



LA ALTA ATMÓSFERA SOBRE EL PERÚ

JULIO 2025



Durante el mes de julio de 2025 fuimos testigos de 1 tormenta geomagnética de intensidad G1. Esta tormenta inició a las 16:00 horas del día 06 de julio y tuvo un impacto en las velocidades verticales de plasma (Figura 1), en donde se registraron inusuales valores negativos durante la tarde, alcanzando los -10 m/s a las 18:00 horas. Además, pasadas las 19:00 horas se observaron atípicas velocidades positivas las cuales continuaron oscilando.

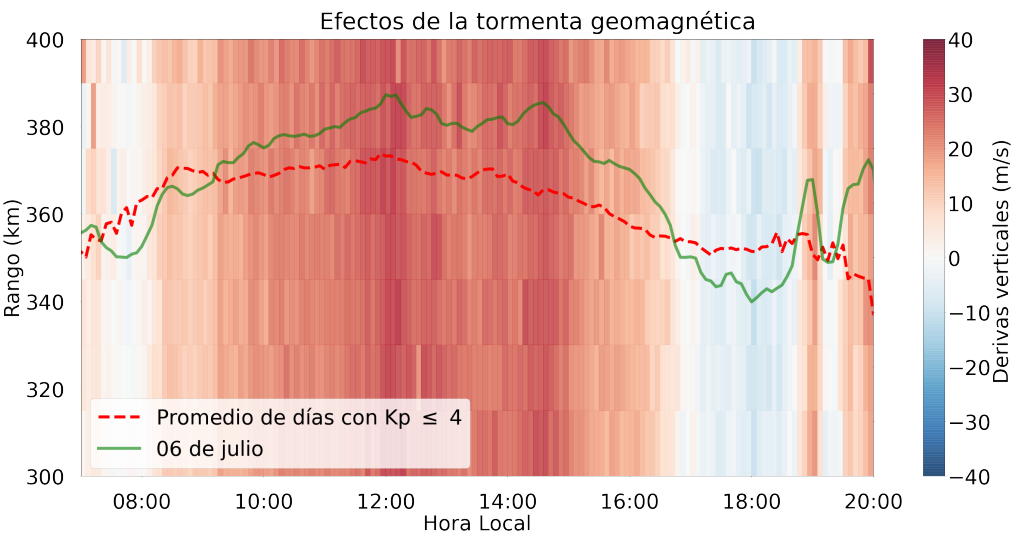


Figura 1. Efectos de la tormenta geomagnética, ocurrida el 06 de julio, sobre las derivas verticales ISR

Tabla 1. Resumen de las mediciones de parámetros ionosféricos y condiciones predominantes del clima espacial del mes de julio 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: 111	TPP: 62	Mín.	Máx.
Mín: 44.1 S	Mín: 38.9 O	HYO: 111	PIU: 62	-22	17
Máx: 39.0 N	Máx: 37.6 E				
ACTIVIDAD GEOMAGNÉTICA: TRANQUILA A: 3 % M: 14 % T: 83 %				ACTIVIDAD SOLAR: MODERADA A: 32 % M: 68 % B: 0 %	

Tormentas geomagnéticas

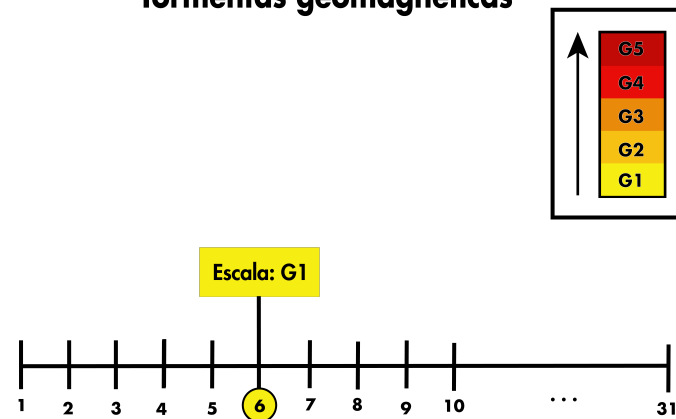


Figura 2. Intensidad de las tormentas geomagnéticas del mes de julio.

¿SABÍAS QUÉ?

