



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres "
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

BOLETÍN
IGP / ROJ / 2026-03



LA ALTA ATMÓSFERA SOBRE EL PERÚ

MARZO 2026



Durante el mes de marzo de 2026 se registró una tormenta geomagnética intensa de clase G3, así como otros eventos de menor intensidad (G1 y G2). La tormenta G3 se inició el 20 de marzo y se extendió durante varios días. Este evento produjo perturbaciones en la componente horizontal del campo magnético terrestre (H), las cuales estuvieron asociadas a condiciones favorables para el desarrollo de inestabilidades ionosféricas. En este contexto, se observó la presencia de F-dispersa del tipo post-midnight, la cual alcanzó alturas de hasta ~ 900 km y presentó una duración aproximada de 2 horas, como se muestra en la [Figura 1](#).

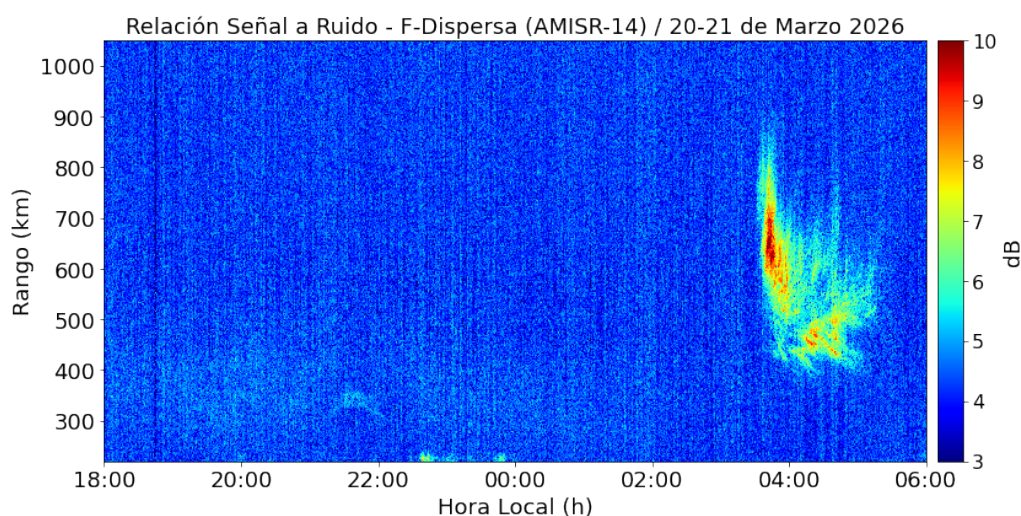


Figura 1. Irregularidad del tipo Post-midnight observada durante la ocurrencia de la tormenta geomagnética de clase G3 ocurrida del 20 al 23 de marzo.

Tabla 1. Resumen de las mediciones de parámetros ionosféricos y condiciones predominantes del clima espacial del mes de marzo del 2026.

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	Lima: 156	Tarapoto: 81	Mín.	Máx.
Mín: 65.8 S Máx: 43.4 N	Mín: 39.9 O Máx: 19.2 E	Huancayo: 156	Piura: 82	-30	25
		Arequipa: 83			

