



LA ALTA ATMÓSFERA SOBRE EL PERÚ

OCTUBRE 2025



Durante el mes de octubre de 2025 fuimos testigos de 4 tormentas geomagnéticas, 2 de clase G1, y dos de clase G2. Una de las tormentas de mayor intensidad (G2) aconteció entre el 18 y 19 de octubre y tuvo un impacto significativo sobre las velocidades verticales de plasma (Figura 1), donde en la madrugada se registró un movimiento inusualmente ascendente de plasma de 30 m/s, asimismo al mediodía se observó una velocidad de casi 40 m/s lo cual duplica la velocidad máxima promedio durante los días geomagnéticamente tranquilos.

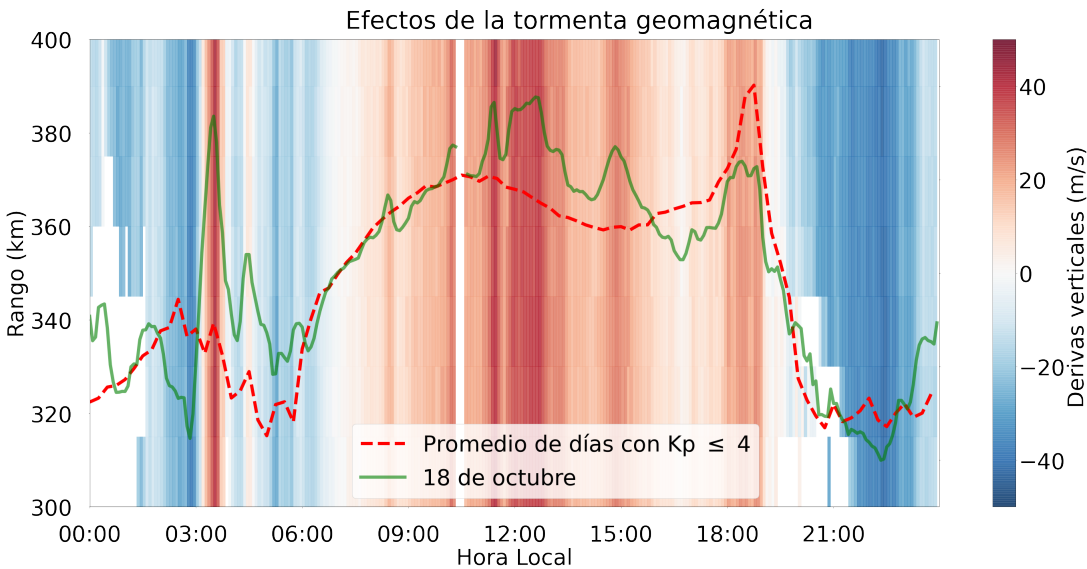


Figura 1. Efectos de la tormenta geomagnética de clase G2, ocurrida el 18-19 de octubre, sobre las derivas verticales ISR.

Tabla 1. Resumen de las mediciones de parámetros ionosféricos y condiciones predominantes del clima espacial del mes de octubre 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: 162	TPP: 84	Mín.	Máx.
Mín: 55.4 S	Mín: 47.9 O	HYO: 158	PIU: 85	-31	28
Máx: 53.3 N	Máx: 14.1 E				
ACTIVIDAD GEOMAGNÉTICA: TRANQUILA A: 9 % M: 19 % T: 72 %				ACTIVIDAD SOLAR: MODERADA A: 29 % M: 71 % B: 0 %	