En julio de 1969 el Radio Observatorio de Jicamarca fue transferido por el gobierno de los Estados Unidos de América hacia el gobierno del Perú (Figura 3). Este evento ocurrió debido a que el presidente peruano de esa época estaba en contra del gobierno norteamericano por lo que además los 7 científicos e ingenieros estadounidenses se retiraron del observatorio.

Afortunadamente, los ingenieros y técnicos peruanos, así como el único científico peruano en el observatorio, Ronald Woodman, sabían cómo operar el observatorio. La desventaja era que el gobierno peruano no contaba con posibilidades de financiar la operación del radar pero esto no detuvo al personal peruano quienes dedicaron sus esfuerzos en mejorar el radar. En paralelo a la transferencia del observatorio, la comunidad científica de radio ciencia y ionósfera estadounidense reaccionó rápidamente y un grupo informal llamado “Amigos de Jicamarca” fue fundado por Bill Gordon para reunir apoyo para la continuidad de las operaciones del observatorio, lo cual permitió que

distintas organizaciones estadounidenses (NBS, NSF, OAS, NASA) proporcionen el apoyo económico.



Figura 3. Ceremonia de transferencia del Radio Observatorio de Jicamarca por el gobierno de los Estados Unidos de América para el gobierno del Perú en julio de 1969. Imagen extraída de Woodman et al., 2019[1].

1. Climatología del mes

La actividad geomagnética (índice Kp[2]) fue predominantemente tranquila en un 83 % del tiempo, moderada en un 14 % y alta en un 3 %; por otro lado, la actividad solar (índice F10.7[3]) fue alta un 32 % del tiempo y 68 % 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)[4], lo que se refleja en nuestras mediciones.

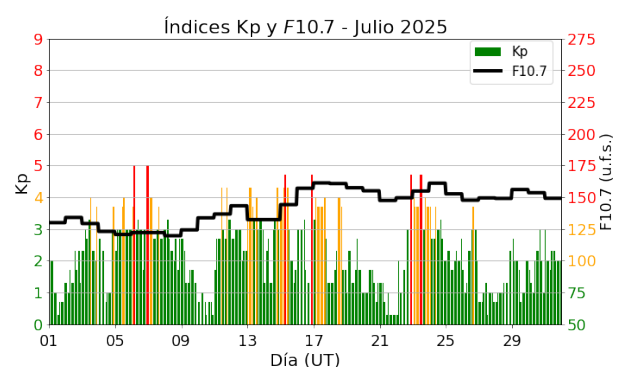


Figura 4. Valores de los índices Kp y F10.7 cm (u.f.s. = $10^{-22} \text{Wm}^{-2} \text{Hz}^{-1}$) para el mes de julio. Extraídos de OMNIWeb.

Para los meses cercanos al solsticio de junio (mayo, junio, julio), en un régimen de actividad solar moderada o alta, se espera que la ocurrencia de F-Dispersa sea baja, menor al 20 % [5]. Las mediciones muestran una buena concordancia con la climatología.

Asimismo, la climatología de julio para un régimen de actividad solar moderada (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 -21 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 8 m/s a las 16:00 horas, cuando vuelven a incrementar temporalmente debido al fenómeno de pre-reversal enhancement [6], hasta 10 m/s a las 17:00 horas, para finalmente decrecer hasta los -23 m/s antes de la medianoche. Los valores indicados por la climatología muestran moderada concordancia con las mediciones.

Estudios climatológicos [7] indican que cerca a los meses del solsticio de junio los Ecos de 150 km aparecen alrededor de las 09:00 horas, desaparecen pasadas las 15:30 horas y están contenidos entre los 135 km y los 165 km de altura. En este periodo, encontramos que la máxima altura de aparición fue mayor en 10 km que lo esperado. Además, la hora de aparición de estas irregularidades ocurre media hora antes, mientras que la hora de desaparición ocurre media hora después de lo esperado.

