



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"

BOLETÍN
IGP / ROJ / 2022-05



LA ALTA ATMÓSFERA SOBRE EL PERÚ

ABRIL 2022



Durante el mes de abril del 2022 se realizó una campaña de soporte para la calibración de la instrumentación a bordo del satélite ICON[1][2] donde se estimó la densidad de electrones en la ionósfera, como se puede ver en la [Figura 1](#). Estos valores de densidad son luego usados para calcular las temperaturas en la capa F, por consiguiente, son de crucial importancia para estimar parámetros geofísicos en la ionósfera. Por otro lado, el 19 del mes aconteció la llamarada solar más intensa del presente ciclo solar (X2.2) pero sus efectos no fueron detectados por nuestra instrumentación por haber ocurrido durante la noche. Sin embargo, durante horas del día en la región opuesta del planeta, sí se reportaron interrupciones en las comunicaciones de radio[3].

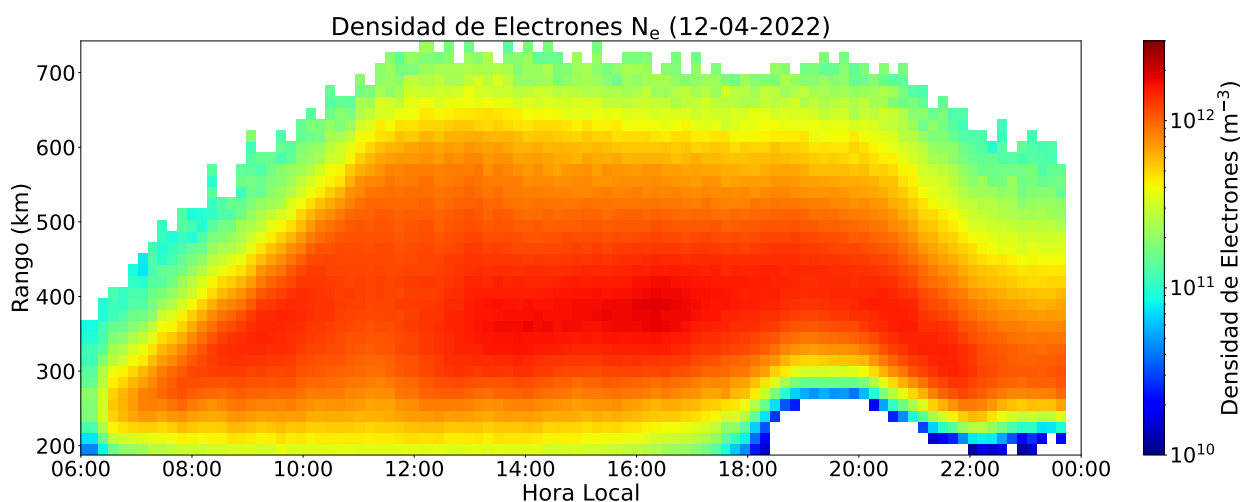


Figura 1. Densidad de electrones para el 12 de abril del 2022.

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

Densidad de electrones (N_e) [m^{-3}]	Vientos promedio MLT a 90 km [m/s]		Derivas verticales promedio (Ecos de 150 km) [m/s]		Variación máxima de campo geomagnético horizontal (H) [nT]	
Máxima	Meridional	Zonal	Mínimo	Máximo	LIM: 156	AQP: 78
2.14×10^{12}	Mín: 67.5 S Máx: 40.0 N	Mín: 31.7 O Máx: 8.0 E	0	15	HYO: 143	PIU: 71
					NZC: 87	TAR: 75
ACTIVIDAD GEOMAGNÉTICA: TRANQUILA			ACTIVIDAD SOLAR: MODERADA			

¿SABÍAS QUÉ?

