura del aire de dicho modelo con los datos de reanálisis del CPTEC y a nivel espacial y de algunos puntos de grilla. Los pronósticos se han tomado de la corrida del modelo para el dominio de 8km x 8km, cuyos datos de entrada son la temperatura, humedad, altura geopotencial, viento zonal y meridional. El período de estudio comprende desde el día 17 al 24 de agosto de 2016, para lo cual se realiza la comparación usando técnicas estadísticas; como la regresión lineal, tablas de contingencia y pruebas estadísticas como la prueba de Fisher y medidas de verificación.

La verificación de la velocidad del viento, se realizó con los datos del modelo a 10m de altura en comparación con los de las estaciones meteorológicas a esa misma altura. Esta variable, en las estaciones de Pisco y de Nasca, muestra una mayor dispersión de los datos y baja correlación; en tanto que en las estaciones de Aeropuerto Jorge Chávez y de Chimbote son mejores y más optimistas los resultados. Además, para verificar un evento de viento con velocidades mayores a 10 nudos, se emplea la tabla de contingencia de 2x2 con 4 posibles resultados: Éxito, Fracaso, Falsa Alarma y Rechazo Correcto. Para el criterio de la certeza de los pronósticos del viento se tomó en consideración la distribución de frecuencias para datos continuos y sus respectivos gráficos. Si el gráfico se aproximan a una distribución normal o simétrica (forma de campana) el rango de certeza de los pronósticos queda definido por la diferencia de la media y su desviación estándar (Límite Inferior) y la suma de la media y la desviación estándar (Limite Superior); mientras que para gráficos cuyas curvas presenten sesgos a la derecha o izquierda, el rango de certeza queda definido similar que la distribución normal solo que en vez de trabajar con la media se trabaja con la mediana o percentil 0.5. Para la variable temperatura se empleó la salida del modelo a 30 m de altitud y se verificó con los datos proporcionados por el Reanálisis del CPTEC. Para lo cual se realiza la diferencia entre los datos del pronóstico y de reanálisis. La precisión del pronóstico de temperatura fue de +/-2 °C. Este análisis muestra que para la costa central el pronóstico del modelo BRAMS presentó mayor acierto.

Palabras clave: verificación, reanálisis, rango de certeza, técnicas estadísticas, prueba estadística Fisher, modelo BRAMS.

ABSTRACT

The present work had the objective of performing a verification of the forecast of the wind speed of the BRAMS model with data observed from the meteorological stations of Pisco, Nasca, Jorge Chávez Airport and Chimbote; as well as the verification of the forecast of the temperature of the air of this model with the data of reanalysis of the CPTEC and at the spatial level and of some points of grid. The forecasts have been taken from the model, run for the 8km x 8km domain, whose input data are temperature, humidity, geopotential height, zonal and southern wind. The study period comprises from August 17 to 24, 2016, for which the comparison is made using statistical techniques; such as linear regression, contingency tables and statistical tests such as the Fisher test and verification measures.

The verification of the wind speed was performed with the model data at 10m height compared to those of the meteorological stations at the same height. This variable, in the Pisco and Nasca stations, shows a greater dispersion of the data and low correlation; while at the stations of Jorge Chávez Airport and Chimbote, the results are better and more optimistic. In addition, to verify a wind event with speeds greater than 10 knots, the 2x2 contingency table is used with 4 possible results: Success, Failure, False Alarm and Rejection Correct. For the criterion of the certainty of the wind forecasts, the frequency distribution for continuous data and their respective graphs were taken into account. If the graph approaches a normal or symmetrical distribution (bell shape) the range of certainty of the forecasts is defined by the difference of the mean and its standard deviation (Lower Limit) and the sum of the mean and the standard deviation (Upper limit); while for graphs whose curves have biases to the right or left, the range of certainty is defined similar to the normal distribution only that instead of working with the mean, we work with the median or percentile 0.5. For the temperature variable the model output was used at 30 m altitude and verified with the data provided by the CPTEC Reanalysis. For this the difference between the forecast and the reanalysis data is made. The accuracy of the temperature forecast was ± 2 ° C. This analysis shows that for the central coast the forecast of the BRAMS model presented greater success.

Keywords: verification, reanalysis, range of certainty, statistical techniques, statistical tests, Model BRAMS.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día los modelos numéricos son herramientas muy importantes para llevar a cabo los pronósticos del tiempo a corto y largo plazo. Además la resolución de los modelos han mejorado de manera sustancial de cientos de kilómetros a unos cuantos kilómetros inclusive hasta en unos cuantos metros. Uno de los modelos de gran utilidad para el pronóstico a corto plazo y de gran resolución es el modelo BRAMS (*Brazilian Regional Atmospheric Modeling System*). Este modelo, utiliza como datos de entrada a la temperatura, altura geopotencial, humedad relativa, viento zonal y viento meridional.

Para el presente estudio se utiliza la corrida del modelo BRAMS con un dominio de 8 km x 8km para el periodo del 17 al 24 de agosto de 2016. Las variables a analizar son los datos pronosticados de la velocidad del viento a nivel de estación meteorológica en relación con los datos observados de las estaciones meteorológicas de Pisco, Nazca, Aeropuerto Jorge Chávez y Chimbote; también la temperatura del aire pronosticada y de reanálisis a 30 metros de altitud.

Se eligió al viento porque es una variable que afecta a diferentes actividades humanas como son la aviación, la aeronáutica, la agricultura, a la marina, transporte; además de favorecer para la generación de energía. Por otro lado, se toma en cuenta la temperatura del aire, porque afecta directamente a la población y sus actividades cuando hay descensos significativos, periodos de veranillos, ocurrencia de heladas, olas de calor, eventos fríos, entre otros.

Para la verificación del pronóstico de la velocidad del viento se realiza sobre los puntos de grilla coincidentes con la ubicación de estaciones meteorológicas; las cuales son: Aeropuerto Jorge Chávez (Lima), Pisco, Nazca y Chimbote. Para esto se elaboran o construyen las tablas de terciles con categorías Bajo lo normal (B), Normal (N) y Sobre lo

normal (S) y a partir de estas, se calculan las medidas de verificación, tales como la Proporción Correcta o razón de Certeza (PC), el *Heidke Skill Score* (HSS) y la correlación (r). El rango de certeza o precisión del pronóstico y observado queda determinado por la forma de la curva en la distribución de frecuencia (distribución Normal o con Sesgo a la derecha o izquierda).

Para la evaluación del pronóstico de la temperatura del aire (30 m) en punto de grilla se realizó la prueba de Fisher, para varianzas de datos pronosticados y de reanálisis; se elaboró las tablas de frecuencias, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson y se construyeron gráficos de dispersión de datos. Para evaluar el pronóstico de temperatura del aire a nivel espacial se realizó la diferencia de los datos pronosticados horarios con los datos de reanálisis. Para este análisis consiste en hacer la comparación espacial, considerando un rango de acierto del modelo de $\pm 2^{\circ}\text{C}$, según su variabilidad climática.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar una verificación del modelo BRAMS en el dominio 8kmx8km para los pronósticos de velocidad del viento y temperatura del aire para la costa central.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la relación que existe entre el pronóstico del modelo BRAMS y los datos observados en un punto de grilla.
- Evaluar el pronóstico de la velocidad del viento del modelo BRAMS.
- Verificar el pronóstico binario del modelo BRAMS de un evento de velocidad del viento.
- Evaluar el pronóstico de la temperatura del aire del modelo BRAMS.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. QUÉ ES LA VERIFICACIÓN

Es la valoración y cuantificación de la relación de coincidencia entre conjuntos de pronósticos y observaciones. Las actividades de verificación son útiles si ellas conducen a toma de decisiones con relación al producto verificado. Esta decisión debe generar cambios en la forma como se elaboran los pronósticos o conducir a una decisión de “no hacer nada” y considerar que el producto es satisfactorio. Por cuanto se asume que las observaciones son una representación precisa de la realidad, por lo general se requiere asumir que un punto de observación representa adecuadamente a los eventos dentro un área determinada.

El proceso de verificación involucra medición de la relación entre un pronóstico o conjunto de pronósticos y las correspondientes observaciones del predictando. Por eso cualquier método de verificación de pronóstico envuelve necesariamente la comparación entre pares coincidentes de pronósticos y observaciones a las cuales ellos pertenecen.

2.1.1. PROPÓSITO DE LA VERIFICACIÓN

Los propósitos de la verificación son principalmente de 2 tipos: administrativos y científicos. El propósito administrativo puede ser; convencer al gobierno sobre la necesidad de establecer y mejorar el sistema de pronóstico, actualización de equipos, etc. La verificación con fines administrativos debe hacerse de forma continua para monitorear la calidad de los pronósticos, y mejorar con el transcurrir del tiempo, la calidad de los pronósticos.

El propósito científico es identificar las fortalezas y debilidades del pronóstico con suficiente detalle, para determinar qué acciones hay que tomar para mejorar la calidad del pronóstico, es decir, suministrar información para la investigación y el desarrollo.

2.1.2. VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DEL PRONÓSTICO

Desde la creación del pronóstico numérico del tiempo, conocer la calidad de los productos ha permitido convertir el pronóstico en una poderosa herramienta de investigación y en algunos casos es usado para la toma de decisiones. Pero saber ¿cuándo un modelo está generando resultados correctos?, contempla una serie de etapas partiendo de estar conscientes que los modelos generan aproximaciones del estado de la atmósfera y son susceptibles a errores propios del modelo, de condición inicial y configuración del modelo; lo anterior estará reflejado en la habilidad del modelos para resolver determinadas situaciones asociados a fenómenos de escala sinóptica o de mesoescala. Los métodos de evaluación han evolucionado desde simples comparaciones visuales hasta esquemas complejos como el pronóstico cuantitativo de la precipitación, por la necesidad de conocer a más detalle la eficiencia de los modelos, esta razón obliga el uso de medidas de calidad diferente a las tradicionales como la media, error cuadrático medio (ECM), coeficientes de correlación (error en las medias), esto no quiere decir que no sean útiles, pero la información obtenida de ellas no permite tener una visión íntegra del problema.

2.1.3. MÉTODOS DE EVALUACIÓN

- **VERIFICACIÓN VISUAL DE LAS PREDICCIONES**

La verificación más sencilla que se puede ocurrir es comparar de forma visual las salidas del modelo con una fuente de datos observados, la comparación puede ser hecha confrontando valores puntuales, usando información de estaciones meteorológicas en superficie o comparar campos en arreglos de malla. La verificación visual no es una medida cuantitativa de la habilidad del modelo, porque es susceptible a sesgos de interpretación por parte del observador. Además, es una técnica muy lenta porque es necesario contar

con una base de datos lo suficientemente robusta para determinar la habilidad del modelo.

- **VERIFICACIÓN MEDIANTE TABLAS DE CONTINGENCIA**

La evaluación dicotómica o binaria , consiste en dar un puntaje mediante una afirmación o negación sobre la ocurrencia de un evento. La ocurrencia de vientos con velocidades superiores a los 10 nudos que son frecuentes durante el mes de agosto, son ejemplos de aplicación. Y considerando la frecuencia de ocurrencia de cada uno de las eventos, los resultados pueden agruparse en una tabla de contingencia.

- **VERIFICACIÓN SOBRE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL**

La mayoría de las veces no basta con saber el comportamiento temporal de los eventos en un determinado punto de grilla, sino también conocer su distribución espacial.

2.2. MEDIDAS DE VERIFICACIÓN

2.2.1. CORRECTA PROPORCIÓN (PC)

Es el porcentaje de pronóstico que han acertado.

Son los eventos pronosticados correctamente sobre el número total de eventos.

$$PC = \frac{(a + d)}{n} [\sim (\text{Hits} + \text{Correct rejections}) / \text{Sum total}]$$

En general resuelve la pregunta, ¿qué fracción de las predicciones es correcta? El rango de PC varía desde cero (0) cuando ningún evento es pronosticado, hasta uno (1) cuando todos los eventos son pronosticados, una perfecta puntuación = 1. PC es simple e intuitivo, pero puede ser engañoso, ya que está fuertemente influenciado por la categoría más común, que son los casos que por lo general más se presentan en la meteorología, los "CorrectRejections".

2.2.2. PORCENTAJE O RAZÓN DE ACIERTO (HR)

Es una medida de la “precisión” de un pronóstico, se calcula como el porcentaje de todos los pronósticos categóricos que fueron correctamente acertados.

$$HR = 100 * \left(\frac{f_{11} + f_{22} + f_{33}}{n} \right)$$

| | | PRONOSTICO | | | |
|-------------|-------|------------|----------|----------|-------|
| | | B | N | A | Total |
| OBSERVACION | B | f_{11} | f_{12} | f_{13} | C |
| | N | f_{21} | f_{22} | f_{23} | D |
| | A | f_{31} | f_{32} | f_{33} | E |
| | Total | K | L | M | n |

El rango de valores de HR oscila entre 0 y 100. HR=100 para un sistema de pronóstico perfecto, mientras HR=0 para un pronóstico totalmente equivocado.

2.2.3. COEFICIENTE DE HEIDKE SKILL SCORE (HSS)

Es una medida de “habilidad” que intenta evaluar cuanto mejor es el sistema de pronóstico en comparación con el generado al azar. En otras palabras, por ejemplo mide el porcentaje de pronósticos correctos después de eliminar aquellos que pudieran ser correctos debido puramente a factores aleatorios.

$$HSS = 100 * \left(\frac{HR - 33.3}{100 - 33.3} \right)$$

El rango varía de -100 a +100. Cuando el pronóstico es al azar, HSS=0; cuando el método de pronóstico es perfecto, HSS=100; mientras que con un sistema de pronóstico sin ningún grado de habilidad HSS = -100.

Los valores negativos del HSS indican que los desaciertos o fallos dominan el análisis.

2.2.4. FALSE ALARM RATIO (FAR):

Es la fracción de eventos pronosticados y que no ocurrieron, este es igual a las falsas alarmas sobre el número de pronósticos del evento.

$$FAR = \frac{b}{(a + b)} [\sim \text{False alarms / Fc Yes}]$$

El FAR responde la pregunta, ¿qué fracción de las predicciones no ocurren? El rango de FAR varía desde cero (0) hasta uno (1), una puntuación perfecta = 0. Sensible a las “False Alarm” pero hace caso omiso a los “Miss”, muy sensible a la frecuencia climatológica del evento. Debe ser utilizado en conjunción con la probabilidad de detección.

2.2.5. EL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN (R)

Para evaluar el desempeño de los modelos en comparación con uno referencial hay disponible diferentes pruebas estadísticas. El coeficiente de correlación (R) es el más utilizado por la comunidad científica; sin embargo, R presenta algunas limitaciones que se traducen en una mala medida del rendimiento del modelo (Legates & McCabe 1999).

2.2.6. HIT SCORE:

Es el porcentaje de aciertos del modelo en relación al total de pronósticos realizados de toda la serie histórica.

El más óptimo es tener un valor cercano a 100% el cual indicará un modelo perfecto.

2.2.7. HIT SKILL SCORE:

Es el indicador de evaluación de la destreza del modelo, porcentaje de veces que el resultado corresponde a una casualidad.

2.3. ATRIBUTOS ESCALARES DE LAS TABLAS DE CONTINGENCIA DE 2X2

La definición aparentemente simple de un evento binario, y la subsiguiente tabla de contingencia 2X2, esconden una complejidad bastante sorprendente. Hay una serie de

medidas para abordar esta compleja cuestión y se definen destacando algunas de sus propiedades. La mayoría, si no todos, tienen un fondo histórico largo, pero que todavía se utilizan con mucha frecuencia. Hay que recordar que en ningún caso es suficiente aplicar apenas una única medida de control.

2.4. MODELOS REGIONALES

Los modelos regionales, también conocidos como modelos de área limitada, creados para comprender procesos físicos a escalas locales y la necesidad de contar con información meteorológica cada vez más detallada de regiones en específico con fines distintos a la investigación (protección civil, agricultura, tránsito aéreo, etc.). Se caracterizan por tener condiciones de frontera bien definidas en dirección horizontal y vertical. En la actualidad los modelos son capaces de simular la dinámica de la atmósfera en resoluciones espaciales muy altas (unos cuantos kilómetros). Más allá de esta resolución espacial, los modelos que consideran parametrizaciones deben describir en forma explícita procesos como la formación de nubes o la dinámica de la capa límite planetaria. Por ello, para tratar de generar pronósticos cada vez más locales se debe contemplar una mayor cantidad de fenómenos físicos, mejorando al mismo tiempo las redes de observación, el poder de cómputo disponible y el entendimiento de procesos.

Entender los procesos de mesoescala en el pronóstico numérico del tiempo para modelos regionales es fundamental para el diseño de los experimentos. A diferencia de los procesos de escala sinóptica que están asociados a longitudes de onda mayor a miles de kilómetros y persistencia de días hasta semanas, la mesoescala presenta estructuras de dimensiones pequeñas y de duración que va de los minutos hasta días. (López, 2012).

2.5. BRAMS

El BRAMS está basado en el modelo RAMS (Regional Atmospheric Modelling System) desarrollado por la Universidad Estatal de Colorado (Estados Unidos de Norte

América) a partir de la combinación de un modelo no hidrostático local (Tripoli & Cotton 1980, 1982, 1989, Tripoli & Cotton 1989b, Cotton *et al.* 1982) y dos modelos meteorológicos hidrostáticos mesoescalares (Pielke 1974, Mahrer & Pielke 1977, McNider & Pielke 1981, McCumber & Pielke 1981, Tremback *et al.* 1985).

El RAMS comenzó su desarrollo a principios de los años ochenta.

Actualmente dispone de un gran número de opciones físicas, las cuales pueden ser seleccionadas por el usuario. Todos los procesos físicos asociados a la formación de nubes, precipitación, transferencia de radiación, transporte turbulento de calor, humedad y la interacción con la superficie pueden ser activados, incluye la capacidad de trabajar con anidamientos múltiples, la opción de ser empleado como modelo no hidrostático, posee la capacidad de asimilar datos de observaciones meteorológicas e incorpora los últimos avances en parametrizaciones físicas.

El modelo BRAMS es una versión modificada del RAMS (Regional Atmospheric Modeling System, Cotton *et al.* 2003) adaptado a América del Sur por investigadores de la Universidad de São Paulo (USP), el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), la Universidad Federal de Campina Grande (UFCG) y de otros centros de investigación de Brasil (Longo *et al.* 2007, Carvalho 2010).

2.6. REANÁLISIS

Everson *et al* (2017). "El modelado se utiliza como un instrumento muy útil en el campo de la Meteorología. Por lo tanto, se objetiva ajustar el modelo BRAMS (brasileño sobre el ambiente ambiental del sistema) mediante datos observados y de reanálisis generados por el ERA-Interim, con el fin de validar la simulación del viento resuelta por el modelo. Estas informaciones son de gran utilidad en estudios previos en los proyectos de parques eólicos".

2.7. VIENTO

Souza *et al.* (2012) nos recuerda que en las zonas costeras, el estudio de los fenómenos inducidos por el viento se vuelve extremadamente importante, así como también menciona que los vientos en superficie juegan un papel clave en los estudios numéricos.

Everson *et al.* (2017) "En Brasil, una de las mayores dificultades relacionadas con estudios de la variabilidad espacial y temporal del viento, es la falta de datos observados. Por lo tanto, el uso de datos de reanálisis puede estar justificado por la posibilidad de obtener datos de viento, con buena consistencia física, para satisfacer las necesidades de la investigación".

García *et al.* (2012) realizaron una verificación de los pronósticos generados en el Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos de la Universidad de Buenos Aires con el modelo BRAMS con una resolución horizontal de 80 y 20 km. Para ello utilizaron los pronósticos de precipitación y de los perfiles verticales de temperatura, humedad y viento en las localidades con datos de radiosondas. La verificación de los pronósticos de precipitación se realizó mediante cálculos estadísticos frente a las observaciones convencionales disponibles y frente a estimaciones de precipitación CMORPH. Los resultados resultaron similares a los obtenidos en la región con modelos de aproximadamente la misma resolución. Además identificaron las deficiencias principales de los pronósticos lo que permitirá realizar ajustes la configuración del mismo para mejorar su desempeño.

Vieira (2011) analizó la ocurrencia de brisas marítimas y terrestres y la influencia que estas representan para el desarrollo de la precipitación, para lo cual utilizó una simulación con el modelo BRAMS con el fin de validar su concordancia con los datos observados. El modelo numérico presentó resultados satisfactorios en la simulación de brisa y asimismo en la de precipitación.

