

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CAPA LÍMITE PLANETARIA EN LA ZONA DE MINERÍA DE CARBÓN A CIELO ABIERTO DEL DEPARTAMENTO DEL CESAR

José Luis Rodríguez Castilla, José Franklyn Ruiz Murcia, Alex Andrés Murillo Villamizar,
Ronny Javier López Hernández, Luis Carlos Angulo Argote



MARCO CONTEXTUAL

La zona de minería de carbón a cielo abierto del centro del departamento del Cesar (ZMC) tiene una extensión de 2.423,5 km². Para el periodo de estudio se encontraban en operación 7 proyectos mineros.

Para los años 2019 y 2020 el departamento del Cesar produjo el 70% del carbón exportado por Colombia, con 52 Mt. y 34.6 Mt.

El crecimiento acelerado de la actividad de la minería a cielo abierto ha propiciado el deterioro de la calidad del aire de los centros poblados que circundan la zona minera. Las altas cantidades de material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}) emitidas por las minas, pueden llegar a generar serias molestias a la salud de los habitantes de



Figura 1. Zona de minería a cielo abierto del departamento del Cesar (Google Earth)



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

-No se dimensiona del impacto que generan las empresas de minería de carbón a cielo abierto al recurso aire por la falta de información del comportamiento atmosférico a nivel regional y local, además actualmente hay poblaciones con mas de 30.000 habitantes que son afectadas directamente por las minas en operación.

-La información meteorológica en la vertical usada por el ANLA para los procesos de modelación es limitada. No se cuenta con información de radiosondeos en la zona de estudio.

-El modelo de dispersión de materia particulado implementado actualmente por la autoridad ambiental es de tipo estático.

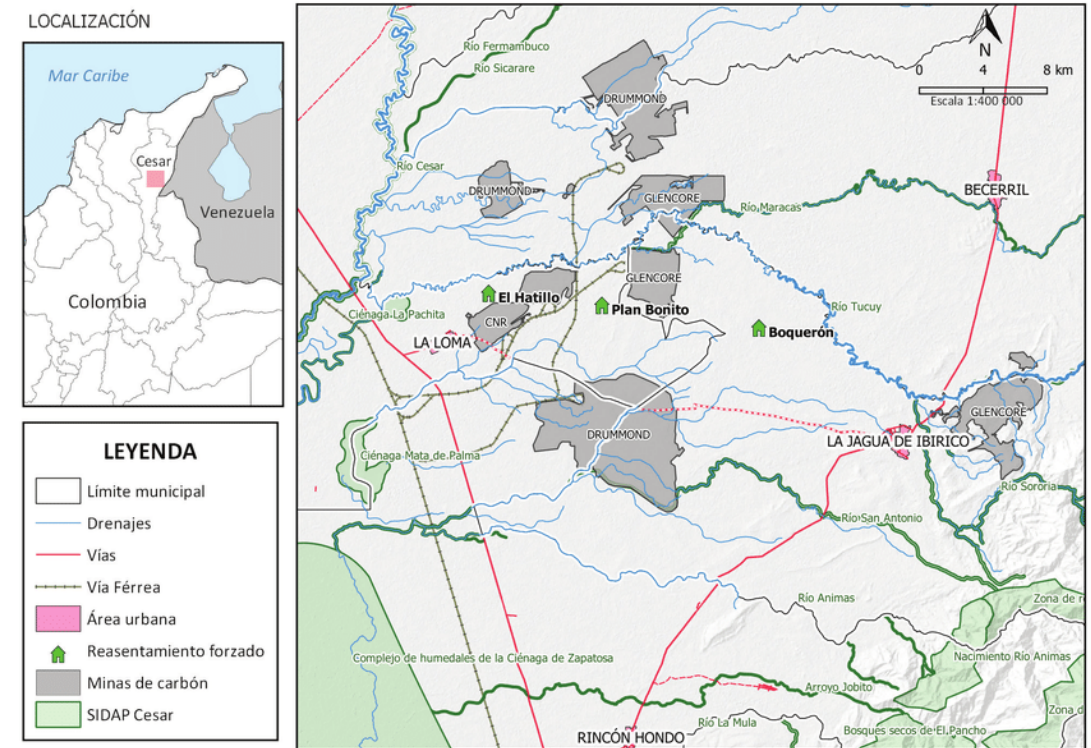


Figura 2. Cartografía del conflicto ambiental minería de carbón en el centro del Cesar. Fuente: elaborado por OCA a partir de la base cartográfica IGAC (2014), DANE (2012), Google Earth (2014-2015), Alaska Vertex Facility (2017), Grupo Prodeco (2017). SIDAP Cesar, Sistema Departamental de Áreas Protegidas de Cesar.

