

DESEMPEÑO DEL MODELO ATMOSFÉRICO BRAMS EN LA DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA PARA LA REGIÓN AYACUCHO

Alejandro Monzón Montoya^a
Martha Nina Escalante
Walter Solano Reynoso

Área: Física Ambiental, Línea de Investigación: Atmósfera y Clima
a) alejandro.monzon@unsch.edu.pe

RESUMEN

La investigación tiene como objetivo principal evaluar el desempeño del modelo BRAMS en la predicción de la temperatura promedio en la Región de Ayacucho, Perú, para el año 2023 hasta cinco días. Se compararon los resultados con datos observados proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, utilizando los indicadores ME, MAE, RMSE y R2. Los análisis indican que los resultados obtenidos son consistentes con estudios previos sobre la predicción de temperatura. Además, se concluye que el modelo BRAMS muestra un desempeño aceptable en la predicción de la temperatura, particularmente en áreas elevadas y durante los meses de temporada de friaje en el Perú.

Palabras clave: Modelo numérico, BRAMS, desempeño, evaluación, atmósfera, temperatura.

ABSTRACT

The main purpose of this research is to evaluate the performance of the BRAMS model in forecasting the average temperature for the Ayacucho Region in Peru during the year 2023 up to five days ahead. To achieve this, comparisons were made with observed data of average temperatures from stations within the study area, obtained from the National Meteorology and Hydrology Service of Peru, using the indicators ME, MAE, RMSE, and R2. The evaluations conclude that the results obtained are similar to those found by other authors in temperature forecasting. Additionally, it is concluded that the model exhibits acceptable performance in temperature forecasting for high-altitude zones and during the cold season months in Peru.

Key words: Numerical model, BRAMS, performance, evaluation, atmosphere, temperature.

I. INTRODUCCIÓN

El modelo BRAMS es un modelo numérico que ha tenido un buen desempeño en la simulación de las variables atmosféricas como temperatura, precipitación, velocidad de viento y humedad en países como Brasil y Argentina.

Las buenas previsiones pueden ayudar a prevenir muchas situaciones que afectan a la población, en este caso, pronosticar bajas temperaturas puede ser señal de friajes y en el otro extremo, altas temperaturas ser señal de olas de calor.

Conocer el desempeño de un modelo numérico en la simulación de diferentes variables atmosféricas permite conocer la fidelidad y falencias de un modelo, esto con el propósito de mejorar el modelo, o para tener la certeza de que las previsiones del tiempo a futuro son confiables.

Nuestro objetivo general es evaluar el desempeño del modelo BRAMS en la determinación de la

temperatura mediante la comparación con datos observados para la región de Ayacucho. Para esto, en primer lugar se hizo la calibración del modelo para la zona de estudio. Luego, el modelo se ejecutó durante 11 meses del año 2023, haciendo pronósticos para 24 horas, 48 horas, 72 horas, 96 horas y 120 horas; es decir, para cinco días en adelante. La comparación se hizo con los datos observados de temperatura promedio provenientes de 15 estaciones del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), estas estaciones se encuentran dentro de la zona de estudio.

Dadas estas consideraciones, investigamos el siguiente problema: ¿Cómo se desempeña el modelo BRAMS en la determinación de la temperatura para la región de Ayacucho?

II. METODOLOGÍA:

En la etapa de la implementación del modelo BRAMS en el Laboratorio del Centro de Cómputo

de la Escuela Profesional de Ciencias Físico Matemáticas de la UNSCH se procedió como sigue:

- a. Primero, se debe elegir un sistema operativo en Linux; para ello se eligió UBUNTU 20.04. LTS. Luego se procedió a instalar el lenguaje C y fortran en sus distribuciones libres de GNU; se recomienda que ambos sean de la versión 8.4.0.
- b. A seguir, se instaló librerías y programas necesarios para la implementación del modelo BRAMS, estas son; mpich3, zlib, szip, curl, netcdf-c, netcdf-fortran, grib2, hdf5 y grads.
- c. A continuación, se implementó el modelo

BRAMS en una máquina y es ejecutado de modo paralelo con el comando mpirun. Este modelo puede ser ejecutado en un ordenador para efectos de prueba; sin embargo, para trabajos mayores este debe ser ejecutado en un cluster mpi.

- d. Finalmente se realizó pruebas usando los datos que nos proporciona el modelo.

En la etapa de la calibración o configuración del modelo se consideró los datos observados de temperatura provenientes de las 12 estaciones meteorológicas consideradas (ver tabla 1).

Tabla 1.
Estaciones Meteorológicas consideradas para la calibración del modelo BRAMS

	Estación	Tipo	m.s.n.m	Latitud(S)	Longitud(O)
1	Huanta	C	2485	12°54'40.8"S	74°16'59.66"O
2	Wayllapampa	C	3186	13°43'35.4"S	74°12'59.4"O
3	La Quinoa	C	3215	13°3'19.7"S	74°8'59.4"O
4	San Pedro de Cachi	C	3247	13°5'14.47"S	74°23'26.4"O
5	Vilcashuamán	C	3518	13°40'7.7"S	73°57'8.6"O
6	Huancapi	C	3117	13°44'56.4"S	74°4'5.2"O
7	Huancasancos	C	3440	13°55'1"S	74°20'1"O
8	Chilcayoc	C	3395	13°52'58.72"S	73°43'36.48"O
9	Paucaray	C	3232	14°2'38.03"S	73°38'19.03"O
10	Lucanas	C	3350	14°37'13.39"S	74°13'58"O
11	Puquio	C	3176	14°41'57.39"S	74°7'53.75"O
12	Pauza	C	2489	15°16'31"S	73°20'28"O

Fuente: SENAMHI. C: Convencional, A: Automática

Para la calibración del modelo se tuvo en cuenta los siguientes aspectos:

Dominio del modelo

El dominio horizontal del modelo corresponde al área que abarca desde 79°O a 70° y de 10°S a 18° S. Este dominio cubre toda la región de Ayacucho en Perú (ver figura 1).