Tormentas geomagnéticas

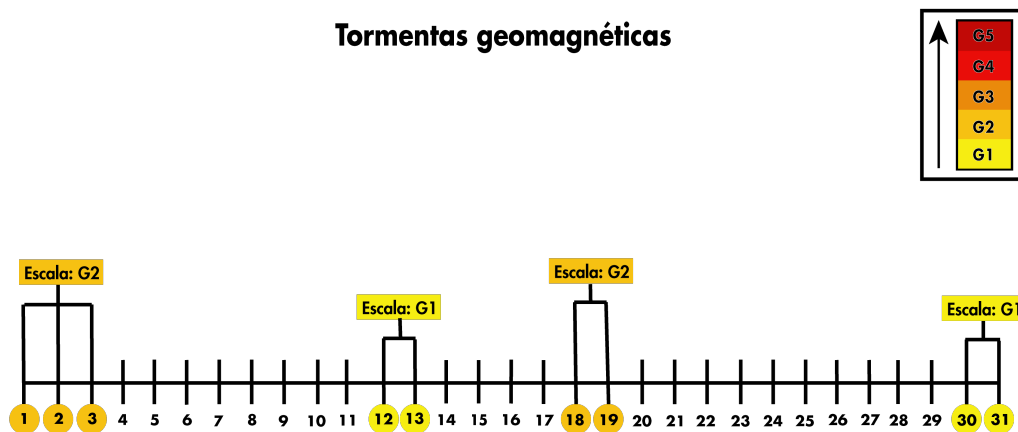


Figura 2. Intensidad de las tormentas geomagnéticas del mes de octubre.

¿SABÍAS QUÉ?

En 1958, el físico y astrónomo Bill Gordon propuso que la característica más importante de los electrones libres en la ionósfera es que podrían ser medidos desde la superficie terrestre, lo cual competiría con las mediciones hechas por satélites. Esta técnica se basó en la dispersión en todas las direcciones de las ondas de radio por los electrones libres y que si se "iluminara" con la potencia suficiente, una parte de la energía retornaría devuelta a la Tierra y que una antena podría captar estos ecos. Al mismo tiempo, el ingeniero eléctrico Ken Bowles diseñó y construyó un arreglo de 1024 antenas dipolo para poder probar experimentalmente la técnica de dispersión incoherente, en donde pudo encontrar que el ancho de los ecos era mucho más angosto que lo esperado, cuyo orden se asemejaba más a las velocidades de los iones que de los electrones. Este hecho, abrió nuevas posibilidades para la técnica, donde se podría determinar la composición de iones en la ionósfera,

debido a que diferentes pesos de los iones producirían diferentes anchos de banda[1].

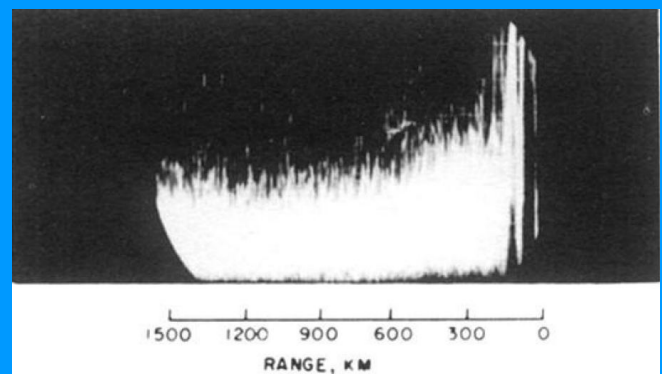


Figura 3. Primera medición de ecos incoherentes en la ionósfera realizada en octubre de 1958. Imagen extraída de Woodman et al., 2019.[1]

1. Climatología del mes

La actividad geomagnética (índice Kp[2]) fue predominantemente tranquila en un 72 % del tiempo, moderada en un 19 % y alta en un 9 %; por otro lado, la actividad solar (índice F10.7[3]) fue alta un 29 % del tiempo y 71 % 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.

