



LA ALTA ATMÓSFERA SOBRE EL PERÚ

Edición Especial: Erupción de Tonga



Esta edición especial del boletín de La alta atmósfera sobre el Perú se enfocó en estudiar los efectos que la erupción del volcán Hunga Tonga ($20^{\circ}32'42''S$ $175^{\circ}23'33''O$ UTC+13), ocurrido el 15 de enero del 2022 (04:10 UTC[1]), tuvo sobre la ionósfera del geoespacio peruano (los paralelos $0^{\circ}2'$ y los $18^{\circ}21'34''$ de latitud sur y los meridianos $68^{\circ}39'7''$ y los $81^{\circ}20'13''$ de longitud oeste) y cuya hora de arribo al Radio Observatorio de Jicamarca se estima entre las 12:20 UTC y las 13:40 UTC[2]. Estos efectos fueron particularmente notorios en las mediciones del contenido total de electrones (TEC, Figura 2), de la componente horizontal del campo magnético H a manera de ondulaciones (Figura 4 y Figura 5), presión atmosférica y en las derivas verticales de los Ecos de 150 km.

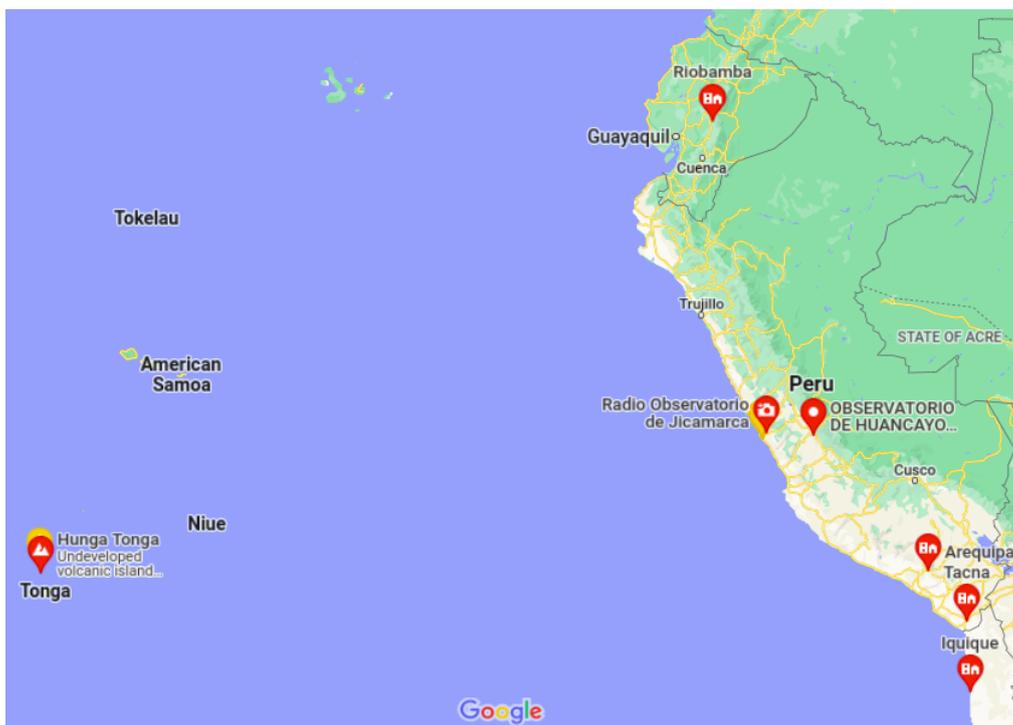


Figura 1. Ubicación de las diferentes estaciones de la red LISN y de la red IGS [3] cercanas al territorio peruano.