2. Tormentas geomagnéticas

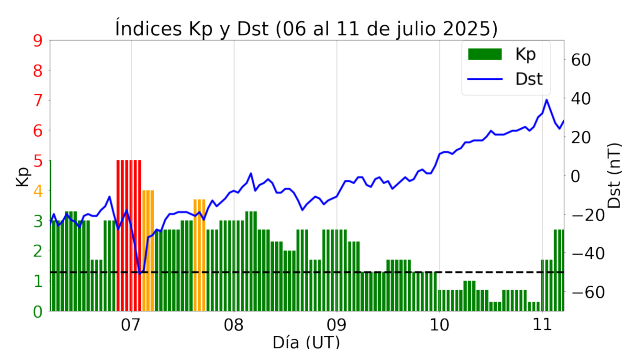


Figura 5. Índices geomagnéticos Kp y Dst del 06 al 11 de julio. La línea horizontal negra representa el valor de Dst igual a -50 nT.

La moderada/alta actividad solar se manifestó en la ocurrencia de una tormenta geomagnética, la cual aconteció entre las 16:00 y 22:00 horas del día 06 de julio (entre las 21:00 horas UTC del día 06 de julio y las 03:00 horas UTC del día 07 de julio) y fue clasificada como clase G1 (Figura 5). Esta tormenta alcanzó valores de índice Dst de -51 nT y

fue ocasionada por una combinación de una eyección de masa coronal y vientos solares rápidos [8].

Esta tormenta 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. Como consecuencia, se registraron valores atípicos (curva verde y curva azul) a comparación del promedio de los días geomagnéticamente tranquilos (curva roja). Pasadas las 16:00 horas (21:00 horas UTC) del día 06 de julio se observan valores negativos los cuales alcanzan un mínimo de -102 nT de la variación diurna de H antes de las 22:00 horas (03:00 horas del día 07 de julio), para luego incrementar y alcanzar los valores típicos de los días tranquilos pero con pequeñas oscilaciones.

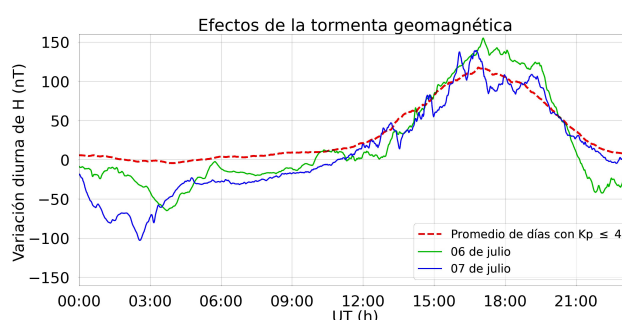


Figura 6. Efectos de la tormenta geomagnética, ocurrida entre el 06 y el 07 de julio, sobre la variación diurna de H de la estación geomagnética de Jicamarca.

Similares oscilaciones 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). Antes de las 08:00 horas se pueden observar valores negativos lo cual está relacionado con perturbaciones magnéticas antes de la tormenta. Pasadas las 16:00 horas observamos que los valores positivos de las derivas verticales cambian de dirección, lo cual difiere con el promedio de las mediciones de días tranquilos (curva roja) cuya tendencia muestra derivas positivas. Luego, a las 18:00 horas las derivas empiezan a incrementar y alcanzan valores positivos los cuales oscilan entre positivos y negativos hasta las 20:00 horas, donde luego no se pudieron estimar las derivas debido a la formación de irregularidades en la capa F.

3. Observaciones de la alta atmósfera con radares

Se pudo monitorear el comportamiento de las derivas verticales y la ocurrencia de los Ecos de 150 km durante 15 días geomagnéticamente tranquilos, con el modo JULIA-MP, en la región de transición entre las

capas E y F. Podemos apreciar en la [Figura 7](#) que los ecos inician a las 08:30 horas y desaparecen pasadas las 16:00 horas, además éstos están contenidos entre los 135 km y los 175 km de altura, lo que difiere moderadamente con lo predicho por la climatología (realizada con el modo JULIA[7]) debido a que las mediciones superaron en 10 km la máxima altura de aparición, y los ecos aparecieron media hora antes y desaparecieron media hora después que lo esperado.