Debido a la curvatura de la Tierra, es posible la comunicación entre 2 puntos muy alejados gracias a la reflexión de las señales de radio en la ionósfera. Esta depende de la densidad de electrones en el punto de reflexión, la que cambia durante las horas del día, la altura, las estaciones del año y de su ángulo de incidencia.

Las señales con frecuencias menores a la frecuencia crítica[4] son reflejadas hacia la Tierra, mientras que las de frecuencias mayores escapan al espacio exterior.

Una manera de caracterizar el estado de la ionósfera para las comunicaciones de radio es mediante el cálculo de la máxima frecuencia utilizable (MUF, por sus siglas en inglés), el cual se define como la máxima frecuencia a la que al menos el 50% del tiempo es posible la comunicación entre 2 puntos usando la ionósfera como medio reflectivo.

El Radio Observatorio de Jicamarca realiza mapas de MUF para el territorio peruano [5], como puede apreciarse en la Figura 2, donde se realiza la estimación del MUF para un enlace entre 2 estaciones, tomando al IGP/ROJ como emisor y el otro punto es configurable. Los valores de MUF son constantes en cada circunferencia dibujada (líneas negras).

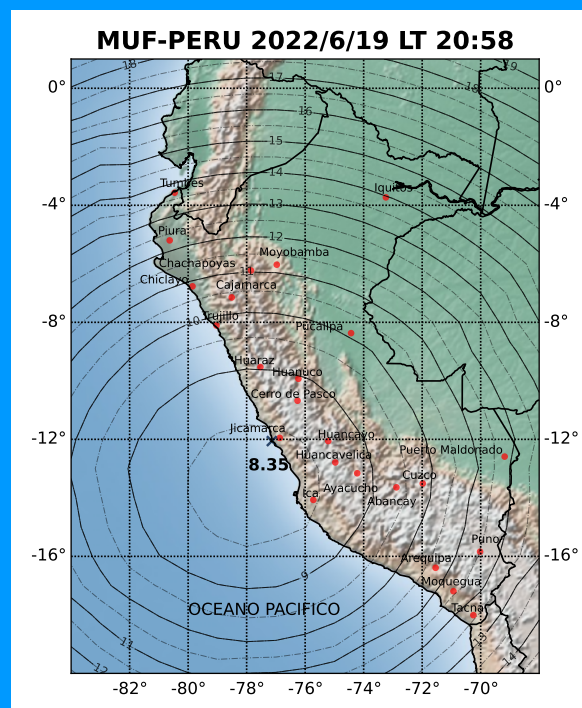


Figura 2. Mapa de valores de MUF para el territorio peruano.

1. Climatología del mes

La actividad geomagnética (índice Kp[6]) fue predominantemente tranquila en un 85% del tiempo, moderada en un 12% y alta en un 3%; por otro lado la actividad solar (índice F10.7[7]) fue baja hasta en un 11% del tiempo, 58% en régimen moderado y 31% alto (Figura 3). Por otro lado, investigaciones previas señalan que hay una clara relación entre la variabilidad diaria y estacional de la componente horizontal del campo geomagnético (H), lo que coincide con las mediciones[8].

Estudios previos realizados con nuestro radar ionosférico[9] describen las características de los Ecos de 150 km medidas para las diferentes condiciones del clima espacial. Estos exhiben una 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 encontramos que la mínima altura de aparición de los ecos fue menor en 10 km que la indicada por la climatología.

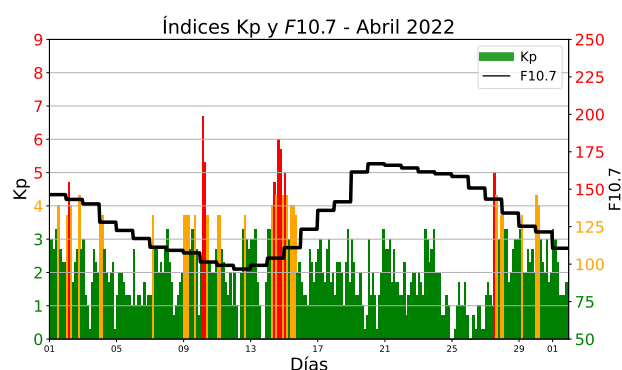


Figura 3. Los índices geomagnéticos diarios Kp y F10.7 muestran mayoritariamente baja actividad geomagnética durante el mes de abril. La actividad solar fue moderada ($F10.7 > 100$ s.f.u) la mayor parte del tiempo. Valores extraídos de "OMNIWeb Data Explorer"[10].