ACTIVIDAD GEOMAGNÉTICA: TRANQUILA A: 9 % M: 11 % T: 80 %	ACTIVIDAD SOLAR: MODERADA A: 16 % M: 84 % B: 0 %
--	--

Tormentas geomagnéticas

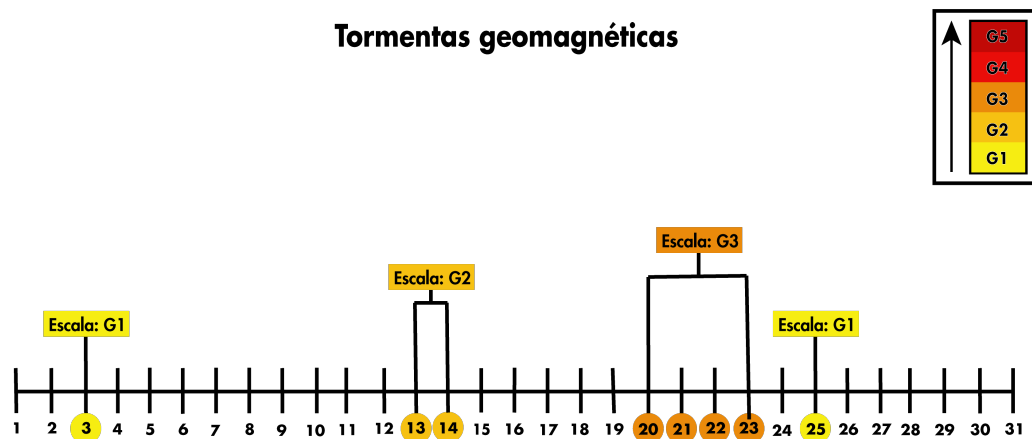


Figura 2. Intensidad de las tormentas geomagnéticas del mes de marzo.

¿SABÍAS QUÉ?

En octubre del 2015 se llevó a cabo una campaña de adquisición de datos con el radar principal del Radio Observatorio de Jicamarca que permitió obtener imágenes de radar de la luna[1].

Esto fue posible debido a que la órbita lunar cruza aproximadamente el centro del haz de la antena dos veces por mes. En la Figura 3 se muestra una de estas imágenes, en la que es posible distinguir diversos cráteres e incluso regiones correspondientes a mares lunares, identificados mediante comparación con imágenes ópticas.

El proceso de formación de estas imágenes constituye una aplicación de la técnica de radar de apertura sintética, cuya descripción detallada se presenta en el artículo citado.

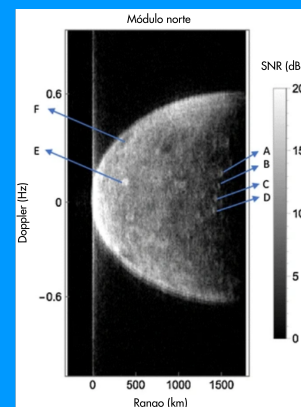


Figura 3. Mapa de Rango Doppler Intensidad (RDI por sus siglas en inglés) de la luna. Se distinguen los cráteres: Pitágoras (A), Carpintero (B), Philolaus (C), Anaxagoras (D) y Copérnico (E), y el Mare Nectaris (F) (tomado y adaptado de [1])

1. Climatología del mes

La actividad geomagnética (índice Kp[2]) fue predominantemente tranquila durante el 80 % del tiempo, moderada el 11 % y alta el 9 %; por otro lado, la actividad solar (índice F10.7[3]) fue alta el 16 % del tiempo y moderada el 84 % (Figura 4 y Tabla 1). Asimismo, estudios previos han demostrado una fuerte relación entre la variabilidad diaria y estacional de la componente horizontal del campo geomagnético (H), lo cual es consistente con lo observado en nuestras mediciones. Para los meses cercanos al equinoccio de marzo (febrero, marzo, abril), en un régimen de actividad solar moderada o alta, se espera una mayor ocurrencia de F-dispersa en el intervalo previo a la medianoche[4].

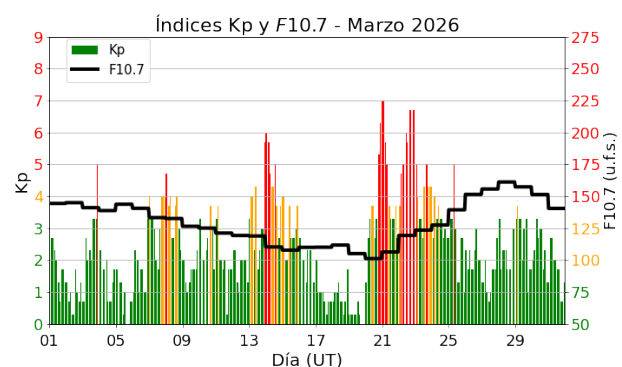


Figura 4. Valores de los índices Kp y F10.7 cm (u.f.s. = $10^{-22} \text{W m}^{-2} \text{Hz}^{-1}$) para el mes de marzo. Extraídos de OMNIWeb.

