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





Durante el mes de junio del 2022 se observó un evento de ecos de contra-electrochorro ecuatorial (CEEJ), el cual se manifiesta en la diferencia de la componente horizontal H del campo geomagnético entre las estaciones de Jicamarca y Piura ($\Delta H_{ROJ-Piura}$)[1] con valores negativos. Al desaparecer estos ecos y generarse nuevamente los ecos de EEJ se observó $\Delta H_{ROJ-Piura}$ con valores positivos y el cambio de dirección de las derivas verticales ISR (Figura 1).

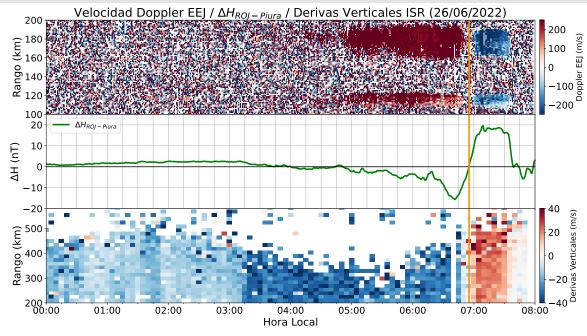


Figura 1. Velocidad Doppler del Electrochorro Ecuatorial (EEJ), $\Delta H_{ROJ-Piura}$ y derivas verticales de la capa F. La línea vertical mostaza indica el momento cuando $\Delta H_{ROJ-Piura}$ y las velocidades de derivas cambian de valores negativos a positivos. El rango mostrado es la distancia de la antena al EEJ en las direcciones de apunte.

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

Vientos promedios MLT a 90 km [m/s]		
Zonal		
Mín: 11.6 O Máx: 43.0 E		
5		

Derivas verticales		
promedio (Ecos de 150 km) [m/s]		
Mínimo	Máximo	
-5	15	

Variación máxima de campo geomagnético horizontal (H) [nT]		
LIM: 108	AQP: 57	
HYO: 99	PIU: 50	
NZC: 81	TAR: 55	

actividad geomagnética: **tranquila**

ACTIVIDAD SOLAR: MODERADA

¿SABÍAS QUÉ?

El efecto conjunto de los vientos de partículas neutras y las mareas atmosféricas producen un campo eléctrico hacia el este durante el día y hacia el oeste durante la noche (flecha amarilla). Debido a la geometría de la región ecuatorial (Figura 2), el campo geomagnético es casi horizontal y apunta hacia el norte (hacia dentro de la página), combinado con el campo eléctrico ocasionan el movimiento de electrones hacia arriba durante el día y hacia abajo durante la noche (derivas verticales ExB positivas o negativas respectivamente). Esto produce una polarización de la capa E y la consecuente aparición de un campo eléctrico de polarización (flecha roja) que es entre 5 a 10 veces más grande que el campo eléctrico original (flecha amarilla).

Este nuevo campo eléctrico (flecha roja), a su vez, interactúa nuevamente con el campo geomagnético y causa el desplazamiento de electrones hacia el oeste durante el día y hacia el este durante la noche (izquierda

o velocidades negativas y derecha o velocidades positivas), es decir, una corriente eléctrica hacia el este durante el día (derecha) y en dirección oeste durante la noche, que conocemos como Electrochorro Ecuatorial (EEJ) y Contra-electrochorro Ecuatorial (CEEJ), respectivamente.

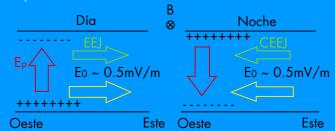


Figura 2. Electrodinámica de la capa E de la región ecuatorial. Efecto de retroalimentación mediante el cual un pequeño campo eléctrico hacia el Este produce la corriente de partículas en la misma dirección conocida como el Electrochorro Ecuatorial. Gráfico adaptado de [2].

1. Climatología del mes

La actividad geomagnética (índice Kp[3]) fue predominantemente tranquila en un 93 % del tiempo, moderada en un 6 % y alta en un 1 %; por otro lado la actividad solar (índice F10.7[4]) fue baja en 13 %, moderada en 77 % del tiempo y alta en un 10 % (Figura 3 y Tabla 1). Por otro lado, investigaciones previas señalan que hay una fuerte relación entre la variabilidad diaria y estacional de la componente horizontal del campo geomagnético (H)[5], lo que coincide con las mediciones.