Para los meses cercanos al equinoccio de septiembre (agosto, septiembre, octubre), en un régimen de actividad solar moderada o alta, se espera que la ocu-

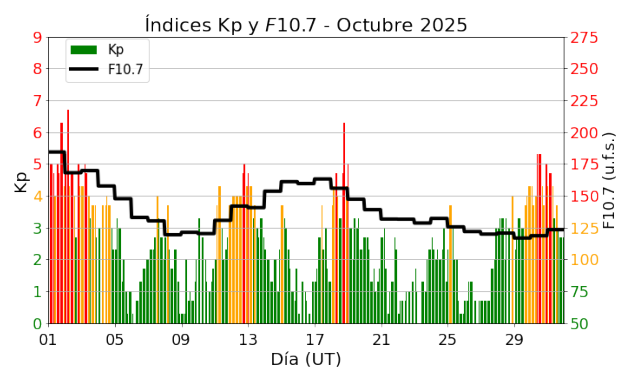


Figura 4. Valores de los índices Kp y F10.7 cm (u.f.s. = $10^{-22} \text{Wm}^{-2} \text{Hz}^{-1}$) para el mes de septiembre. Extraídos de OMNIWeb.

rruencia 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 octubre 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 -20 m/s pasada la medianoche, cuya magnitud incrementa hasta llegar a un valor de cerca de 22 m/s a las 10:00 horas. Posteriormente, estos valores disminuyen hasta 7 m/s a las 16:00 horas, cuando vuelven a incrementar temporalmente debido al fenómeno de pre-reversal enhancement[4], hasta 22 m/s a las 18:00 horas, para finalmente decrecer hasta los -22 m/s antes de la medianoche. Los valores indicados por la climatología muestran moderada concordancia con las mediciones, donde las mayores discrepancias ocurren durante la madrugada.

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 2 km mayor a lo esperado. Además, la hora de aparición de estas irregularidades ocurre una hora antes en las mediciones, mientras que la hora de desaparición concuerda con lo esperado.

2. Tormentas geomagnéticas

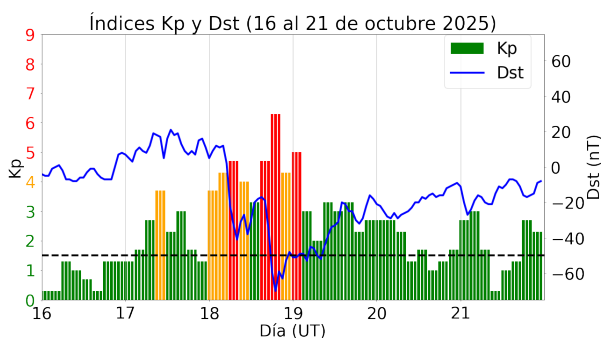


Figura 5. Índices geomagnéticos Kp y Dst del 16 al 21 de octubre. La línea horizontal negra representa el valor de Dst igual a -50 nT.

La moderada/alta actividad solar se manifestó en la ocurrencia de 4 tormentas geomagnéticas, las cuales acontecieron los días 01-03, 12-13, 18-19 y 30-31 de octubre. La primera y la tercera fueron clasificadas como clase G2, mientras que la segunda y la cuarta como G1. La primera tormenta más intensa (01-03 de

octubre) fue ocasionada por la constante influencia de vientos solares rápidos[5], mientras que la segunda tormenta más intensa del mes (18-19 de octubre) se produjo por el arribo de una eyección de masa coronal (CME) que fue emitida por el Sol entre el 13 y el 15 de octubre[6], lo cual ocasionó que el índice Dst disminuya hasta un valor de -70 nT (Figura 5).

La tormenta geomagnética G3 del 18-19 de octubre comenzó alrededor de las 12:30 horas y produjo perturbaciones en las mediciones de la variación diurna de la componente horizontal del campo magnético terrestre (H) en la estación de Jicamarca (Figura 6). Como consecuencia, se registraron valores atípicos (curva verde) a comparación del promedio de los días geomagnéticamente tranquilos (curva roja). Luego de las 08:00 horas (13:00 horas UTC) se observan fluctuaciones y que estas mediciones llegan a sobrepasar los 300 nT a las 11:30 horas (16:30 horas UTC), el doble que el valor máximo durante los días tranquilos.

