



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú

"Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"
"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

BOLETÍN
IGP / ROJ / 2025-08



LA ALTA ATMÓSFERA SOBRE EL PERÚ

AGOSTO 2025



Durante el mes de agosto de 2025 fuimos testigos de 2 tormentas geomagnéticas de intensidades G1 y G2 acontecidas los días 08 y 09 respectivamente. La tormenta de mayor intensidad y duración tuvo un impacto en las velocidades verticales de plasma (Figura 1), en donde se registraron inusuales valores positivos antes del amanecer, así como un atípico movimiento descendente del plasma (velocidades negativas) luego del amanecer. Además, durante este día no se registró la ocurrencia del pre-reversal enhancement como normalmente sucedió durante los días tranquilos del mes.

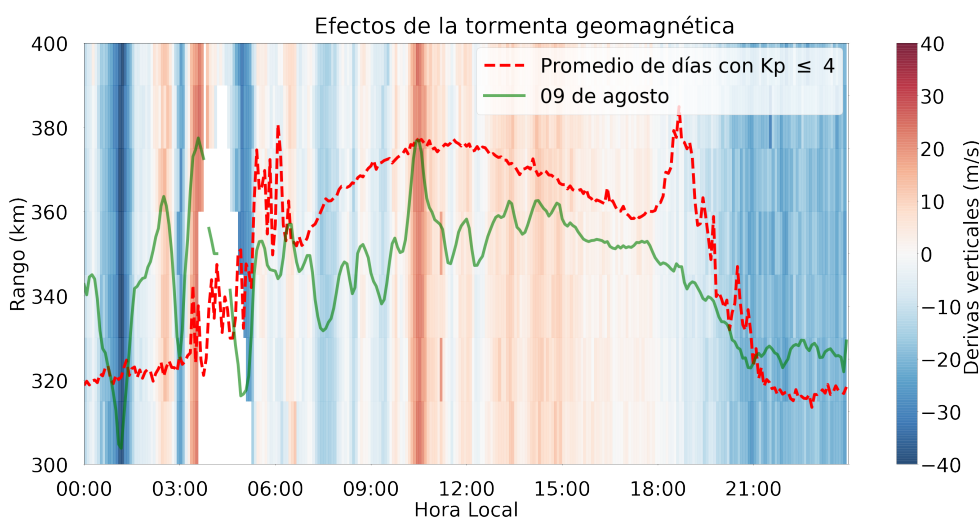


Figura 1. Efectos de la tormenta geomagnética de clase G2, ocurrida el 09 de agosto, sobre las derivas verticales ISR.

Tabla 1. Resumen de las mediciones de parámetros ionosféricos y condiciones predominantes del clima espacial del mes de agosto del 2025.

Vientos promedios MLT a 90 km [m/s]		Variación máxima de campo geomagnético horizontal (H)[nT]		Derivas verticales de plasma promedio (300 km- 400 km) [m/s]	
Meridional	Zonal	LIM: 137	TPP: 73	Mín.	Máx.
Mín: 46.1 S	Mín: 23.2 O	HYO: 136	PIU: 73	-27	21
Máx: 35.2 N	Máx: 21.4 E				
ACTIVIDAD GEOMAGNÉTICA: TRANQUILA A: 4 % M: 7 % T: 83 %				ACTIVIDAD SOLAR: ALTA A: 55 % M: 45 % B: 0 %	

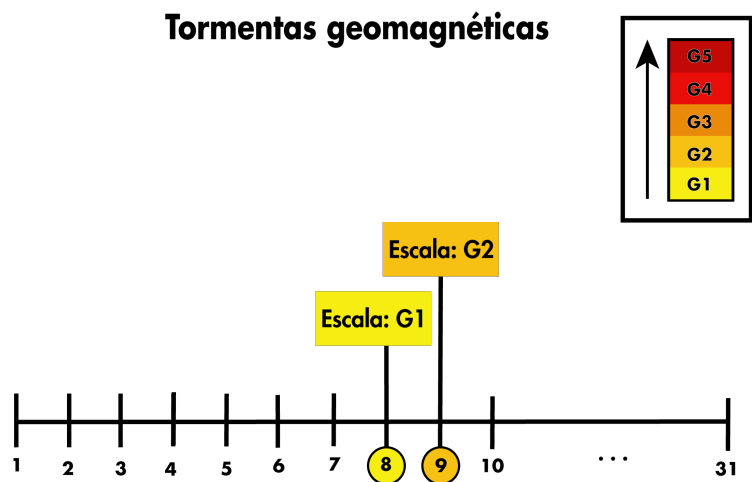


Figura 2. Intensidad de las tormentas geomagnéticas del mes de agosto.