El modelo fue configurado con una resolución horizontal de 10x10 km, es decir; con 91 nodos de latitud y 81 de longitud, cada uno de longitud de 10km, y 35 nodos verticales o niveles, alcanzando un tope de 19 km; asimismo, el tamaño de paso o resolución temporal es de una hora.

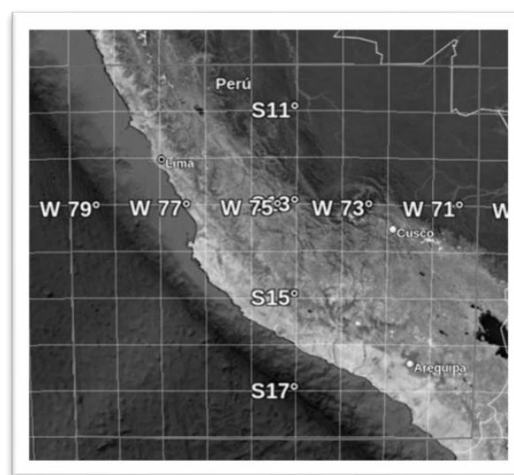


Figura 1. Dominio horizontal considerado que cubre toda la región de Ayacucho.

Se consideró el modelo no hidrostático y compresible, y se utilizó la coordenada sigma-Z de seguimiento del terreno para el sistema de coordenada vertical y la coordenada estereográfica polar trans-

formado para el sistema de coordenada horizontal. En la siguiente tabla se muestra la configuración del dominio del modelo.

Tabla 2.
Configuración del dominio del modelo

Resolución horizontal	5 km
Número de nodos en dirección X e Y	177
Número de capas verticales	35
Tiempo de paso	20 s
Tiempo máximo de simulación	24 h
Sistema de coordenadas horizontales	Proyección polar estereográfica
Sistema de coordenadas verticales	Coordenada sigma-z de seguimiento de terreno
Anidamiento	One-way

Inicialización, Dinámica y parametrizaciones físicas

Los parámetros considerados para experimentos fue la escala de TNUDLAT, TNUDTOP, TNUTCENT

y ZNUDTOP con convección profunda y poco profunda descrita por Sousa (1999). De los experimentos realizados, la configuración adoptada se resume en la siguiente tabla.

Tabla 3.
Configuración del modelo

Análisis de inicialización	
Asimilación de datos: Análisis de empuje:	Método variacional 4D-dimensional NUDLAT = 4, TNUDLAT = 3600, TNUDCENT = 3600, TNUDTOP = 0, ZNUDTOP = 15000, en segundos.
Dinámica: Métodos numéricos	
Esquema de integración del tiempo	Filtro de tiempo de Robert-Asselin-William (William, 2009)
Esquema de integración para advección	Esquema monotónico de Walcek para escalares (Walcek, 2000)
Parametrizaciones físicas	
Radiación de onda corta y larga	RRTMG (Lacono et al, 2008)
Microfísica de nubes	Momento de Greb. Thomson (Thomson et al., 2014)
Capa límite atmosférica	Mellor-Yamada nivel 2.5 (Mellor and Yamada, 1982)

Topografía

La zona de estudio tiene una topografía bastante compleja, por lo que la circulación y flujo horizontal del aire en la atmósfera sobre la superficie terrestre de esta zona está sometido a obstáculos que limitan

su flujo. La altura del terreno tiene una influencia importante en muchos fenómenos meteorológicos, el modelo simulará los fenómenos atmosféricos a partir de la información topográfica que se le suministre. El error en la representación de las elevacio-

nes y depresiones topográficas del terreno en una cuadrícula del modelo discreto puede conllevar a una representación deficiente de los fenómenos resolubles explícitamente por el modelo.

Para los experimentos se consideraron los parámetros ITOPSFLG en las opciones: 1=Promedio de silueta, 2=envolvente y 3=envolvente reflejada. En el parámetro TOPTENH las opciones 1, 0.5, 1.5, 2 y 2.5. y para TOPTWVL=2,3,4 y 6. Para la comparación se utilizó los datos de elevación digital de la USGSS (United States Geological Survey) de los Estados Unidos, a 1 km de resolución. La compa-

ración se realizó entre las alturas de las estaciones meteorológicas consideradas ubicadas en la región Ayacucho provenientes de la USGSS y las alturas proporcionadas por el modelo BRAMS. De los resultados obtenidos los valores de estos parámetros que mejor se ajustaron usando las medidas de sesgo, precisión y asociación fueron: ITOPSFLG=3, TOPTENH=3 y TOPTWVL=4 que corresponde al promedio de envolvente reflejada orográfica con un factor de mejora igual a 2 y con longitud de ondas de propagación aproximada de 20 km.

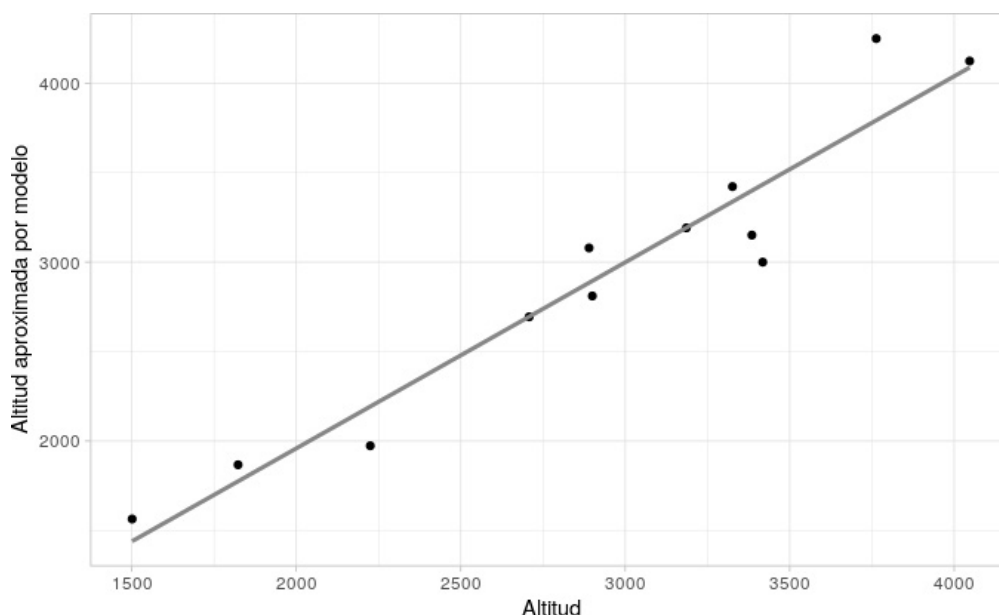


Figura 2.