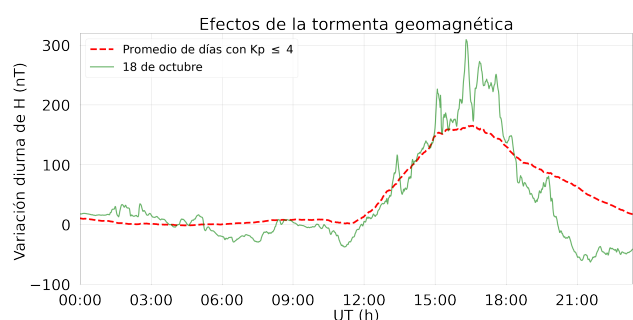


Figura 6. Efectos de la tormenta geomagnética G2, ocurrida el 18 de octubre, sobre la variación diurna de H de la estación geomagnética de Jicamarca.

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). Se observa que pasadas las 03:00 horas el movimiento de plasma cambia repentinamente a una dirección ascendente (velocidades positivas) con valores de hasta 30 m/s. Luego, pasadas las 08:00 horas se observan fluctuaciones en el movimiento ascendente alcanzando valores de hasta 40 m/s, el doble que el valor máximo durante los días tranquilos, y además a pesar de estas perturbaciones se puede apreciar que el pre-reversal enhancement ocurrió a la hora esperada como se esperaba según la climatología.

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 10 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 antes de las 16:00 horas, contenidos entre los 138 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, además de comenzar una hora antes y persistir alrededor de media hora más de lo esperado.

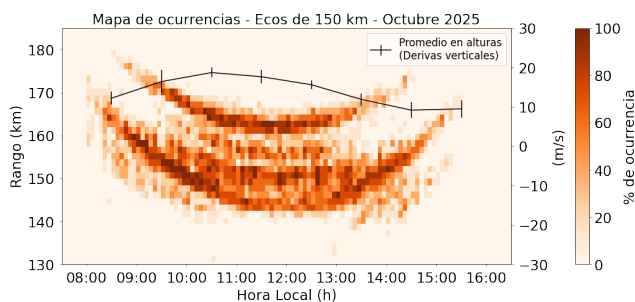


Figura 7. Mapa de ocurrencias de los Ecos de 150 km y el promedio en alturas de sus derivas verticales durante los días geomagnéticamente tranquilos.

En relación con las derivas verticales de plasma, se realizaron mediciones durante 19 días geomagnéticamente tranquilos (8 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 -25 m/s (movimiento descendente) después de la medianoche, incrementando progresivamente hasta invertir su dirección (movimiento ascendente) alrededor de las 07:00 horas.

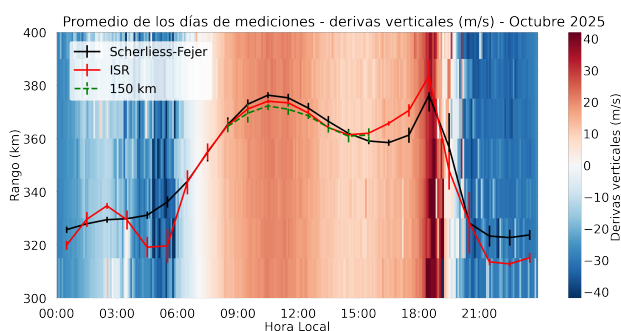


Figura 8. Promedio de las derivas verticales ISR para los días geomagnéticamente tranquilos de octubre. La curva roja representa el promedio en alturas entre los 300 km y 400 km y la curva negra, las predicciones del modelo de Scherliess-Fejer.

Posteriormente, alcanzaron un valor cercano a 20 m/s hacia las 10:00 horas, para luego disminuir hasta el incremento súbito observado a las 18:00 horas,

asociado al fenómeno conocido como pre-reversal enhancement[4], con magnitudes próximas a 28 m/s ([Figura 8](#)). Los valores estimados por el modelo de Scherliess-Fejer muestran moderada concordancia con las mediciones, donde durante las horas antes del amanecer la predicción no muestra el decremento pasadas las 02:00 horas que se observa en las mediciones, y que antes de la medianoche las mediciones estiman un movimiento descendente más rápido que lo predicho. 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 0.89 m/s.

