



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"



LA ALTA ATMÓSFERA SOBRE EL PERÚ

ENERO 2022



Durante el mes de enero, se observaron ecos atípicos durante las noches, en alturas que comprenden desde los 1400 km hasta los 2000 km (denominados High Altitude Echoes)[1], como se muestra en la Figura 1. Por otro lado, el comportamiento de las irregularidades ionosféricas a alturas menores fue el esperado de acuerdo a las condiciones geomagnéticas dadas, donde ocurrió una alta predominancia de burbujas de plasma del tipo Pluma de Radar, cuyo origen se dió mayormente antes de medianoche.

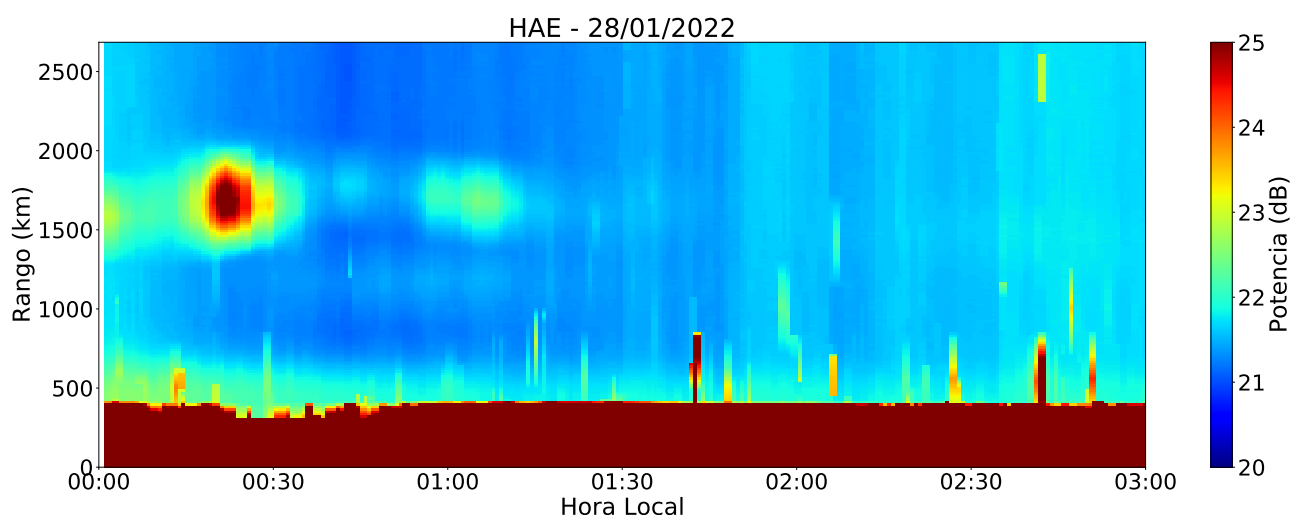


Figura 1. Ecos atípicos observados el 28 de enero del 2022 a alturas superiores, entre 1400 km y 2000 km, denominados High Altitude Echoes (HAE).

Tabla 1. Resumen de las mediciones de parámetros ionosféricos, y condiciones predominantes del clima espacial del mes de enero de 2022.

Vientos promedios MLT a 90 km [m/s]		Derivas verticales promedio (Ecos de 150 km) [m/s]		Variación máxima de campo geomagnético horizontal (H) [nT]	
Meridional	Zonal	Mínimo	Máximo	LIM: 102	AQP: 73
Mín: 10.3 S Máx: 32.5 N	Mín: 21.0 O Máx: 15.8 E	0	10	HYO: 92	PIU: 65
NZC: 63					
ACTIVIDAD GEOMAGNÉTICA: TRANQUILA				ACTIVIDAD SOLAR: BAJA	

¿SABÍAS QUÉ?