Las mediciones muestran una buena concordancia con la climatología esperada. Asimismo, la climatología de marzo para un régimen de actividad solar moderada descrita por el modelo de Scherliess-Fejer, indica que el promedio en altura (300-400 km) de las derivas verticales de plasma alcanza valores cercanos a los -21 m/s pasada la medianoche, y su valor se incrementa progresivamente hasta aproximadamente 21 m/s hacia las 10:00 horas, para luego disminuir hasta 8 m/s alrededor de las 16:00 horas. Más tarde se observa un incremento asociado al fenómeno de pre-reversal enhancement[5], alcanzando valores cercanos a los 25 m/s alrededor de las 18:00 horas, para finalmente decrecer nuevamente hasta valores cercanos a los -23 m/s antes de la medianoche, como se muestra en la curva negra de la Figura 10. En general, los valores observados presentan concordancia moderada con la climatología. La principal discrepancia se registra durante las horas previas al amanecer en donde el modelo no reproduce el decremento abrupto de las derivas verticales observado alrededor de las 04:00 horas.

Estudios climatológicos indican que en los meses cercanos al equinoccio de marzo los ecos de 150 km aparecen alrededor de las 09:00 horas, y desaparecen pasadas las 15:30 horas distribuyéndose típicamente entre los 140 km y los 165 km de altura (Figura 7). En el presente periodo, se observa que la altura máxima de aparición excede en aproximadamente 10 km el valor esperado mientras que la altura mínima de aparición coincide con la climatología. Además, estas irregularidades se presentan diez minutos antes y persisten hasta una hora después de lo esperado.

2. Tormentas geomagnéticas

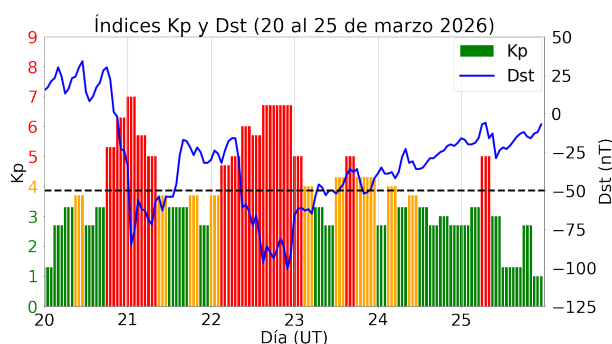


Figura 5. Índices geomagnéticos Kp y Dst del 20 al 25 de marzo. La línea horizontal negra representa el valor de Dst igual a -50 nT.

La actividad solar moderada a alta se manifestó en la ocurrencia de 4 tormentas geomagnéticas, registradas los días 03, 13-14, 20-23 y 25 de marzo, la primera

y la cuarta clasificadas como clase G1, la segunda como clase G2 y la tercera como clase G3, como se muestra en la Figura 2. La tormenta más intensa del mes fue producida por el arribo de eyecciones de masa coronal (CME) emitidas por el Sol el 18 de marzo. La primera CME fue detectada alrededor de las 20:32 horas del día 19 de marzo (01:32 horas UTC del 20 de marzo), mientras que la segunda se registró a las 15:18 horas del día 20 de marzo (20:18 horas UTC)[6], como resultado, esta tormenta produjo una disminución del índice Dst hasta -101 nT el día 22 de marzo a las 17:00 horas (22:00 horas UTC), como se muestra en la Figura 5.

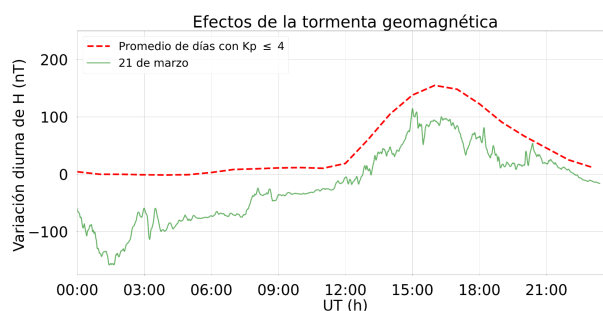


Figura 6. Efectos de la tormenta geomagnética G3, ocurrida del 20 al 23 de marzo, sobre la variación diurna de H de la estación geomagnética de Jicamarca.