	TEC	H	Ecos de 150 km
Hora de detección	13:00-16:00	12:00-16:00	12:45 - 14:45
Ubicación de estaciones	Riobamba, Jicamarca, Huancayo, Nazca, Arequipa, Tacna, Iquique, Santiago	Piura, Jicamarca, Huancayo, Nazca, Arequipa	Jicamarca

1. Presión Atmosférica

En las mediciones de la presión atmosférica sobre Jicamarca, se pudo observar el efecto de la llegada de 2 ondas de choque de gran magnitud, en días consecutivos, entre las 13:40 horas y las 16:45 horas (UTC) del día 15 de enero, y entre las 05:55 horas y 09:15 horas (UTC) del 16 de enero, a diferencia de los demás días donde la variación es suave, como se muestra en la [Figura 2](#). El primer tren de ondas correspondería a la propagación de las perturbaciones de Oeste a Este, desde Tonga hacia su antípoda (norte de África), mientras el segundo correspondería a las ondas viajando en sentido contrario, de Este a Oeste, que llegan a la antípoda y regresan al origen. Los tiempos de detección de estas perturbaciones coinciden con los tiempos de arribo estimados por simulaciones[4].

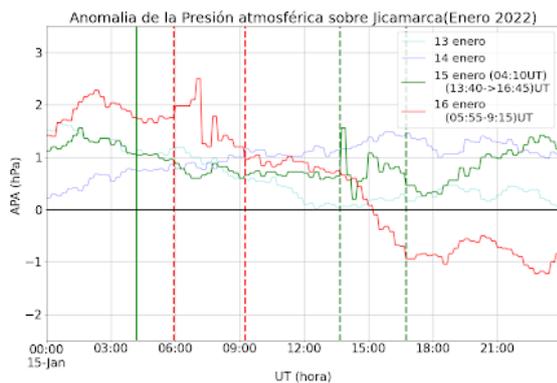


Figura 2. Anomalías de la presión atmosférica para el mes de enero del 2022, se observa la llegada de 2 ondas de choque de gran magnitud: el 15 de enero (13:40 UT), curva verde, y el 16 de enero (05:55 UT, aproximadamente 25 horas y 45 minutos después de la erupción), curva roja. En los 2 días anteriores y posteriores al 15 de enero no se detectan señales que indiquen otros impactos de ondas de choque.

2. Contenido total de electrones (TEC)

La explosión del volcán de Tonga se registró el 15 de enero del 2022 aproximadamente a las 04:10 UTC y generó ondas de choque en la atmósfera que viajaron a una velocidad de aproximadamente 300 m/s[2]. Estas ondas generan perturbaciones en la estimación de TEC de las estaciones cercanas a la explosión (~1000 km)[5]; así como en estaciones lejanas al evento. Podemos apreciar las fluctuaciones rápidas de TEC en las estaciones de Riobamba (Ecuador), Jicamarca, Huancayo, Arequipa, Tacna

(Perú) e Iquique (Chile) respectivamente en la [Figura 3](#). Las estaciones se encuentran ordenadas por su distancia a Tonga, siendo la más cercana la estación de Iquique.

Se puede observar en todas las estaciones dos trenes de perturbaciones sobre el TEC. El primer tren de perturbaciones para la estación de Iquique se registró aproximadamente a las 13:00 UTC (08:00 LT Perú). Esta perturbación también se detecta en las demás estaciones, sin embargo el tiempo en el que se empieza a observar tiene un retraso respecto de la estación de Iquique, siendo la estación de Riobamba la última en registrar la perturbación en TEC.

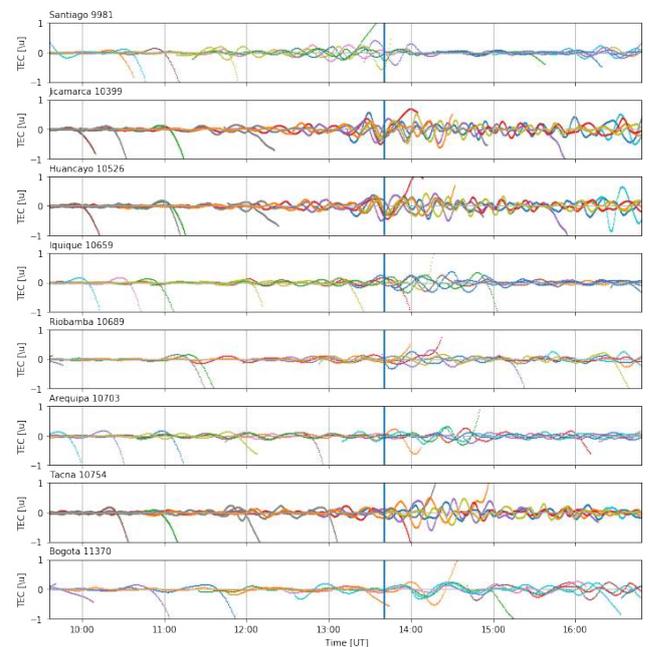


Figura 3. Efecto de la onda de choque en TEC para diferentes estaciones de la red LISN y de la red IGS[3] cercanas al territorio peruano. La línea azul indica el tiempo de arribo del primer tren de ondas a la estación de Jicamarca.