2.8. PRUEBA DE FISHER

Cálculo de la razón F a partir de datos muestrales

$$F_{\text{prueba}} = \frac{\text{estimación intermediente de variancia}}{\text{estimación interna de variancia}}$$

$$F_{\text{prueba}} = \frac{S_x^2}{S_w^2} = \frac{ns_x^2}{(s_1^2 + s_2^2 + s_3^2 + \dots + s_k^2)/k}$$

Para calcular F se debe seguir el siguiente procedimiento

1. Calcular la estimación interna (Denominador)

1.1. Determinar la variancia de cada muestra, utilizando la fórmula

$$\text{variancia} = s^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

1.2. Obtener la estimación interna de variancia (variancia promedio de la muestra), mediante la fórmula

$$s_w^2 = \frac{s_1^2 + s_2^2 + s_3^2 + \dots + s_k^2}{k}$$

2. Calcular la estimación intermediente (Numerador)

2.1. Calcular la variancia de las medias muestrales, utilizando la formula

$$s_x^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{k-1}$$

2.2. Multiplicar la variancia de las medias muestrales por n

$$ns_x^2$$

3. Razón F

$$F_{prueba} = \frac{S_x^2}{S_w^2}$$

Las hipótesis Nula y Alternativa son:

H₀: La varianza de dos muestras son iguales

H₁: La varianza de dos muestras son diferentes

III. DESARROLLO DEL TEMA

3.1. ZONA DE ESTUDIO

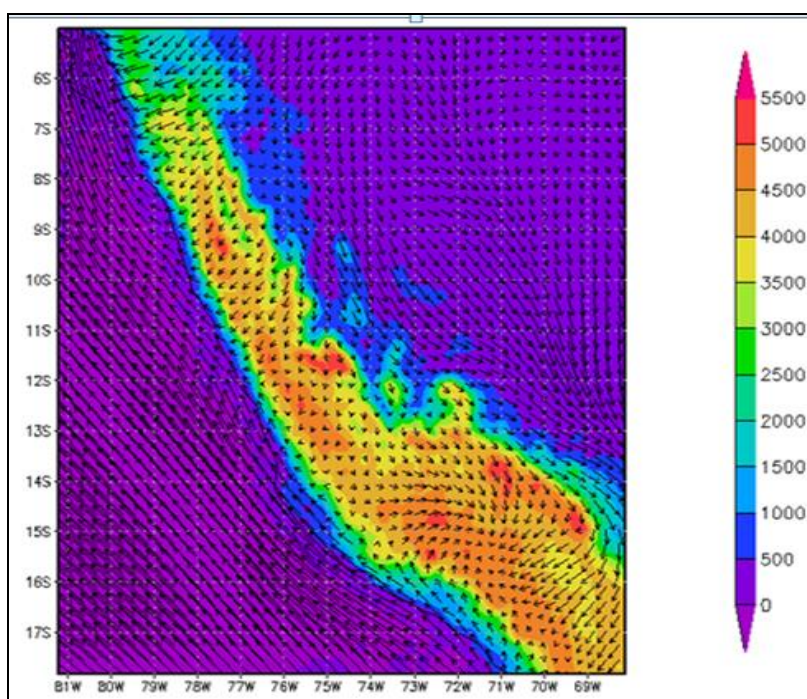


Figura 1: Área comprendida de una corrida del BRAMS.

El área de la corrida del modelo BRAMS comprende desde los 5°S a 18°S de latitud y de los 68°W a 81°W, dentro de los cuales se consideró 4 estaciones meteorológicas (Figura 1).

Tabla 1: Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas

| Estación | Latitud (S) | Longitud (W) | Altitud (m) |
|--------------------------------|-------------|--------------|-------------|
| Pisco | 13°44' | 76°13' | 6 |
| Nazca | 14°51' | 74°57' | 567 |
| Aeropuerto Jorge Chávez (Lima) | 12°01' | 77°07' | 12 |
| Chimbote | 09°08' | 78°31' | 20 |

Las estaciones meteorológicas que se han tomado en cuenta son: Pisco, Nazca, Aeropuerto Jorge Chávez (estación Lima) y Chimbote, todas estas ubicadas en la costa central. Su ubicación geográfica se las muestra en la Tabla 1.

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se ha empleado dos corridas del modelo BRAMS, una de reanálisis de resolución espacial de de $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$.y otra de pronóstico de CPTEC para el dominio de $8\text{km} \times 8\text{km}$ con el punto central en Lima ubicado a una latitud de -12°S y longitud de -77°W

3.3. METODOLOGÍA

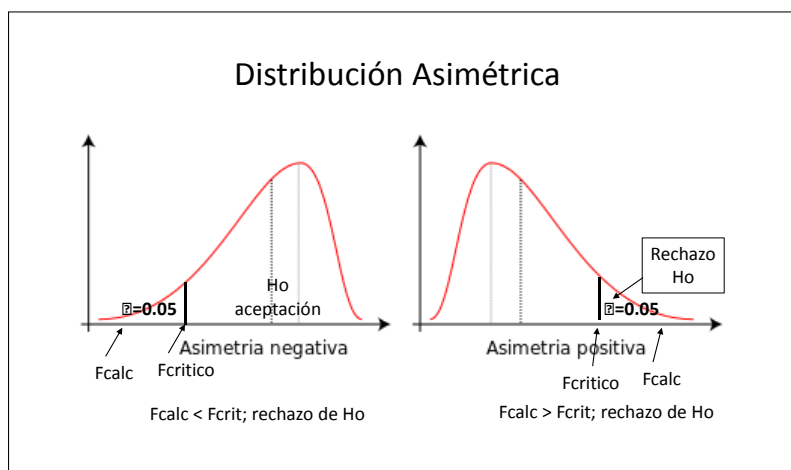
3.3.1. RELACIÓN ENTRE EL PRONÓSTICO DEL MODELO BRAMS Y LOS DATOS OBSERVADOS EN UN PUNTO DE GRILLA

Para esto nos interesa determinar la similitud entre las varianzas de los datos de la velocidad pronosticada y observada; además de determinar el grado de relación entre dichos datos; para esto se procede de la siguiente manera:

- **Prueba de Fisher (Prueba F) para la varianza de la velocidad del viento pronosticado del modelo BRAMS y los datos observados en un punto de grilla**

Se aplicó la prueba F para todas las muestras comparadas, entre los datos de la velocidad del viento por el modelo BRAMS y los datos de la velocidad del viento observados de las 4 estaciones: Pisco, Nasca, Lima y Chimbote. La finalidad de esta prueba es determinar si existe igualdad de la varianza entre los datos pronosticados y observados; para esto se compara el F calculado con el valor crítico de F con un nivel de significancia de 0.05. Para realizar correctamente esta comparación se construye la tabla de frecuencias para ambas variables y sus respectivos gráficos, los cuales determinan si dichas curvas se aproximan a una curva simétrica o asimétrica (sesgo a la derecha o izquierda). Si la distribución de frecuencia es simétrica se tendrá una región de rechazo en cada cola de 0.025. Si la

distribución de frecuencia es asimétrica con sesgo a la derecha, se tendrá una región de rechazo con una cola de 0.05, en la que si F Calculado es mayor que el valor crítico de F, entonces se rechaza la hipótesis nula, por lo que las varianzas serán diferentes. Si el sesgo es hacia la izquierda, se rechaza la hipótesis nula, si F calculado es menor que el valor crítico de F, como lo muestra el siguiente gráfico:



3.3.2. CORRELACIÓN ENTRE EL PRONÓSTICO DEL MODELO BRAMS Y LOS DATOS OBSERVADOS EN UN PUNTO DE GRILLA

Para esto, los datos observados de la velocidad del viento a 10m de altura se obtuvieron de las estaciones meteorológicas de CORPAC S.A.: Pisco, Nazca, Aeropuerto Jorge Chávez y Chimbote para el periodo de las 00Z del 17 hasta las 1800Z del día 24 de agosto del 2016. Asimismo, haciendo uso del visualizador GRADS se obtuvieron los datos horarios diarios pronosticados del modelo BRAMS de la velocidad del viento a 10 m de altura (speed10m) para el periodo de estudio.

Con los datos observados y pronosticados se realizó la correlación calculando el coeficiente de correlación (r); si este se aproxima a +1, la relación entre ambas variables es muy buena, pero si es próxima a 0 significa que la relación es mala. Además, para la dispersión de los datos se empleó las medidas estadísticas de variabilidad como la varianza o desviación estándar, las que según su valor determinara si existe mayor o menor dispersión. Además, dicha dispersión se analizó de forma visual a partir de los gráficos

elaborados.

3.3.3. EVALUACIÓN DEL PRONÓSTICO DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO

Para la evaluación del pronóstico de la velocidad del viento se obtuvieron los datos de puntos de grilla coincidentes con la ubicación de estaciones meteorológicas; las cuales son: Aeropuerto Jorge Chávez (Lima), Pisco, Nasca y Chimbote. Para esto se elaboran o construyen las tablas de terciles con categorías Bajo lo normal (B), Normal (N) y Sobre lo normal (S) y a partir de estas, se calculan las medidas de verificación, tales como la Proporción Correcta o razón de Certeza (PC), el Heidke Skill Score (HSS) y la correlación (r). El rango de certeza o precisión del pronóstico y observado queda determinado por la forma de la curva en la distribución de frecuencia (distribución Normal o con Sesgo a la derecha o izquierda).

3.3.4. VERIFICACIÓN DE PRONÓSTICO BINARIO DEL MODELO BRAMS PARA UN EVENTO DE VELOCIDAD DEL VIENTO

Para pronosticar un evento meteorológico importante se condicionó una velocidad mayor de 10 kt para la estación de Pisco. Para construir una Tabla de contingencia binaria se contabiliza los términos descritos en la Tabla 2.

Tabla 2: Tabla de contingencia de binaria

| | | Evento observado | |
|---------------------------------|----|------------------|-----------------|
| | | (vto>10kt) | |
| Evento Pronost (vto>10kt) | | SI | NO |
| | SI | ÉXITO | FALSA ALARMA |
| | NO | FRACASO | RECHAZO CERTERO |

Si el pronóstico del modelo BRAMS fue mayor de 10 kt y el dato observado también fue mayor a 10 kt, entonces se define como “éxito”. Ahora si el pronóstico del modelo no pronostica velocidad del viento mayor a 10kt y el dato observado fue mayor de 10kt,

entonces se define como “fracaso”. En el caso que se pronostica velocidad del viento mayor a 10kt y el dato observado fue menor a 10kt, entonces se define como “falsa alarma”. Y finalmente si el pronóstico no pronostica velocidad del viento mayor a a10kt y el dato observado fue menor de 10kt, entonces se define como “rechazo certero”.

3.3.5. EVALUACIÓN DEL PRONÓSTICO DE LA TEMPERATURA DEL AIRE DEL MODELO BRAMS

Primero se realiza una prueba estadística de F para las varianzas entre los datos pronosticados de temperatura del aire del modelo y los datos de reanálisis del CPTEC a una altura de 30 metros.

Las medidas de verificación a utilizadas son las de desempeño o performance del modelo: la Proporción Correcta o razón de Certeza (PC), el Heidke Skill Score (HSS) y la correlación (r). Para esto se construye la tabla de terciles (3x3) con categorías de Bajo (B), Normal (N) y Sobre o Normal (S).

A nivel espacial cada 6 horas se graficó la diferencia entre la temperatura pronosticada y la del reanálisis con un rango de certeza de $\pm 2^{\circ}\text{C}$. El área a analizar es a nivel de la costa central. Si los valores caen dentro del rango de certeza el área presentada es coloreada y si dicha diferencia cae fuera del rango de acierto el área es de color blanco.

Este margen de acierto a nivel espacial, se asumió debido a que las temperaturas del aire de las estaciones de Pisco, Nazca y Chimbote presentan una gran variabilidad climática entre 1.5 a 2°C , según climatologías.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RELACIÓN ENTRE EL PRONÓSTICO DEL MODELO BRAMS Y LOS DATOS OBSERVADOS EN UN PUNTO DE GRILLA

4.1.1. PRUEBA DE F DE LA VARIANZA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO PRONOSTICADO DEL MODELO BRAMS Y LOS DATOS OBSERVADOS

a. Pisco

En la Tabla 3, la hipótesis Nula se rechaza debido a que F calculado, 1.56, es mayor que el F crítico, 1.27; por lo tanto las varianzas son diferentes.

De las Figuras 2 y 3 se observa que los datos pronosticados y observados se ajustan a una distribución asimétrica o sesgo hacia la derecha, indicando que el mayor número de datos o moda se concentran a las velocidades más bajas.

Tabla 3: Prueba de Fisher para Varianzas de la velocidad del viento y el observado

| Prueba F para varianzas de dos muestras_Pisco | |
|---|--------------------------|
| Hipótesis | |
| Nula (H_0) | $\sigma_1 = \sigma_2$ |
| Alternativa (H_1) | $\sigma_1 \neq \sigma_2$ |

| | Velocidad del modelo | Velocidad Observado |
|-------------------------------------|----------------------|---------------------|
| Media | 10,28 | 6,02 |
| Varianza | 24,84 | 15,88 |
| Observaciones | 186 | 186 |
| Grados de libertad | 185 | 185 |
| Fprueba | 1,56 | |
| P(F<=f) una cola | 0,00 | |
| Valor crítico para F (una cola) | 1,27 | |
| Nivel de Significancia (α) | 0,05 | |

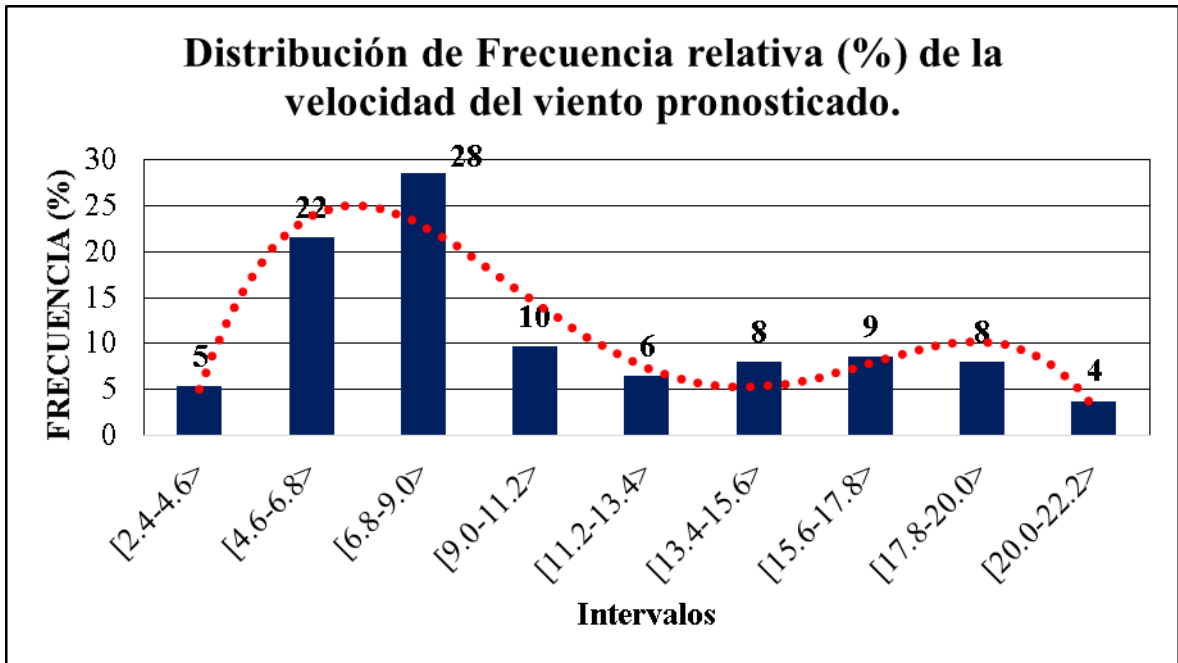


Figura 2: Distribución de Frecuencia de la velocidad del viento pronosticado. Estación Pisco

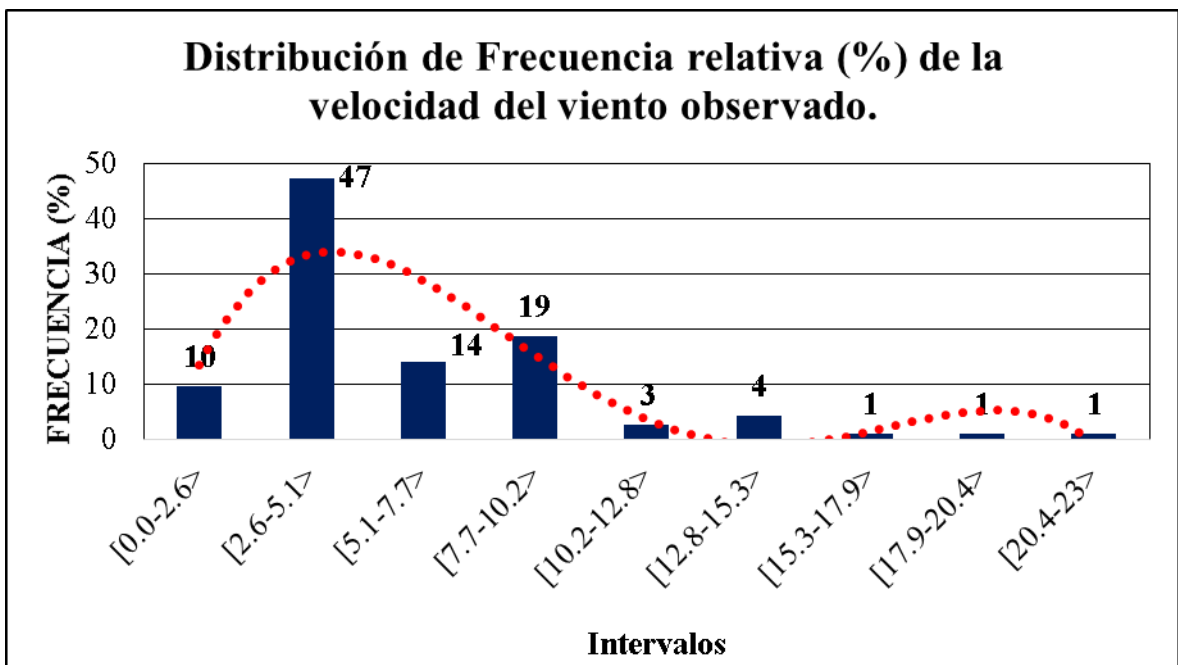


Figura 3: Distribución de Frecuencia de la velocidad del viento observado. Estación Pisco

b. Nasca

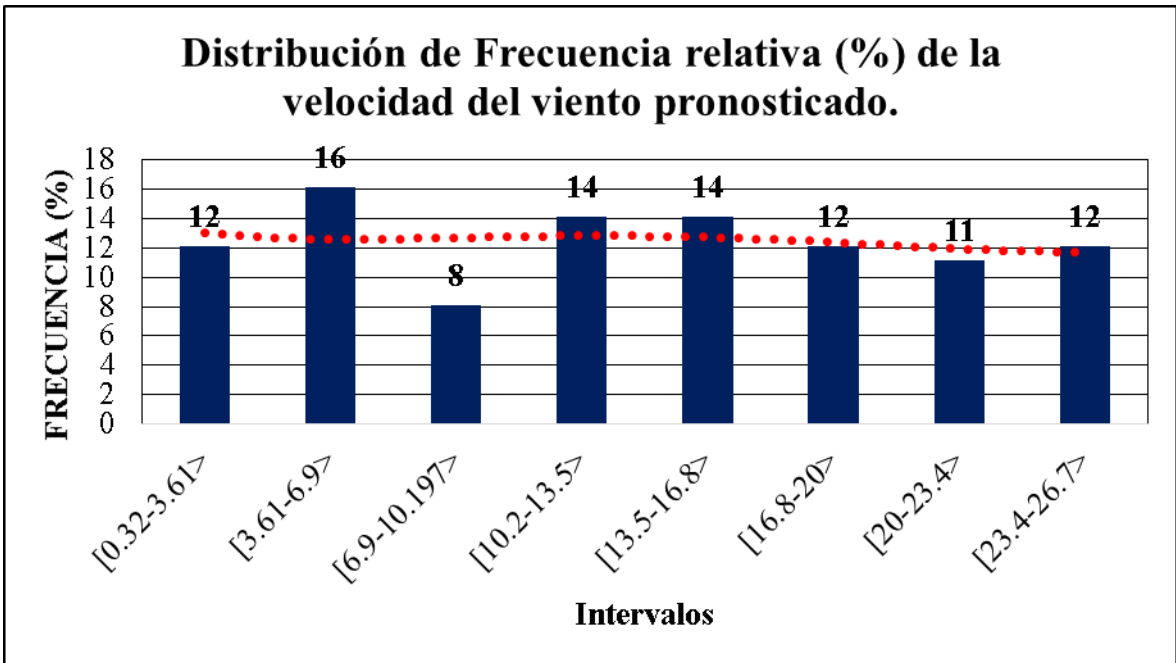
En la Tabla 4, la hipótesis Nula se rechaza debido a que F calculado, 4.77, es mayor que el F crítico, 1.4; por lo que la dispersión o varianza de los valores de la velocidad del viento pronosticados y observados son diferentes.