Las erupciones volcánicas pueden causar efectos globales en la atmósfera[2]. Estos fenómenos inyectan súbitamente energía y momentum en la atmósfera en forma de ondas de choque que pueden desencadenar la propagación de ondas acústicas de gravedad a través de la atmósfera y producir diferentes efectos, dependiendo de la altitud. Estas perturbaciones pueden causar fluctuaciones de presión desde la troposfera hasta la ionósfera. Además, se pueden llegar a apreciar variaciones en los parámetros ionosféricos f_oF2 (frecuencia crítica), $h'F$ (altura virtual de la capa F) y en TEC (contenido total de electrones). Los efectos de la erupción del volcán de Hunga Tonga ocurrido el 15 de enero de 2022, se observan en las mediciones de TEC de estaciones cercanas al epicentro de la erupción[3], tal como se aprecia en la Figura 2. El desfase exhibido en estas perturbaciones para cada estación (curvas horizontales) se debe a que éstas se ubican a diferentes distancias respecto al epicentro de la erupción.

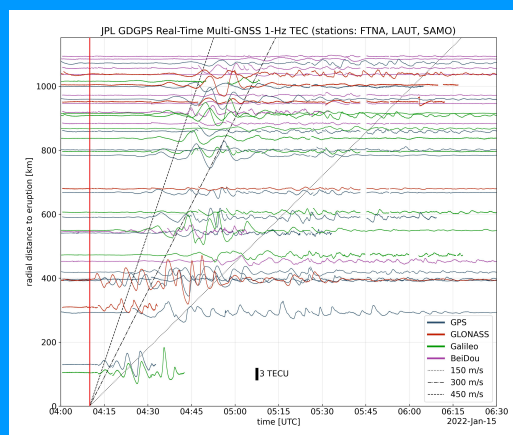


Figura 2. Oscilaciones en el TEC producidas por la erupción del volcán Hunga Tonga el 15 de enero de 2022 detectadas por estaciones comprendidas en un radio de 1000 km del epicentro. El eje Y representa la distancia del epicentro a la estación de medición. Extraído de [3].

1. Climatología del mes

La actividad geomagnética (índice Kp) fue predominantemente tranquila en un 92 % del tiempo, moderada en un 5 % y alta en un 3%; por otro lado la actividad solar (índice F10.7) fue baja hasta en un 60 % del tiempo y 40 % en régimen moderado (Figura 3 y Tabla 1)[4][5][6]. Por otro lado, investigaciones previas señalan que hay una clara relación entre la variabilidad diaria y estacional de la componente horizontal del campo magnético (H), lo que coincide con las mediciones [7][8].

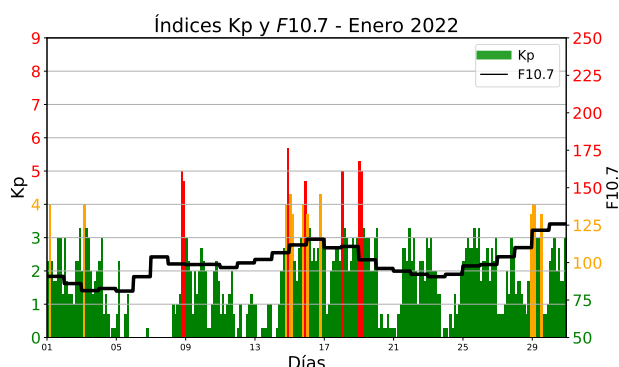


Figura 3. Los índices geomagnéticos diarios Kp y F10.7 muestran mayoritariamente baja actividad geomagnética durante el mes. La actividad solar fue baja ($F10.7 < 100$ s.f.u) la mayor parte del tiempo. Valores extraídos de "OMNIWeb Data Explorer" [7].

Estudios previos realizados con nuestro radar ionosférico [9] describen las características de los Ecos de 150 km medidas para las presentes condiciones del

clima espacial. Estos exhiben su característica forma de collar que se extiende desde alturas cercanas a los 140 km hasta cerca de los 165 km de altura, entre las 09:00 horas y las 16:00 horas. En este periodo existe una discrepancia de 10 km en la menor altura de aparición de los Ecos de 150 km.

Se espera una mayor ocurrencia de F-dispersa antes de la medianoche y a alturas menores a 600 km, con alturas máximas entre las 21:00 y 24:00 horas. Después de la medianoche, se espera que estos tengan una menor ocurrencia y se observen a alturas menores a 400 km aproximadamente. Este comportamiento concuerda con las observaciones realizadas [10].