3. Campo geomagnético

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 4](#) y la [Figura 5](#). Aquí se aprecia que los días alrededor de la erupción principal del 15 de enero están perturbados por una tormenta geomagnética de clase G1 y G2, pero el día 15 de enero (curva roja), al momento de la llegada de la onda de choque al Perú, se nota un fuerte decrecimiento en la componente H (entre las

12:00 horas y las 16:00 horas UTC), posiblemente debido al decaimiento de las corrientes ionosféricas por perturbación mecánica local en la capa E (predominantemente el Electrochorro Ecuatorial), que normalmente participan en la contribución del campo magnético durante el día. Este tiempo de arribo (8 horas) es menor en 2 horas respecto al medido por el barómetro (presión atmosférica). Esto podría indicar que la velocidad de propagación de la onda producida sería mayor en la capa E respecto a las capas bajas de la atmósfera.

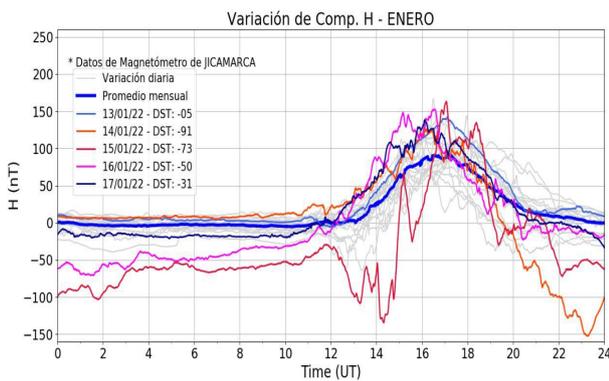


Figura 4. Valores de la variación diurna horaria promedio de H para la estación magnética de Jicamarca.

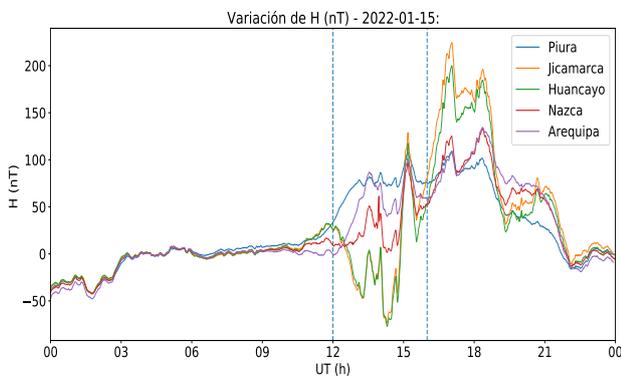
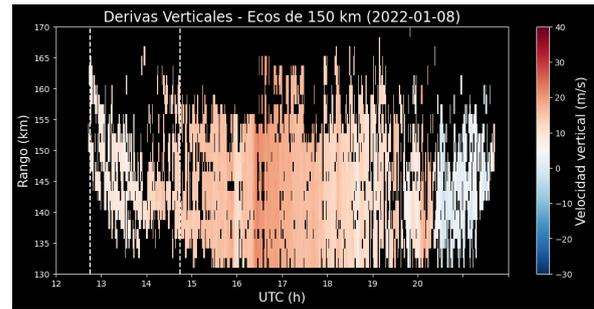


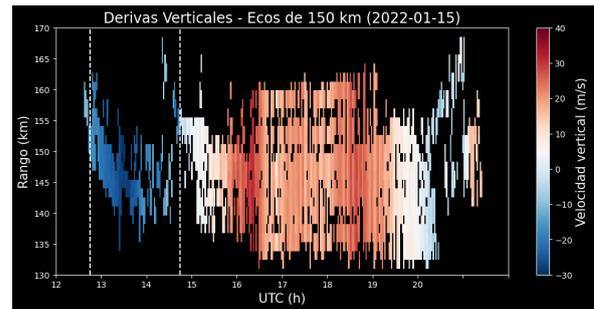
Figura 5. Valores de la variación diurna de H correspondiente al 15 de enero del 2022 para las estaciones magnéticas de Piura, Jicamarca, Huancayo, Nazca y Arequipa. Se puede apreciar el decremento de H entre las 12:00 y las 16:00 horas (líneas azules punteadas).