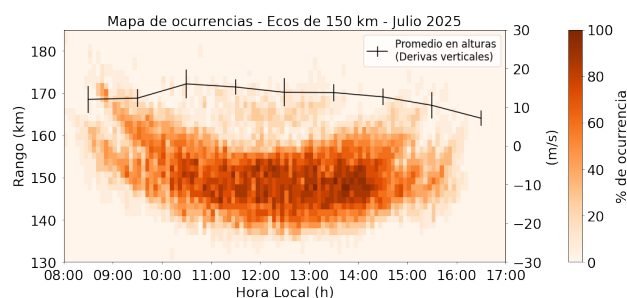


Figura 7. Mapa de ocurrencias de los Ecos de 150 km y el promedio en alturas de sus derivas verticales durante los días geomagnéticamente tranquilos.

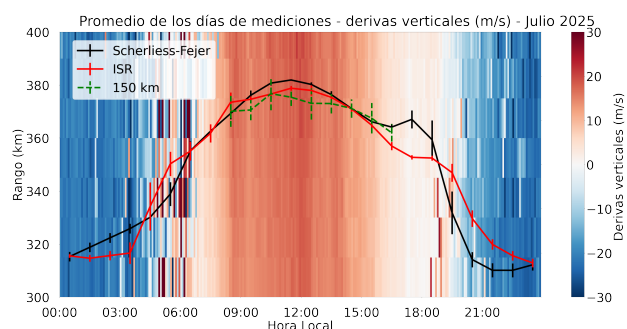


Figura 8. Promedio de las derivas verticales ISR para los días geomagnéticamente tranquilos de julio. La curva roja representa el promedio en alturas entre los 300 km y 400 km y la curva negra, las predicciones del modelo de Scherliess-Fejer.

En cuanto a las derivas verticales de plasma, se realizaron 25 días (14 días completos y 11 días solo durante la noche) de mediciones entre los 300 km y 400 km durante los días geomagnéticamente tranquilos del mes haciendo uso del radar principal del IGP-ROJ con el modo JULIA-MP. Estas mediciones indican que las derivas verticales promedio empezaron aproximadamente a -21 m/s (movimiento descendente) después de la medianoche para aumentar hasta cambiar de dirección (movimiento ascendente) a las 05:00 horas. Luego incrementaron hasta llegar a un valor cercano a 17 m/s a las 11:00 horas. Posteriormente descendieron, sin mostrar el incremento súbito antes del anochecer conocido como pre-reversal enhancement, y alcanzaron un valor de -22 m/s antes de la medianoche ([Figura 8](#)). Luego, los valores

predichos por el modelo de Scherliess-Fejer exhiben una moderada concordancia con las mediciones. Finalmente, las derivas diurnas ISR fueron mayores que las derivas de los Ecos de 150 km y muestran en promedio una diferencia de 1.73 m/s.

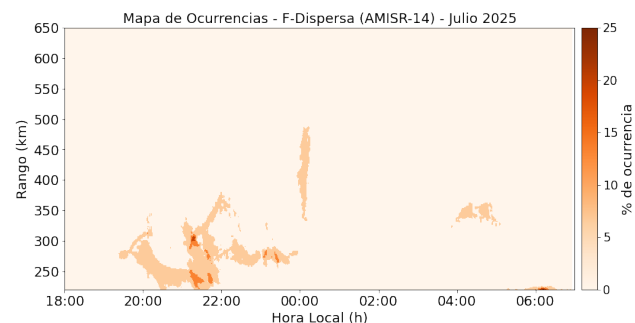


Figura 9. Mapa de ocurrencias de F-Dispersa con el radar AMISR-14.

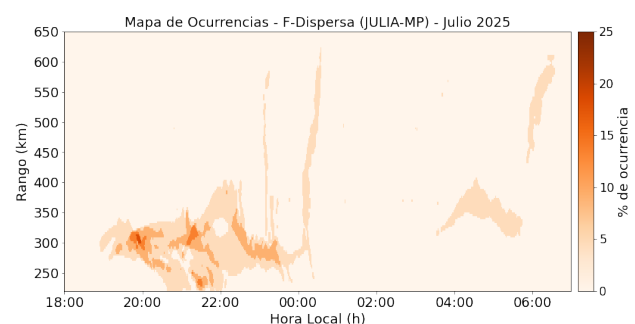


Figura 10. Mapa de ocurrencias de F-Dispersa con el radar principal en su modo JULIA-MP.