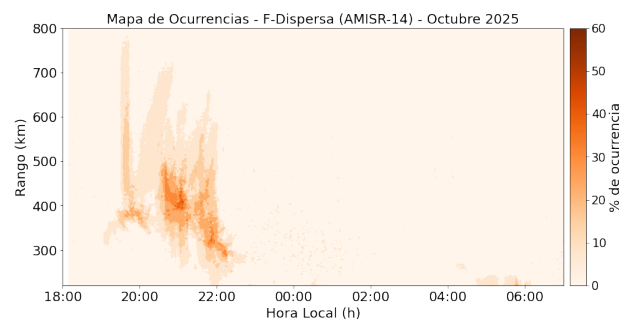


Figura 9. Mapa de ocurrencias de F-Dispersa con el radar AMISR-14.

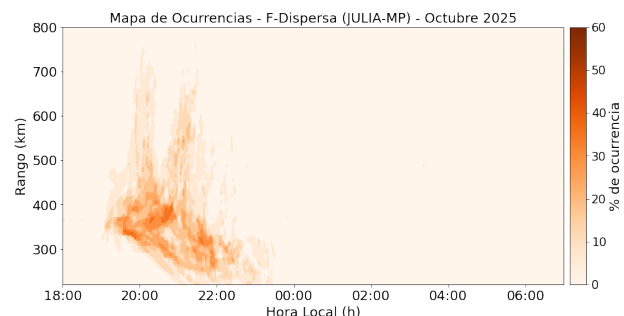


Figura 10. Mapa de ocurrencias de F-Dispersa con el radar principal en su modo JULIA-MP.

Asimismo, se realizaron 13 noches de mediciones con el sistema de radar AMISR-14 durante días geomagnéticamente tranquilos, periodo durante el cual solo se observó la presencia de 7 irregularidades en la Capa F, entre los 200 km y 800 km de altura, donde la única morfología observada fue la de tipo Pluma de radar, como se aprecia en la [Figura 9](#). Además, el sistema del radar principal en su modo JULIA-MP funcionó durante 17 noches, durante las cuales se detectaron 20 irregularidades entre los 200 km y los 800 km, siendo la morfología más frecuente la del tipo Pluma de radar, con 47 %, seguida por la de tipo Bottom-type con 33 % y Bottomside con 20 %, como se aprecia en la [Figura 10](#). La diferencia en el número de irregularidades detectadas por ambos sistemas puede atribuirse a que no necesariamente

operaron durante la 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).

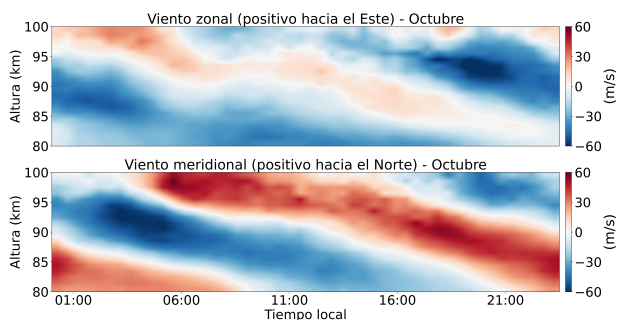


Figura 11. Promedio de los vientos zonales y meridionales durante el mes de octubre del 2025.

El promedio en tiempo y altura de los vientos zonales y meridionales para el mes de octubre, 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 +14.1 m/s a las 16:00 horas y el promedio mínimo de -47.9 m/s a las 23:30 horas, mientras que el valor del viento meridional promedio máximo fue de +53.3 m/s a las 18:30 horas y el promedio mínimo de -55.4 m/s a las 04:00 horas. El viento zonal máximo fue de +144.4 m/s a las 16:15 horas del día 23 de octubre y el mínimo -144.5 m/s a las 23:45 horas del día 07 de octubre, mientras que el viento meridional máximo fue +121.3 m/s a las 21:15 horas del día 03 de octubre y el mínimo -148.1 m/s a las 06:45 horas del día 06 de octubre.