De la Figura 4, se observa que los diferentes intervalos de datos pronosticados, la frecuencia relativa (%) no presentan variaciones importantes por lo que dichos datos no se ajustan a ningún tipo de distribución normal ni con sesgo; mientras que en la Figura 5, se observa que los datos observados se ajustan a una distribución próxima a una simétrica o normal, indicando que el mayor número de datos se concentran en la parte central.

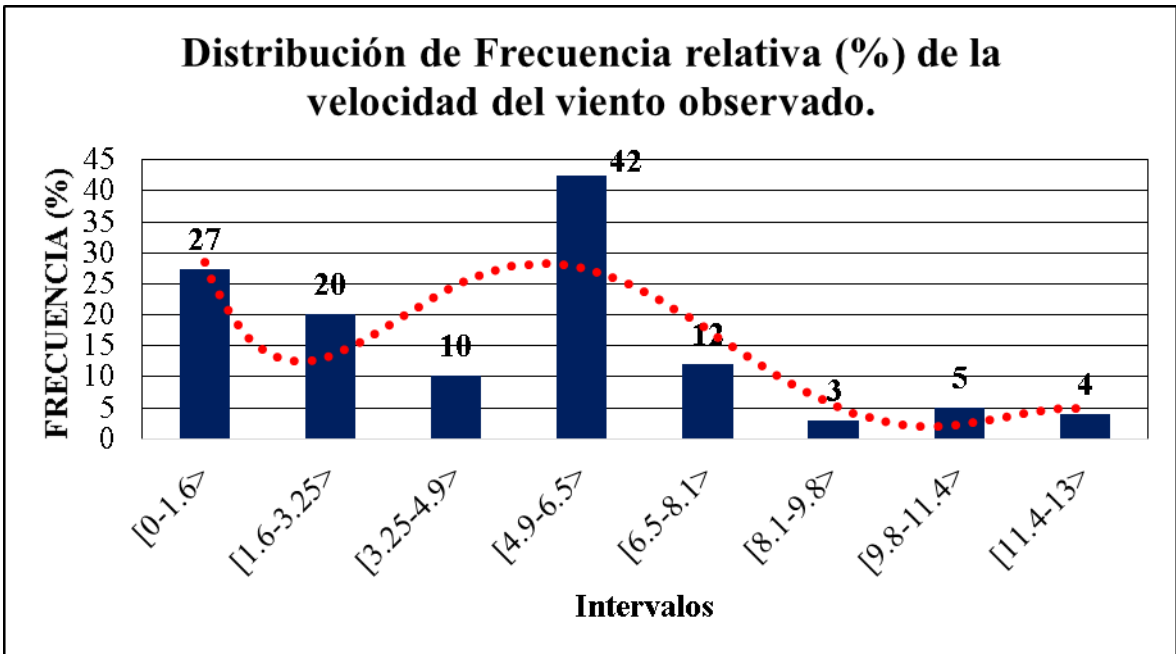
Tabla 4: Prueba de Fisher para Varianzas de la velocidad del viento pronosticado y observado

| Prueba F para varianzas de dos muestras_Nasca | |
|--|--------------------------|
| Hipótesis | |
| Nula (H ₀) | $\sigma_1 = \sigma_2$ |
| Alternativa (H ₁) | $\sigma_1 \neq \sigma_2$ |

| | Velocidad del modelo | Velocidad Observado |
|-------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Media | 13,18 | 4,21 |
| Varianza | 56,38 | 11,82 |
| Observaciones | 99 | 99 |
| Grados de libertad | 98 | 98 |
| Fprueba | 4,77 | |
| P(F<=f) una cola | 0,00 | |
| Valor crítico para F (una cola) | 1,40 | |
| Nivel de Significancia (α) | 0,05 | |



**Figura 4: Distribución de Frecuencia de la velocidad del viento pronosticado.
Estación Nasca**



**Figura 5: Distribución de Frecuencia de la velocidad del viento pronosticado.
Estación Nasca**

c. Lima

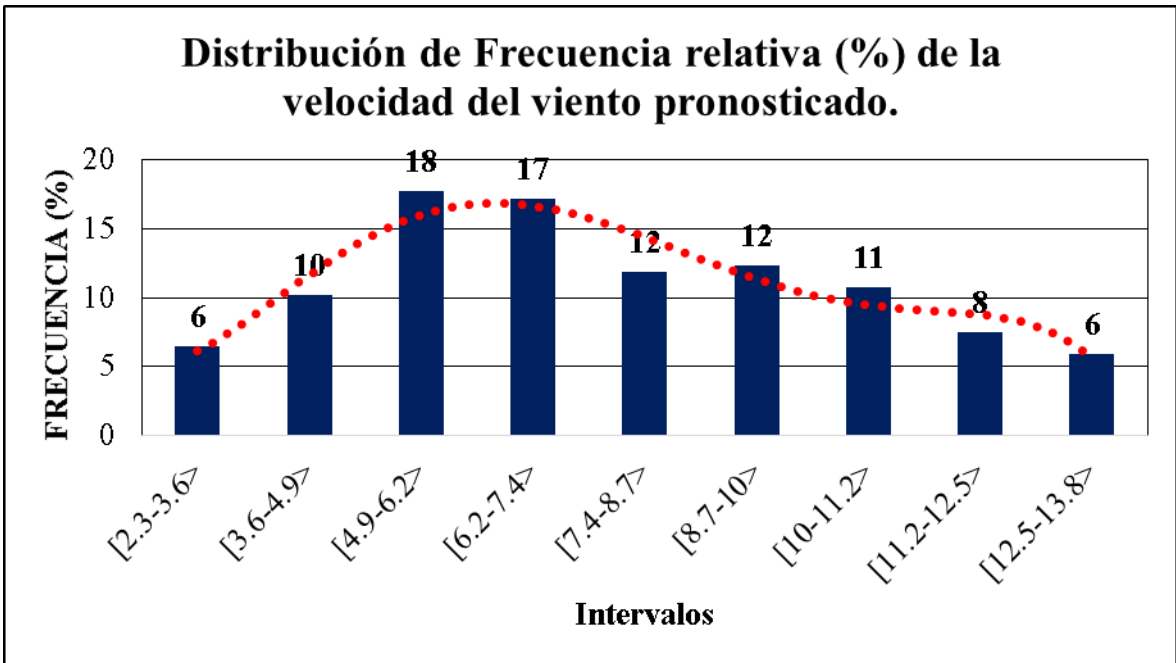
En la Tabla 5, la hipótesis Nula se rechaza debido a que F calculado, 1.52, es mayor que el F crítico, 1.27; por lo que la dispersión o varianza de los datos de la velocidad del viento pronosticado y observado son diferentes.

De las Figuras 6 y 7 se observan que los datos pronosticados y observados se ajustan a una distribución asimétrica o ligero sesgo hacia la derecha, indicando que el mayor número de datos se concentran hacia velocidades menores

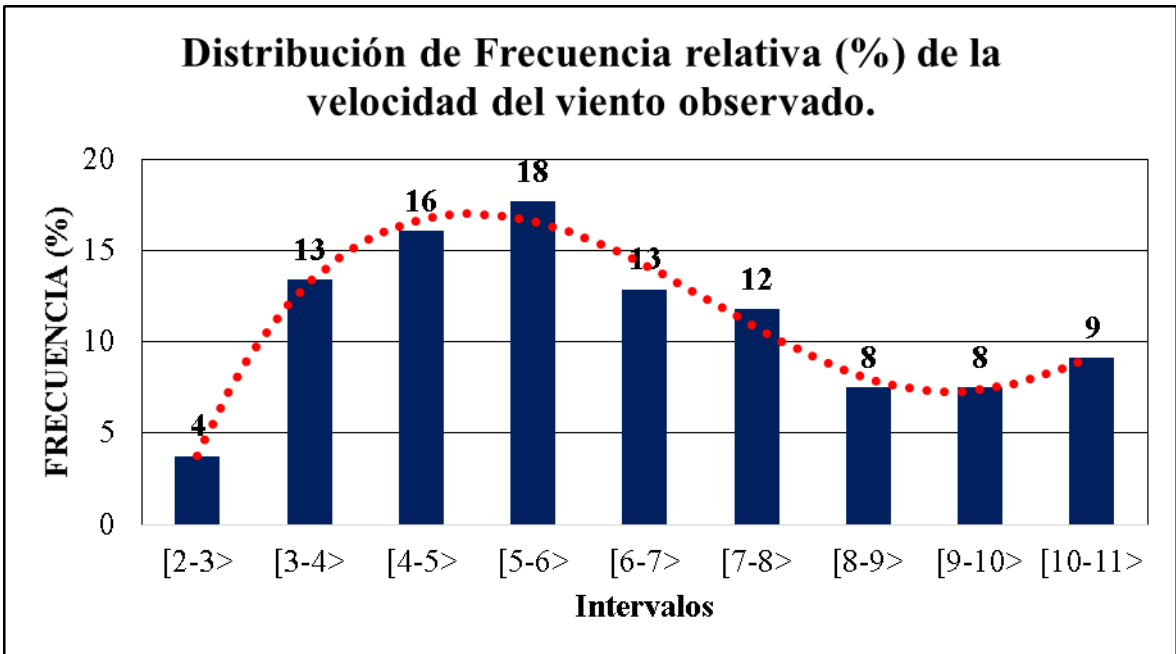
Tabla 5: Prueba de Fisher para Varianzas de la velocidad del viento pronosticado y observado

| Prueba F para varianzas de dos muestras_Lima | |
|---|--------------------------|
| Hipótesis | |
| Nula (Ho) | $\sigma_1 = \sigma_2$ |
| Alternativa (H1) | $\sigma_1 \neq \sigma_2$ |

| | Velocidad del modelo | Velocidad del observado |
|-------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| Media | 7,72 | 5,83 |
| Varianza | 8,26 | 5,44 |
| Observaciones | 186 | 186 |
| Grados de libertad | 185 | 185 |
| Fprueba | 1,52 | |
| P(F<=f) una cola | 0,00 | |
| Valor crítico para F (una cola) | 1,27 | |
| Nivel de Significancia (α) | 0,05 | |



**Figura 6: Distribución de Frecuencia de la velocidad del viento pronosticado.
Estación Lima**



**Figura 7: Distribución de Frecuencia de la velocidad del viento pronosticado.
Estación Lima**

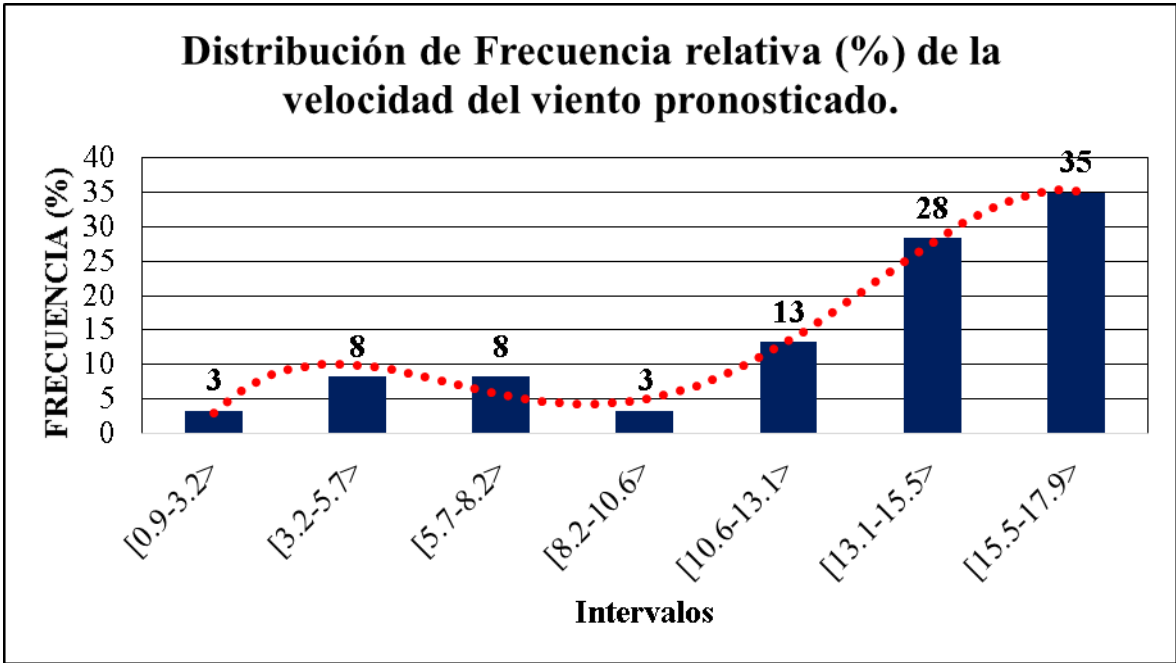
d. Chimbote

En la Tabla 6, la hipótesis Nula se rechaza debido a que F calculado, 0.58, es menor que el F crítico, 0.65. Según las Figuras 8 y 9 los datos observados y pronosticados se ajustan a una distribución asimétrica con sesgo hacia la izquierda, indicando que el mayor número de datos se concentran hacia velocidades máximas; además que existe diferencias en las varianzas de los datos donde la dispersión de los valores de la velocidad del viento pronosticada es menor que el de la velocidad observada.

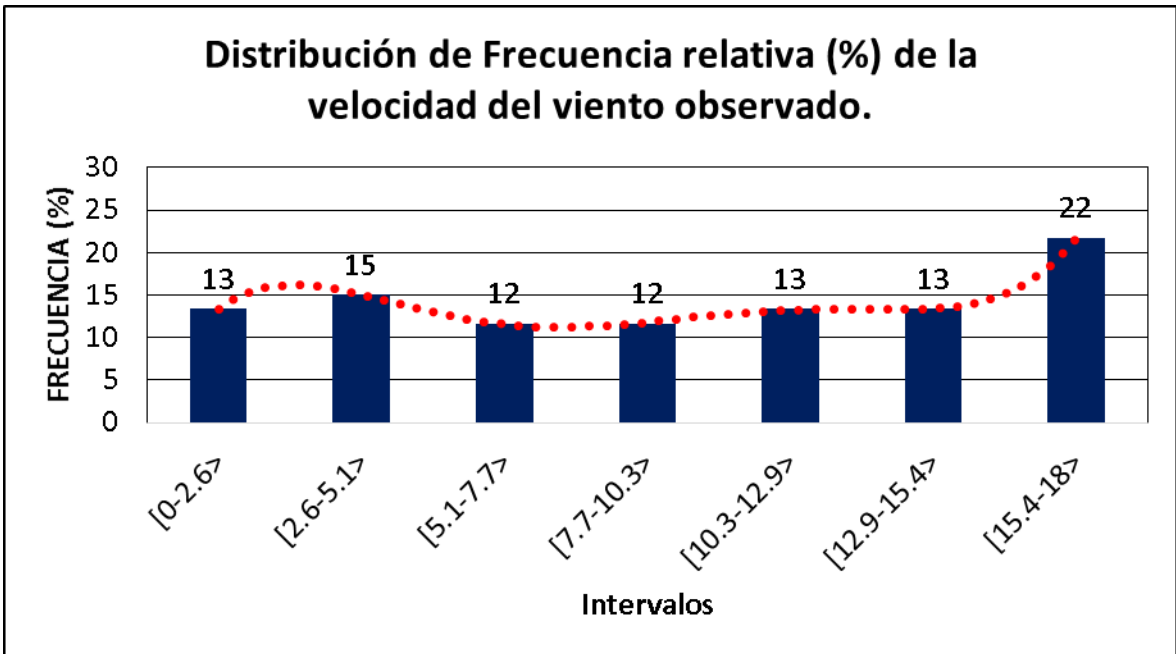
Tabla 6: Prueba de Fisher para Varianzas de la velocidad del viento pronosticado y observado

| Prueba F para varianzas de dos muestras_Chimbote | |
|---|--------------------------|
| Hipótesis | |
| Nula (Ho) | $\sigma_1 = \sigma_2$ |
| Alternativa (H1) | $\sigma_1 \neq \sigma_2$ |

| | Velocidad del modelo | Velocidad Observado |
|-------------------------------------|----------------------|---------------------|
| Media | 12,85 | 9,57 |
| Varianza | 19,22 | 33,10 |
| Observaciones | 60 | 60 |
| Grados de libertad | 59 | 59 |
| Fprueba | 0,58 | |
| P(F<=f) una cola | 0,02 | |
| Valor crítico para F (una cola) | 0,65 | |
| Nivel de Significancia (α) | 0,05 | |



**Figura 8: Distribución de Frecuencia de la velocidad del viento pronosticado.
Estación Chimbote**



**Figura 9: Distribución de Frecuencia de la velocidad del viento pronosticado.
Estación Chimbote**

4.2. CORRELACIÓN ENTRE EL PRONÓSTICO DEL MODELO BRAMS Y LOS DATOS OBSERVADOS EN UN PUNTO DE GRILLA

a. Pisco

En la Figura 10 se observa que entre los datos horarios pronosticados y los observados en la estación de Pisco presentan baja correlación (0.51), mostrando los datos muy dispersos y alejados de la recta.

A menores velocidades entre los 5m/s y los 10m/s, se puede notar que estos son menos dispersos. En vista que la correlación es baja, 0.51, y la dispersión de los datos es alta con varianza de los datos del modelo de 24.8, de los observado de 15.8 y una desviación estándar media de 4.5, significa que el pronóstico del modelo BRAMS de vientos no es bueno. (Ver Tabla 17).

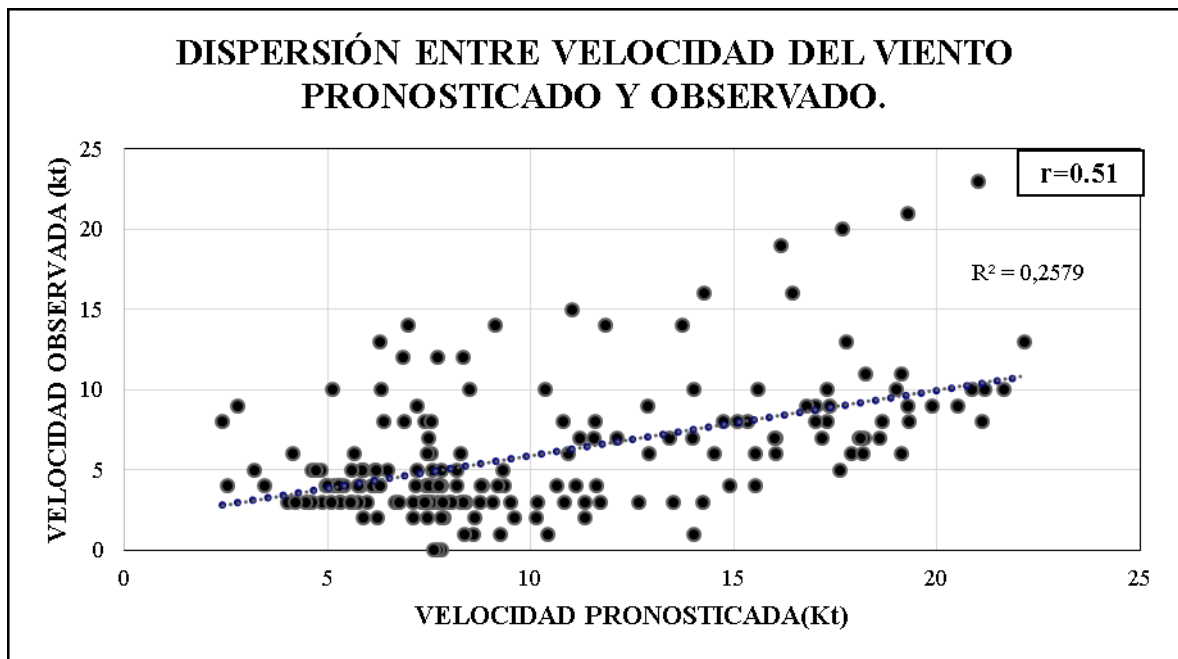


Figura 10: Dispersión y correlación de la velocidad del viento entre datos pronosticados (mod. BRAMS) y observados de Pisco.

En la Figura 11 se observa claramente que el pronóstico del modelo supera a la observada, Además, entre el segundo y tercer día ambas curvas se aproximan; especialmente durante el día; pero a partir del cuarto día las diferencias son mayores; más aún durante el día, pero

en la noche ambos valores están cercanos. En general, durante la noche los datos del pronóstico y observados no presentan mucha diferencia, pero en horas del día las diferencias son más notorias; especialmente hacia el mediodía.

