

B. Urrea

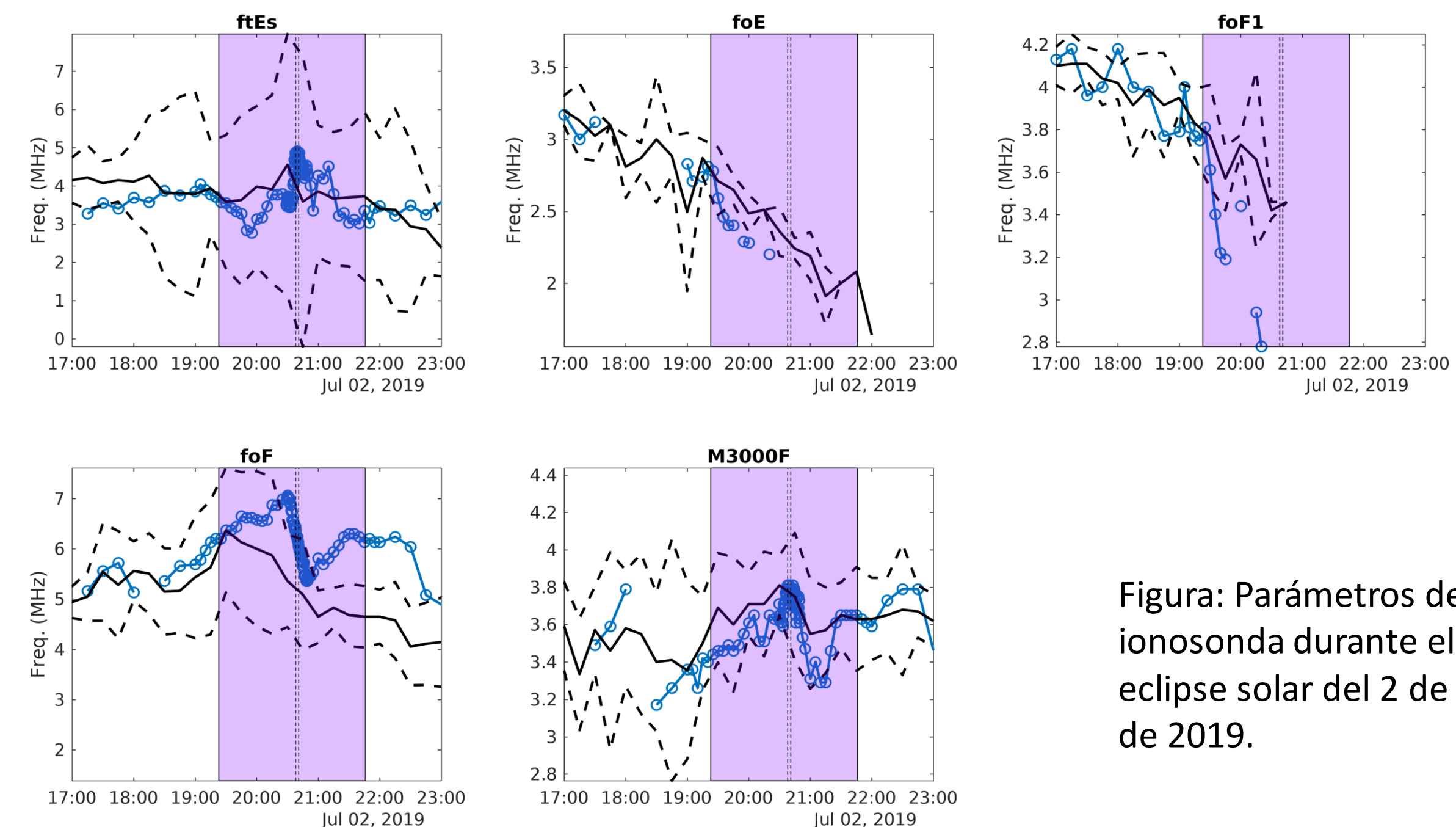


Figura: Parámetros de ionosonda durante el eclipse solar del 2 de julio de 2019.



Figura: Antena delta doble usada por la ionosonda IPS-42 en La Serena, Chile.