Asimismo, se realizaron 15 noches de mediciones con el sistema de radar AMISR-14[9], periodo durante el cual solo se observó la presencia de 6 irregularidades en la Capa F, entre los 200 km y 500 km de altura. Tres de estas irregularidades fueron del tipo Bottom-type, mientras que las 3 restantes fueron del tipo Bottomside, Pluma de radar y Post-midnight cada una, como se aprecia en la [Figura 9](#). Además, el sistema del radar principal en su modo JULIA-MP funcionó durante 22 noches, durante las cuales se detectaron 11 irregularidades entre los 200 km y los 600 km, siendo la más frecuente la morfología del tipo Bottom-type, con 37 %, seguida por la del tipo Bottomside, con un 27 % y las de menor ocurrencia fueron las del tipo Pluma de radar y Post-midnight con 18 % cada una, 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

de ambos sistemas concuerdan con lo señalado por la climatología (realizada con el modo JULIA)[5].

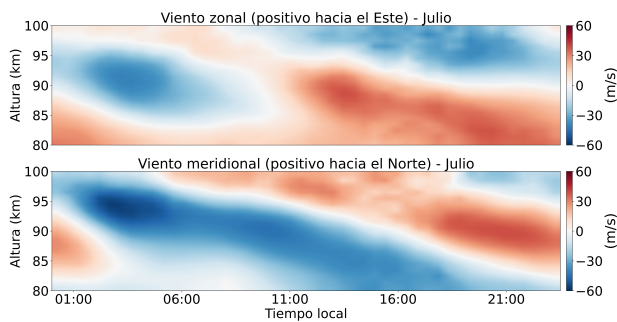


Figura 11. Promedio de los vientos zonales y meridionales durante el mes de julio del 2025.

El promedio en tiempo y altura de los vientos zonales y meridionales para el mes de julio, 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 $+37.6$ m/s a las 13:30 horas y el promedio mínimo de -38.9 m/s a las 03:30 horas, mientras que el valor del viento meridional promedio máximo fue de $+39.0$ m/s a las 21:30 horas y el promedio mínimo de -44.1 m/s a las 10:00 horas. El viento zonal máximo fue de $+93.4$ m/s a las 12:15 horas del día 01 de julio y el mínimo -94.4 m/s a las 12:15 horas del día 02 de julio, mientras que el viento meridional máximo fue $+102.0$ m/s a las 19:15 horas del día 24 de julio y el mínimo -116.9 m/s a las 03:15 horas del día 30 de julio.

4. Observaciones con la red de instrumentos LISN

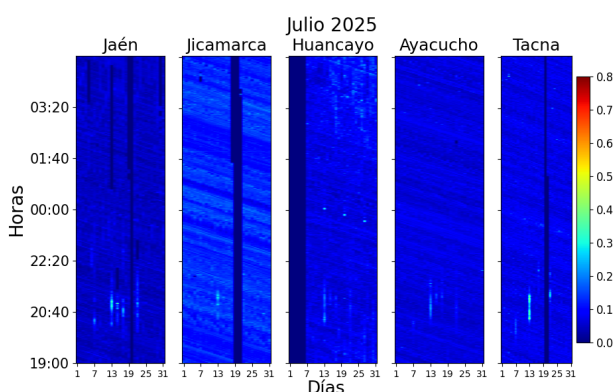


Figura 12. Valores diarios máximos de S_4 para las estaciones de Jaén, Jicamarca, Huancayo, Ayacucho y Tacna durante el mes de julio.

Los valores de la amplitud de las cintilaciones GPS (índice S_4) 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 19:30 y 22:00 horas. La cantidad de días con estos valores fue mayor que el mes anterior lo cual sugiere que los días con actividad aumentarán durante los próximos meses como lo observado el año pasado[10]. La mayor actividad del mes ($S_{4mx}=0.51$) se produjo en la estación de Tacna el día 13 a las 20:30 horas aproximadamente.