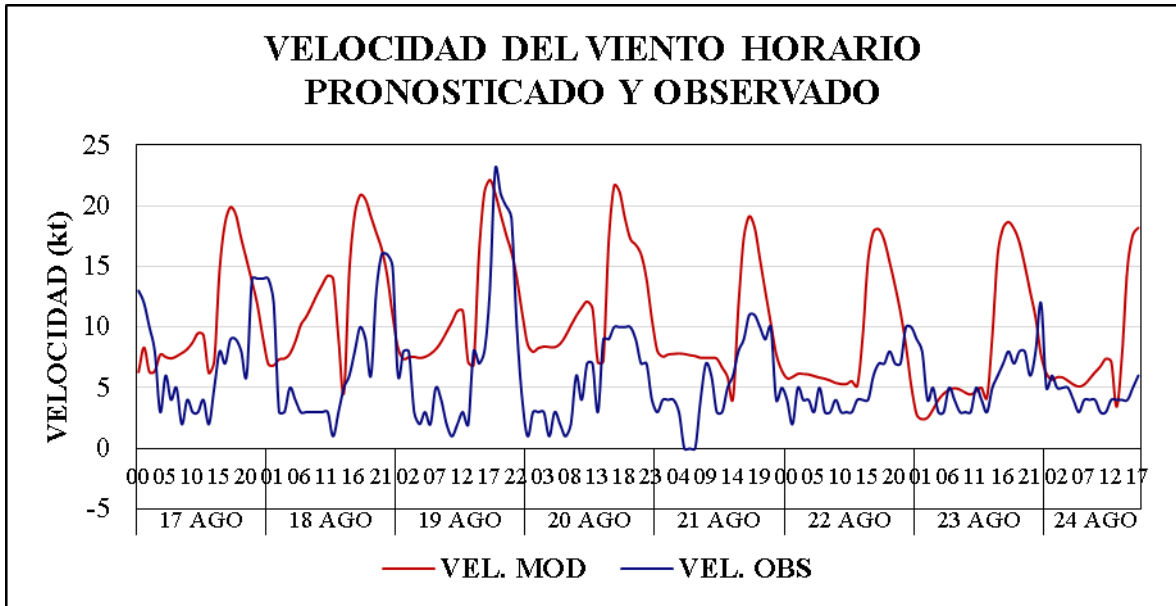


Figura 11: Velocidad del viento horario pronosticado y observado. Estación Pisco.

b. Nasca

En la Figura 12 se observa que la dispersión entre los datos horarios pronosticados y los observados en Nasca son extremadamente dispersos, con correlación entre ambos de 0.27, mostrando los datos muy alejados de la recta.

En vista que la correlación es baja (0.27) y la varianza de los datos pronosticados es de 56.4, de los observado de 11.8 y una desviación estándar media de 5.5; significa que el pronóstico del modelo BRAMS no es significativo. (Ver tabla 17).

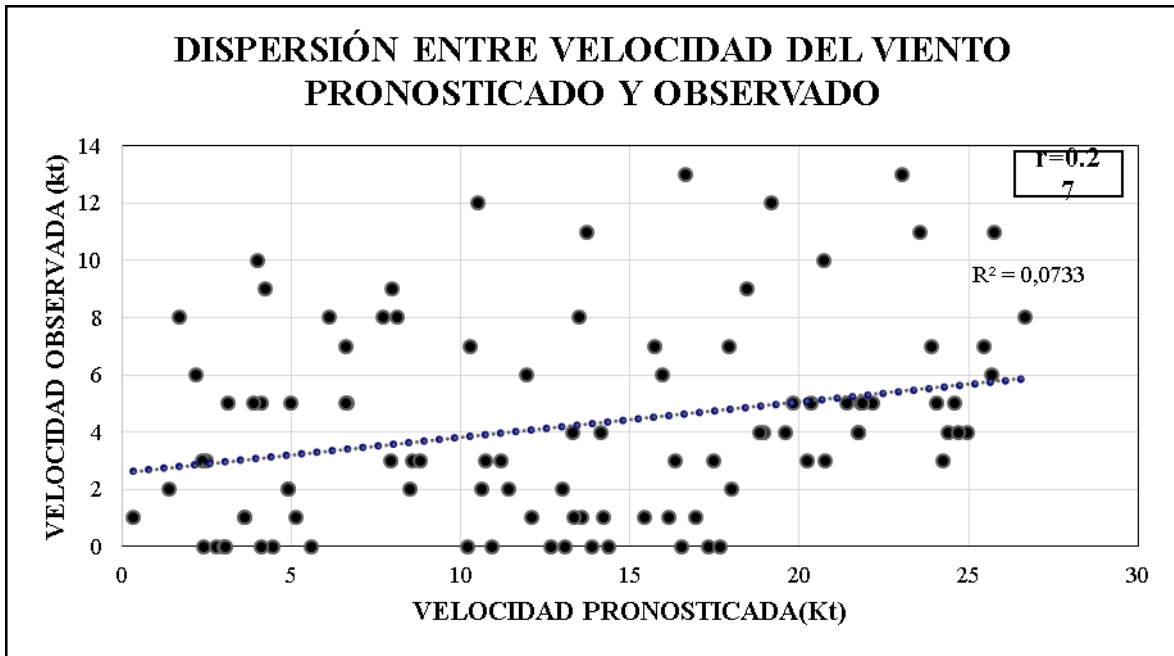


Figura 12: Dispersión y correlación de la velocidad del viento entre datos pronosticados (mod. BRAMS) y observados de Nasca.

En la Figura 13 se observa que durante el día, los datos de la velocidad pronosticados por el modelo BRAMS sobreestima en todo este periodo a los datos observados. En la noche, la estación terrena de Nasca no reportan datos observados.

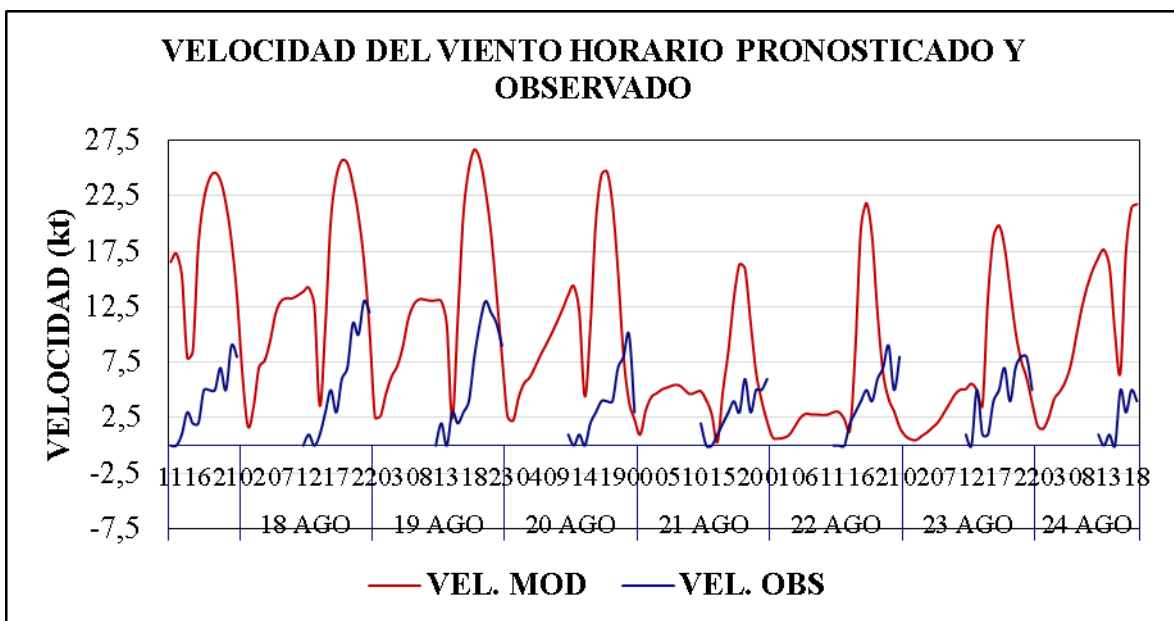


Figura 13: Velocidad del viento horario pronosticado y observado. Estación de Nazca.

c. Lima

En la Figura 14 se observa que entre los datos horarios pronosticados y los observados en la estación de Lima hay una correlación de 0.34, mostrando una moderada dispersión entre los datos.

La varianza de los datos del modelo es de 8.26, de los observados de 5.44 y una desviación estándar media de 2.6; significa que los datos del pronóstico del modelo BRAMS y los datos observados presentan moderada dispersión. Ver tabla 17.

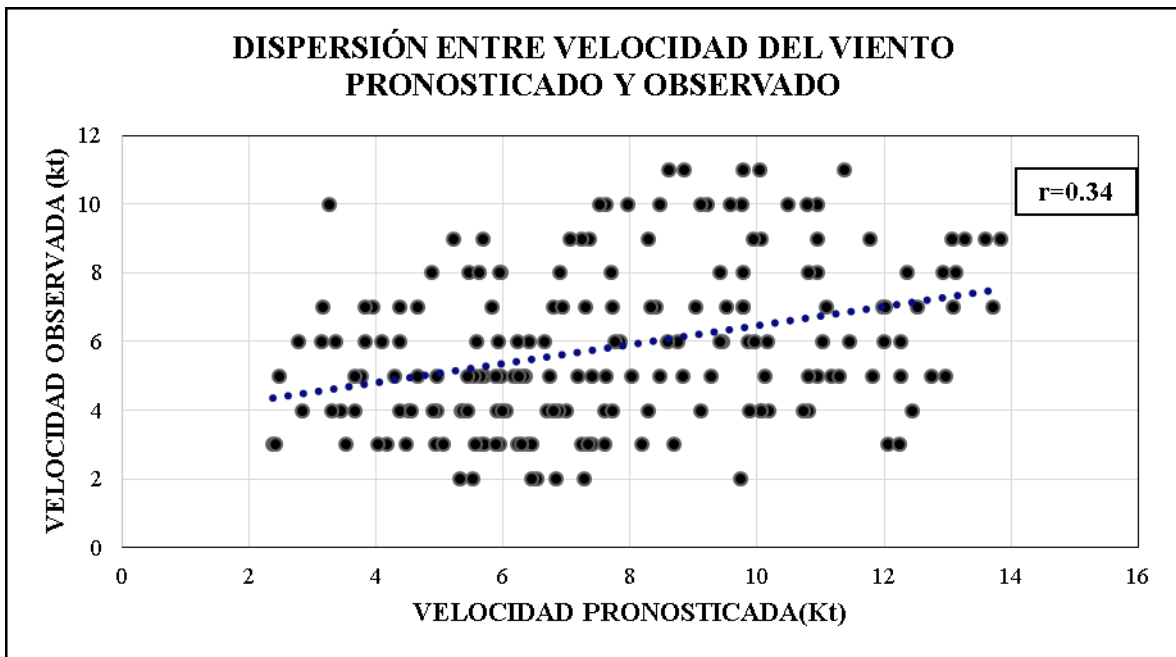


Figura 14: Dispersión y correlación de la velocidad del viento entre datos pronosticados (mod. BRAMS) y observados de Lima.

De la Figura 15, el comportamiento de los datos de los vientos horarios pronosticados y observados en la estación de Lima tiene una buena tendencia durante el primer y segundo día, luego los datos de la velocidad de los vientos pronosticados en su mayoría sobreestima a los datos observados.

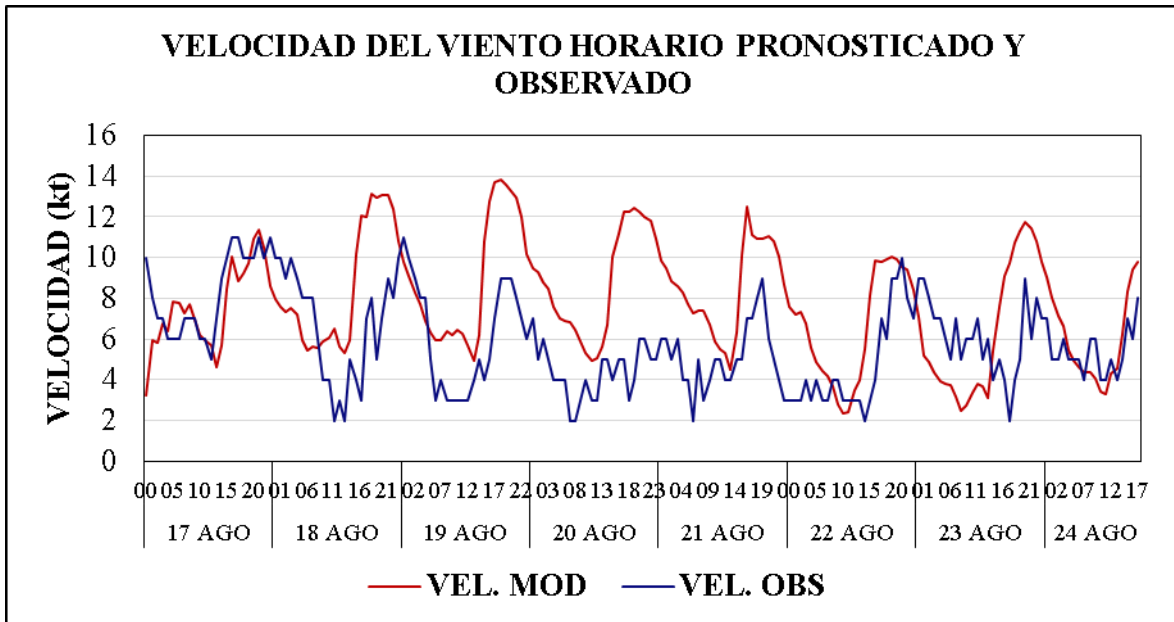


Figura 15: Velocidad del viento horario pronosticado y observado. Estación de Lima.

d. Chimbote

En la Figura 16 se observa que entre los datos horarios pronosticados y los observados en la estación de Chimbote presentan una correlación de 0.57, donde muestra un agrupamiento de los datos pronosticados y observados en velocidades superiores a los 12m/s y hasta los 18m/s.

La varianza de los datos del modelo es de 19.22, de los observados de 33.10 y una desviación estándar de 5.1; significa que los datos del pronóstico del modelo BRAMS y los datos observados son muy dispersos.

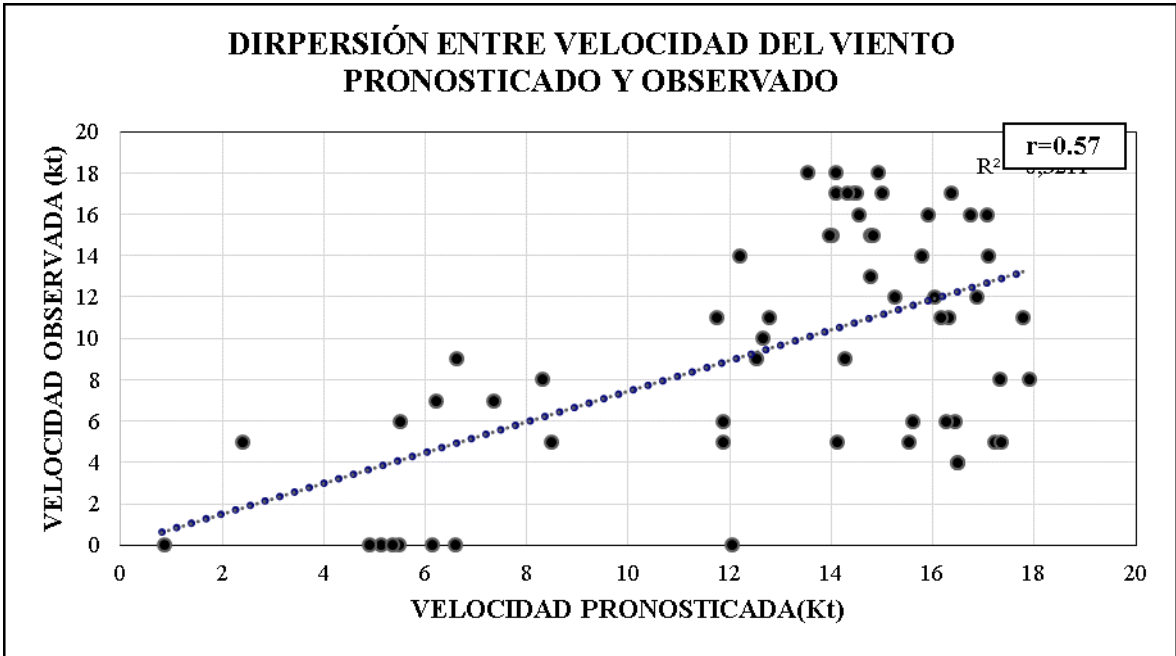


Figura 16: Dispersión y correlación de la velocidad del viento entre datos pronosticados (mod. BRAMS) y observados de Chimbote.

En la Figura 17, el comportamiento de la velocidad del viento pronosticado por el modelo BRAMS en la estación de Chimbote presenta una similar tendencia hasta el cuarto día y sexto día. Para los dos últimos días el pronóstico no es bueno.

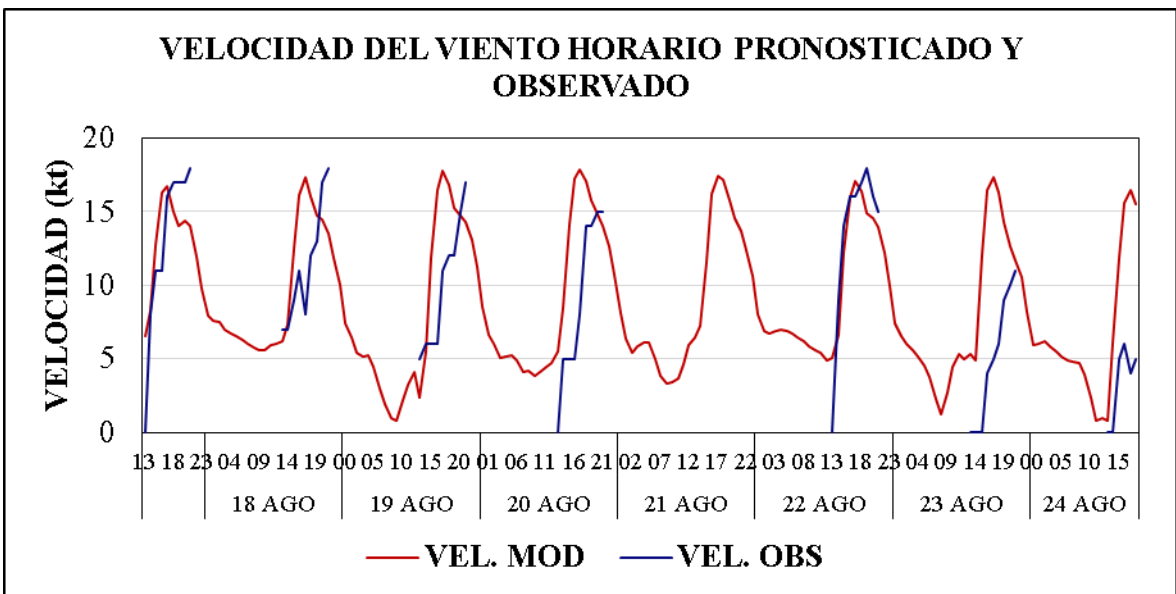


Figura 17: Velocidad del viento horario pronosticado y observado. Estación Chimbote

Tabla 7: Valores de dispersión de los datos de pronóstico y observados

| Estación | Varianza (σ^2) | | Desv. Stand. (σ) | | Desv. Stand. |
|----------|-------------------------|-----------|---------------------------|-----------|--------------|
| | Pronóstico | Observado | Pronóstico | Observado | Media |
| Pisco | 24.9 | 15.9 | 5.0 | 4.0 | 4.5 |
| Nasca | 56.4 | 11.8 | 7.5 | 3.4 | 5.5 |
| Lima | 8.3 | 5.4 | 2.9 | 2.3 | 2.6 |
| Chimbote | 19.2 | 33.1 | 4.4 | 5.8 | 5.1 |

4.3. EVALUACIÓN DEL PRONÓSTICO DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO DEL MODELO BRAMS

a. Pisco

En la Tabla 8 se observa que el rango de precisión de los datos del pronóstico abarca de 3.4 a 13.3 kt y los observados de 1 a 8 kt y el total de datos o casos es de 186. Además, se observa que el modelo pronosticó 04 casos por debajo del límite de precisión (B) y al compararlos con los observados se tuvo 0 casos por debajo del límite de precisión (B), 4 casos dentro del rango de precisión (N) y 0 casos por encima de dicho límite (S); es decir que el pronóstico en esta categoría; no tuvo éxito. También observamos que el modelo PRONÓSTICO 129 casos dentro del rango de precisión (N) de dicho pronóstico, de los cuales en la realidad, 3 casos estuvieron por debajo del límite de precisión (B), 114 dentro del rango (N) y 12 por encima del límite (S); es decir, que en esta categoría N, solo coincidieron 114 casos con los observados, lo que representa el 0.61 ó 61% del total de la muestra. Por otro lado el modelo pronosticó 53 casos por encima del límite (S) de dicho pronóstico; de los cuales en la realidad 0 casos estuvieron por debajo del límite de precisión (B) de los datos observados, 35 dentro del rango (N) y 18 por encima del límite (S); es decir que en esta categoría S, el modelo solo acertó en 18 casos, lo que representa el 0.1 ó 10% del total de casos. (Ver tabla 9).