La tormenta geomagnética G3 del 20-23 de marzo produjo perturbaciones significativas en las mediciones de la variación diurna de la componente horizontal del campo magnético terrestre (H) en la estación de Jicamarca (Figura 6). En comparación con el promedio de días geomagnéticamente tranquilos (curva roja), se observaron desviaciones notables en las mediciones (curva verde). En particular, se registró un valor máximo de 114 nT a las 09:58 horas (14:58 horas UTC), y un valor mínimo de -158 nT a las 20:30 horas del 20 de marzo (01:30 horas UTC).

Por otro lado, con el sistema AMISR-14 se detectó una irregularidad ionosférica del tipo post-midnight alrededor de las 04:00 horas del 21 de marzo, con una duración aproximada de 2 horas y alcanzando alturas de hasta 900 km (Figura 1). Este tipo de irregularidad no es típico bajo condiciones solares moderadas, por lo tanto, su ocurrencia podría estar asociada a las condiciones geomagnéticamente perturbadas generadas por la tormenta G3 iniciada el 20 de marzo.

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 por 8 días durante el mes, todos ellos 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 aparecen alrededor de las 08:50 horas y desaparecen alrededor de las 16:30 horas, distribuyéndose entre los 140 km y los 175 km de altura.

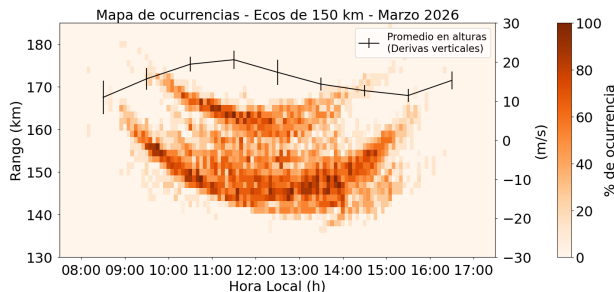


Figura 7. Mapa de ocurrencias de los ecos de 150 km y el promedio en alturas de sus derivas verticales durante los días geomagnéticamente tranquilos.

Estos resultados muestran una concordancia moderada con las predicciones climatológicas (obtenidas con el modo JULIA), dado que el inicio de los ecos de 150 km ocurre aproximadamente 10 minutos antes de lo esperado, mientras que su desaparición se retrasa cerca de una hora. Además, la altura máxima de ocurrencia excede en aproximadamente 10 km lo esperado.

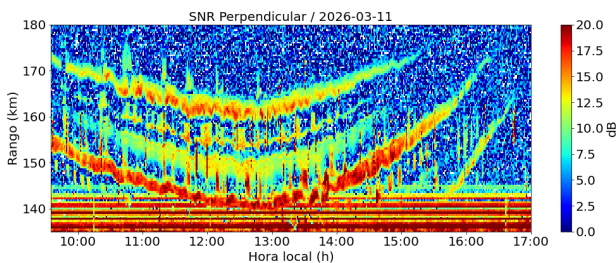


Figura 8. SNR de los ecos de 150-km registrados con un apunte perpendicular al campo magnético terrestre.

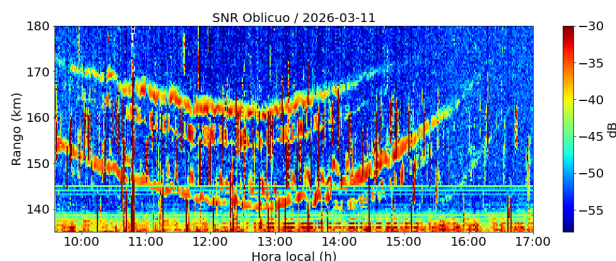


Figura 9. SNR de los ecos de 150-km registrados con un apunte oblicuo al campo magnético terrestre.