2. Observaciones con el radar ionosférico de Jicamarca

Se observaron ecos a gran altitud (denominados high altitude echoes - HAE), desde 1400 km hasta 2000 km, como se aprecia en la Figura 1. Además, de las 3 noches que duraron las mediciones, solo se observaron ecos en 2 de ellas. Estos ecos son de duración y ocurrencia variable, y han sido observados únicamente durante noche; ecos similares fueron observados el 2019[1] cuyo espectrograma mostró las frecuencias de resonancia de los protones (sidebands) para alturas similares, cuyo valor fue 8.4 kHz. Sin embargo, al realizar el cálculo del espectrograma de los ecos del 28 de enero, no se logró observar los sidebands (Figura 4), por lo que se requiere un mayor análisis para determinar las características de estos ecos.

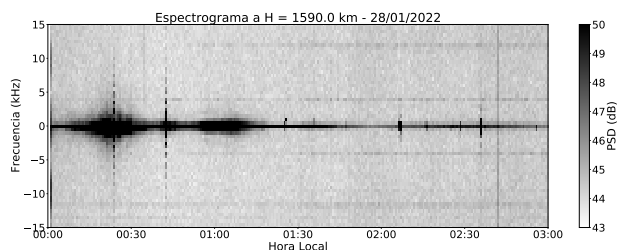


Figura 4. Espectrograma de los ecos del 28 de enero de 2022. No se detectó la frecuencia de resonancia de protones esperada (8.4 kHz).

Los Ecos de 150 km se observaron entre los 130 y 170 km de altura, como se muestra en la Figura 5, lo que discrepa con la climatología en cerca de 10 km en la altura inferior de aparición de los Ecos[9]. Los valores promedio de las derivas verticales (Figura 6) durante las horas del día fueron ascendentes con un máximo de aproximadamente 10 m/s cerca de las 11:30 horas.

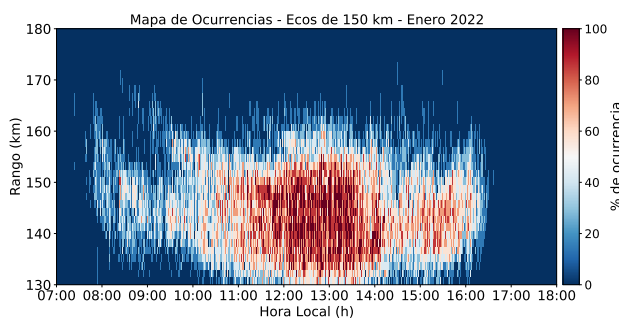


Figura 5. Mapa de ocurrencias de los Ecos de 150 km durante el mes de enero 2022.

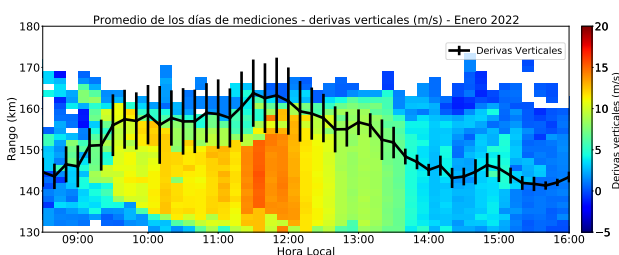


Figura 6. Promedio de las derivas verticales de los Ecos de 150 km cada 10 minutos.

Durante el mes de enero se pudo apreciar una ocurrencia moderada de burbujas de plasma: 12 burbujas en 10 días con presencia de F-Dispersa de los 12 días disponibles de mediciones. La morfología dominante fue la del tipo 'Pluma de Radar', con un 67%; le siguen el tipo 'Post-Midnight', con 17%; 'Bottomside', con 8%, y 'Bottom-type', con 8%. Las burbujas ocurrieron en un rango de alturas entre los 200 y 650 km, con una mayor incidencia de aparición del 83% en el periodo comprendido entre las 19:00 horas y las 21:00 horas y con 67% de burbujas

con una duración entre 02:00 a 07:00 horas, como puede apreciarse en la Figura 7.