Introducción

- La ionósfera corresponde a la región ionizada de la atmósfera que contiene suficientes electrones libres para afectar las ondas electromagnéticas. Se estima que se encuentra entre 60 y 1000 km de altura. Su dinámica está fuertemente ligada a la actividad y radiación solar, las cuales poseen ciclos en distintas escalas temporales. Se divide en tres regiones: D, E y F. Esta última, durante el día, presenta una estratificación (F1 y F2).
- Durante un eclipse solar, la principal fuente de ionización de la ionósfera (EUV) se ve parcialmente obstruida por el paso de la Luna, alterando la dinámica y generando múltiples fenómenos que aún son tema de estudio.
- Las tormentas geomagnéticas son eventos producidos por perturbaciones del medio interplanetario gobernado por el material que expelle el Sol, ya sea por eyecciones de masa coronal (CME) o agujeros coronales (viento solar perturbado). Se habla de este tipo de fenómeno cuando la denominada "Corriente de Anillo", que circula alrededor del planeta, se ve perturbada por los eventos mencionados.
- El estudio de estos fenómenos nos permite entender cómo estos modifican la ionósfera, de la cual dependen los sistemas de posicionamiento global, comunicaciones radiales, funcionamientos de satélites, etc.
- Se presentan los resultados de la ionosonda que operó en La Serena (29.9°S, 71.3°W) para dos eventos: el eclipse solar del 2 de Julio de 2019 y la tormenta geomagnética del 25 de Agosto de 2018.

Metodología

- La ionosonda IPS-42 es un radar de incidencia vertical para estudios ionosféricos. Opera usando una antena de tipo delta doble, con un mástil de 30 metros. Realiza un barrido en frecuencia entre 1 y 25 MHz, con un paso logarítmico. Los tiempos de retardo de los ecos recibidos desde la ionósfera son convertidos en una altura aparente (o virtual), presentados en forma de "ionograma" (gráfico de altura virtual versus frecuencia).
- Los parámetros de frecuencia crítica (las cuales son proporcionales a la densidad de electrones), así como la altura aparente de cada región (o capa) y su distribución vertical de densidad electrónica, deben deducirse a partir de cada ionograma, ya sea de forma manual o automática. En este caso, fue hecho manualmente.
- Sondeos rutinarios cada 15 minutos fueron realizados, salvo durante el eclipse, donde sondeos cada 5 minutos y 20 segundos fueron realizados alrededor de la hora de máxima oscuridad. Días sin actividad geomagnética son usados para calcular una ionósfera de referencia, usando la mediana y sus respectivos rangos intercuantiles.