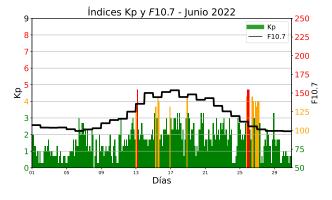


Figura 3. Los valores del índice geomagnético Kp muestran mayoritariamente baja actividad geomagnética durante el mes. La actividad solar fue moderada (100 s.f.u<F10.7 <150 s.f.u) la mayor parte del tiempo. Valores extraídos de "OMNIWeb Data Explorer" [6].

Los Ecos de 150 km exhiben una característica forma de collar que se extiende desde alturas cercanas a los 135 km hasta cerca de los 165 km de altura, entre las 09:00 horas y las 15:30 horas[7]. En este periodo, con nuestras mediciones, encontramos que la mínima altura de aparición de los ecos fue menor en 10 km que la indicada por la climatología.

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 5 km de la mayor altura de aparición de los Ecos con respecto a la climatología[7].

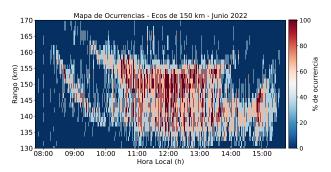


Figura 4. Mapa de ocurrencias de los Ecos de 150 km durante el mes de junio 2022.

Los valores promedio de las derivas verticales (Figura 5) fueron ascendentes después de las 8:00 horas con un máximo de aproximadamente 15 m/s cerca de las 12:00 horas.

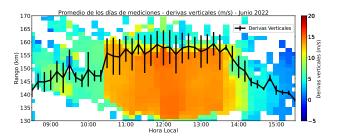


Figura 5. Promedio de las derivas verticales de los Ecos de 150 km cada 10 minutos.

Se realizaron estimaciones de la velocidad Doppler[8] del electrochorro ecuatorial (EEJ) con un arreglo de antenas que genera un apunte principal oblicuo, además de otros apuntes secundarios (vertical y oblicuo de menor ángulo)[9]. Durante la madrugada del día 26 de junio se observó un evento de contra-electrochorro ecuatorial (CEEJ), cambio de dirección del electrochorro y valores negativos en ΔH , que pudo ser causado por la tormenta geomagnética, de clase G1, que aconteció durante los días 25 y 26[10]. A las 06:55 se registró el retorno del sentido del EEJ, valores positivos típicos de $\Delta H[1]$, y cambio de dirección de las derivas verticales de la capa F, como se puede observar en la Figura 1. Debemos señalar que en las mediciones de los ecos del EEJ se observa un eco superior y otro inferior, estos corresponden al apunte oblicuo principal y secundario respectivamente. Además, el eje Y de la Figura 1 hace referencia al rango en la dirección de los apuntes.

3. Radar de meteoros especulares. SIMONe.

El promedio en tiempo y altura de los vientos zonales y meridionales para el mes de junio (Figura 6) muestra periodos predominantes de 24 horas (marea solar diurna), y de un periodo de 12 horas (marea semidiurna) para la componente zonal.

En la mesopausa (\sim 90 km) se observa que el valor del viento zonal promedio máximo fue de +43.0 m/s a las 12:00 horas y el promedio mínimo de -11.6 m/s a las 22:00 horas, mientras que el valor del viento meridional promedio máximo fue de +21.6 m/s a las 17:30 horas y el promedio mínimo de -57.8 m/s a las 04:00 horas.

El viento zonal máximo fue de +99.9 m/s a las 09:15 horas del día 22 de junio y el mínimo -73.6 m/s a las 18:45 horas del día 24 de junio, mientras que el viento meridional máximo fue +105.4 m/s a las 18:45 horas del día 30 de junio y el mínimo -107.1 m/s a las 03:45 horas del día 09 de junio.

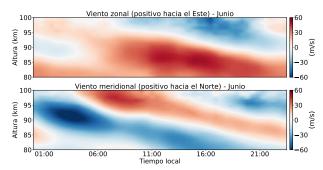


Figura 6. Promedio de los vientos zonales y meridionales durante el mes de junio.

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 junio son mostradas en la Figura 7.

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, 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 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 junior altura, incluso, ocasionalmente la ionósfera es transparente para las señales emitidas de 3.64 MHz del sistema HF.