Nube de datos y la recta de regresión lineal ($r = 0.9604$) entre las alturas simuladas por el modelo BRAMS y LA USGSS para las 12 estaciones consideradas.

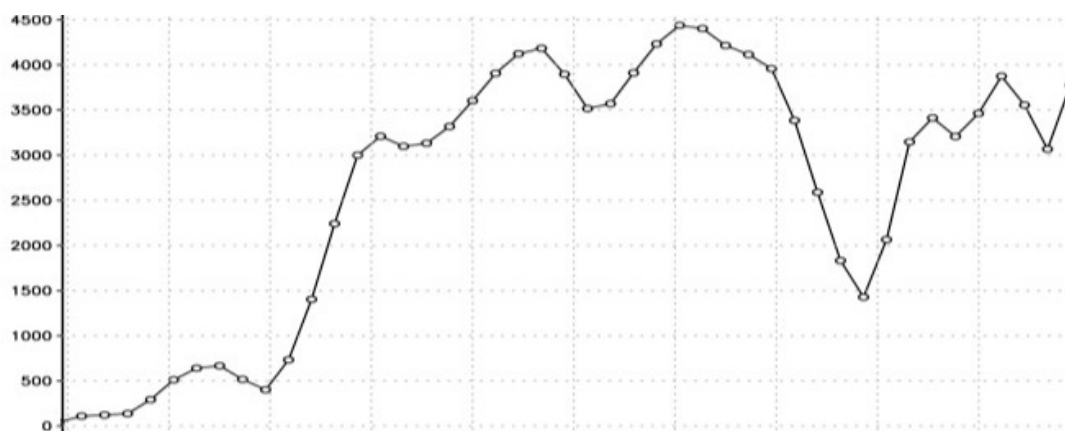
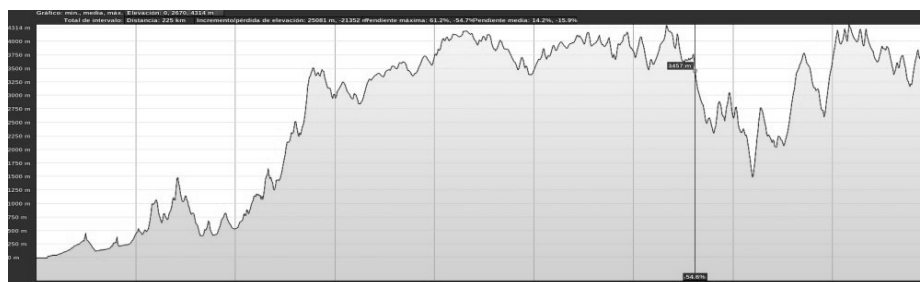


Figura 3.

Representación de la altura del terreno que corresponde al corte transversal de latitud -8° y longitud 79° O a 70° O. Superior: generado con el modelo BRAMS a 5km de resolución horizontal, Inferior: obtenido con Google Earth.



En la etapa de la simulación del modelo, el modelo BRAMS ya configurado es ejecutado para hacer pronósticos a 120 horas; es decir, a 5 días de anticipación. El modelo tuvo corridas para todos los días de 11 meses del año 2023.

Para la etapa de validación del modelo, los datos pronosticados son los datos de temperatura promedio en grados Celsius, por día, generados con el modelo BRAMS; mientras que los datos observados son los datos de temperatura promedio provenientes

de las estaciones meteorológicas que se encuentran dentro de nuestro dominio de trabajo, en este caso se consideró a 15 por que son los que presentan datos completos para el año 2023. (ver tabla 4).

Las validaciones de los datos pronosticados de temperatura promedio se realizaron mediante los estadísticos Error Medio (ME), Error Absoluto Medio (MAE), el Error Cuadrático Medio (RMSE) y el Índice de Correlación de Pearson (R).

Tabla 4.

Estaciones Meteorológicas consideradas para la validación del modelo BRAMS

	Estación	Tipo	m.s.n.m	Latitud(S)	Longitud(O)
1	San Pedro de Cachi	C	3247	13°5'14.72"	74°23'26.4"
2	Vilcashuaman	C	3518	13°40'7.7"	73°57'8.6"
3	Huancapi	C	3117	13°44'56.4"	74°4'5.2"
4	Huancasancos	C	3440	13°55'1"	74°20'1"
5	Santiago de Paucaray	C	3232	14°2'38.03"	73°38'19.03"
6	Puquio	C	3176	14°41'57.39"	74°7'53.75"
7	Paucarbamba	C	3380	12°33'20.6"	74°32'9.3"
8	Acobamba	C	3399	12°50'37"	74°33'41.8"
9	Lircay	C	3303	12°58'53.25"	74°43'5.13"
10	Cora Cora	C	3200	15°0'41"	73°46'45"
11	Pauza	C	2489	15°16'31"	73°20'28"
12	Colcabamba	C	3019	12°24'54.01"	74°41'.65"
13	Pilchaca	C	3586	12°23'57.8"	75°5'2.8"
14	Huancalpi	C	3846	12°34'49.1"	75°14'30.4"
15	Huancavelica	C	3717	12°46'17.53"	75°0'44.68"

Fuente: SENAMHI. C: Convencional, A: Automática

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

3.1. Validación de los pronósticos de temperatura por meses

De la figura 4 y la tabla 5, se observa que los valores del error medio son todos positivos, lo que indica que el modelo subestima los pronósticos. Estos errores muestran una tendencia creciente con el tiempo. En el mes 5, correspondiente a junio de 2023, el error presenta los valores más bajos, que varían entre 0.71°C y 0.75°C. Los siguientes meses con menores errores son el mes 4 (mayo de 2023) y el mes 7 (julio de 2023), con errores que oscilan entre 1.16°C y 1.65°C. En los demás meses, los errores varían entre 1.92°C y 3.02°C.