Tabla 8: Tabla de contingencia de 3x3 de número de datos del pronóstico de velocidad del viento por categoría

| | | OBSERVADO | | | | DISTRIBUCIÓN DE PRONÓSTICO |
|-----------------------------|----------------|------------|---|-----|-----------|----------------------------|
| | | Lim Inf. | 1 | 9 | Lim. Sup. | |
| | | CATEGORÍAS | B | N | S | |
| PRONÓSTICO | Lim. Inf. 3.4 | B | 0 | 4 | 0 | 4 |
| | | N | 3 | 114 | 12 | 129 |
| | Lim. Sup. 13.3 | S | 0 | 35 | 18 | 53 |
| DISTRIBUCIÓN DE OBSERVACIÓN | | | 3 | 153 | 30 | 186 |

Tabla 9: Tabla de frecuencia relativa. Pisco

| | | OBSERVADO | | | DISTRIBUCIÓN DE PROB. PRONÓSTICO | |
|----------------------------------|---|------------|-----|-----|----------------------------------|-----|
| | | CATEGORÍAS | B | N | | S |
| PRONÓSTICO | B | | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | N | | 0,0 | 0,6 | 0,1 | 0,7 |
| | S | | 0,0 | 0,2 | 0,1 | 0,3 |
| DISTRIBUCIÓN DE PROB OBSERVACIÓN | | | 0,0 | 0,8 | 0,2 | 1,0 |

De la Tabla 10 algunas medidas de verificación como la Proporción Correcta (PC) es de 0.7 ó 70%, lo que significa que el modelo BRAMS tiene un buen performance. El Skill Score (HSS) es de 0.3 o 30% que es el porcentaje de pronósticos correctos, lo que indica que el modelo presenta baja habilidad. El Coeficiente de correlación de Pearson (r) es 0.50, lo que significa que el grado de correlación entre los datos es baja.

Tabla 10: Medidas de verificación entre pronóstico y observación. Pisco

| | |
|--|-----|
| Proporción Correcta (PC) | 0.7 |
| Hit Skill Score (HSS) | 0.3 |
| Coeficiente Correlación de Pearson (r) | 0.5 |

b. Nasca

En la Tabla 11 se observa que el rango de precisión de los datos del pronóstico abarca de 8.5 a 17.2 kt y los observados de 2 a 5 kt y el total de datos o casos es de 186. Además, se observa que el modelo pronosticó 32 casos por debajo del límite de precisión (B) y al compararlos con los observados se tuvo 11 casos por debajo del límite de precisión (B), 12 casos dentro del rango de precisión (N) y 9 casos por encima de dicho límite (S); es decir, que en esta categoría N, solo coincidieron 12 casos con los observados, lo que representa el 0.11 ó 11% del total de la muestra. También observamos que el modelo PRONÓSTICO 33 casos dentro del rango de precisión (N) de dicho pronóstico, de los cuales en la realidad, 14 casos estuvieron por debajo del límite de precisión (B), 11 dentro del rango (N) y 8 por encima del límite (S); es decir, que en esta categoría N, solo coincidieron 11 casos con los observados, lo que representa el 0.11 ó 11% del total de la muestra. Por otro lado el modelo pronosticó 34 casos por encima del límite (S) de dicho pronóstico; de los cuales en la realidad 2 casos estuvieron por debajo del límite de precisión (B) de los datos observados, 21 dentro del rango (N) y 11 por encima del límite (S); es decir que en esta categoría S, el modelo solo acertó en 11 casos, lo que representa el 0.11 ó 11% del total de casos. (Ver tabla 12).

Tabla 11: Tabla de contingencia de 3x3 de número de datos del pronóstico de velocidad del viento por categoría

| | | OBSERVADO | | | | DISTRIBUCIÓN DE PRONÓSTICO |
|-----------------------------|-----------------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|----------------------------|
| | | Lim. Inf. 2 | 5 | Lim. Sup. | | |
| | | CATEGORÍAS | B | N | S | |
| PRONÓSTICO | Lim. Inf. 8.5 | B | 11 | 12 | 9 | 32 |
| | | N | 14 | 11 | 8 | 33 |
| | Lim. Sup. 17.2 | S | 2 | 21 | 11 | 34 |
| DISTRIBUCIÓN DE OBSERVACIÓN | | | 27 | 44 | 28 | 99 |

Tabla 12: Tabla de frecuencia relativa. Nasca.

| | OBSERVADO | | | DISTRIBUCIÓN DE PROB. PRONÓSTICO | |
|----------------------------------|------------|------------|------------|----------------------------------|------------|
| | CATEGORÍAS | B | N | | S |
| PRONÓSTICO | B | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,3 |
| | N | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,3 |
| | S | 0,0 | 0,2 | 0,1 | 0,3 |
| DISTRIBUCIÓN DE PROB OBSERVACIÓN | | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 1,0 |

En la tabla 13, muestra que las medidas de verificación como la proporción correcta o razón de certeza presenta un valor de 0.33, lo que indica que la habilidad del modelo no es buena.

El Hit Skill Score (HSS) muestra un valor de 0.0; por lo que el pronóstico es incierto o al azar.

El Coeficiente de correlación de Pearson (r) es 0.27, lo que significa que el grado de correlación entre los datos es muy bajo.

Tabla 13: Medidas de verificación entre pronóstico y observación. Nasca.

| | |
|--|------|
| Proporción Correcta (PC) | 0.33 |
| Hit Skill Score (HSS) | 0.00 |
| Coeficiente Correlación de Pearson (r) | 0.27 |

c. Lima

En la tabla 14 se observa que el rango de precisión de los datos del pronóstico abarca de 4.5 a 10.2 kt y los observados de 2.7 a 7.3 kt y el total de datos o casos es de 186. Además, se observa que el modelo pronosticó 25 casos por debajo del límite de precisión (B) y al compararlos con los observados se tuvo 0 casos por debajo del límite de precisión (B), 24 casos dentro del rango de precisión (N) y 1 casos por encima de dicho límite (S); es decir, que en esta categoría N, no se acertó con ningún caso. También observamos que el modelo pronosticó 124 casos dentro

del rango de precisión (N) de dicho pronóstico, de los cuales en la realidad, 7 casos estuvieron por debajo del límite de precisión (B), 87 dentro del rango (N) y 30 por encima del límite (S); es decir, que en esta categoría N, solo coincidieron 87 casos con los observados, lo que representa el 0.47 ó 47% del total de la muestra. Por otro lado el modelo pronosticó 37 casos por encima del límite (S) de dicho pronóstico; de los cuales en la realidad 0 casos estuvieron por debajo del límite de precisión (B) de los datos observados, 23 dentro del rango (N) y 14 por encima del límite (S); es decir que en esta categoría S, el modelo solo acertó en 14 casos, lo que representa el 0.12 ó 12% del total de casos. (Ver tabla 15).

Tabla 14: Tabla de contingencia de 3x3 de número de datos del pronóstico de velocidad del viento por categoría

| | | OBSERVADO | | | | DISTRIBUCIÓN DE PRONÓSTICO |
|-----------------------------|-----------------------|----------------------|------------|------------|-----------|----------------------------|
| | | Lim. Inf. 2.7 | 7.3 | Lim. Sup. | | |
| | | CATEGORÍAS | B | N | S | |
| PRONÓSTICO | Lim. Inf. 4.5 | B | 0 | 24 | 1 | 25 |
| | | N | 7 | 87 | 30 | 124 |
| | Lim. Sup. 10.2 | S | 0 | 23 | 14 | 37 |
| DISTRIBUCIÓN DE OBSERVACIÓN | | | 7 | 134 | 45 | 186 |

Tabla 15: Tabla de frecuencia relativa

| | OBSERVADO | | | | DISTRIBUCIÓN DE PROB. PRONÓSTICO |
|----------------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------------------------|
| | CATEGORÍAS | B | N | S | |
| PRONÓSTICO | B | 0,00 | 0,13 | 0,01 | 0,1 |
| | N | 0,04 | 0,47 | 0,16 | 0,7 |
| | S | 0,00 | 0,12 | 0,08 | 0,2 |
| DISTRIBUCIÓN DE PROB OBSERVACIÓN | | 0,0 | 0,7 | 0,2 | 1,0 |

En la Tabla 16 se muestra que las medidas de verificación como la proporción correcta presenta un valor de 0.54 el cual es aceptable, pero el Hit Skill Score (HSS) muestra un valor de 0.08, que próximo a 0.00; por lo que el pronóstico es incierto o al azar.

El Coeficiente de correlación de Pearson (r) es 0.34, lo que significa que el grado de correlación entre los datos es bajo.

Tabla 16: Medidas de verificación de performance o desempeño correspondiente entre el pronóstico y la observación

| | |
|--|------|
| Proporción Correcta (PC) | 0.54 |
| Hit Skill Score (HSS) | 0.08 |
| Coeficiente Correlación de Pearson (r) | 0.34 |

d. Chimbote

En la tabla 17 se observa que el rango de precisión de los datos del pronóstico abarca de 10.1 a 18.8 kt y los observados de 4.7 a 16.3 kt y el total de datos o casos es de 186. Además, se observa que el modelo pronosticó 14 casos por debajo del límite de precisión (B) y al compararlos con los observados se tuvo 7 casos por debajo del límite de precisión (B), 7 casos dentro del rango de precisión (N) y 0 casos por encima de dicho límite (S); es decir, que en esta categoría B, solo coincidieron 7 casos con los observados, lo que representa el 0.12 ó 12% del total de la muestra. También observamos que el modelo pronosticó 46 casos dentro del rango de precisión (N) de dicho pronóstico, de los cuales en la realidad, 3 casos estuvieron por debajo del límite de precisión (B), 34 dentro del rango (N) y 9 por encima del límite (S); es decir, que en esta categoría N, solo coincidieron 34 casos con los observados, lo que representa el 0.57 ó 57% del total de la muestra. Por otro lado el modelo pronosticó 0 casos por encima del límite (S) de dicho pronóstico; de los cuales en la realidad 0 casos estuvieron por debajo del límite de precisión (B) de los datos observados, 0 dentro del rango (N) y 0 por encima del límite (S); es decir que en esta categoría S, se dio total coincidencias. (Ver tabla 18).

Tabla 17: Tabla de contingencia de 3x3 de número de datos del pronóstico de velocidad del viento por categoría

| | | OBSERVADO | | | | DISTRIBUCIÓN DE PRONÓSTICO |
|-----------------------------|----------------|------------|---------------|------|-----------|----------------------------|
| | | | Lim. Inf. 4.7 | 16.3 | Lim. Sup. | |
| | | CATEGORÍAS | B | N | S | |
| PRONÓSTICO | Lim. Inf. 10.1 | B | 7 | 7 | 0 | 14 |
| | | N | 3 | 34 | 9 | 46 |
| | Lim. Sup. 18.8 | S | 0 | 0 | 0 | 0 |
| DISTRIBUCIÓN DE OBSERVACIÓN | | | 10 | 41 | 9 | 60 |

Tabla 18: Tabla de frecuencia relativa

| | | OBSERVADO | | | DISTRIBUCION DE PROB PRONOSTICO |
|----------------------------------|---|------------|-----|-----|---------------------------------|
| | | CATEGORÍAS | B | N | |
| PRONÓSTICO | B | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,2 |
| | N | 0,1 | 0,6 | 0,2 | 0,8 |
| | S | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| DISTRIBUCIÓN DE PROB OBSERVACIÓN | | 0,2 | 0,7 | 0,2 | 1,0 |

En la tabla 19, muestra que las medidas de verificación como la proporción correcta presenta un valor de 0.68 el cual es bastante aceptable, lo que indica que la habilidad del modelo es buena.

El Hit Skill Score (HSS) muestra un valor de 0.11, por lo que el pronóstico es incierto o al azar.

El Coeficiente de correlación de Pearson (r) es 0.57, lo que significa que el grado de correlación entre los datos es aceptable.

Tabla 19: Medidas de verificación de performance o desempeño correspondiente entre el pronóstico y la observación

| | |
|---|------|
| Proporción Correcta (PC) | 0.68 |
| Hit Skill Score (HSS) | 0.11 |
| Coefficiente Correlación de Pearson (r) | 0.57 |

4.4. VERIFICACIÓN DE PRONÓSTICO BINARIO DEL MODELO BRAMS PARA UN EVENTO DE VELOCIDAD DEL VIENTO

De acuerdo a las tablas 20 y 21, el modelo BRAMS, tuvo un 7% de éxito, es decir lo que pronosticó también ocurrió en la realidad; un 3% de fracaso, es decir que no pronosticó un evento de viento mayor de 10 kt, pero sí ocurrió; un 31% de falsas alarmas, es decir que pronosticó un evento de velocidad del viento mayor de 10 kt; pero no ocurrió y un 58% de rechazo certero; es decir que no pronosticó el evento analizado y tampoco ocurrió. Entonces el modelo presenta muy baja probabilidad para pronosticar el evento de vientos fuertes en Pisco, pero si es bueno cuando en el pronóstico de la velocidad del viento son menores de 10 kt.

Si sumásemos, la probabilidad de éxito y rechazo correcto tendríamos un 65% de probabilidad lo que el modelo acertaría; lo cual es muy bueno; ya que el pronosticador agregaría su experiencia y conocimientos para aumentar dicha probabilidad.

Tabla 20: Tabla de contingencia por categorías de pronósticos de un evento binario (velocidad mayor de 10 kt): Número de casos pronosticados. Estación Pisco.

| EST. PISCO | | Evento Observado | | TOTAL |
|-------------------|----|--------------------------|------------|------------|
| Evento Pronost | | EVENTO OBSERV (vto>10kt) | | |
| | | SI | NO | |
| | SI | 13 | 62 | 75 |
| NO | 6 | 105 | 111 | |
| TOTAL | | 19 | 167 | 186 |

Tabla 21: Tabla de contingencia por categorías de pronósticos de un evento binario (velocidad mayor de 10 kt): Frecuencia relativa porcentual. Estación Pisco.

| EST. PISCO | | Evento Observado (%) | | TOTAL |
|-----------------------|----|--------------------------|----|------------|
| Evento Pronost (%) | | EVENTO OBSERV (vto>10kt) | | |
| | | SI | NO | |
| | SI | 7 | 33 | 40 |
| NO | 3 | 56 | 60 | |
| TOTAL | | 10 | 90 | 100 |

En la Tabla 22, muestra que las medidas de verificación como la proporción correcta presenta un valor de 0.63 el cual es aceptable, el Hit Skill Score (HSS) muestra un valor de 0.14, que indica que el pronóstico del modelo presenta cierta habilidad.

El hit rate (H) es de 0.68, lo que significa que la proporción de ocurrencia que fueron correctamente pronosticados es alta.

La tasa de falsa alarmas es de 0.37, cuyo valor es bajo.

Tabla 22: Medidas de verificación de velocidad del viento mayor de 10 kt. Estación Pisco.

| | |
|----------------------------|------|
| Proporción Correcta (PC) | 0.63 |
| Hit Skill Score (HSS) | 0.14 |
| Hit rate (Tasa de acierto) | 0.68 |
| Tasa de Falsa Alarmas | 0.37 |

4.5. EVALUACIÓN DEL PRONÓSTICO DE LA TEMPERATURA DEL AIRE DEL MODELO BRAMS

4.5.1. PRUEBA ESTADÍSTICA DE FISHER (F)

a. Pisco

En la Tabla 23, se observa que el valor de F calculado, 1.28, es similar al F crítico, 1.27; por lo que la dispersión o varianza de los valores de la temperatura pronosticada y observada pueden ser iguales.

De las Figuras 18 y 19 se observa que los datos pronosticados y de reanálisis presentan una distribución bimodal.

Tabla 23: Prueba de Fisher para Varianzas de temperatura pronosticada y de Reanálisis

| Prueba F para varianzas de dos muestras_Pisco | |
|---|--------------------------|
| Hipótesis | |
| Nula (H ₀) | $\sigma_1 = \sigma_2$ |
| Alternativa (H ₁) | $\sigma_1 \neq \sigma_2$ |

| | Temp-Pronost | Temp-Reanal. |
|---------------------------------|--------------|--------------|
| Media | 21.50 | 23.05 |
| Varianza | 9.56 | 7.46 |
| Observaciones | 187.00 | 187.00 |
| Grados de libertad | 186.00 | 186.00 |
| Fprueba | 1.28 | |
| P(F<=f) una cola | 0.05 | |
| Valor crítico para F (una cola) | 1.27 | |
| Nivel de Significancia (?) | 0.05 | |

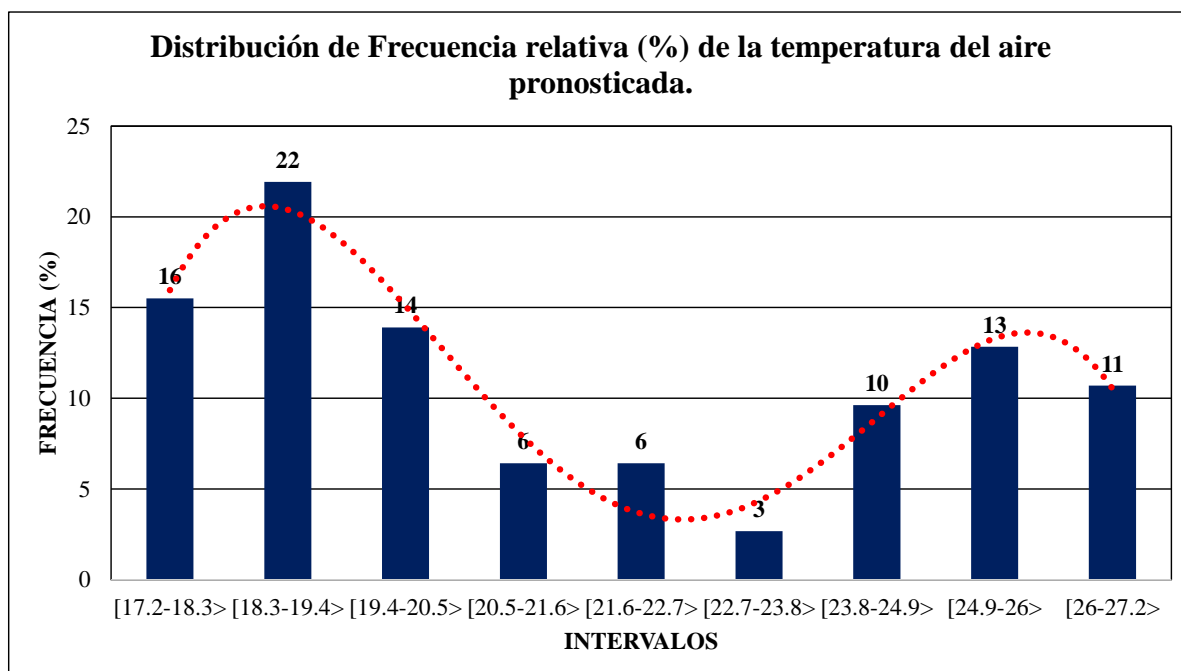


Figura 18: Distribución de Frecuencia de temperatura del aire pronosticada. Estación Pisco

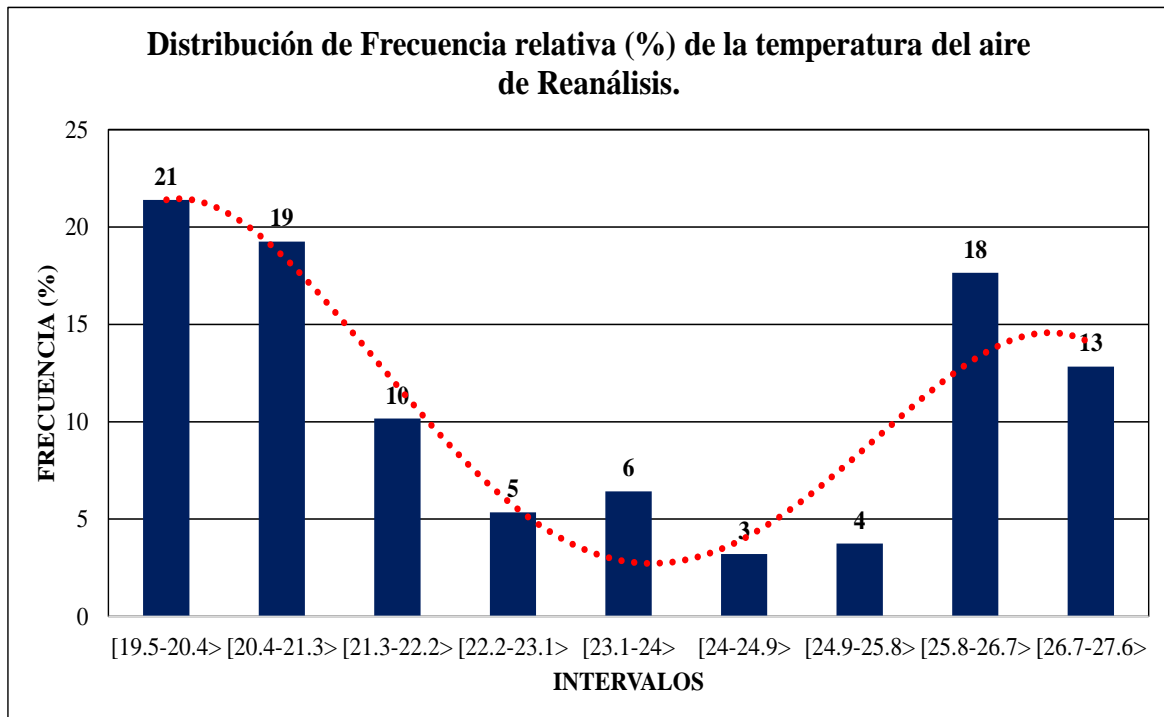


Figura 19: Distribución de Frecuencia de temperatura del aire de Reanálisis. Estación Pisco

b. Nasca

En la tabla 19, la hipótesis Nula se acepta, debido a que F calculado, 1.01, es menor que el F crítico, 1.27; por lo que la dispersión o varianza de los valores de la temperatura pronosticada y observada son iguales.