2. Observaciones con el radar ionosférico de Jicamarca

Los Ecos de 150 km se observaron entre los 130 km y 165 km de altura, como se muestra en la Figura 4, lo que indica un valor menor en 10 km de la altura inferior de aparición de

los Ecos con respecto a la climatología[9]. Los valores promedio de las derivas verticales (Figura 5 y Tabla 1) durante las horas del día fueron ascendentes con un máximo de aproximadamente 15 m/s cerca de las 11:00 horas.

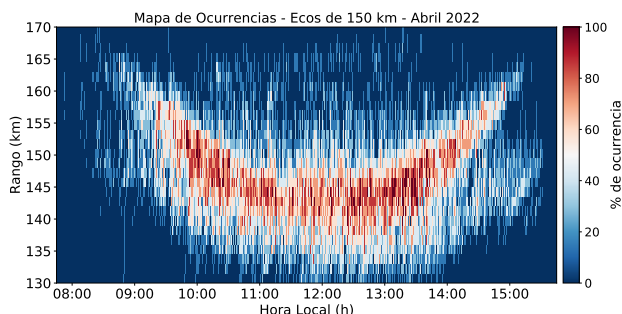


Figura 4. Mapa de ocurrencias de los Ecos de 150 km durante el mes de abril 2022.

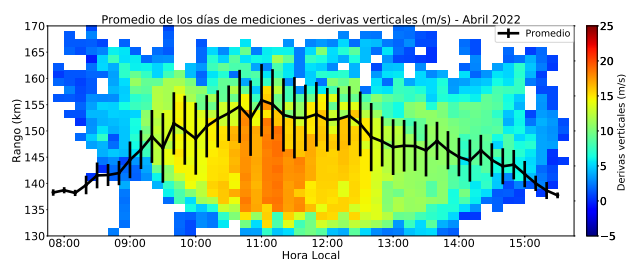


Figura 5. Promedio de las derivas verticales de los Ecos de 150 km tomado cada 10 minutos.

Por otro lado, se realizaron mediciones de densidad de electrones (Figura 1) durante 4 días, los cuales fueron utilizados para la calibración de la instrumentación a bordo del satélite ICON[1][2]. El valor máximo de densidad de electrones se registró el día 14 con un valor 2.14×10^{12} electrones/m³ y a una altura de 330 km.

3. Radar de meteoros especulares. SIMONe.

El promedio en tiempo y altura de los vientos zonales y meridionales para el mes de abril (Figura 6) 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 +8.0 m/s a las 06:30 horas y el promedio mínimo de -31.7 m/s a las 23:30 horas, mientras que el valor del viento meridional promedio máximo +40.0 m/s a las 18:30 horas y el promedio mínimo -67.5 m/s a las 02:30 horas.

El viento zonal máximo fue de +69.8 m/s a las 08:15 horas del día 16 de abril y el mínimo -95.5 m/s a las 23:45 horas del día 12 de abril, mientras que el viento meridional máximo +111.0 m/s a las 18:15 horas del día 10 de abril

y el mínimo -121.3 m/s a las 02:45 horas del día 3 de abril.