En el estudio de Dillon, García y Nicolini (2013), se presentan resultados del error medio (bias) para la variable temperatura utilizando el modelo BRAMS, con valores que oscilan aproximadamente entre -0.1°C y 0.95°C. Estos resultados son similares a los obtenidos en nuestro estudio para el mes 5. Ade-

más, en el mismo trabajo se indica que el modelo WRF, otro modelo con características similares al BRAMS, presenta valores de error entre 0.35°C y 1.35°C, que también son muy semejantes a los que obtuvimos para los meses 4 y 7.

De la figura 5 y la tabla 6, el error absoluto medio (MAE) es lo mismo que ME por la subvaloración del modelo.

De la figura 6 y la tabla 7, se observa que los valores del error cuadrático medio (RMSE) presentan un comportamiento similar a MAE, también se observa que en los mismos meses se presentan menor variación y de igual forma tienen tendencia creciente leve. En este caso, el RMSE máximo es de 4.89°C.

De la figura 7 y la tabla 8, el cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson (R^2) tiene valores que oscilan entre 0.2 y 0.45. Para el mes 5, este valor oscila entre 0.4 y 0.43, decrece conforme el tiempo avanza. Para el mes 7 (agosto-2023) también se tienen valores que oscilan entre 0.42 y 0.45, en los demás casos estos valores son más pequeños.

Tabla 5.
Resumen de la medida ME para los pronósticos por meses durante el año 2023.

	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11
24h	2.25	2.47	1.94	1.43	0.71	1.34	1.92	2.26	2.54	2.72	2.35
48h	2.67	2.95	2.1	1.19	0.5	1.37	2.05	2.29	2.65	2.77	2.54
72h	2.74	2.94	2.19	1.19	0.59	1.54	2.17	2.4	2.7	2.9	2.63
96h	2.82	2.92	2.2	1.18	0.7	1.65	2.2	2.51	2.73	2.95	2.61
120h	2.87	2.86	2.24	1.16	0.75	1.65	2.3	2.64	2.76	3.02	2.59

Tabla 6.
Resumen de la medida MAE para los pronósticos por meses durante el año 2023.

	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11
24h	2.25	2.47	1.94	1.43	0.71	1.34	1.92	2.26	2.54	2.72	2.35
48h	2.67	2.95	2.1	1.19	0.5	1.37	2.05	2.29	2.65	2.77	2.54
72h	2.74	2.94	2.19	1.19	0.59	1.54	2.17	2.4	2.7	2.9	2.63
96h	2.82	2.92	2.2	1.18	0.7	1.65	2.2	2.51	2.73	2.95	2.61
120h	2.87	2.86	2.24	1.16	0.75	1.65	2.3	2.64	2.76	3.02	2.59

MAE: Error absoluto medio.

Tabla 7.
RMSE de los datos pronosticados y los datos observados.

	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11
24h	4.21	4.32	3.83	3.33	2.67	2.87	3.11	3.37	3.49	3.74	3.63
48h	4.62	4.78	3.95	3.29	2.59	2.91	3.2	3.39	3.61	3.83	3.83
72h	4.71	4.83	4.02	3.33	2.6	2.99	3.33	3.48	3.66	4.01	3.94
96h	4.8	4.86	4.04	3.34	2.63	3.04	3.37	3.58	3.7	4.07	3.94
120h	4.85	4.89	4.07	3.33	2.66	3.02	3.41	3.75	3.72	4.19	4.01

RMSE: Error Cuadrático Medio.

Tabla 8.
R² de los datos pronosticados y los datos observados

	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11
24h	0.22	0.27	0.33	0.32	0.4	0.36	0.45	0.42	0.39	0.38	0.31
48h	0.21	0.27	0.36	0.31	0.41	0.37	0.46	0.42	0.39	0.38	0.3
72h	0.2	0.25	0.36	0.3	0.42	0.38	0.44	0.42	0.39	0.35	0.3
96h	0.21	0.25	0.35	0.29	0.43	0.38	0.42	0.43	0.39	0.33	0.3
120h	0.21	0.24	0.35	0.28	0.43	0.39	0.43	0.4	0.4	0.31	0.27

R: Índice de correlación de Pearson.

Figura 4.
Comparación de temperaturas pronosticadas con observadas. ME pormeses.

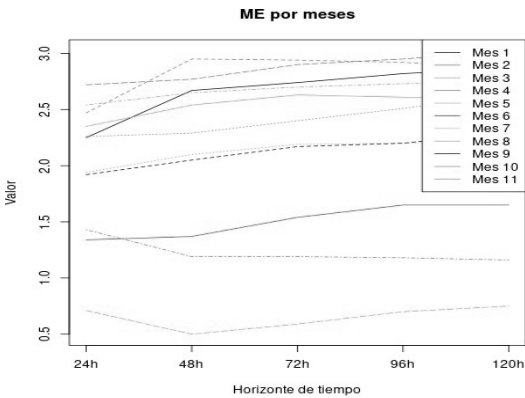


Figura 5.
Comparación de temperaturas pronosticadas con observadas. MAE pormeses.

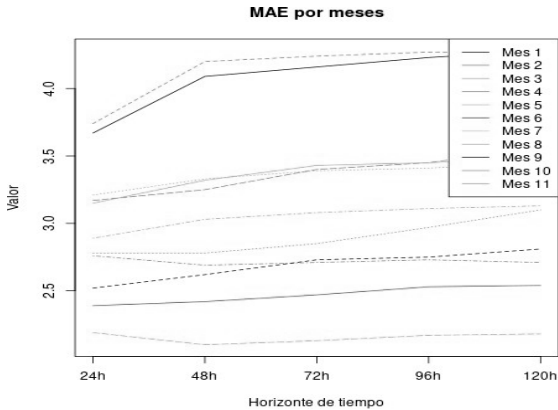


Figura 6.