¿SABÍAS QUÉ?

Durante los primeros años de operación del Radio Observatorio de Jicamarca el análisis de los datos adquiridos por el radar era realizado a mano. Por ejemplo, para obtener la densidad de electrones y las temperaturas de iones, las curvas de autocorrelación obtenidas experimentalmente para cada altura eran graficadas y comparadas con transparencias que contenían curvas teóricas para diferentes valores de parámetros de la ionósfera. Luego, los parámetros correctos eran aquellos que generaban las curvas teóricas que más se asemejaban “al ojo” a las curvas experimentales.

Felizmente, este procedimiento “manual” no duró mucho ya que en agosto de 1963 una minicomputadora Packard Bell PB250 llegó al Radio Observatorio de Jicamarca, la cual era relativamente rápida para aquella época y que además fue la primera computadora electrónica en llegar y ser usada en Perú. Por otro lado, como no se contaba con un compilador de lenguaje de alto nivel, las instrucciones debían ser programadas en lenguaje de máquina. La Figura 3 muestra un ejemplo de una página del código de un programa que convierte potencia en decibeles.

Finalmente, a pesar de que la programación de la computadora podría parecernos hoy en día lenta y laboriosa, la PB250 fue la última pieza que el observatorio necesitaba para producir la información que estaba prevista de generar y su llegada fue un hito en la historia del observatorio[1].

pb Packard Bell Computer

PB 250 PROGRAM SHEET

PROGRAM NAME *db scale* PAGE *4* OF *5*

PROGRAM NO. SPECIAL I. D. DATE

LINE	INSTRUCTION	NOTES
SECTOR	SECTOR S OP. LINE I	LOCATION M A REGISTER B REGISTER C REGISTER INDEX REG.
14 ⁰	141 5 04 11 ; LDC	
14 ¹	+00 0 04 00 ; const	
14 ²	362 60 31 ; NBC - %	
14 ³	164 5 15 11 ; SUB	
14 ⁴	+00 0 00 01 ; const	
14 ⁵	167 35 11 ; TAN	
14 ⁶	160 5 37 11 ; TRU	
14 ⁷	150 5 65 11 ; LDA	
15 ⁰	+00 0 00 04 ; const half length of tick	
15 ¹	152 5 04 11 ; LDC	
15 ²	+00 0 04 00 ; const	
15 ³	353 60 21 ; NBC + %	
15 ⁴	153 5 15 11 ; SUB	
15 ⁵	+00 0 00 01 ; const	
15 ⁶	160 35 11 ; TAN	
15 ⁷	151 5 37 11 ; TRU	
16 ⁰	073 05 04 ; LDA	
16 ¹	208 35 11 ; TAN jump if last point already taken	
16 ²	072 15 04 ; SUB	
16 ³	164 5 15 11 ; SUB	
16 ⁴	+00 0 00 01 ; const	
16 ⁵	172 35 11 ; TAN	
16 ⁶	167 5 04 11 ; LDC	
16 ⁷	+00 0 04 00 ; const	
17 ⁰	370 60 24 ; NBC + %	
17 ¹	163 5 37 11 ; TRU	
17 ²	160 05 11 ; LDA	
17 ³	176 5 14 11 ; ADD	
17 ⁴	001 00 00 ; const sector increment	
17 ⁵	160 11 11 ; STA	
17 ⁶	162 5 05 11 ; LDA	
17 ⁷	200 5 14 11 ; ADD	

Figura 3. Página de muestra de un programa para la computadora Packard Bell PB250. Imagen extraída de Woodman et al., 2019[1].