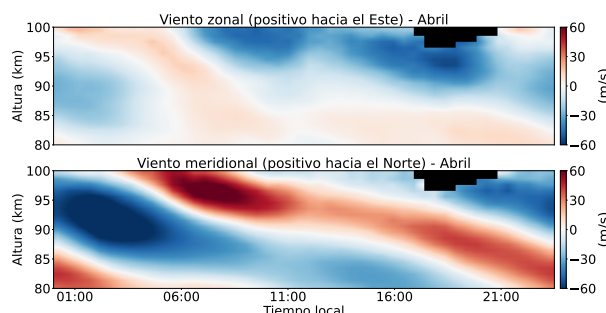


Figura 6. Promedio de los vientos zonales y meridionales durante el mes de abril.

4. Sistema HF

Las alturas de la primera reflexión de las señales también conocidas como alturas virtuales de la capa F medidas por el enlace entre el Radio Observatorio de Jicamarca (IGP/ROJ) y el Observatorio de Ancón del sistema HF para los días con mediciones de abril son mostradas en la Figura 7.

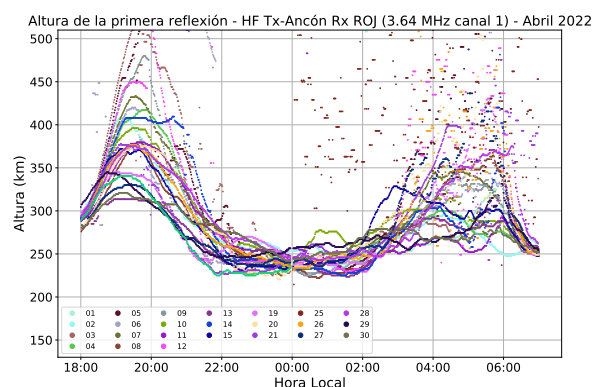


Figura 7. Alturas de la primera reflexión en la ionosfera de las señales de 3.64 MHz de la conexión Ancón-IGP/ROJ para el mes de abril del 2022.

Podemos apreciar, que el intervalo que le sigue a la puesta de Sol (18:00 a 22:00 horas) muestra un incremento en la altura virtual debido a la elevación de la ionosfera en esas horas y a alguna presencia de F-Dispersa, entre las 20:00 y las 22:00 horas, sin embargo, esto no necesariamente indica un incremento en la altura de la capa F.

Para el periodo anterior a la puesta del Sol (03:00-07:00) también se presenta un aumento en los valores de la altura virtual, pero esto se debe a que durante la madrugada, la ionósfera se enfría

tanto que la recombinación hace que la densidad de partículas cargadas disminuya y la reflexión de las ondas se realiza a una mayor altura, incluso, ocasionalmente la ionósfera es transparente para las señales emitidas de 3.64 MHz del sistema HF.

5. 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 8.

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, 156 nT; Huancayo, 143 nT; Arequipa, 78 nT; Nazca, 87 nT, Piura, 71 nT y Tarapoto; 75 nT.

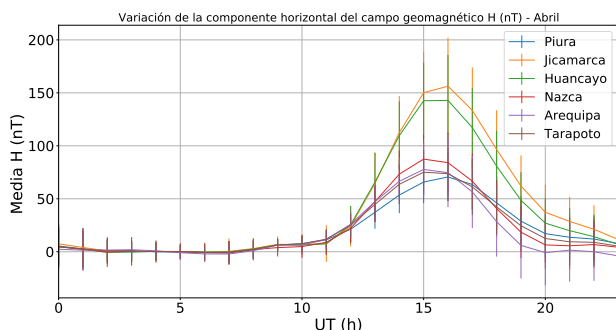


Figura 8. Valores de la variación diurna de la componente horizontal del campo magnético terrestre (H) promedio mensual por hora para todas las estaciones magnéticas operativas durante el mes de abril.

Los valores de la amplitud máxima del índice S4 de las estaciones de Jicamarca, Huancayo y Tacna se muestran en la Figura 9. Se observa actividad moderada y alta.