Comparación de temperaturas pronosticadas con observadas. R^2 por meses.

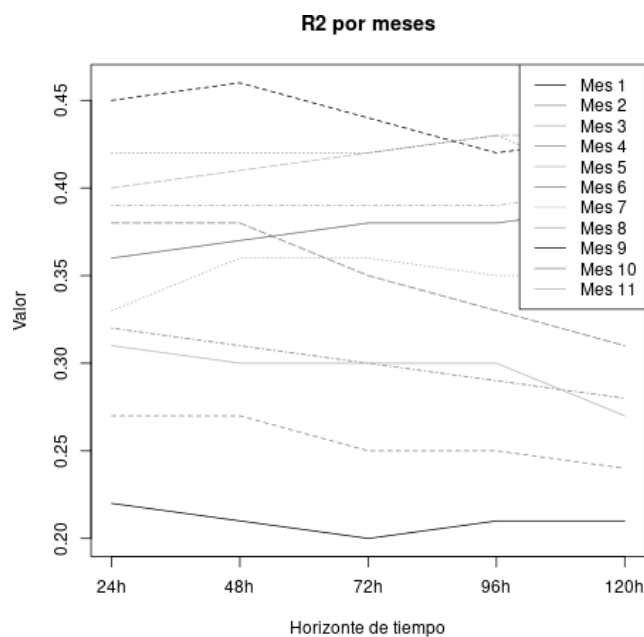
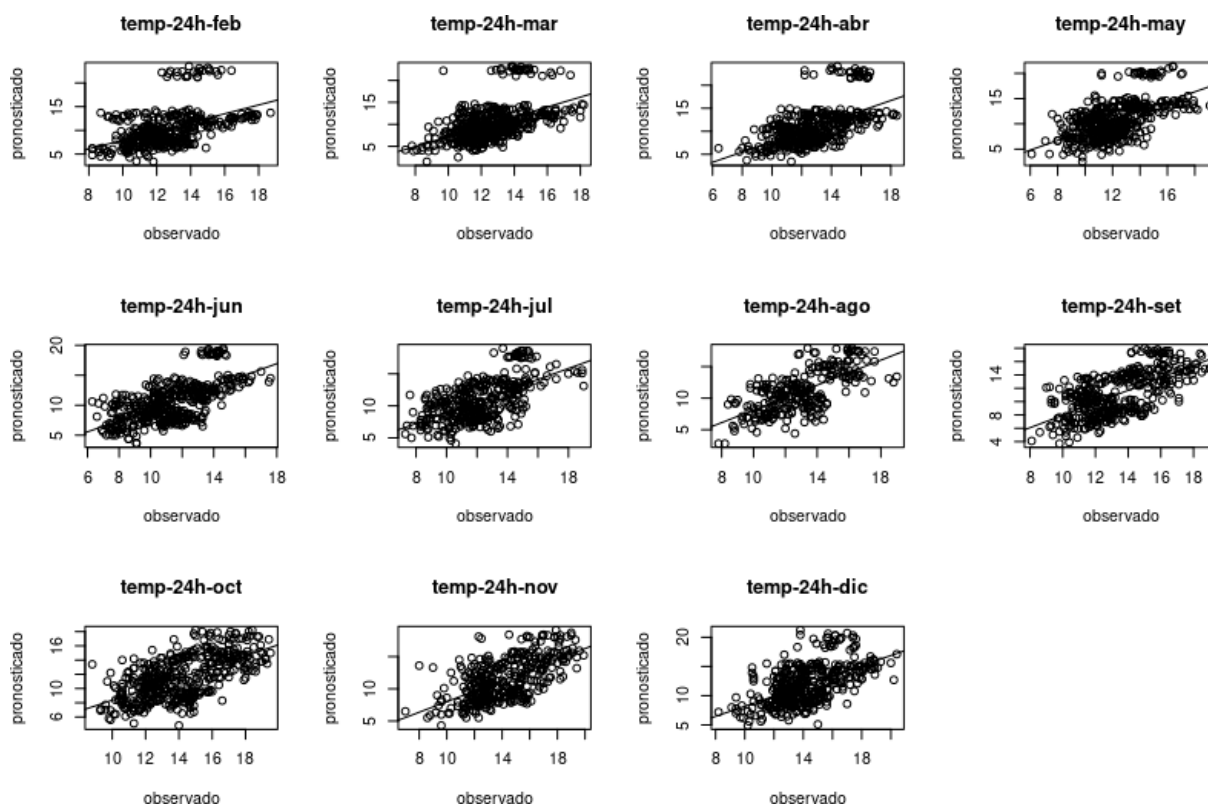


Figura 7.

Comparación de temperaturas pronosticadas con observadas. Diagrama dedispersión por meses.



Validación de los pronósticos de temperatura por estaciones

De la figura 8 y la tabla 9, se observa que, según los valores del error medio (ME), el modelo sobreestima en algunas estaciones y subestima en otras. Para la estación 12, los valores más pequeños de ME varían de -0.1°C a -0.05°C , indicando una sobreestimación de la temperatura. De manera similar, en las estaciones 6 y 8, los valores de ME oscilan entre -1.25°C y -1.04°C .

De acuerdo con los resultados obtenidos por Dillon, García y Nicolini (2013) para la variable temperatura, el modelo BRAMS presenta un error medio entre -0.1°C y 0.95°C , valores que son similares a los obtenidos para las estaciones 6, 8 y 12 en nuestro estudio. Estas estaciones se encuentran ubicadas a más de 3000 msnm, lo que sugiere que el modelo BRAMS tiende a sobreestimar en zonas altas. Este hallazgo es coherente con los resultados de García, Salio y Nicolini (2012), quienes encontraron que el modelo BRAMS subestima la temperatura en niveles bajos y sobreestima en niveles altos.