1. Climatología del mes

La actividad geomagnética (índice Kp) fue predominantemente tranquila en un 89 % del tiempo, moderada en un 7 % y alta en un 4 %; por otro lado, la actividad solar (índice F10.7) fue alta un 55 % del tiempo y 45 % moderada (Figura 4 y Tabla 1). Además, investigaciones previas señalan que hay una fuerte relación entre la variabilidad diaria y estacional de la componente horizontal del campo geomagnético (H), lo que se refleja en nuestras mediciones.

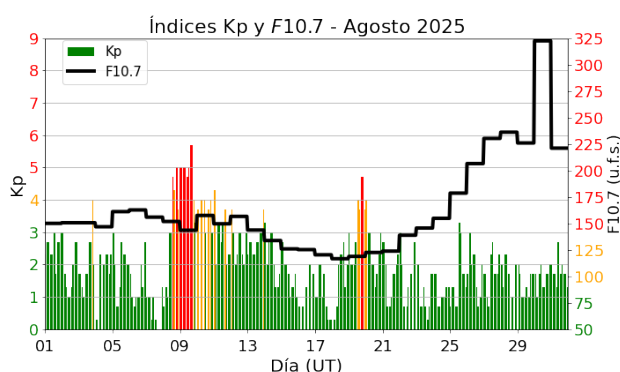


Figura 4. Valores de los índices Kp y F10.7 cm (u.f.s. = $10^{-22} \text{Wm}^{-2} \text{Hz}^{-1}$) para el mes de agosto. Extraídos de OMNIWeb.

Para los meses cercanos al equinoccio de septiembre (agosto, septiembre, octubre), en un régimen de actividad solar moderada o alta, se espera que la ocurrencia de F-Dispersa sea moderada para las horas anteriores a la medianoche, entre el 30 % y 50 % de ocurrencia. Las mediciones muestran una buena concordancia con la climatología.

Asimismo, la climatología de agosto para un régimen de actividad solar alta (dada por el modelo de Scherliess-Fejer) indica que el promedio en altura (300-400 km) de las derivas verticales de plasma tiene un valor cercano a los -22 m/s pasada la medianoche, cuya magnitud incrementa hasta llegar a un valor de cerca de 19 m/s a las 11:00 horas. Posteriormente, estos valores disminuyen hasta 9 m/s a las 16:00 horas, cuando vuelven a incrementar temporalmente debido al fenómeno de pre-reversal enhancement, hasta 13 m/s a las 17:00 horas, para finalmente decrecer hasta los -25 m/s antes de la medianoche. Los valores indicados por la climatología muestran moderada concordancia con las mediciones.

Estudios climatológicos indican que cerca a los meses del equinoccio de septiembre los Ecos de 150 km aparecen alrededor de las 09:00 horas, desaparecen pasadas las 15:30 horas y están contenidos entre los 138 km y los 160 km de altura. En este periodo, encontramos que la máxima altura de aparición fue mayor en 20 km, mientras que la mínima altura de

aparición fue menor en 6 km de lo esperado. Además, la hora de aparición de estas irregularidades ocurre una hora antes, mientras que la hora de desaparición ocurre media hora después de lo esperado.

2. Tormentas geomagnéticas

La alta actividad solar se manifestó en la ocurrencia de dos tormentas geomagnéticas, las cuales acontecieron el 08 y 09 de agosto, y fueron clasificadas como clase G1 y G2, respectivamente (Figura 5). La primera tormenta se produjo por el arribo de vientos solares rápidos[2], mientras que la segunda fue ocasionada por la llegada de una CME que expulsó el Sol el día 05 de agosto[3].

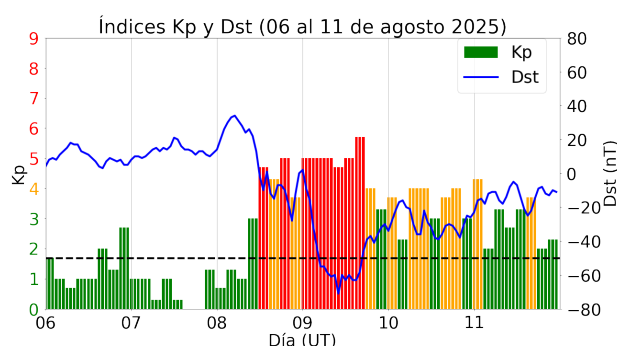


Figura 5. Índices geomagnéticos Kp y Dst del 06 al 11 de agosto. La línea horizontal negra representa el valor de Dst igual a -50 nT.