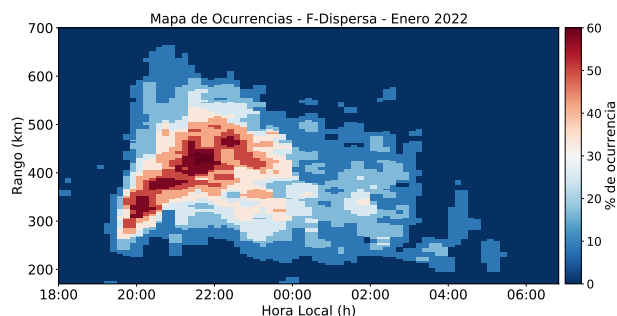


Figura 7. Mapa de ocurrencias de F-Dispersa para el mes. Se observa que la mayor incidencia de los ecos ocurre antes de la medianoche.

3. Radar de meteoros especulares. SIMONe.

El promedio en tiempo y altura de los vientos zonales y meridionales para el mes de enero (Figura 8) 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 +15.8 m/s a las 06:30 horas y el promedio mínimo de -21.0 m/s a las 01:00 horas, mientras que el valor del viento meridional promedio máximo +32.5 m/s a las 18:00 horas y el promedio mínimo -10.3 m/s a las 06:30 horas. El viento zonal máximo fue de +98.9 m/s a las 18:45 horas del día 22 de enero y el mínimo -82.1 m/s a las 23:15 horas del día 12 de enero, mientras que el viento meridional máximo +112.5 m/s a las 18:30 horas del día 17 de enero y el mínimo -114.6 m/s a las 14:45 horas del día 14 de enero.

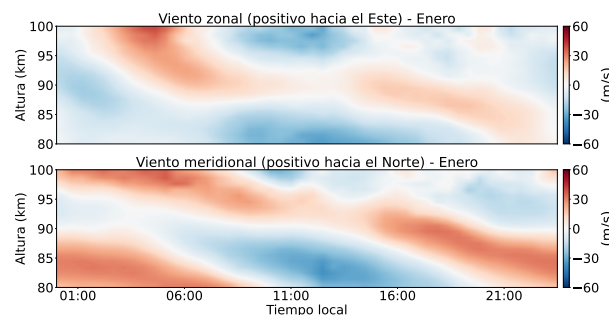


Figura 8. Promedio de los vientos zonales y meridionales durante el mes de enero.

4. Observaciones con la red de instrumentos LISN

Las mediciones de la variación diurna de la componente horizontal del campo magnético (H) de las estaciones magnéticas del Instituto Geofísico del

Perú (IGP) se presentan en la **Figura 9**. Aquí se aprecia que el promedio de las estaciones de Jicamarca y Huancayo estuvieron muy por encima de las demás debido a que ambas se encuentran en el ecuador magnético y el electrochorro ecuatorial 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 mensual de H por cada estación: Jicamarca, 102 nT; Huancayo, 92 nT; Arequipa, 71 nT; Nazca, 63 nT y Piura, 65 nT.

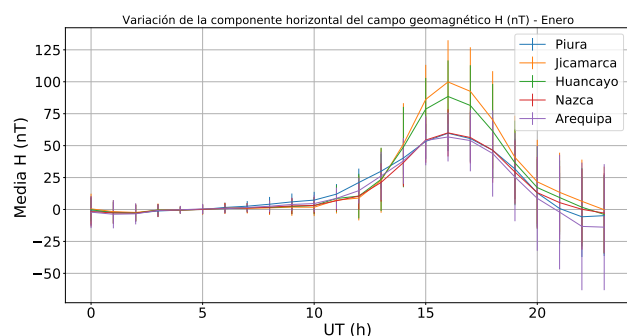


Figura 9. Valores de la variación diurna de H promedio mensuales por hora para todas las estaciones magnéticas operativas durante el mes.

Los valores de la amplitud de las cintilaciones GPS (índice S4) de las estaciones de Jicamarca, Huancayo y Tacna se muestran en la **Figura 10**. La mayor actividad se produjo en la estación de Tacna. Durante el período de estudio se observa valores bajos y moderados de S4. El valor máximo del mes de enero ($S4_{\max}=0.62$) se produjo en la estación de Tacna, el día 29 a las 00:40 horas aproximadamente.