Durante este mes se utilizó también el radar principal del IGP-ROJ en modo de alta potencia para analizar el comportamiento de los ecos de 150-km bajo distintas geometrías de observación: cuando el radar apunta perpendicularmente al campo magnético terrestre y cuando lo hace de manera oblicua. Estas

configuraciones, mostradas mediante la relación señal a ruido (SNR) en las [Figura 8](#) y [9](#), evidencian que los ecos de 150 km presentan características distintas dependiendo de la geometría de observación, cuya explicación aún se encuentra en estudio.

En relación con las derivas verticales de plasma, se realizaron mediciones durante 13 días geomagnéticamente tranquilos (8 días completos y 5 días únicamente durante la noche) en el rango de 300 a 400 km, utilizando el radar principal del IGP-ROJ en el modo JULIA-MP. Las observaciones indican que después de medianoche las derivas de plasma presentan valores cercanos a -26 m/s (movimiento descendente), cuya magnitud disminuye progresivamente hasta invertir su dirección (movimiento ascendente) alrededor de las 07:00 horas. Posteriormente, alcanzan velocidades cercanas 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[5], con velocidades próximas a 25 m/s ([Figura 10](#)). Las estimaciones del modelo de Scherliess-Fejer muestran una concordancia moderada con las observaciones. En el modelo, pasada la medianoche, la magnitud de las derivas disminuye progresivamente hasta alcanzar valores positivos; sin embargo, en las observaciones se evidencia un incremento abrupto alrededor de las 04:00 horas. Finalmente, se encontró que las derivas diurnas obtenidas mediante ISR difieren en promedio en 1 m/s respecto a aquellas asociadas a los ecos de 150 km.

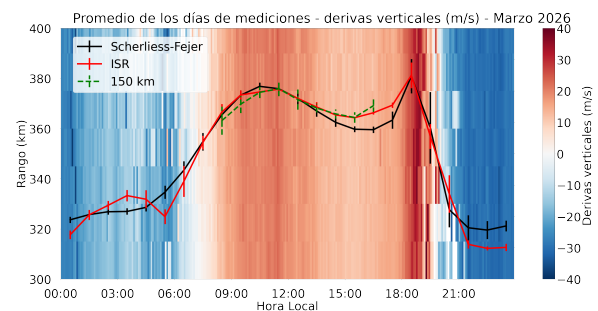


Figura 10. Promedio de las derivas verticales ISR para los días geomagnéticamente tranquilos de marzo. La curva roja representa el promedio en alturas entre los 300 km y 400 km y la curva negra, las predicciones del modelo de Scherliess-Fejer.

Asimismo, se realizaron 11 noches de mediciones con el sistema de radar AMISR-14[7] durante condiciones geomagnéticamente tranquilas. Durante este periodo se identificaron 10 irregularidades en la capa F, distribuidas entre los 300 y 700 km de altura, cuyas morfologías corresponden a los tipos Pluma de radar, bottom-type y bottomside, como se muestra en la [Figura 11](#). Por otro lado, el radar principal operado en modo JULIA-MP funcionó durante 11 noches, durante

las cuales se detectaron 16 irregularidades en el rango de 200 a 1000 km. La morfología más frecuente fue la de tipo bottom-type (46 %), seguida por bottomside y pluma de radar (27 % cada una), como se observa en la Figura 12. La diferencia en el número de irregularidades detectadas por ambos sistemas puede atribuirse a la falta de coincidencia temporal en las noches de operación. Asimismo, en algunas ocasiones solo el radar principal en modo JULIA-MP logró detectar irregularidades, posiblemente debido a su frecuencia de operación (50 MHz), distinta a la del radar AMISR-14 (445 MHz), así como a diferencias en la región ionosférica muestreada por cada sistema. En general, las observaciones de ambos radares muestran concordancia con la climatología (basada en el modo JULIA)[4].