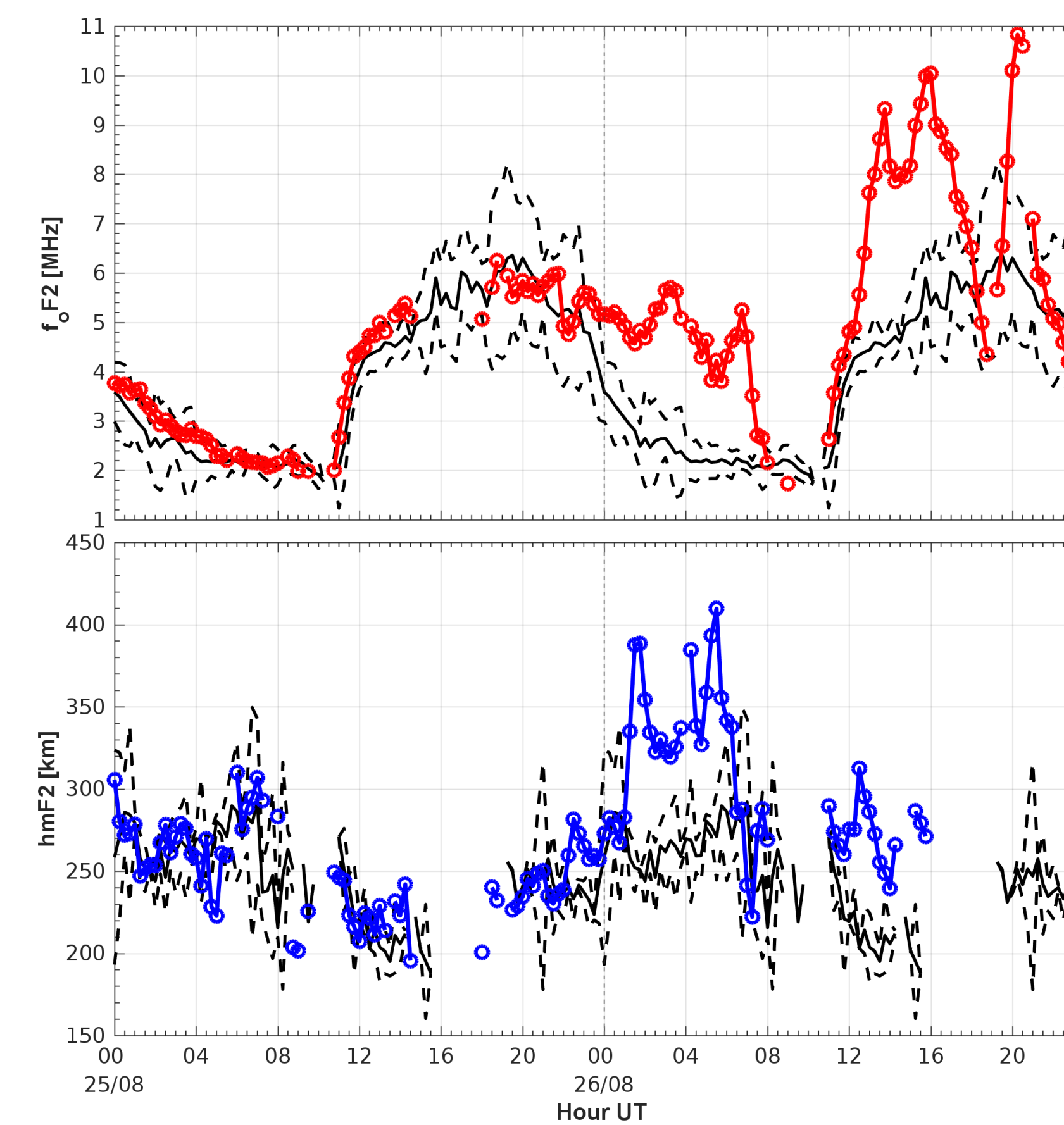


Figura: Parámetros de la región F durante la fase principal de la tormenta (25-26 de Agosto de 2018)

Referencias

- Bravo, M., Martínez-Ledesma, M., Foppiano, A., Urrea, B., Ovalle, E., Villalobos, C., et al. (2020). First report of an eclipse from Chilean ionosonde observations: Comparison with total electron content estimations and the modeled maximum electron concentration and its height. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 125, e2020JA027923. <https://doi.org/10.1029/2020JA027923>
- Gonzalez, W. D., Joselyn, J. A., Kamide, Y., Kroehl, H. W., Rostoker, G., Tsurutani, B. T., and Vasyliunas, V. M. (1994). What is a geomagnetic storm?, *J. Geophys. Res.*, 99(A4), 5771– 5792, doi:10.1029/93JA02867.
- Jonah, O. F., Goncharenko, L., Erickson, P. J., Zhang, S., Coster, A., & Chau, J. L., et al. (2020). Anomalous behavior of the equatorial ionization anomaly during the 2 July 2019 solar eclipse. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 125, e2020JA027909. <https://doi.org/10.1029/2020JA027909>
- Younas, W., Amory-Mazaudier, C., Khan, M., & Fleury, R. (2020). Ionospheric and magnetic signatures of a space weather event on 25–29 August 2018: CME and HSSWs. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 125, e2020JA027981. <https://doi.org/10.1029/2020JA027981>

Resultados

• Caso Eclipse:

- Reducciones de frecuencia (y por tanto en densidad electrónica) en las regiones E y F1. Siendo las regiones que más dependen de la radiación ultravioleta, existe coherencia en su respuesta casi instantánea al inicio del paso de la sombra.
- La región F2 presenta una respuesta tardía y ambigua al paso de la sombra, tanto en densidad (foF) y forma (M3000F), debido a que más procesos ocurren en ella. Su máximo escapa a los rangos intercuantiles de los días de referencia.
- La evolución de capas esporádicas (fEs) da indicios de la presencia de ondas acústicas (AGW)

• Caso Tormenta:

- En el atardecer del 25 de Agosto se observa la modificación de la región F debido al arribo de la CME responsable de la tormenta geomagnética. En su fase principal, los valores superan el rango intercuartil, extendiéndose este comportamiento durante la fase de recuperación. Ocurre un descenso y posterior máximo entre las 19 y 21 UT.
- La altura del máximo de densidad (hmF2) presenta un violento ascenso al mismo tiempo que se modifica la densidad de dicha región. Debido a que la técnica para obtener este parámetro (inversión de ionogramas) depende de la calidad de las mediciones, existen gaps por errores en éstas.
- Otros parámetros arrojan poca respuesta o requieren mayor estudio (no mostrados).

Discusión y Conclusiones

- La interrupción parcial de la radiación ionizante del Sol durante un eclipse modifica la ionósfera, pero existen casos donde el paso de la sombra modifica otros agentes que son responsables de la dinámica ionosférica, más aún en latitudes cercanas al ecuador magnético (Bravo et al., 2020; Jonah et al., 2020).
- Elementos como la hora, la geometría y la referencia usada pueden llevar a modificar la forma en que observamos la respuesta ionosférica a los eclipses solares. Esto debe ser tomado en cuenta, más aún en estudios enfocados en una sola estación de medición.
- Durante una tormenta geomagnética, los parámetros de la región F son un buen indicador de la evolución de ésta. Modificaciones del denominado "drift ExB" alteran significativamente la ionósfera de latitudes bajas, como el caso de estudio, por lo que se requiere observar su evolución durante esos días para conectarlo con las perturbaciones vistas. Mapas de contenido total de electrones (o TEC) deducido de receptores GNSS pueden complementar la observaciones de la evolución espacial y temporal.