En las figuras 9 y tabla 10, se puede observar que en la estación 12 se presenta menor valor de MAE que va de 0.82°C a 0.97°C de forma decreciente conforme el tiempo avanza. También se observa que en las estaciones 6 y 8 se observan valores pequeños que van de 1.12°C hasta 1.46°C ; mientras que para las demás estaciones estos valores oscilan entre 1.68°C y 5.34°C . Para cada estación estos valores decrecen conforme el tiempo avanza.

En la figura 10 y tabla 11, los valores más pequeños de RMSE se encuentran para las estaciones 6, 8 y 12 que oscilan entre 1.07°C y 1.87°C . En las demás estaciones, los valores de RMSE son mayores llegando a 5.59°C .

De la figura 11 y tabla 12, las estaciones 7 y 12 presentan los valores de R^2 más grandes que van de 0.37 hasta 0.22 para la estación 12 y de 0.32 hasta 0.17 para la estación 7. Estos valores van disminuyendo conforme el tiempo avanza. Para las otras estaciones estos valores son muy pequeños y tienen tendencia a decrecer.

Tabla 9.

ME de los datos pronosticados y los datos observados por estaciones

	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est 6	Est 7	Est 8	Est 9	Est 10	Est 11	Est 12	Est 13	Est 14	Est 15
24h	-4.31	0.4	2.51	2.76	3.06	0.38	4.41	-1.27	4.29	5.26	2.97	-0.1	2.18	3.68	3.63
48h	-4.35	0.59	2.73	3	3.27	0.3	4.5	-1.18	4.48	5.17	2.67	-0.11	2.42	3.96	3.95
72h	-4.45	0.67	2.82	3.12	3.36	0.38	4.56	-1.08	4.58	5.24	2.76	-0.09	2.53	4.09	4.08
96h	-4.58	0.7	2.87	3.19	3.41	0.44	4.58	-1.07	4.63	5.29	2.85	-0.06	2.58	4.17	4.16
120h	-4.72	0.75	2.92	3.26	3.46	0.48	4.6	-1.04	4.67	5.34	2.91	-0.05	2.61	4.23	4.22

ME: Error medio o sesgo

Tabla 10.

MAE de los datos pronosticados y los datos observados por estaciones.

	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est 6	Est 7	Est 8	Est 9	Est 10	Est 11	Est 12	Est 13	Est 14	Est 15
24h	4.44	1.68	2.63	2.83	3.07	1.12	4.41	1.51	4.29	5.26	3.01	0.82	2.22	3.69	3.63
48h	4.46	1.88	2.87	3.1	3.28	1.15	4.5	1.53	4.48	5.17	2.79	0.91	2.46	3.98	3.95
72h	4.53	1.82	2.93	3.21	3.38	1.18	4.56	1.49	4.59	5.24	2.88	0.95	2.56	4.12	4.08
96h	4.65	1.81	2.96	3.27	3.44	1.16	4.58	1.52	4.64	5.29	2.94	0.97	2.6	4.18	4.16
120h	4.77	1.83	3.02	3.31	3.49	1.18	4.6	1.46	4.67	5.34	3	0.97	2.62	4.23	4.22

MAE: Error absoluto medio.

Tabla 11.
RMSE de los datos pronosticados y los datos observados por estaciones.

	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est 6	Est 7	Est 8	Est 9	Est 10	Est 11	Est 12	Est 13	Est 14	Est 15
24h	5.25	1.99	3.03	3.26	3.39	1.37	4.53	1.88	4.6	5.43	3.39	1.07	2.49	4.08	3.95
48h	5.27	2.23	3.34	3.58	3.64	1.41	4.65	1.89	4.81	5.4	3.27	1.17	2.77	4.44	4.33
72h	5.36	2.19	3.42	3.7	3.74	1.44	4.73	1.87	4.93	5.48	3.35	1.2	2.87	4.56	4.46
96h	5.47	2.19	3.45	3.77	3.77	1.43	4.74	1.87	4.95	5.54	3.4	1.21	2.9	4.6	4.54
120h	5.59	2.21	3.53	3.87	3.86	1.42	4.75	1.83	5	5.58	3.43	1.21	2.91	4.65	4.59

RMSE: Error Cuadrático Medio.

Tabla 12.
 R^2 de los datos pronosticados y los datos observados por estaciones

	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est 6	Est 7	Est 8	Est 9	Est 10	Est 11	Est 12	Est 13	Est 14	Est 15
24h	0.11	0.04	0.24	0.18	0.23	0.08	0.32	0.29	0.11	0.19	0.07	0.37	0.16	0	0.13
48h	0.11	0	0.15	0.12	0.2	0.07	0.19	0.21	0.07	0.13	0.01	0.26	0.11	0	0.06
72h	0.1	0.01	0.13	0.12	0.16	0.06	0.13	0.18	0.05	0.1	0.01	0.24	0.09	0.01	0.04
96h	0.1	0.01	0.14	0.1	0.16	0.07	0.14	0.17	0.07	0.09	0.01	0.22	0.09	0	0.03
120h	0.09	0.01	0.1	0.07	0.1	0.06	0.17	0.17	0.04	0.08	0.01	0.22	0.11	0	0.04

R: Índice de correlación de Pearson.

Figura 8.
Comparación de temperaturas pronosticadas con observadas. ME por estaciones.

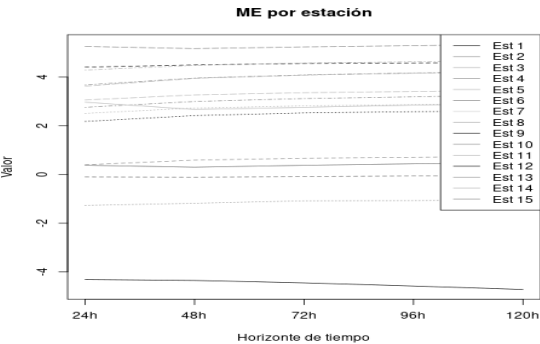


Figura 10.
Comparación de temperaturas pronosticadas con observadas. RMSE por estaciones.