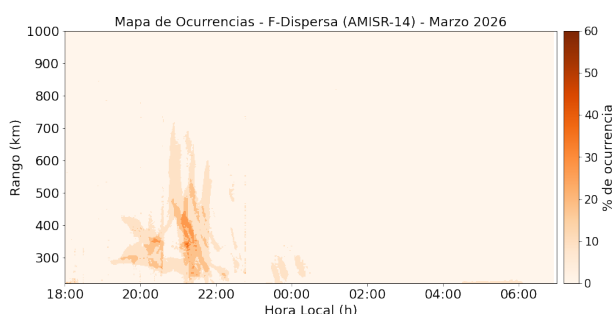


Figura 11. Mapa de ocurrencias de F-Dispersa con el radar AMISR-14.

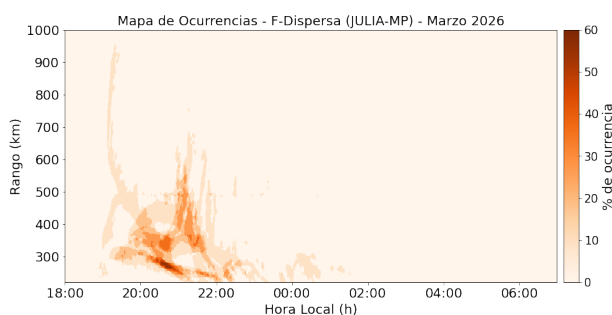


Figura 12. Mapa de ocurrencias de F-Dispersa con el radar principal en su modo JULIA-MP.

El promedio en tiempo y altura de los vientos zonales y meridionales durante el mes de marzo, como se observa en la Figura 13, muestra periodos predominantes de 24 horas (marea solar diurna) en ambas componentes. En la mesopausa (~ 90 km) el viento zonal promedio presenta un valor promedio máximo fue de $+19.2$ m/s alrededor de las 14:00 horas y un mínimo de -39.9 m/s cerca de las 20:00 horas. Por su parte, el viento meridional alcanza un máximo promedio de $+43.4$ m/s alrededor de las 17:30 horas y un mínimo de -65.8 m/s aproximadamente a las 03:30 horas. En cuanto a valores extremos, el día 16 de marzo se registró el máximo del viento zonal con

$+89.7$ m/s a las 09:45 horas, mientras que el mínimo de -110.2 m/s se registró el día 28 de marzo a las 00:45 horas. Asimismo, el 18 de marzo se registró el máximo viento meridional ($+131.1$ m/s) a las 14:15 horas, mientras que el mínimo (-119.3 m/s) ocurrió a las 03:45 horas del 28 de marzo.

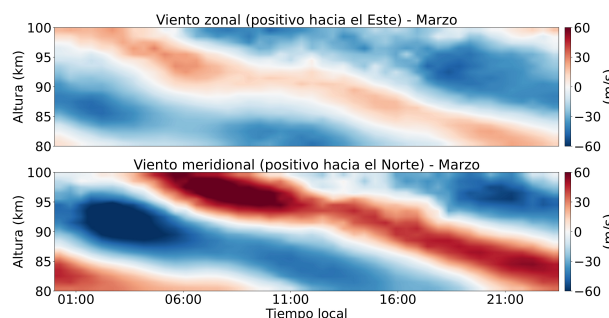


Figura 13. Promedio de los vientos zonales y meridionales durante el mes de marzo del 2026.

4. Observaciones con la red de instrumentos LISN

Los valores de la amplitud de las cintilaciones GNSS (índice S_4) de las estaciones de Piura, Jaén, Pucallpa, Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), Huancayo, Ayacucho, y Tacna se muestran en la Figura 14. Durante el periodo de estudio se observaron valores altos de S_4 entre las 19:00 y 22:00 horas en todas las estaciones. Asimismo, la mayor actividad del mes ($S_{4\text{máx}}=1.6$) se registró en la estación de Tacna el día 16 alrededor de las 20:30 horas.

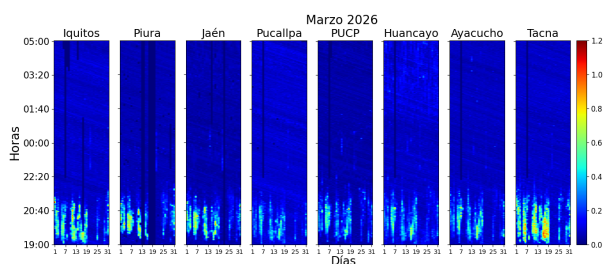


Figura 14. Valores diarios máximos de S_4 para las estaciones de Iquitos, Piura, Jaén, Pucallpa, PUCP, Huancayo, Ayacucho, y Tacna durante el mes de marzo.