Las Figuras 20 y 21 muestran la frecuencia de datos pronosticados y se ajustan a una distribución simétrica o normal; mientras que los datos de reanálisis presentan una distribución asimétrica multimodal, con tres modas máximas.

Tabla 24: Prueba de Fisher para Varianzas de temperatura pronosticada y de Reanálisis

| Prueba F para varianzas de dos muestras_Nasca | |
|---|--------------------------|
| Hipótesis | |
| Nula (H ₀) | $\sigma_1 = \sigma_2$ |
| Alternativa (H ₁) | $\sigma_1 \neq \sigma_2$ |

| | Temp-Pronost | Temp-Reanal. |
|---------------------------------|--------------|--------------|
| Media | 20.02 | 22.73 |
| Varianza | 27.47 | 27.09 |
| Observaciones | 187.00 | 187.00 |
| Grados de libertad | 186.00 | 186.00 |
| Fprueba | 1.01 | |
| P(F<=f) una cola | 0.46 | |
| Valor crítico para F (una cola) | 1.27 | |
| Nivel de Significancia ([?]) | 0.05 | |

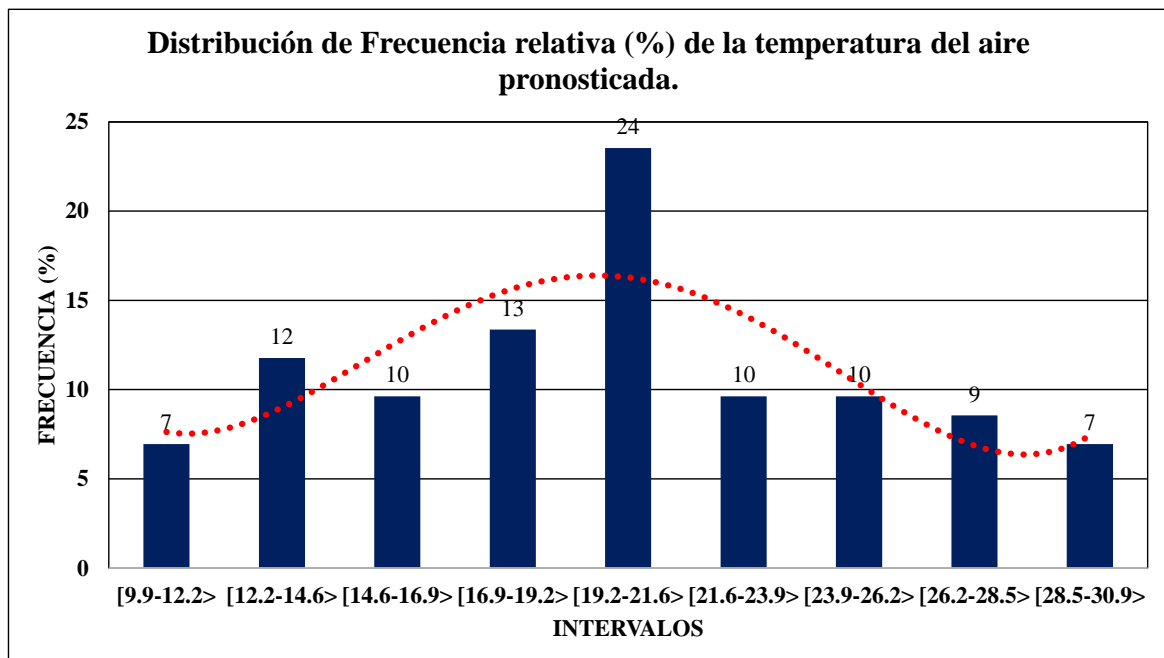


Figura 20: Distribución de Frecuencia de temperatura del aire pronosticada. Estación Nasca

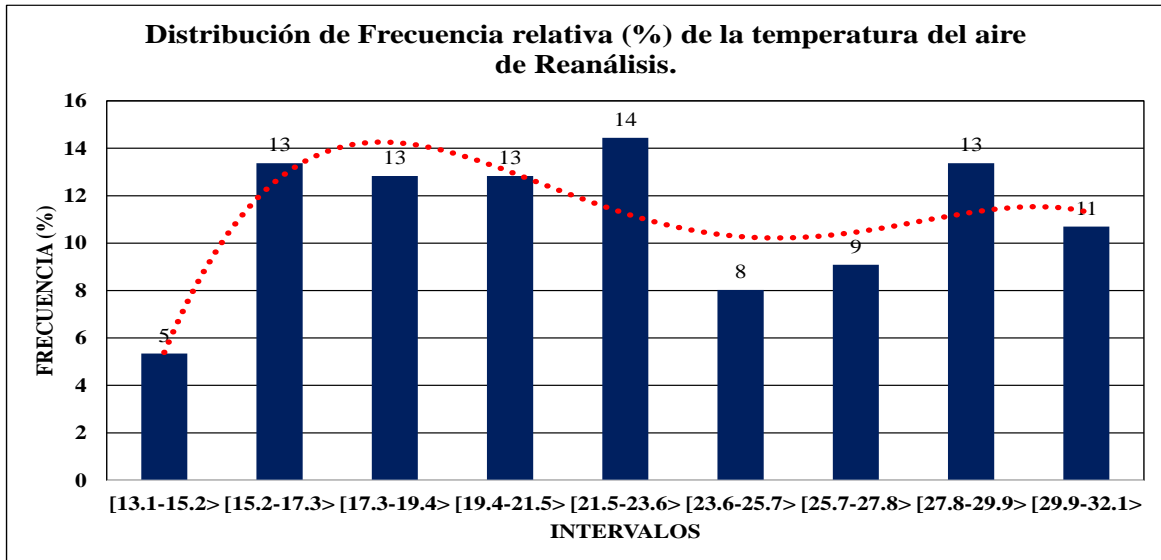


Figura 21: Distribución de Frecuencia de temperatura del aire de Reanálisis. Estación Nasca

c. Lima

En la Tabla 25, la hipótesis Nula se acepta, debido a que F calculado, 1.16, es menor que el F crítico, 1.27; por lo que la dispersión o varianza de los valores de la temperatura pronosticada es similar a la varianza observada.

De las Figuras 22 y 23, se observa que los datos pronosticados y se ajustan a una distribución simétrica o forma de campana; mientras que los datos observados presentan una distribución asimétrica con sesgo hacia la derecha, indicando que el mayor número de datos se concentran hacia valores menores.

Tabla 25: Prueba de Fisher para Varianzas de temperatura pronosticada y de Reanálisis

| Prueba F para varianzas de dos muestras_Lima | |
|---|--------------------------|
| Hipótesis | |
| Nula (H ₀) | $\sigma_1 = \sigma_2$ |
| Alternativa (H ₁) | $\sigma_1 \neq \sigma_2$ |

| | Temp-Pronost | Temp-Reanal. |
|---------------------------------|---------------------|---------------------|
| Media | 20.03 | 20.93 |
| Varianza | 2.81 | 2.42 |
| Observaciones | 187.00 | 187.00 |
| Grados de libertad | 186.00 | 186.00 |
| Fprueba | 1.16 | |
| P(F<=f) una cola | 0.15 | |
| Valor crítico para F (una cola) | 1.27 | |
| Nivel de Significancia ([?]) | 0.05 | |

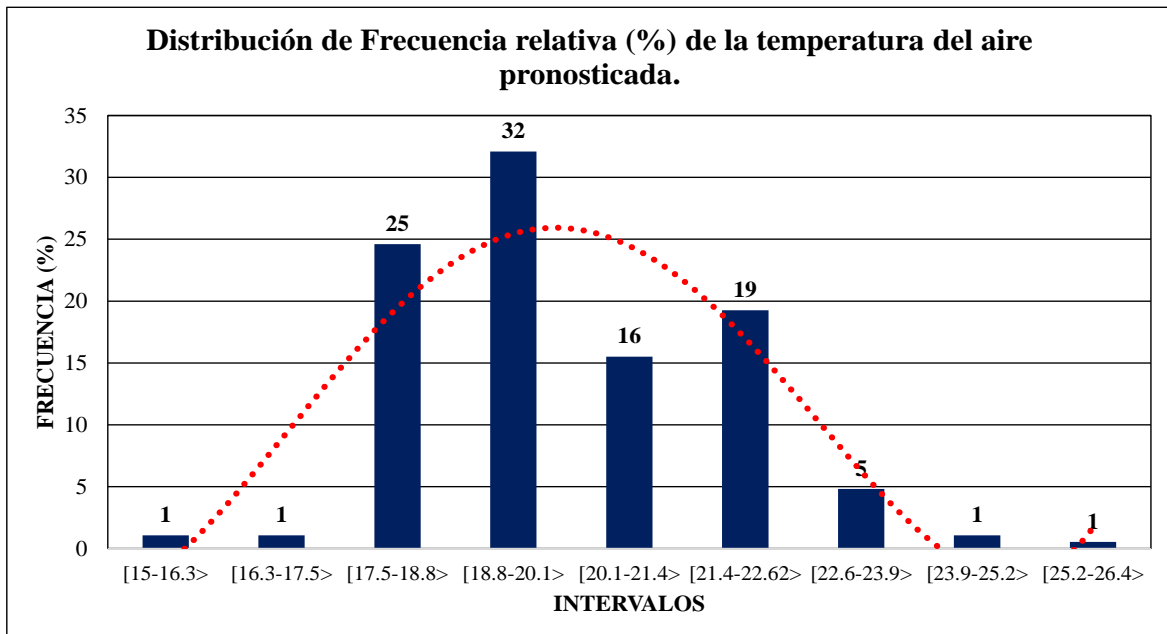


Figura 22: Distribución de Frecuencia de temperatura del aire pronosticada. Estación Lima

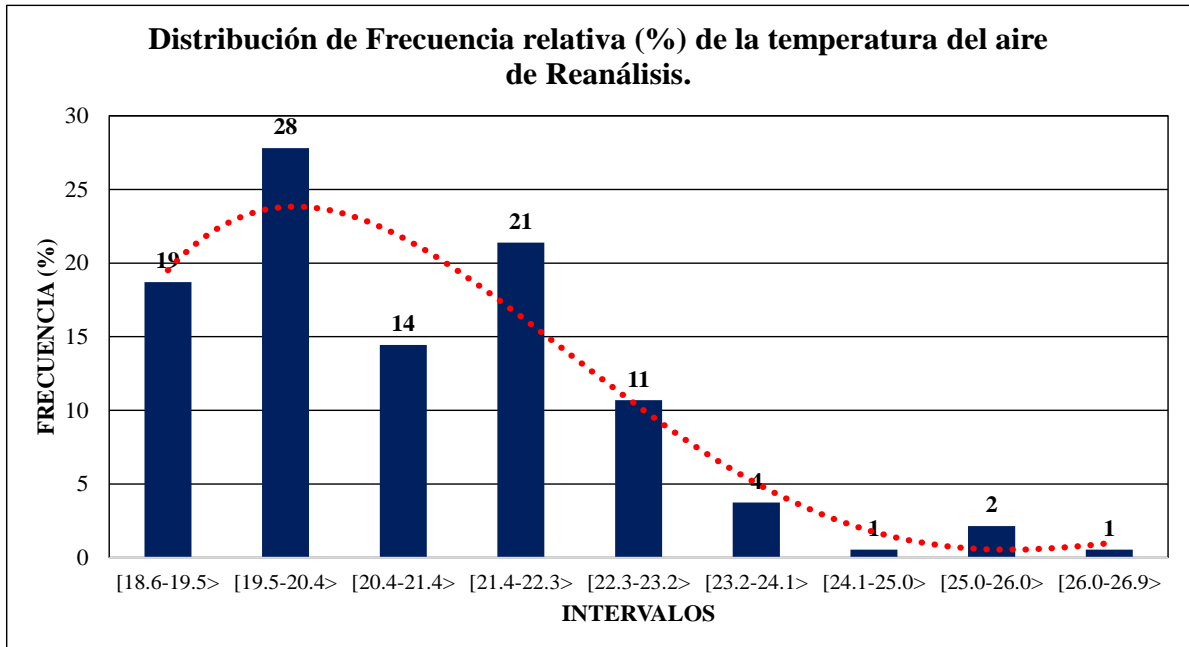


Figura 23: Distribución de Frecuencia de temperatura del aire de Reanálisis. Estación Lima

d. Chimbote

En la Tabla 26, la hipótesis Nula se rechaza, debido a que F calculado, 1.5, es mayor que el F crítico, 1.27; por lo que las varianzas de la temperatura pronosticada y de reanálisis son iguales.

En las Figuras 24 y 25 se observan que los datos pronosticados y de reanálisis presentan una distribución asimétrica con sesgo hacia la derecha, indicando que el mayor número de datos se concentran hacia valores menores.

Tabla 26: Prueba de Fisher para Varianzas de temperatura pronosticada y de Reanálisis

| Prueba F para varianzas de dos muestras_Nasca | |
|---|--------------------------|
| Hipótesis | |
| Nula (H ₀) | $\sigma_1 = \sigma_2$ |
| Alternativa (H ₁) | $\sigma_1 \neq \sigma_2$ |

| | Temp-Pronost | Temp-Reanal. |
|---------------------------------|--------------|--------------|
| Media | 21.62 | 22.69 |
| Varianza | 1.62 | 1.08 |
| Observaciones | 187.00 | 187.00 |
| Grados de libertad | 186.00 | 186.00 |
| Fprueba | 1.50 | |
| P(F<=f) una cola | 0.00 | |
| Valor crítico para F (una cola) | 1.27 | |
| Nivel de Significancia ([?]) | 0.05 | |

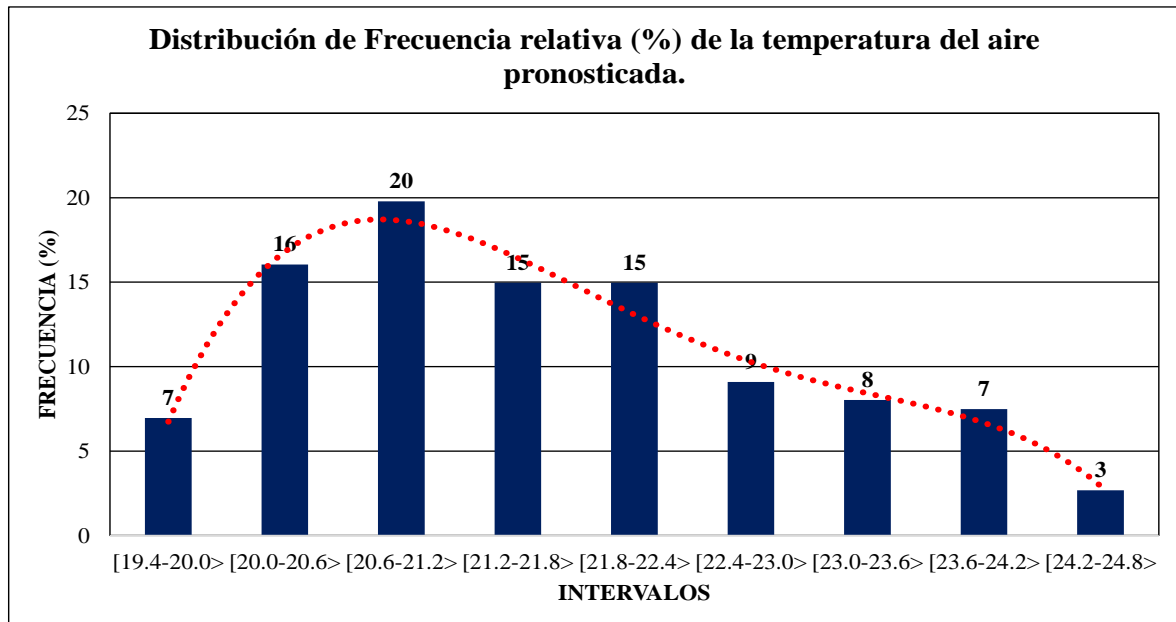


Figura 24: Distribución de Frecuencia de temperatura del aire pronosticado. Estación Chimbote

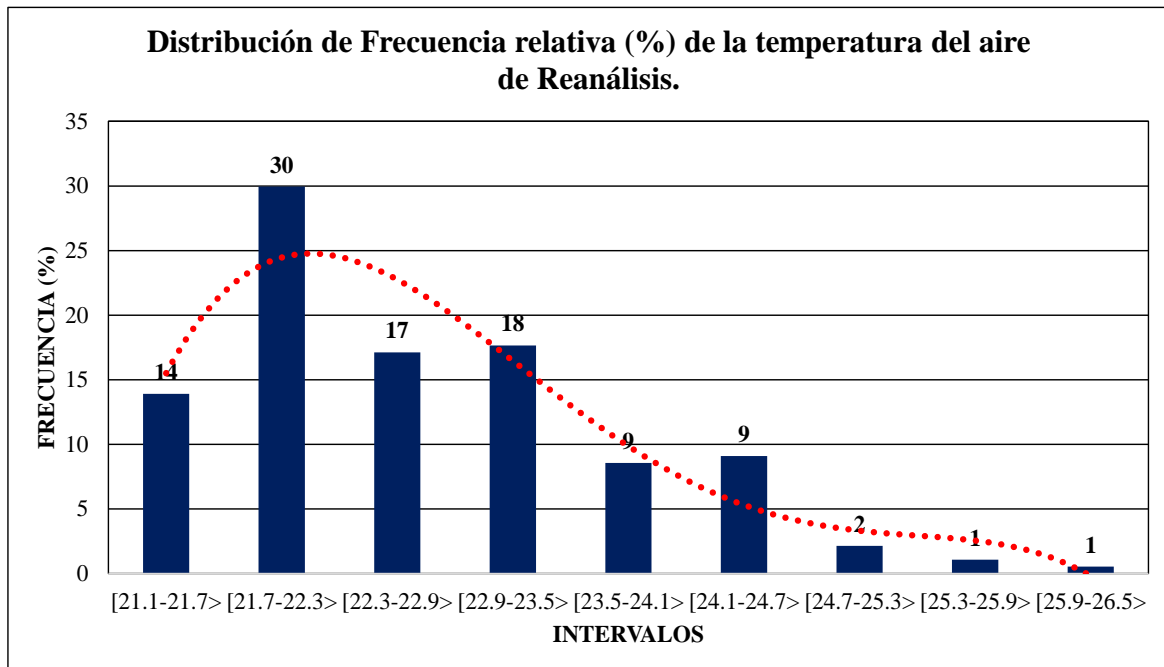


Figura 25: Distribución de Frecuencia de temperatura del aire de Reanálisis. Estación Chimbote

4.5.2. RELACIÓN ENTRE EL PRONÓSTICO DE LA TEMPERATURA DEL AIRE DEL MODELO BRAMS Y LOS DATOS DE REANÁLISIS

a. Pisco

De la Figura 26 se observa que entre los datos pronosticados y los datos de reanálisis del modelo, el grado de correlación es muy bueno y con valor de 0.97 y en la gráfica de dispersión se observan datos cerca a lo largo de la recta de relación de los datos. Este comportamiento va de acuerdo con la Figura 27, en la que se observa claramente que la variación temporal del pronóstico de temperatura y de reanálisis sigue la misma tendencia, incluso durante los primeros tres días los valores son muy cercanos. A partir del cuarto día ambas curvas se distancian ligeramente pero continúan con la misma tendencia.