La tormenta de clase G2 del día 09 de agosto produjo perturbaciones en las mediciones de la variación diurna de la componente horizontal del campo magnético terrestre (H) en la estación de Jicamarca, como se aprecia en la Figura 6.

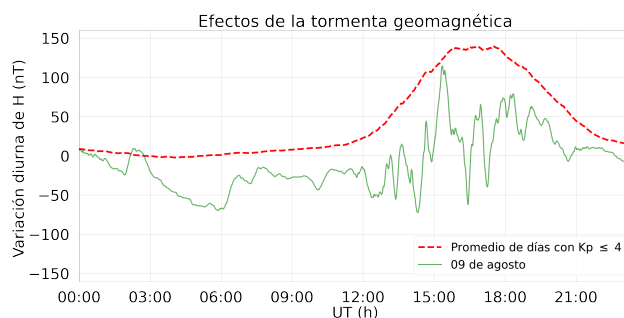


Figura 6. Efectos de la tormenta geomagnética, ocurrida el 09 de agosto, sobre la variación diurna de H de la estación geomagnética de Jicamarca.

Como consecuencia, se registraron valores atípicos (curva verde) a comparación del promedio de los días geomagnéticamente tranquilos (curva roja). Pasadas las 07:00 horas (12:00 horas UTC) se observan oscilaciones frecuentes las cuales alcanzan un mínimo de -73 nT a las 09:18 horas (14:18 horas UTC) y

un máximo de 114 nT a las 10:22 horas (15:22 horas UTC) de la variación diurna de H. Además, estas oscilaciones desaparecieron a las 16:00 horas (21:00 horas UTC).

Similares perturbaciones fueron detectadas en las estimaciones de las derivas verticales ISR (Figura 1) medidas con el radar principal del Radio Observatorio de Jicamarca, sede del Instituto Geofísico del Perú (IGP-ROJ). Desde la medianoche hasta antes del amanecer se observaron periodos con un movimiento atípicamente ascendente del plasma (velocidades positivas). Luego del amanecer las velocidades permanecieron negativas, lo cual difiere con el comportamiento promedio durante los días tranquilos (curva roja). A las 10:22 horas se registró un pico de 21.6 m/s para luego oscilar entre movimientos ascendentes y descendentes hasta las 13:00 horas. Finalmente, durante este día no se observó la ocurrencia del pre-reversal enhancement a diferencia de los días tranquilos.

3. Observaciones de la alta atmósfera con radares

Se logró monitorear el comportamiento de las derivas verticales y la ocurrencia de los Ecos de 150 km durante 7 días geomagnéticamente tranquilos, utilizando el modo JULIA-MP, en la región de transición entre las capas E y F. En la Figura 7 se observa que los ecos inician alrededor de las 08:00 horas y desaparecen después de las 16:00 horas, contenidos entre los 132 km y los 180 km de altura. Este comportamiento presenta una discrepancia moderada respecto a lo predicho por la climatología (realizada con el modo JULIA) ya que las mediciones exceden en 20 km la altura máxima esperada y se registra 6 km más abajo, además de comenzar una hora antes y persistir alrededor de media hora más de lo esperado.

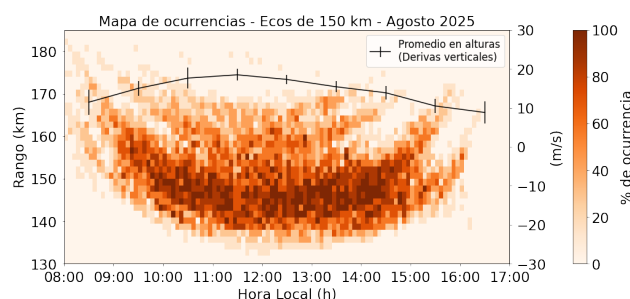


Figura 7. Mapa de ocurrencias de los Ecos de 150 km y el promedio en alturas de sus derivas verticales durante los días geomagnéticamente tranquilos.