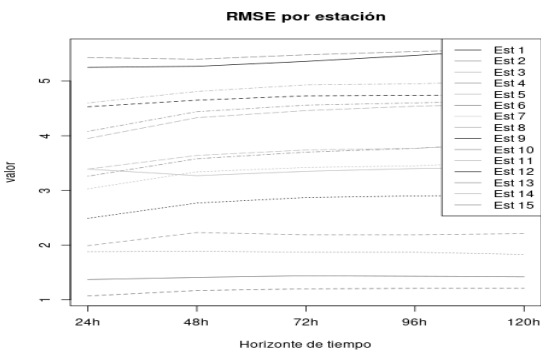


Figura 9.
Comparación de temperaturas pronosticadas con observadas. MAE por estaciones.

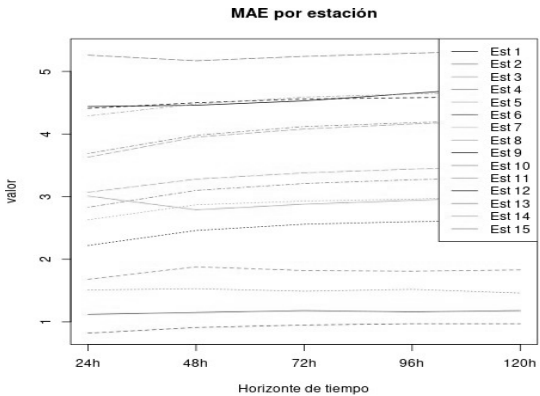


Figura 11.
Comparación de temperaturas pronosticadas con observadas. R^2 por estaciones.

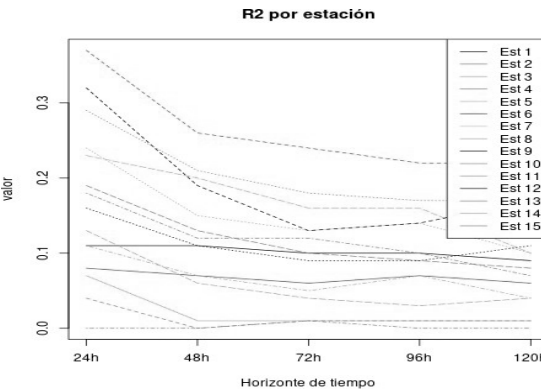
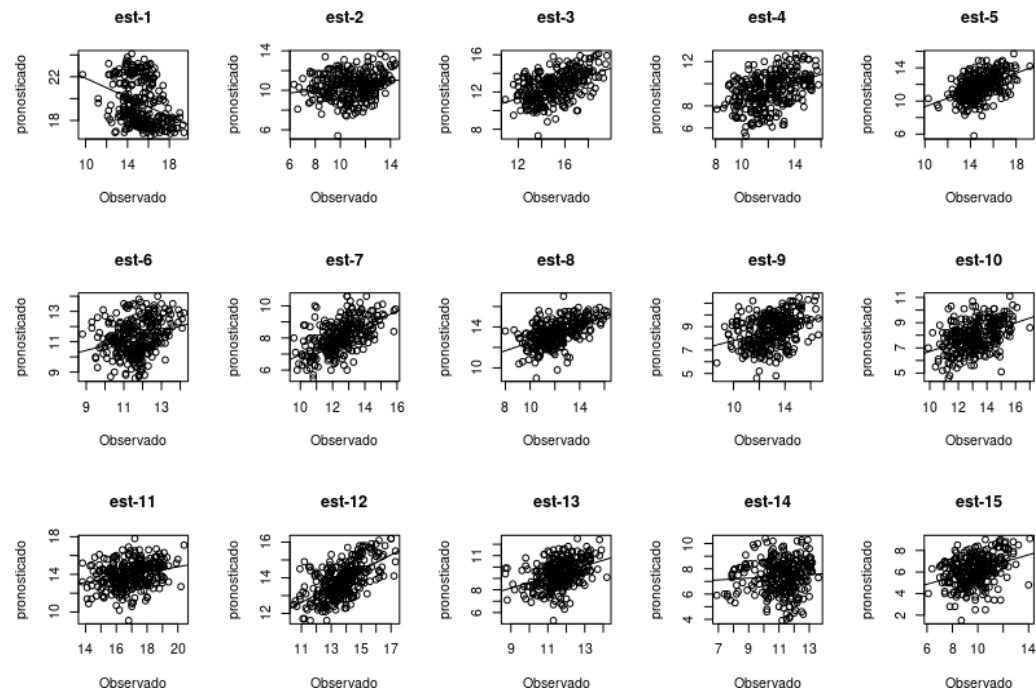


Figura 12.

Comparación de temperaturas pronosticadas con observadas. Diagramas dedispersión por estaciones.



3.2 Validación de los pronósticos de temperatura de forma global

Según la Tabla 13, de forma global para todas las estaciones y durante todos los meses considerados del año 2023, el modelo subestima los pronósticos de temperatura, los valores de MAE y RMSE no tienen mayor diferencia, porque los valores de MAE no son tan grandes. Los valores de R^2 son bastante aceptables y muy similares a los resultados obtenidos por otros autores.

Tabla 13.

Evaluación para datos pronosticados y observados de forma global durante el año 2023

	ME	MAE	RMSE	R2
24h	1.99	2.98	3.57	0.32
48h	2.09	3.1	3.72	0.31
72h	2.17	3.17	3.8	0.31
96h	2.21	3.21	3.84	0.3
120h	2.24	3.25	3.89	0.3

Figura 13.

Gráfica de los indicadores para la evaluación global.