A menores velocidades entre los 5m/s y los 10m/s, se puede notar que estos vientos son menos dispersos. En vista que la correlación es de 0.51, la confiabilidad del modelo no es buena.

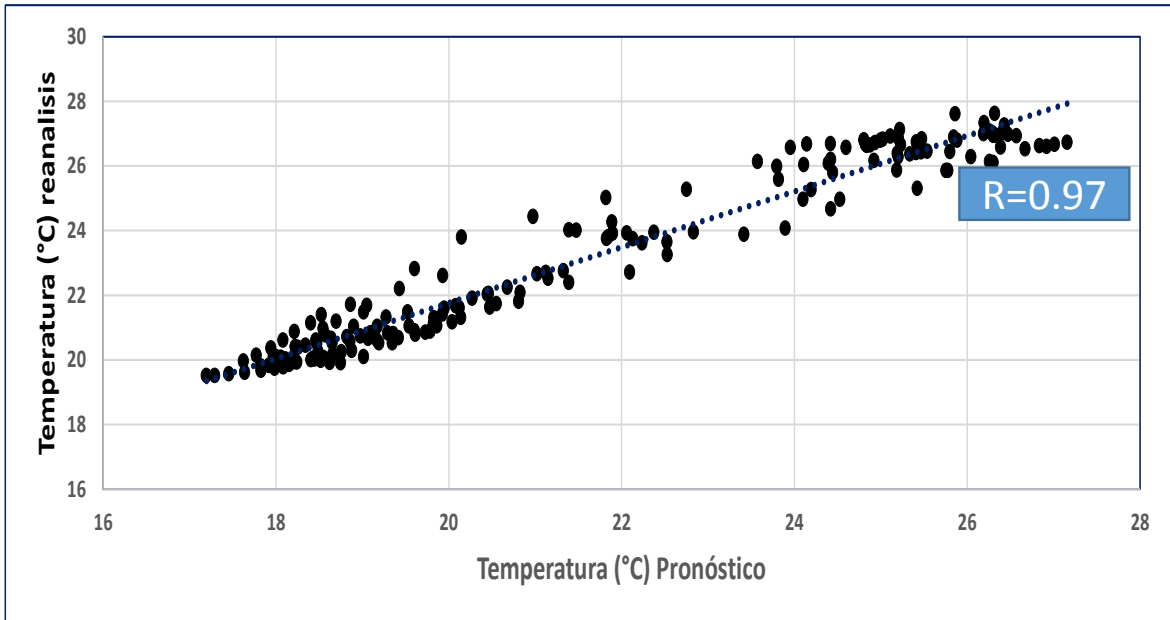


Figura 26: Dispersión y correlación de la velocidad del viento entre datos pronosticados (mod. BRAMS) y observados de Pisco.

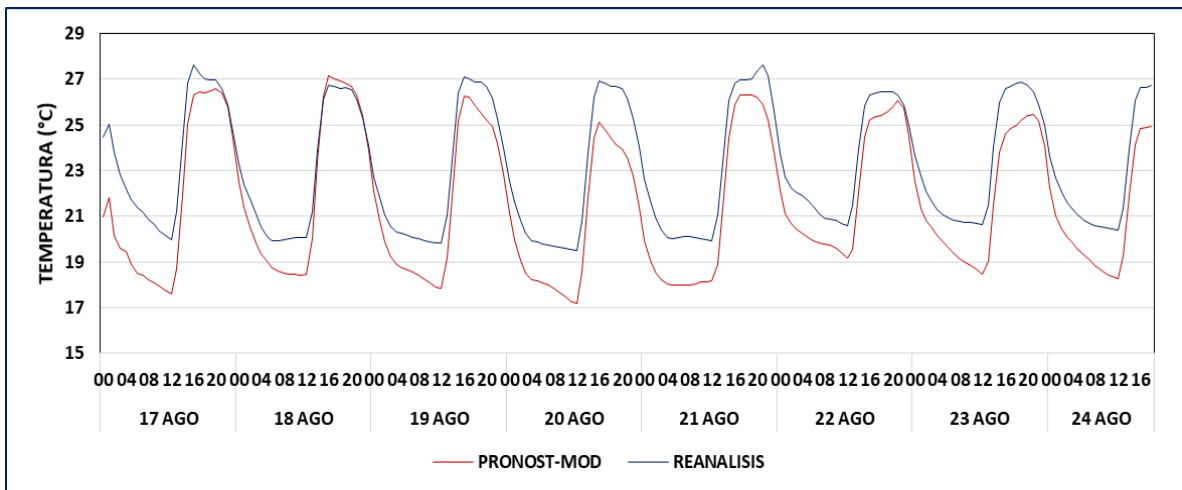


Figura 27: Velocidad del viento horario pronosticado y observado. Estación Pisco

b. Nasca

De la Figura 28 se observa que entre los datos pronosticados y los datos de reanálisis del modelo, el grado de correlación es muy bueno y con valor de 0.94 y en la gráfica de dispersión se observan datos cerca a lo largo de la recta de relación de los datos. Este comportamiento va de acuerdo con la Figura 29, en la que se observa claramente que la variación temporal del pronóstico de temperatura y de reanálisis tienen la misma tendencia, incluso durante los primeros cinco días los valores son muy cercanos. A partir del sexto día ambas curvas se distancian

ligeramente pero continúan con la misma tendencia.

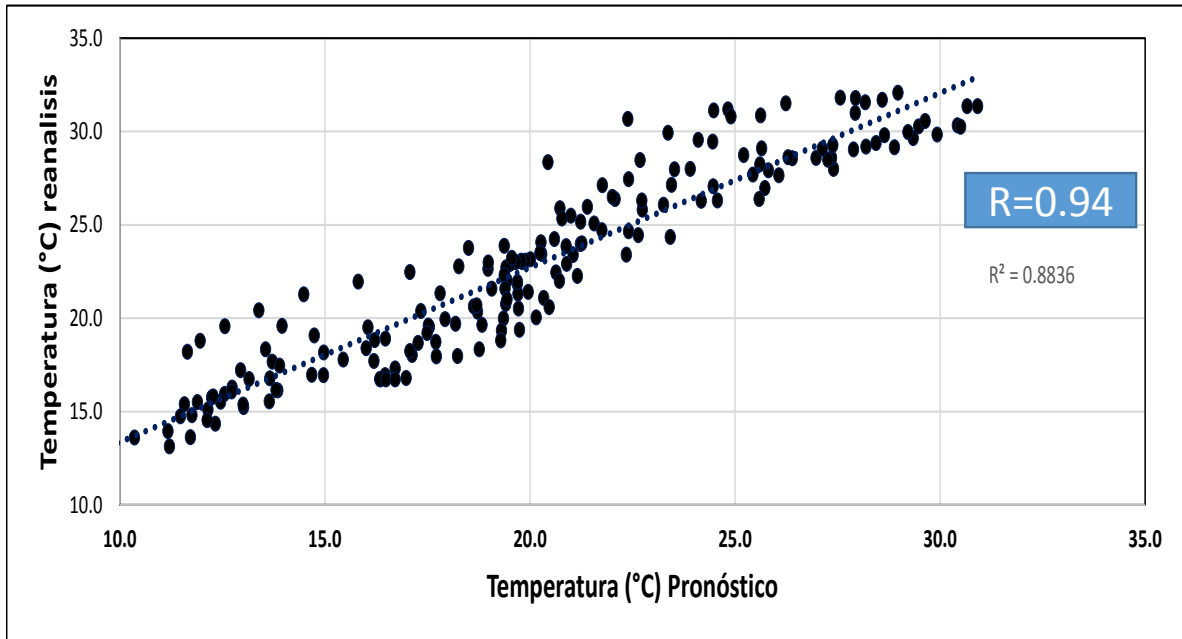


Figura 28: Dispersión y correlación de la velocidad del viento entre datos pronosticados (mod. BRAMS) y observados de Nasca.

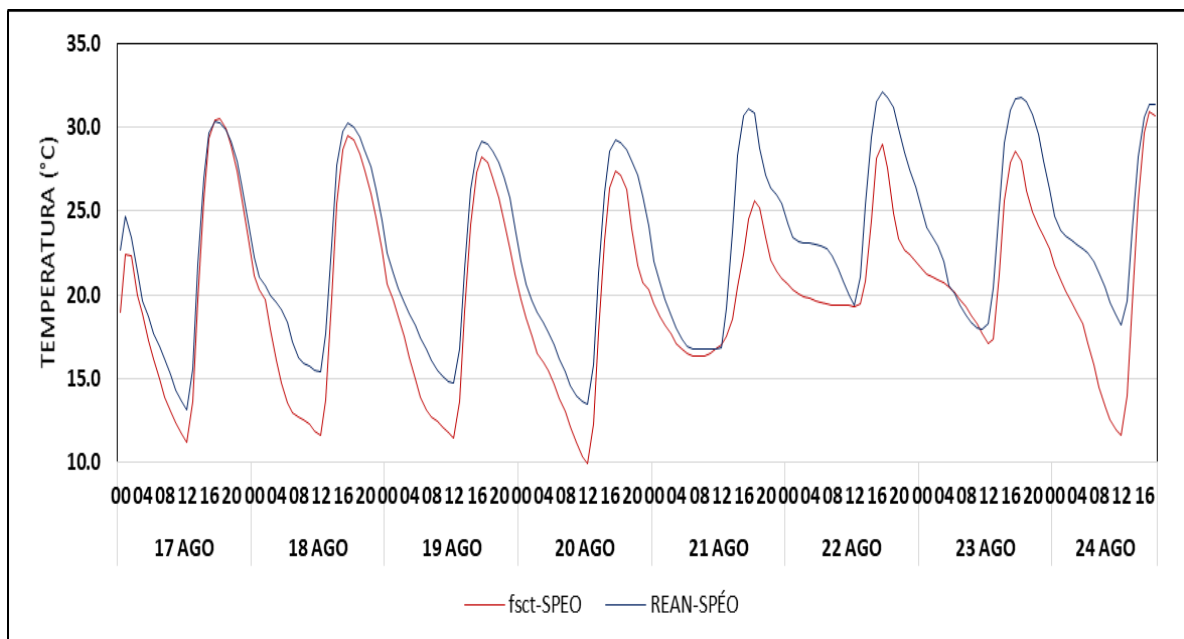


Figura 29: Velocidad del viento horario pronosticado y observado. Estación Nasca

c. Lima

De la Figura 30 se observa que entre los datos pronosticados y los datos de reanálisis del modelo, el grado de correlación es aceptable, con valor de 0.65 y en la gráfica de dispersión se observan que la mayoría de datos están cerca de la recta de relación de los datos. En la Figura 31, las curvas del pronóstico de temperatura y de reanálisis en los primeros dos días no coinciden o están distanciadas, pero a partir del tercer día al sexto día, los valores pronosticados y observados son similares o siguen la misma tendencia. Del séptimo a octavo día los valores pronosticados y observados no presentan similitudes.

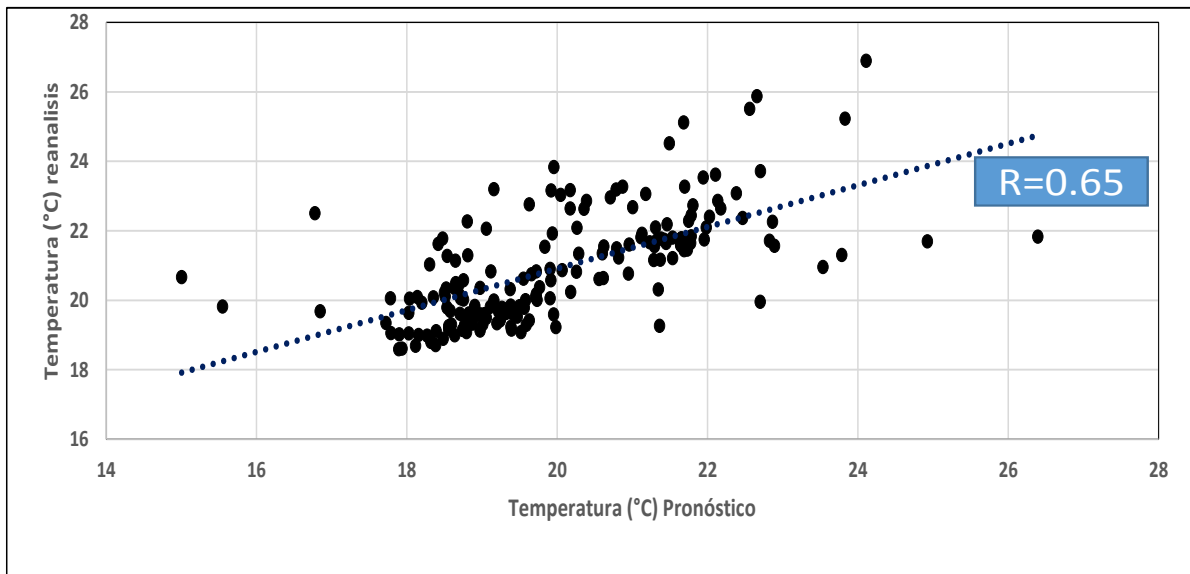


Figura 30: Dispersión y correlación de la velocidad del viento entre datos pronosticados (mod. BRAMS) y observados de Lima.

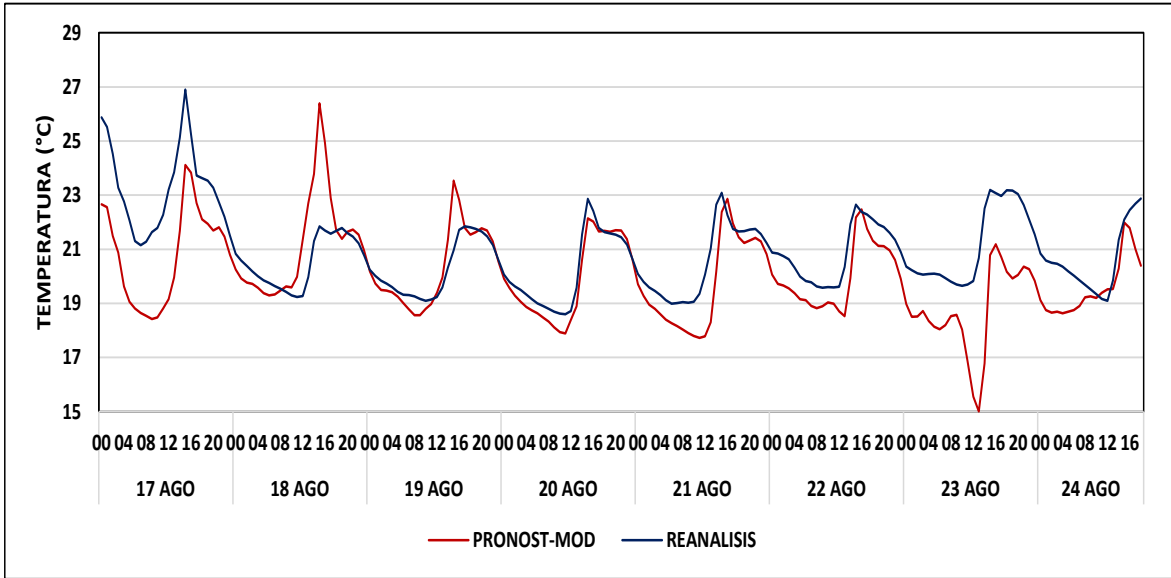


Figura 31: Velocidad del viento horario pronosticado y observado. Estación de Lima.

d. Chimbote

De la Figura 32 se observa que entre los datos pronosticados y los datos de reanálisis del modelo, el grado de correlación es bueno y con valor de 0.76 y en la gráfica de dispersión se observan que la mayoría de datos están cerca de la recta de relación de los datos. En la Figura 33, las curvas del pronóstico de temperatura y de reanálisis, solo muestran cercana similitud los tres primeros días; posteriormente dichas valores se distancian, es decir que no presentan similitudes.

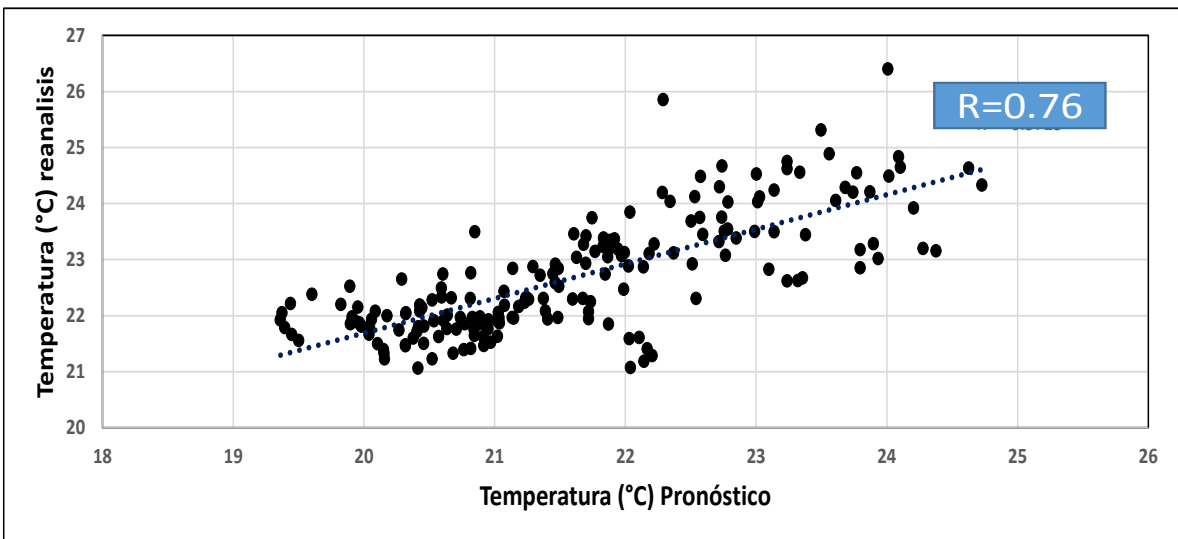


Figura 32: Dispersión y correlación de la velocidad del viento entre datos pronosticados (mod. BRAMS) y observados de Chimbote.

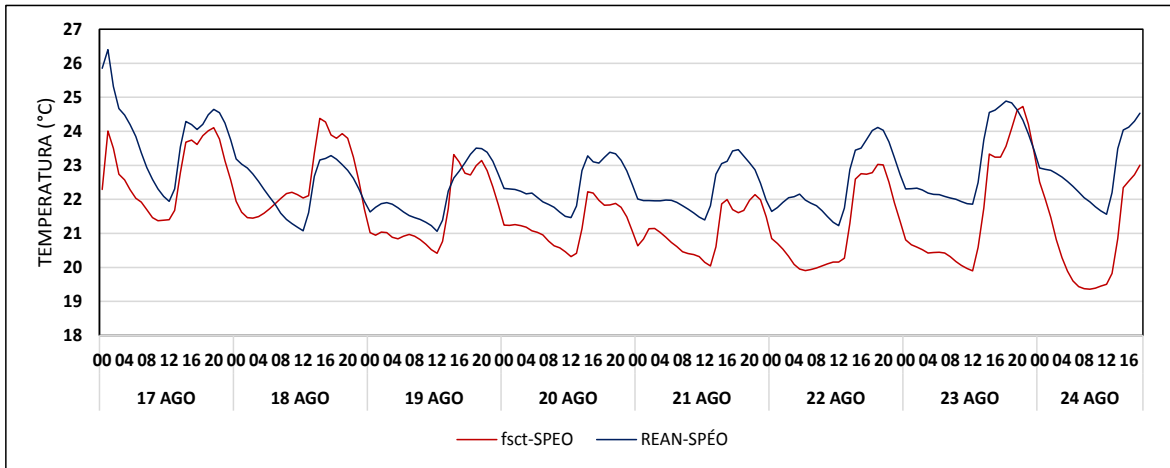


Figura 33: Velocidad del viento horario pronosticado y observado. Estación Chimbote

4.5.3. COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE LA TEMPERATURA DEL AIRE PRONOSTICADA Y DE REANÁLISIS

Con respecto a la habilidad del modelo para el pronóstico espacial de la variable temperatura, se observa que es bueno para la región de la costa, ya que en su mayoría de las corridas que se han evaluado muestra un rango de error de +/-2 “grados Celsius. Esta variable de la temperatura es a un nivel de 30 metros, en tal sentido su validez solo se la podrá considerar para la franja costera.