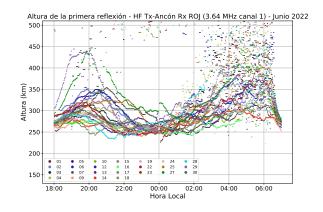


Figura 7. Alturas de la primera reflexión en la ionosfera de las señales de 3.64 MHz de la conexión Ancón-IGP/ROJ para el mes de junio del 2022.

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, 108 nT; Huancayo, 99 nT; Arequipa, 57 nT; Nazca, 81 nT; Piura, 50 nT y Tarapoto, 55 nT.

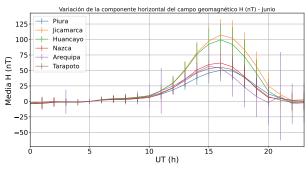


Figura 8. Valores de la variación diurna de H promedio mensuales por hora para todas las estaciones magnéticas operativas durante el mes.

Los valores de la amplitud máxima del índice S4 de las estaciones de Jicamarca, Huancayo y Tacna se muestran en la Figura 9. El valor máximo (0.26) ocurrió en la estación de Jicamarca el día 20 de junio a las 04:00 horas aproximadamente. Se aprecia actividad baja en todas las estaciones, también se observa que la actividad disminuyó respecto al mes anterior.

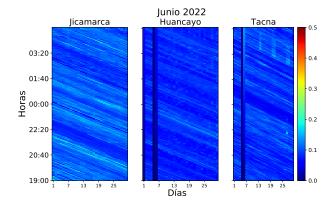


Figura 9. Valores diarios máximos de S4 para las estaciones de Jicamarca, Huancayo y Tacna durante el mes de junio. Se observa una actividad baja en las 3 estaciones.

6. Conclusiones

- Se detectó un evento de CEEJ diurno el 26 de junio y este pudo ser causado por la tormenta geomagnética de clase G1 que comenzó el día anterior.
- Se observó actividad baja de cintilaciones GPS (índice S4) durante el mes, siendo su valor máximo 0.26, detectado en la estación de Jicamarca el día 20 de junio, el cual podría haber causado un efecto en las señales de sistemas GNSS.
- Se registró una baja actividad de burbujas de plasma. Esto favorece las comunicaciones para las frecuencias utilizadas por radioaficionados.

7. Referencias

- [1] Instituto Geofísico del Perú, "Boletín de la alta atmósfera," Sep 2021. [Online]. Available: https://www.igp.gob.pe/observatorios/radio-observatorio-jicamarca/realtime/static/reports/2022/202109.pdf
- [2] D. Anderson, A. Anghel, J. Chau, and O. Veliz, "Daytime vertical ex b drift velocities inferred from ground-based magnetometer observations at low latitudes," Space Weather, vol. 2, no. 11, 2004.
- [3] "The Kp-index | Help," Oct 2020, Accessed on: Jul. 16, 2022. [Online]. Available: https://www.spaceweatherlive.com/ en/help/the-kp-index.html
- [4] "F10.7 cm Radio Emissions | NOAA / NWS Space Weather Prediction Center," Jul 2020, Accessed on: Jul. 16, 2022. [Online]. Available: https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/f107-cm-radio-emissions
- [5] 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.
- [6] N. Papitashvili, "OMNIWeb Data Explorer," Oct 2020, Accessed on: Jul. 16, 2022. [Online]. Available: https://omniweb.gsfc.nasa. gov/form/dx1.html
- [7] 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.

- [8] Instituto Geofísico del Perú, "Boletín de la alta atmósfera," Oct 2020. [Online]. Available: https://www.igp.gob.pe/observatorios/ radio-observatorio-jicamarca/realtime/static/ reports/2022/202010.pdf
- [9] D. Hysell, J. Drexler, E. Shume, J. Chau, D. Scipion, M. Vlasov, R. Cuevas, and C. Heinselman, "Combined radar observations
- of equatorial electrojet irregularities at jicamarca," in Annales Geophysicae, vol. 25, no. 2. Copernicus GmbH, 2007, pp. 457–473.
- [10] Y. Yamazaki and A. Maute, "Sq and eej—a review on the daily variation of the geomagnetic field caused by ionospheric dynamo currents," Space Science Reviews, vol. 206, no. 1, pp. 299–405, 2017.

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

Colaboradores:

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

Contacto:

roj@igp.gob.pe