El valor máximo (0.99) ocurrió en la estación de Tacna el día 13 de abril a las 22:30 horas aproximadamente. Los máximos valores en Jicamarca y Tacna fueron de 0.79 y 0.67 respectivamente. Se observa actividad más intensa en la estación de Tacna. La actividad disminuyó respecto al mes anterior.

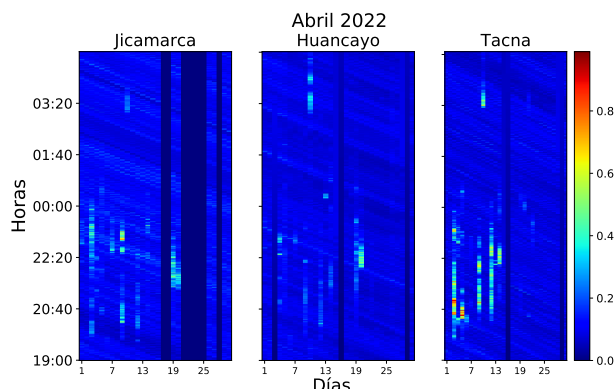


Figura 9. Valores diarios máximos de S4 para las estaciones de Jicamarca, Huancayo y Tacna durante el mes de abril. Se observa una actividad más alta en la estación de Tacna, pero en general la actividad en las 3 estaciones se redujo respecto al mes anterior.

6. Conclusiones

- El 20 de abril aconteció la llamarada solar más intensa del presente ciclo solar (X2.2), pero sus efectos no fueron detectados por nuestra instrumentación.
- Se realizó una campaña de soporte para la calibración de la instrumentación a bordo del satélite ICON.
- Se observó moderada y alta actividad de cintilaciones GPS (índice S4) durante el mes, siendo su máximo valor 0.99, detectado en la estación de Tacna el día 13 de abril, el cual podría haber causado un efecto en las señales de sistemas GNSS.

7. Referencias

- [1] T. J. Immel, S. England, S. Mende, R. Heelis, C. Englert, J. Edelstein, H. Frey, E. Korpela, E. Taylor, W. Craig et al., "The ionospheric connection explorer mission: Mission goals and design," *Space Science Reviews*, vol. 214, no. 1, pp. 1–36, 2018.
- [2] Instituto Geofísico del Perú, "Boletín de la alta atmósfera," Jun 2021. [Online]. Available: <https://www.igp.gob.pe/observatorios/radio-observatorio-jicamarca/realtime/static/reports/2022/202106.pdf>
- [3] E. Howell, "Another solar temper tantrum sends a strong x-class flare toward earth," Apr 2022. [Online]. Available: <https://www.space.com/solar-x-class-flare-april-2022>

- [4] Instituto Geofísico del Perú, "Boletín de la alta atmósfera," Nov 2020. [Online]. Available: <https://www.igp.gob.pe/observatorios/radio-observatorio-jicamarca/realtime/static/reports/2022/202011.pdf>
- [5] Instituto Geofísico del Perú, "Jicamarca Realtime: MUFPERU." [Online]. Available: <https://www.igp.gob.pe/observatorios/radio-observatorio-jicamarca/realtime/tools/>
- [6] "The Kp-index | Help ." [Online]. Available: <https://www.spaceweatherlive.com/en/help/the-kp-index.html>
- [7] "F10.7 cm Radio Emissions | NOAA/NWS Space Weather Prediction Center." [Online]. Available: <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/f107-cm-radio-emissions>
- [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] N. Papitashvili, "OMNIWeb Data Explorer," Oct 2020, Accessed on: May 17, 2022. [Online]. Available: <https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>

Elaborado por:

Bach. Juan Pablo Velásquez Ormaeche
Bach. Roberto Flores Arroyo
Bach. George Fajardo Soria
Mag. César De La Jara Sánchez
Mag. Luis Condori Illahuamán

Diseño y diagramación:

Mag. Luis Condori Illahuamán
Bach. Roberto Flores Arroyo

Colaboradores:

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

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