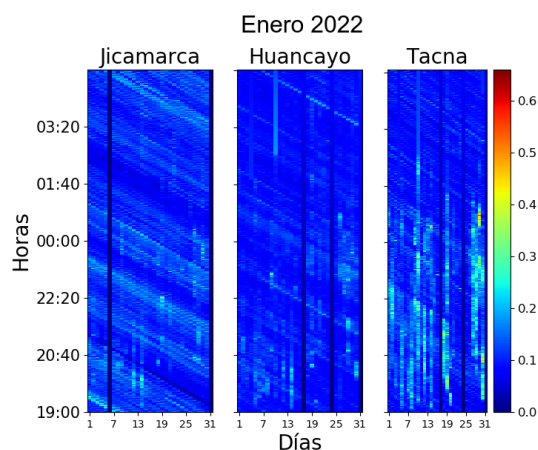


Figura 10. Valores diarios máximos de S4 para las estaciones de Jicamarca, Huancayo y Tacna durante el mes de enero. Se observa actividad moderada y alta. El valor máximo (0.62) ocurrió en la estación de Tacna el día 29 de enero a las 00:40 horas aproximadamente.

5. Conclusiones

- La amplitud de las cintilaciones GPS (índice S4), en general, se mantuvo en niveles bajos y moderados, siendo su máximo valor 0.62, detectado en la estación de Tacna el día 29 de enero, el cual podría haber causado un efecto en las señales de los sistemas GNSS.
- Las burbujas de plasma tuvieron una mediana ocurrencia: 12 burbujas en 10 días con presencia de F-Dispersa de los 12 días disponibles de mediciones. Las burbujas tuvieron mayor predominancia en el periodo comprendido entre las 19:00 horas y las 21:00 horas lo que coincide con la climatología. Estos eventos pudieron perturbar las comunicaciones en las bandas HF y VHF.
- En la mesopausa (~90 km) se observa que el valor del viento zonal promedio máximo fue de +15.8 m/s a las 06:30 horas y el promedio mínimo de -21 m/s a las 01:00 horas, mientras que el valor del viento meridional promedio máximo fue de +32.5 m/s a las 18:00 horas y el promedio mínimo de -10.3 m/s a las 06:30 horas.

6. Referencias

- [1] S. Derghazarian, D. Hysell, K. Kuyeng, and M. Milla, "High altitude echoes from the equatorial topside ionosphere during solar minimum," *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, vol. 126, 02 2021.
- [2] A. H. C. De Ragone, A. N. F. De Manzano, A. G. Elias, and M. Z. De Artigas, "Ionospheric effects of volcanic eruptions," *Geofísica Internacional*, vol. 43, no. 2, pp. 187–192, abr. 2004. [Online]. Available: <http://revistagi.geofisica.unam.mx/index.php/RGI/article/view/169>
- [3] "Tonga eruption sent ripples through earth's ionosphere," Feb 2022, Accessed on: Mar. 15, 2022. [Online]. Available: www.jpl.nasa.gov/news/tonga-eruption-sent-ripples-through-earths-ionosphere
- [4] "The Kp-index | Help," Oct 2020, Accessed on: Feb. 01, 2022. [Online]. Available: <https://www.spaceweatherlive.com/en/help/the-kp-index.html>
- [5] "Helmholtz Centre Potsdam Kp Index | Indices of Global Geomagnetic Activity," Accessed on: Feb. 01, 2022. [Online]. Available: <https://www.gfz-potsdam.de/en/kp-index/>
- [6] "F10.7 cm Radio Emissions | NOAA / NWS Space Weather Prediction Center," Jul 2020, Accessed on: Feb. 01, 2022.

- [Online]. Available: <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/f107-cm-radio-emissions>
- [7] N. Papitashvili, "OMNIWeb Data Explorer," Oct 2020, Accessed on: Feb. 01, 2022. [Online]. Available: <https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.

Elaborado por:

Bach. Juan Pablo Velásquez Ormaeche
Bach. Roberto Flores Arroyo
Bach. George Fajardo Soria
Lic. José Suclupe Osorio
Mag. César De La Jara Sánchez
Mag. Luis Condori Illahuamán
Dr. Edgardo Pacheco Josan

Diseño y diagramación:

Bach. Roberto Flores Arroyo
Bach. Juan Pablo Velásquez Ormaeche

Colaboradores:

Mag. Karim Kuyeng Ruiz
Dr. Danny Scipión Castillo
Dr. Marco Milla Bravo

Contacto:

roj@igp.gob.pe