En relación con las derivas verticales de plasma, se realizaron mediciones durante 18 días geomagnéticamente tranquilos (7 días completos y

11 días solo durante la noche) entre los 300 km y 400 km haciendo uso del radar principal del IGP-ROJ con el modo JULIA-MP. Las mediciones muestran que el promedio de las derivas verticales iniciaron alrededor de -23 m/s (movimiento descendente) después de la medianoche, incrementando progresivamente hasta invertir su dirección (movimiento ascendente) alrededor de las 05:00 horas. Posteriormente, alcanzaron un valor cercano a 21 m/s hacia las 11:00 horas, para luego disminuir hasta el incremento súbito observado a las 18:00 horas, asociado al fenómeno conocido como pre-reversal enhancement, con magnitudes próximas a 14 m/s (Figura 8). Los valores estimados por el modelo de Scherliess-Fejer muestran una concordancia moderada con las mediciones. Finalmente, se observó que las derivas diurnas obtenidas mediante ISR fueron mayores que las asociadas a los Ecos de 150 km, con una diferencia promedio de 1.79 m/s.

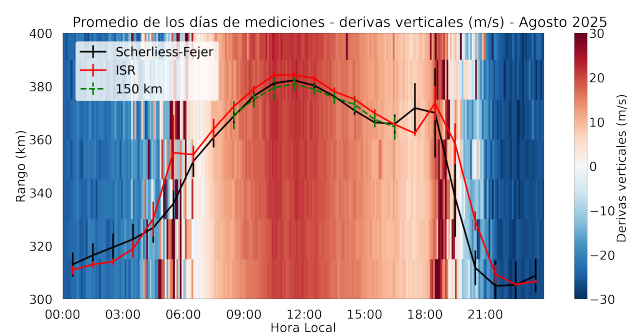


Figura 8. Promedio de las derivas verticales ISR para los días geomagnéticamente tranquilos de agosto. La curva roja representa el promedio en alturas entre los 300 km y 400 km y la curva negra, las predicciones del modelo de Scherliess-Fejer.

Asimismo, se realizaron 17 noches de mediciones con el sistema de radar AMISR-14, periodo durante el cual solo se observó la presencia de 7 irregularidades en la Capa F, entre los 200 km y 500 km de altura. Las morfologías dominantes fueron las de tipo Bottom-type y Bottomside con 43% cada una, y la de menor ocurrencia fue la de tipo Post-midnight con 14%, como se aprecia en la Figura 9. Además, el sistema del radar principal en su modo JULIA-MP funcionó durante 16 noches, durante las cuales se detectaron 13 irregularidades entre los 200 km y los 650 km, siendo las más frecuentes las morfologías del tipo Bottom-type y Bottomside, con 46% cada una, y la de menor ocurrencia fue la del tipo Post-midnight con 8%, como se aprecia en la Figura 10. La diferencia del número diferente de irregularidades detectadas por ambos sistemas se debe a que no funcionaron necesariamente las mismas noches o que en algunas ocasiones solo el radar principal en su modo JULIA-MP logró detectar irregularidades probablemente por su frecuencia de operación (50 MHz) diferente a la del radar AMISR-14

(445 MHz), además de que ambos radares no apuntan a la misma región de la ionosfera. Las observaciones del sistema JULIA-MP concuerdan con lo señalado por la climatología (realizada con el modo JULIA), mientras que las observaciones del radar AMISR-14 muestran un aumento de la ocurrencia respecto al mes anterior, similar a lo observado por JULIA-MP, pero con menor porcentaje de ocurrencia que JULIA-MP.

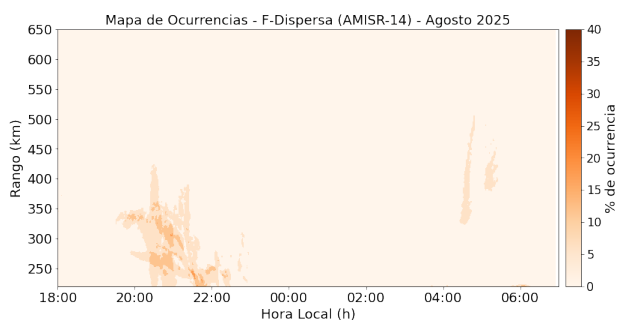


Figura 9. Mapa de ocurrencias de F-Dispersa con el radar AMISR-14.