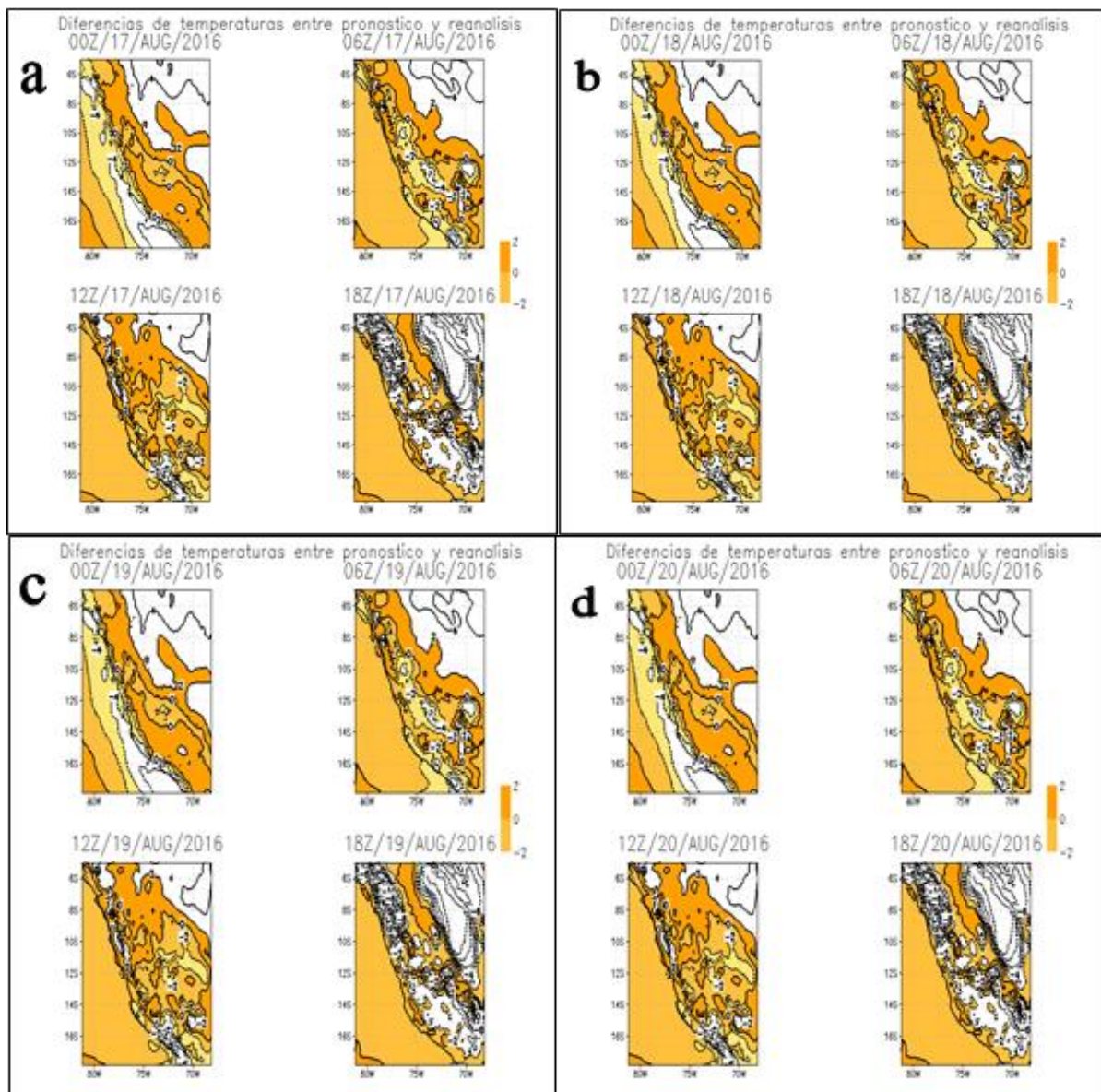
Se ha considerado 4 mapas diarios: 00Z, 06Z, 12Z y 18Z por cada día, desde el 17 al 24 de agosto del 2016, siendo enumerados desde (a), (b), (c), (d),(e),(f),(g) y (h).En dichos mapas se observa muy bien que el comportamiento espacial es bastante aceptable, ya que muestra mayormente que la temperatura del aire se aproxima bastante a la realidad dentro del rango de precisión +/-2 °C. Esto nos indica que el modelo es confiable para pronosticar la temperatura del aire del nivel de 30 m y nos puede ser útil para pronósticos de dicha variable a nivel de estación meteorológica.

El modelo muestra que de los cuatro mapas diarios (00Z, 06Z, 12Z y 18Z) de los gráficos desde (a) hasta (h), se observa que a las 00Z de los 6 primeros días, (a,b,c,d,f,g) el comportamiento de la temperatura es bastante similar en gran parte de los días, solamente el mapa de las 18Z de todos los días sin excepción , no presenta valores dentro de este

margen de $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Es a partir de los gráficos (f) y (g) que los mapas empiezan a mostrar diferencias significativas en comparación con los mapas anteriores, es decir el modelo BRAMS no identifica temperaturas dentro del margen de $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

En general se puede decir que el modelo BRAMS, pronostica muy bien las temperaturas a 30 m en la zona de costa.



...continuación

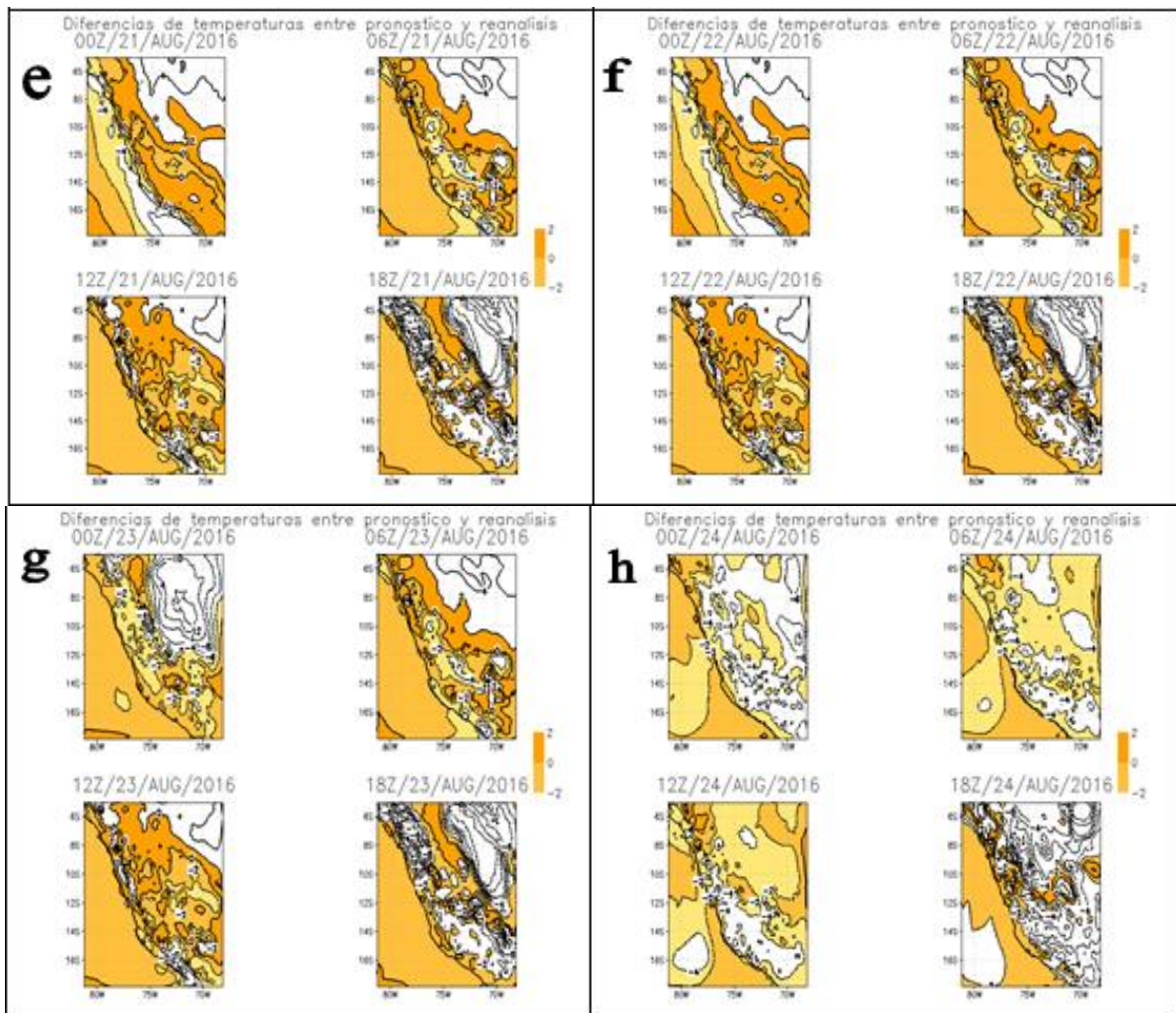


Figura 34: Mapa de diferencias de temperaturas entre Pronóstico y Reanálisis de 17 al 24 agosto del 2016.

V. CONCLUSIONES

Con respecto a la velocidad del viento:

- La varianza de los datos pronosticados y observados de las 4 estaciones meteorológicas son diferentes.
- La distribución de frecuencia de los datos pronosticados y observados generalmente son asimétricas con sesgo a la derecha, por lo que la moda máxima o mayor número de datos se concentran hacia las velocidades menores; excepto la estación de Chimbote cuya distribución es asimétrica con sesgo a la izquierda; cuya moda máxima se ubica hacia velocidades mayores. Las medidas estadísticas de tendencia central como la media y la mediana fueron diferentes.
- El grado de relación entre los datos pronosticados y observados de las estaciones meteorológicas, expresados mediante el coeficiente de correlación de Pearson fueron débiles: Estación Pisco; 0.51, Nasca; 0.27, Lima; 0.34 y Chimbote; 0.57.
- Los datos fueron muy dispersos en las estaciones de Pisco, Nasca y Chimbote con desviación estándar media de 4.5, 5.5 y 5.1 respectivamente y menor grado la estación de Lima con una desviación estándar de 2.6.
- Los pronósticos diarios de la velocidad del viento de las estaciones de Pisco, Lima y Chimbote, fueron buenos entre 01 a 3 días, el resto de días fueron muy distante del observado; mientras que dicho pronóstico en la estación de Nazca no mostró coincidencias en ningún día excepto en algunas horas.
- El pronóstico de la velocidad del viento muestra mejor habilidad o bondad, según las medidas de verificación para la estación de Chimbote; con una razón de acierto (PC) de 0.68, de Heidke Skill Score (HSS) de 0.1 y un r de 0.57; seguido de la estación de Pisco con PC de 0.7, un HSS de 0.3 y un r de 0.5 y finalmente de la estación de Lima con PC de 0.54, de HSS de 0.08 y un r de 0.34. Mientras que el pronóstico de velocidad de viento en Nasca fue malo con un PC de 0.33, un HSS de 0.0 y un r de 0.27.

- Para la verificación del modelo BRAMS que se realizó mediante tablas de contingencia de doble entrada para un evento de velocidad del viento en Pisco mayor de 10 kt, los aciertos son menos que los fracasos. Lo importante de estas tablas de contingencia es que se evalúa el total de los eventos. Al contabilizar solo los pronósticos de la “NO” ocurrencia de velocidad del viento mayor de 10kt, se tuvo un 95% de no ocurrencias o de rechazo correcto.
- De la tabla de contingencia le da robustez al pronóstico; agregando la probabilidad en que ocurriría cierto evento meteorológico; se pasaría de un pronóstico determinista a un probabilístico.

Con respecto al pronóstico de la temperatura del aire a 30 metros

- La varianza de los datos pronosticados y observados de las 4 estaciones meteorológicas son iguales.
- La distribución de frecuencia de los datos pronosticados y de reanálisis fueron bimodal para Pisco, normal para los datos del pronóstico y con tres modas para el reanálisis en Nasca, normal para los datos del pronóstico y asimétrico a la derecha para el reanálisis en Lima y distribución asimétrica con sesgo a la derecha para el pronóstico y el reanálisis para Chimbote
- El grado de relación entre los datos pronosticados y de reanálisis las estaciones meteorológicas, expresados mediante el coeficiente de correlación de Pearson fueron altas: Estación Pisco; 0.97, Nasca; 0.94, Lima; 0.65 y Chimbote; 0.76.
- Los datos fueron muy pocos dispersos en las estaciones de Pisco, Lima y Chimbote con desviación estándar media de 2.9, 1.6 y 1.2 respectivamente y con mayor grado la estación de Nasca con una desviación estándar de 5.2.
- Los pronósticos diarios de la temperatura de las estaciones de Pisco, Lima y Nasca, fueron similares entre el pronóstico y el reanálisis; mientras que dicho pronóstico

en la estación de Chimbote no fueron similares por la mayor diferencia entre el pronóstico y el reanálisis.

- Se concluye con respecto a la eficacia del modelo BRAMS para el pronóstico espacial de la variable temperatura es bastante acertada en la región de la costa.

VI. RECOMENDACIONES

1. Para los futuros investigadores tener en cuenta que no siempre se va a encontrar los datos de variables que se pretende comparar, como fue mi caso que pretendí inicialmente evaluar el viento a nivel de estación, con datos de reanálisis y con datos pronosticados, sin embargo no fue posible porque en los datos de estos últimos no tiene la variable, mientras que en los datos pronosticados si la tiene, se la puede ubicar con el nombre de speed10m.
2. Se recomienda a los centros meteorológicos que se deseen implementar algún modelo en su institución que inicialmente realicen la validación del modelo, asimismo la verificación de los pronósticos.
3. Se recomienda que se continúe realizando la verificación de los pronósticos a través de otras variables del modelo BRAMS para conocer en que variables se le puede tener mayor confianza o sino para poder ajustarlos de acuerdo a las necesidades que se requiera, asimismo para saber de sus ventajas y de sus limitaciones que tal vez aún no se conocen de este modelo.
4. Se recomienda continuar usando el modelo BRAMS, ya que al poder hacer uso de diferentes dominios de expansión, estos podrían ayudar a evaluar y verificar pronósticos de fenómenos de menor escala, como podría ser el caso de las brisas marinas, neblinas o nieblas que afectan a la costa, y puedan ayudar a entender mejor sus mecanismos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chávez, J; Sánchez, O; Dias, E. 2011. Validación del modelo de calidad del aire BRAMS/TEB en el área metropolitana de Lima. Revista Peruana Geo-Atmosférica RPGA 3: 125-133
- Everson, M; Palmeira, E; Almeida, E. 2017. *Análise Comparativa da Velocidade do Vento Simulado Pelo BRAMS com Dados Observados e de Reanálises*. Revista Brasileira de Meteorología 32(2) São Paulo.
- García, Y; Salio, P; Nicolini, M. 2012. Verificación de los pronósticos del modelo BRAMS centrado en la región subtropical de Sudamérica. Revista Brasileira de Meteorología, 27(3):291 - 306.
- Jollife, IT; Stephenson, DB. 2003. Forecast Verication. Editorial Wiley. p. 37.
- Lavado, W; Lhommme, J; Labat, D; Loup, J; Boulet, G. 2015. Estimación de la evapotranspiración de referencia (FAO-56 Penman-Monteith) con limitados datos climáticos en la cuenca andina amazónica peruana, REVISTA PERUANA GEO-ATMOSFÉRICA RPGA (4):31-43. Editada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú ©Autor(es).RPGA. Disponible en www.senamhi.gob.pe\rpga
- López, LC. 2012. Evaluación de la calidad del pronóstico numérico del tiempo en la ciudad de México. Tesis de Grado. Ciudad Universitaria, México.

- Convenio sobre Aviación Civil Internacional. 2007. Normas y métodos recomendados internacionales. 16a ed. Disponible en <https://es.scribd.com/document/167999548/Anexo-3-OACI>
- Sousa, MC; Alvarez, I; Vaz, N; Gómez-Gesteira, M; Dias, JM. 2012. Análisis de la precisión de los datos de viento obtenidos del satélite QuikSCAT y el modelo WRF en la costa gallega. ACT 3,39-53.
- Vieira, N. 2011. *Identificação da ocorrência de brisa e precipitação na cidade da Fortaleza-.ce -em abril de 2011*. Monografía presentada al curso de graduación en Física. Centro de Ciencias y Tecnología de la Universidad de Estadualdo Ceará, como requisito parcial para obtención de grado de licenciado en Física. Fortaleza, Brasil. Universidad e Estadual do Ceará.

VIII. ANEXOS

SCRIP PARA GENERAR LOS DATOS DE TEMPERATURA EN LIMA

```
*'reset'  
*****DIA 1*****  
*'sdfopen era_rea_sup.nc'  
  
'set lat -12.02'  
'set lon -77.12'  
'set t 1 last'  
  
outfile='p_tempc-lima.txt'  
'set gxout print'  
'set prnopts %7.3f 1 1 u'  
'd tempc '  
rc = write(outfile,result)
```

SCRIP PARA GRAFICAR LAS DIFERENCIAS DE LAS TEMPERATURAS DE LOS DATOS PRONOSTICADOS DE LOS OBSERVADOS DEL DOMINIO 2.

```
*programa para iniciar  
*!ls *ctl'  
* 'set mpdset hires'  
*'set gxout shaded'  
* 'set display color white'  
*****  
'open RESUPRONagos_g2.ctl'  
'open RsltReanalysis-5_g2.ctl'  
'set display color white'
```



```

'c'
'set grads off'
'q time'
linha=sublin(result,1)
tempo=subwrd(linha,3)
res=subwrd(result,3)
hora=substr(res,1,2)
dia=substr(res,4,2)
mes=substr(res,6,3)
ano=substr(res,9,4)
*draw tittle Diferencias de temperaturas entre pronóstico y reanálisis
*****
'set dfile1'
'set dfile2'

'subplot 2 2 1 0 0.2 2 3 0.6 3.5'
'set t 7'
'set xlint 5'
'set ylint 2'
'set gxout shaded'
'set clevs -6 -4 -2 0 2 4 6'
'colors'
'set ccols 0 0 22 23 24 0 0'
'set cmin -2'
'set cmax 2'
'd tempc.1(t=193)-tempc.2(t=193)'

'set gxout contour'
'set ccolor 1'
'set cint 2'
'set map 1 1 6'
'set cthick 6'
'd tempc.1(t=193)-tempc.2(t=193)'

```

```
'draw title 00Z/'dia/'mes/'ano
```

```
*****
```

```
'set dfile1'
```

```
'set dfile2'
```

```
'subplot 2 2 2 0 0.2 2 3 0.6 3.5 '
```

```
'set t 13'
```

```
'set gxout shaded'
```

```
'set clevs -6 -4 -2 0 2 4 6'
```

```
'colors'
```

```
'set ccols 0 0 22 23 24 0 0'
```

```
'set cmin -2'
```

```
'set cmax 2'
```

```
'd tempc.1(t=199)-tempc.2(t=199)'
```

```
'set gxout contour'
```

```
'set ccolor 1'
```

```
'set cint 2'
```

```
'set map 1 1 6'
```

```
'set cthick 6'
```

```
'd tempc.1(t=199)-tempc.2(t=199)'
```

```
'draw title 06Z/'dia/'mes/'ano
```

```
*****
```

```
'subplot 2 2 3 0 0.2 2 3 0.6 3.5 '
```

```
'set t 19'
```

```
'set gxout shaded'
```

```
'set clevs -6 -4 -2 0 2 4 6'
```

```
'colors'
```

```
'set ccols 0 0 22 23 24 0 0'
```

```
'set cmin -2'
```

```
'set cmax 2'
```

```
'd tempc.1(t=205)-tempc.2(t=205)'
```

```

'set gxout contour'
'set ccolor 1'
'set cint 2'
'set map 1 1 6'
'set cthick 6'
'd tempc.1(t=205)-tempc.2(t=205)'

'draw title 12Z/' dia/'mes/'ano
*****
'subplot 2 2 4 0 0.2 2 3 0.6 3.5 '
'set t 25'
'set cmin -2'
'set cmax 2'
'set gxout shaded'
'set clevs -2 0 2'
'colors'
'set ccols 00 23 24 0'
'd tempc.1(t=187)-tempc.2(t=187)'

'set gxout contour'
'set ccolor 1'
'set cint 2'
'set map 1 1 6'
'set cthick 6'
'd tempc.1(t=211)-tempc.2(t=211)'
'cbar'
'draw title 18Z/'dia/'mes/'ano

'set strsiz 0.2 0.2'
'draw string 3 8.3 Diferencias de temperaturas entre PRONÓSTICO y reanálisis'
*****
'printim bias.gif'

```