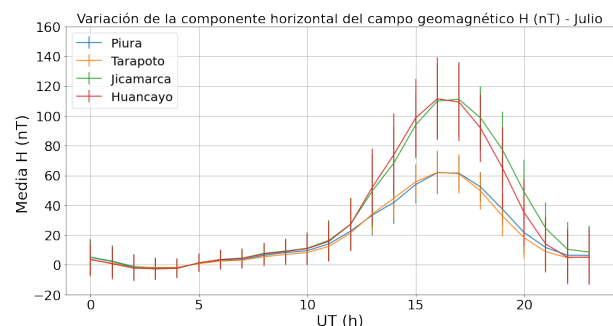


Figura 13. Valores del promedio horario de la variación diurna de H para todas las estaciones magnéticas operativas durante los días geomagnéticamente tranquilos de julio.

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 julio de H por cada estación: Piura, 62 nT; Tarapoto, 62 nT; Huancayo, 111 nT y Jicamarca, 111 nT. Estas mediciones muestran que el valor máximo de todas las estaciones son similares al mes anterior, lo cual muestra el mismo comportamiento climatológico que lo observado durante el año 2024[10].

5. Conclusiones

- Debido a la ocurrencia de una tormenta de clase G1 el 06 de julio, el movimiento ascendente de plasma cambió a dirección descendente pasadas las 16:00 horas a diferencia de los días tranquilos.
- Durante este mes, la ocurrencia de F-Dispersa aún sigue baja pero está incrementando lo cual concuerda con la climatología.
- El índice S_4 muestra moderada actividad antes de la medianoche durante una mayor cantidad de días que el mes anterior, tendencia que se asemeja a

lo observado durante el año pasado. Además, la actividad baja-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, pp. 245–266, 2019.
- [2] "The Kp-index | Help," Oct 2020, Accessed on: Feb. 01, 2023. [Online]. Available: [1https://www.spaceweatherlive.com/en/help/the-kp-index.html](https://www.spaceweatherlive.com/en/help/the-kp-index.html)
- [3] "F10.7 cm Radio Emissions | NOAA / NWS Space Weather Prediction Center," Jul 2020, Accessed on: Feb. 01, 2023. [Online]. Available: [1https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/f107-cm-radio-emissions](https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/f107-cm-radio-emissions)
- [4] I. Adimula, K. Gidado, and S. Bello, "Variability of horizontal magnetic field intensity from some stations within the equatorial electrojet belt," Physical Science International Journal, vol. 13, pp. 1–8, 01 2017.
- [5] W. Zhan, F. S. Rodrigues, and M. A. Milla, "On the genesis of postmidnight equatorial spread F: Results for the American/Peruvian sector," Geophysical Research Letters, vol. 45, no. 15, pp. 7354–7361, 2018.
- [6] J. V. Eccles, J. P. St. Maurice, and R. W. Schunk, "Mechanisms underlying the pre-reversal enhancement of the vertical plasma drift in the low-latitude ionosphere," J. Geophys. Res. Space Physics, vol. 120, p. 4950– 4970, 2015.
- [7] J. Chau and E. Kudeki, "Statistics of 150-km echoes over jicamarca based on low-power vhf observations," in Annales Geophysicae, vol. 24, no. 5. Copernicus GmbH, 2006, pp. 1305–1310.
- [8] "Monday, July 7: Quiet skies ahead as solar winds settle," Aug 2025. [Online]. Available: [1https://www.space.com/live/aurora-forecast-will-the-northern-lights-be-visible-tonight](https://www.space.com/live/aurora-forecast-will-the-northern-lights-be-visible-tonight)
- [9] "Instituto Geofísico del Perú, Realtime at Jicamarca ," Aug. 2022, [Online; accessed 29. Aug. 2022]. [Online]. Available: [1https://www.igp.gob.pe/observatorios/radio-observatorio-jicamarca/realtime/tools](https://www.igp.gob.pe/observatorios/radio-observatorio-jicamarca/realtime/tools)
- [10] "Instituto Geofísico del Perú, Realtime at Jicamarca," Dec. 2025. [Online]. Available: [1https://www.igp.gob.pe/observatorios/radio-observatorio-jicamarca/realtime/static/reports/2025/202412.pdf](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

Radio Observatorio de Jicamarca (ROJ)
Instituto Geofísico del Perú
Lurigancho-Chosica, Lima, Perú
Teléfono: +51 1 3172313
Webpage: www.gob.pe/igp

**"Ciencia para protegernos
ciencia para avanzar"**