Las mediciones de la variación diurna de la componente horizontal del campo geomagnético (H) obtenidas en las estaciones magnéticas del IGP-ROJ durante los días geomagnéticamente tranquilos se presentan en la Figura 15. Se observa que los promedios correspondientes a las estaciones de Jicamarca y Huancayo son mayores que los de otras estaciones lo cual se explica por su ubicación cercana al ecuador magnético, donde la contribución del electrochorro ecuatorial (EEJ) intensifica la componente horizontal del campo

magnético. Asimismo, se evidencia una marcada variabilidad diaria, principalmente alrededor de las 11:00 horas (16:00 horas UTC). Los valores máximos de variación promedio mensual de H para cada estación fueron: Piura, 82 nT; Tarapoto, 81 nT; Huancayo, 156 nT; Jicamarca, 156 nT y Arequipa, 83 nT.

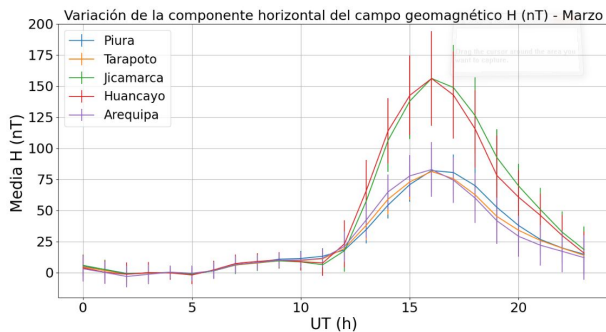


Figura 15. Valores del promedio horario de la variación diurna de H para todas las estaciones magnéticas operativas durante los días geomagnéticamente tranquilos de marzo.

5. Conclusiones

- Durante la madrugada del 21 de marzo se observó una irregularidad del tipo post-midnight que alcanzó alturas de hasta 900 km y que podría estar asociada a la tormenta geomagnética de clase G3 iniciada el día anterior.
- La ocurrencia de F-Dispersa detectada por el radar principal disminuyó con respecto a los meses anteriores, en concordancia con el comportamiento climatológico esperado y con los registros del año previo.
- Las amplitudes del índice S4 evidencian que antes de la medianoche la actividad de cintilaciones fue alta durante la mayoría de días en todas las estaciones. Esta elevada actividad es consistente con el porcentaje de ocurrencia de irregularidades observadas con el modo JULIA-MP.

Elaborado por:

Bach. Roberto Flores Arroyo
Mag. André Florentino Collado
Ing. Armando Castro Chaupis

Diseño y diagramación:

Bach. Anette De la Cruz Meza

6. Referencias

- [1] S. Kesaraju, J. Mathews, and M. e. a. Milla, "Range-Doppler Mapping of Space-Based Targets Using the JRO 50 MHz Radar," vol. 120, p. 169–188, 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s11038-017-9510-0>
- [2] "The Kp-index | Help," Oct 2020, Accessed on: Feb. 01, 2023. [Online]. Available: <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: <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/f107-cm-radio-emissions>
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] "Geomagnetic storm reaches g3 levels after march 18 cme impacts earth. (2026, march 21)." [Online]. Available: <https://watchers.news/2026/03/21/geomagnetic-storm-reaches-g3-levels-after-march-18-cme-impacts-earth/>
- [7] "Instituto Geofísico del Perú, "Realtime at Jicamarca"," Aug. 2022, [Online; accessed 14. jan. 2024]. [Online]. Available: https://www.igp.gob.pe/observatorios/radio-observatorio-jicamarca/realtime/static/reports/2022/Boletin_Agosto.pdf

Colaboradores:

Mag. César De la Jara Sánchez
Mag. Karim Kuyeng Ruiz

Contacto:

roj@igp.gob.pe