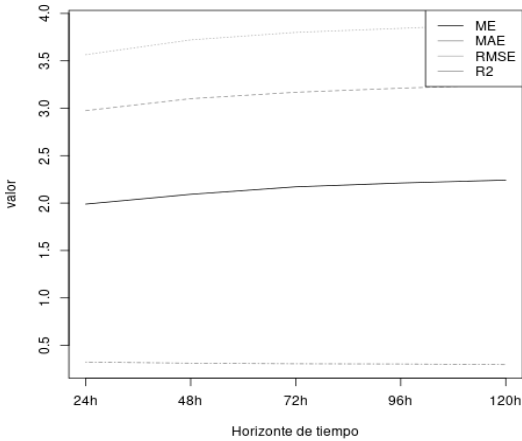
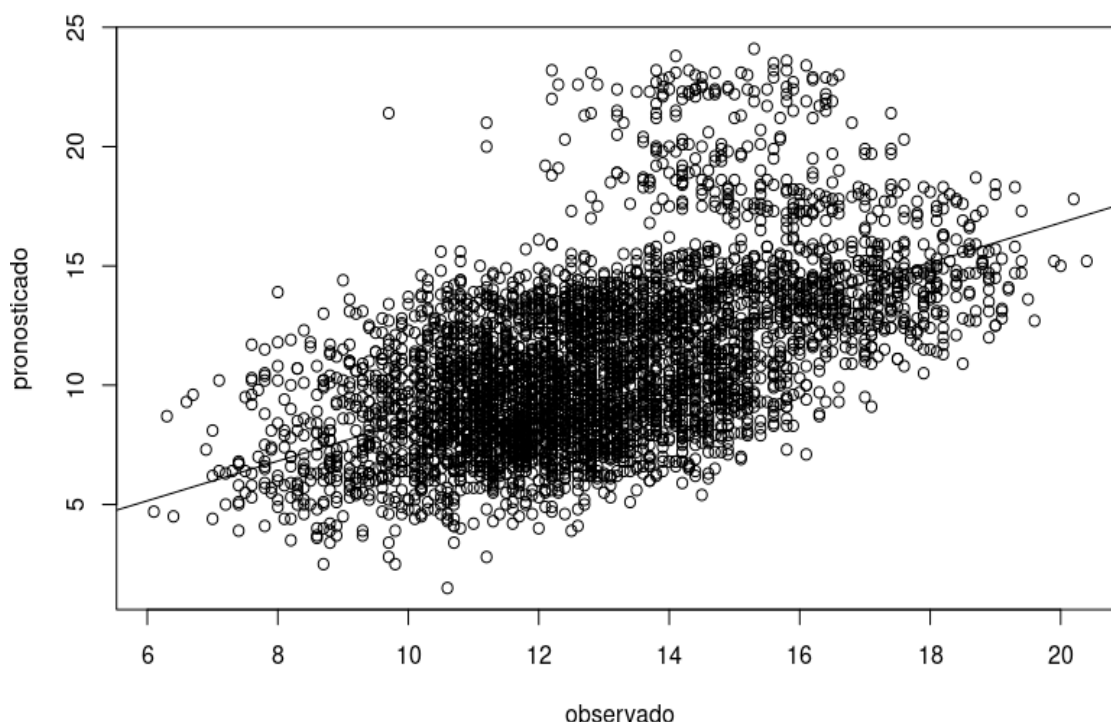


Figura 14.
Diagrama de dispersión para la evaluación global

Validación de temperatura, Año-2023



IV. CONCLUSIONES RECOMENDACIONES

En este trabajo, se hizo una evaluación del desempeño del modelo numérico BRAMS para la región de Ayacucho en el pronóstico de la temperatura. El modelo fue configurado según como se detalla en el trabajo usando para la evaluación los datos observados de SENAMHI-Perú. De acuerdo con los resultados obtenidos, se concluye que se ha conseguido obtener resultados similares a los obtenidos por otros autores. Se hizo las comparaciones por meses, estaciones y de forma global. De los resultados de las evaluaciones por meses se concluye que el modelo presenta un desempeño aceptable en el pronóstico de temperatura para los meses mayo, junio, julio y agosto, época donde las temperaturas bajan; asimismo, también se concluye que el modelo tiene buen desempeño en zonas altas, zonas donde se encuentra la estación Colcabamba (3012 msnm), Puquio (3176 msnm) y Acobamba (3380 msnm).

El modelo BRAMS ha sido ejecutado con una resolución horizontal de 10km; se sugiere al usuario interesado en conseguir mejores resultados a ejecutar a menores resoluciones.

Y V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAMS (Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System). 2007. First Time User Guide (en línea). Consultado mayo 2023. Disponible en: <http://brams.cptec.inpe.br/docs/bramsguide>.
- Davydova-Belitskaya, V., Rosario de la Cruz, J. G., Rodríguez-López, O (2016). Un modelo de verificación de pronósticos de precipitación. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 20-1, 24-33.
- Dillon, M. E., García, Y., y Nicolini, M. (2013). Desempeño del pronóstico de modelos de alta resolución, en un área limitada: análisis de la estación de verano 2010-2011. *Meteorológica*, 38(2), 69-89.
- Freitas, S.; Panetta, J. y otros (2017). The Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (BRAMS 5.2): an integrated environmental model tuned for tropical areas. *Geosci. Model Dev.*, 10, 189–222.

- García, Y., Salio, P. y Nicolini, M. (2012). Verificación de los pronósticos del modelo BRAMS centrado en la región subtropical de Sudamérica. *Meteorología*, 27(3), 291 – 306. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862012000300004>.
- García, J. y Sutizal, B. (2017). Uso del modelo “Brazilian Regional Atmospheric Modeling System” (brams) en el análisis del huaico de Chosica en Lima Perú. *Anales Científicos*, 78 (2): 157-172. <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v78i2.1053>.
- Gutiérrez, J. M., Cano, R., Cofiño, A. y Sordo, C. (2004). Redes probabilísticas y neuronales en las ciencias atmosféricas. Madrid: Ministerio del Medio Ambiente.
- Murphy, A. H. (1993). What Is a Good Forecast? An Essay on the Nature of Goodness in Weather Forecasting. *Wea. Forecasting*, 8, 281–293. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1993\)008<0281:-WIAGFA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1993)008<0281:-WIAGFA>2.0.CO;2).
- Souza, E. P. (1999) Estudo teórico e numérico da relação entre convecção e superfícies heterogêneas na região amazônica. 121 p. Tesis – Universidade de São Paulo, Brasil.