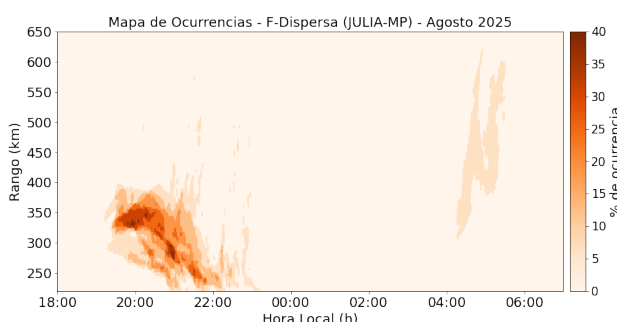


Figura 10. Mapa de ocurrencias de F-Dispersa con el radar principal en su modo JULIA-MP.

El promedio en tiempo y altura de los vientos zonales y meridionales para el mes de agosto, como se aprecia en la Figura 11, muestra periodos predominantes de 24 horas (marea solar diurna). En la mesopausa (~ 90 km) se observa que el valor del viento zonal promedio máximo fue de $+21.4$ m/s a las 13:00 horas y el promedio mínimo de -23.2 m/s a las 01:30 horas, mientras que el valor del viento meridional promedio máximo fue de $+35.2$ m/s a las 19:00 horas y el promedio mínimo de -46.1 m/s a las 04:00 horas. El viento zonal máximo fue de $+97.2$ m/s a las 15:45 horas del día 14 de agosto y el mínimo -87.5 m/s a las 10:45 horas del día 28 de agosto, mientras que el viento meridional máximo fue $+112.1$ m/s a las 18:45 horas del día 11 de agosto y el mínimo -109.9 m/s a las 04:15 horas del día 05 de agosto.

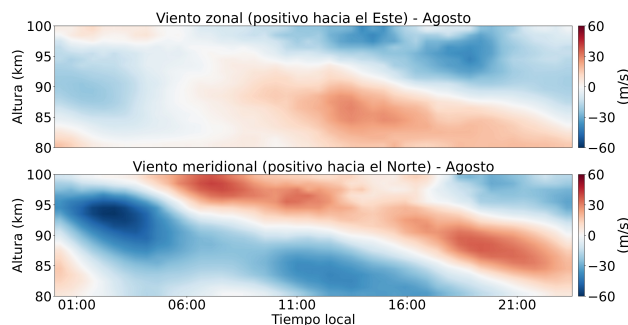


Figura 11. Promedio de los vientos zonales y meridionales durante el mes de agosto del 2025.

4. Observaciones con la red de instrumentos LISN

Los valores de la amplitud de las cintilaciones GPS (índice S4) de las estaciones de Jaén, Jicamarca, Huancayo, Ayacucho y Tacna se muestran en la Figura 12. Durante el periodo de estudio se observaron valores bajos y moderados entre las 19:00 y 22:00 horas. La cantidad de días con estos valores fue mayor que los meses anteriores (junio y julio) lo cual sigue la tendencia observada el año pasado[4]. La mayor actividad del mes ($\Delta S4_{mx}=0.7$) se produjo en la estación de Ayacucho el día 20 a las 20:40 horas aproximadamente.

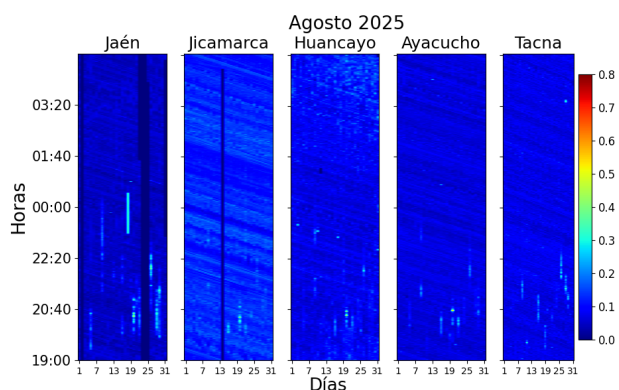


Figura 12. Valores diarios máximos de S4 para las estaciones de Jaén, Jicamarca, Huancayo, Ayacucho y Tacna durante el mes de agosto.