4. Observaciones con la red de instrumentos LISN

Los valores de la amplitud de las cintilaciones GPS (índice S4) de las estaciones de Iquitos, Piura, Pucallpa, Jicamarca, Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), Ayacucho y Tacna se muestran en la Figura 12. Durante el periodo de estudio se observaron distintos niveles de actividad entre las 19:00 y 22:20 horas. La cantidad de días con valores altos fue mayor que el mes anterior, lo cual sigue la tendencia observada el año pasado[7]. La mayor actividad del mes ($S4_{mx}=1.7$) se produjo en la estación de Ayacucho el día 12 a las 21:00 horas aproximadamente.

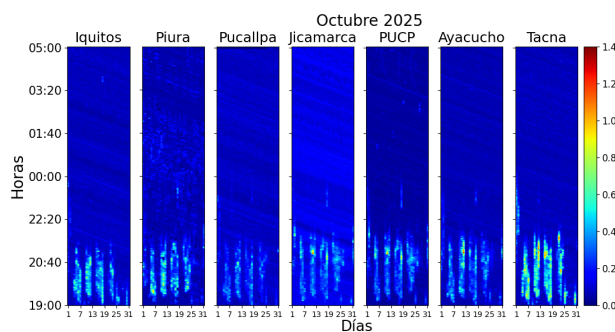


Figura 12. Valores diarios máximos de S4 para las estaciones de Iquitos, Piura, Pucallpa, Jicamarca, PUCP, Ayacucho y Tacna durante el mes de octubre.

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 octubre de H por cada estación: Piura, 85 nT; Tarapoto, 84 nT; Huancayo, 158 nT y Jicamarca, 162 nT.

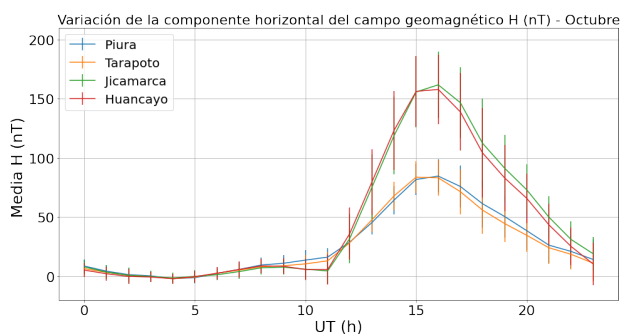


Figura 13. Valores del promedio horario de la variación diurna de H para todas las estaciones magnéticas operativas durante los días geomagnéticamente tranquilos de octubre.

5. Conclusiones

- El día 18 octubre se registraron fluctuaciones en las derivas verticales de plasma debido a la tormenta geomagnética de clase G2, en donde al mediodía se observaron valores de hasta 40 m/s lo cual duplica el máximo valor promedio registrado durante los días tranquilos.
- La ocurrencia de F-Dispersa detectada por el radar principal se mantuvo similar al mes anterior antes

de la medianoche (~50%), lo cual concuerda con la climatología.

- El índice S4 muestra mayores amplitudes de alta actividad antes de la medianoche durante una mayor cantidad de días en comparación al mes anterior, lo cual se asemeja a lo observado durante el año pasado. Además, la actividad alta 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] 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.
- [5] "G3 (STRONG) GEOMAGNETIC STORM WARNING 02 OCT," oct 2025. [Online]. Available: [1https://www.swpc.noaa.gov/news/g3-strong-geomagnetic-storm-warning-02-oct](https://www.swpc.noaa.gov/news/g3-strong-geomagnetic-storm-warning-02-oct)
- [6] "G2 - Moderate Geomagnetic Storm Alert issued on October 18," oct 2025. [Online]. Available: [1https://watchers.live/2025/10/18/g2-moderate-geomagnetic-storm-alert-issued-on-october-18/](https://watchers.live/2025/10/18/g2-moderate-geomagnetic-storm-alert-issued-on-october-18/)
- [7] "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"**