4. Ecos de 150 km

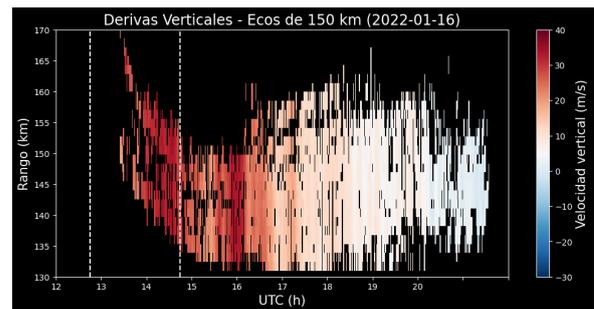
Se detectaron perturbaciones en la forma de los Ecos de 150 km medidos por el radar principal del ROJ. Estas se manifestaron en un decremento del valor de las derivas verticales de la capa E respecto a otros días del mes entre las 12:45 horas y las 14:45 horas UTC (07:45 horas - 9:45 hora local) como se aprecia en la Figura 6.



(a)



(b)



(c)

Figura 6. Ecos de 150 km para los días (a) 8, (b) 15 y (c) 16 de enero. En el panel central se observa un decremento del valor de las derivas verticales entre las 12:45 horas y las 14:45 horas UTC el 15 de enero respecto a los otros días del mes.

5. Conclusiones

- Se detectaron efectos de la erupción volcánica en los receptores GPS, magnetómetros, barómetros y en el radar principal de Jicamarca.
- Se apreciaron 2 trenes de perturbaciones que arribaron en aproximadamente 9 horas a Sudamérica (~08:10 hora local). Se puede apreciar un retraso en la detección de estas dependiendo de la distancia a Tonga (más cercanas las estaciones meridionales).
- Se observan perturbaciones en simultáneo en todas las estaciones magnéticas. Posiblemente debido al efecto predominante del electrochorro ecuatorial.
- Se midieron valores de las derivas verticales de la capa E negativos entre las 7:30 horas y las

10:30 hora local a diferencia de otros días del mes que se observan valores menos negativos.

6. Referencias

- [1] <https://www.jpl.nasa.gov/>, "Tonga Eruption Sent Ripples Through Earth's Ionosphere," May 2022, [Accessed on: May 19, 2022]. [Online]. Available: <https://www.jpl.nasa.gov/news/tonga-eruption-sent-ripples-through-earths-ionosphere>
- [2] S.-R. Zhang, J. Vierinen, E. Aa, L. P. Goncharenko, P. J. Erickson, W. Rideout, A. J. Coster, and A. Spicher, "Tonga volcanic eruption induced global propagation of ionospheric disturbances via lamb waves."
- [3] "International GNSS Service – Enabling the highest-accuracy usability of openly available GNSS data & products," May 2022, [Accessed 19. May 2022]. [Online]. Available: <https://igs.org>
- [4] A. Amores, S. Monserrat, M. Marcos, D. Argüeso, J. Villalonga, G. Jordà, and D. Gomis, "Numerical simulation of atmospheric lamb waves generated by the 2022 hunga-tonga volcanic eruption," Geophysical Research Letters, vol. 49, no. 6, 2022.
- [5] "Boletín de la Alta Atmósfera," Enero 2022, Accessed on: Mar. 17, 2022. [Online]. Available: <https://www.igp.gob.pe/observatorios/radio-observatorio-jicamarca/realtime/reports/>

Elaborado por:

Bach. Juan Pablo Velásquez Ormaeche
Bach. Roberto Flores Arroyo
Bach. George Fajardo Soria
Bach. Ricardo Rojas Quispe
Mag. Luis Condori Illahuamán
Dr. Edgardo Pacheco Josan

Diseño y diagramación:

Mag. Luis Condori Illahuamán
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