Las mediciones de la variación diurna de la componente horizontal del campo geomagnético (H) de las estaciones magnéticas del IGP-ROJ durante los días geomagnéticamente tranquilos se presentan en la Figura 13. Aquí se aprecia que el promedio de las estaciones de Jicamarca y Huancayo estuvieron por encima de las demás debido a que se encuentran en el ecuador magnético y el Electrochorro Ecuatorial (EEJ) contribuye al incremento en sus mediciones. Así también, se apreció una gran variabilidad diaria, mayormente a las 11:00 horas (16:00 horas UTC).

Se registraron las máximas variaciones del promedio del mes de agosto de H por cada estación: Piura, 73 nT; Tarapoto, 73 nT; Huancayo, 136 nT y Jicamarca, 137 nT. Estas mediciones muestran que el valor máximo de todas las estaciones son mayores al mes anterior, lo cual muestra el mismo comportamiento climatológico que lo observado durante el año 2024[4].

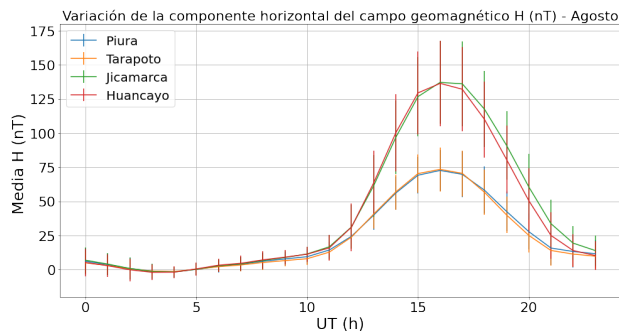


Figura 13. Valores del promedio horario de la variación diurna de H para todas las estaciones magnéticas operativas durante los días geomagnéticamente tranquilos de agosto.

5. Conclusiones

- Debido a la ocurrencia de una tormenta de clase G2 el 09 de agosto, se originaron periodos de movimiento ascendente de plasma durante la madrugada. Además, luego del amanecer el movimiento de plasma osciló entre ascendente y descendente.
- La ocurrencia de F-Dispersa detectada por el radar principal aumentó hasta un 40 % antes de la

medianoche, lo cual concuerda con la climatología. Asimismo, la ocurrencia de F-dispersa detectada por el radar AMISR-14 también aumentó pero en menor proporción.

- El índice S4 muestra moderada actividad antes de la medianoche durante una mayor cantidad de días que para los meses junio y julio, tendencia que se asemeja a lo observado durante el año pasado. Además, la actividad moderada se correlaciona con lo observado por los sistemas AMISR-14 y JULIA-MP.

6. Referencias

- [1] R. F. Woodman, D. T. Farley, B. B. Balsley, and M. A. Milla, "The early history of the jicamarca radio observatory and the incoherent scatter technique," vol. 10, no. 2.
- [2] "Geomagnetic storm update - 11th august 2025," [2025, September 17]. [Online]. Available: http://www.esc.bgs.ac.uk/data_service/space_weather/alerts/update_2025-08-11.html
- [3] "G1-g2 (minor-moderate) watch issued for 08-09 aug 2025," [2025, September 17]. [Online]. Available: <https://www.swpc.noaa.gov/news/g1-g2-minor-moderate-watch-issued-08-09-aug-2025>
- [4] "Instituto Geofísico del Perú, Realtime at Jicamarca," Dec. 2025. [Online]. Available: <https://www.igp.gob.pe/observatorios/radio-observatorio-jicamarca/realtime/static/reports/2025/202412.pdf>

Elaborado por:

Bach. Roberto Flores Arroyo

Diseño y diagramación:

Bach. Anette De la Cruz Meza

Colaboradores:

Mag. Karim Kuyeng Ruiz
Dr. Danny Scipión Castillo
Dr. Marco Milla Bravo
Mag. Luis Condori Illahuamán
Dr. Edgardo Pacheco Josan
Dr. Ram Singh

Contacto:

roj@igp.gob.pe