OBJETIVOS GENERAL DEL ESTUDIO

-Analizar el comportamiento espacio temporal de la capa limite planetaria y su influencia sobre el transporte del material particulado (PM10 y PM2,5) en la zona de minería de carbón a cielo abierto del departamento del Cesar para un periodo de ENSO neutral.

OBJETIVOS GENERAL DEL ESTUDIO

-identificar el comportamiento del viento y la temperatura potencial virtual de la capa limite planetaria en la zona de minería de carbón a cielo abierto del departamento del Cesar en un periodo de ENSO neutral.

-Determinar la trayectoria del material particulado (PM10 y PM2,5) en la capa de la zona de minería de carbón a cielo abierto del departamento del Cesar en un

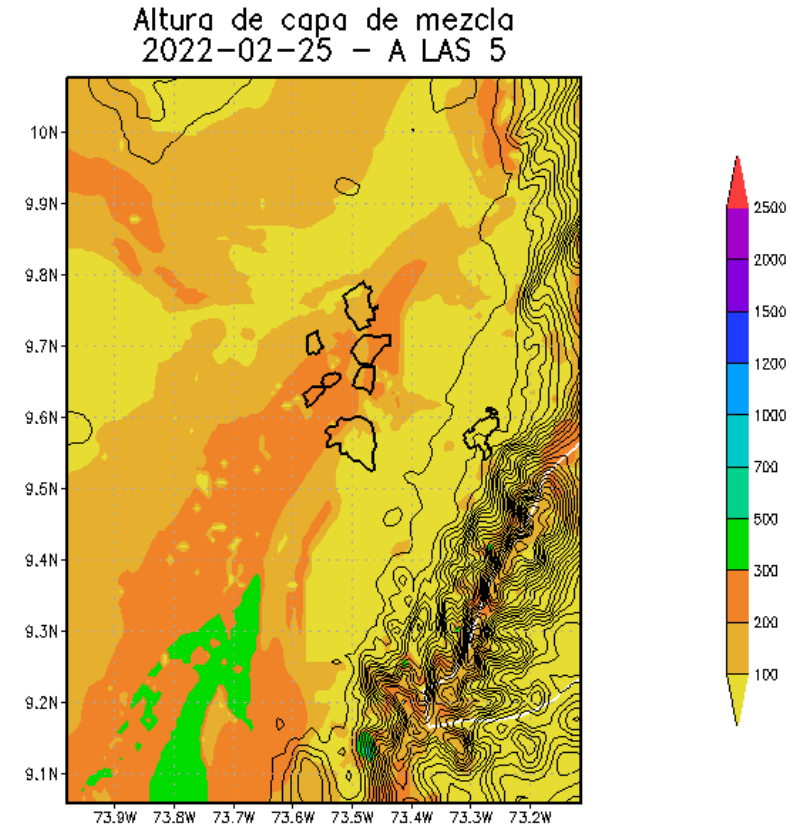


Figura 3. Simulación del PBL en la zona de minería de carbón a cielo abierto del departamento del Cesar.

ANTECEDENTES

Hernandez A, 2012.	Implementó el modelo Hysplit para visualizar las posibles trayectorias del material particulado que llega a la zona minera del Cesar y relacionarla con el análisis químico de los filtros de PM ₁₀ .
Hernández J. , 2012	Realizó la caracterización del campo de viento al interior del Valle de Aburrá para distintos patrones de circulación regional, además identificó las masas de aire con arribo al Valle de Aburrá y la configuración del modelo WRF (Weather Research & Forecasting).
Banks & Baldasano, 2016.	Evaluaron cuatro tipos de parametrizaciones de la capa límite planetaria teniendo en cuenta dentro de su estudio modelos de trayectoria como el Hysplit en Cataluña, España.
Arregocés., Rojano., & Restrepo., 2021	Realizaron simulaciones meteorológicas en el norte de Colombia analizando diferentes esquemas de capa límite planetaria (PBL) disponibles en el modelo numérico Weather Research and Forecasting (WRF) durante los meses más secos de 2016 y en las regiones con mayores concentraciones de material particulado.

Tabla 1. Antecedentes de l estudio

MARCO METODOLÓGICO

LA CAPA LIMITE PLANETARIA LOS ESQUEMAS DE CIERRE LOCAL

En estos la velocidad media del viento, la temperatura, la humedad y otras magnitudes promedio se parametrizan directamente como una función del espacio y del tiempo. Ejemplo: MYNN2 (Nakanishi, M., and H. Niino, 2006).

LOS ESQUEMAS DE CIERRE NO LOCAL
Incorporan términos que son importantes para simular el transporte de la turbulencia convectiva a gran escala (counter-gradient). En el modelo meteorológico mesoescalar WRF, encontramos esquemas no locales de cierre de primer orden como YSU (Hong, Noh, & Dudhia, 2006).

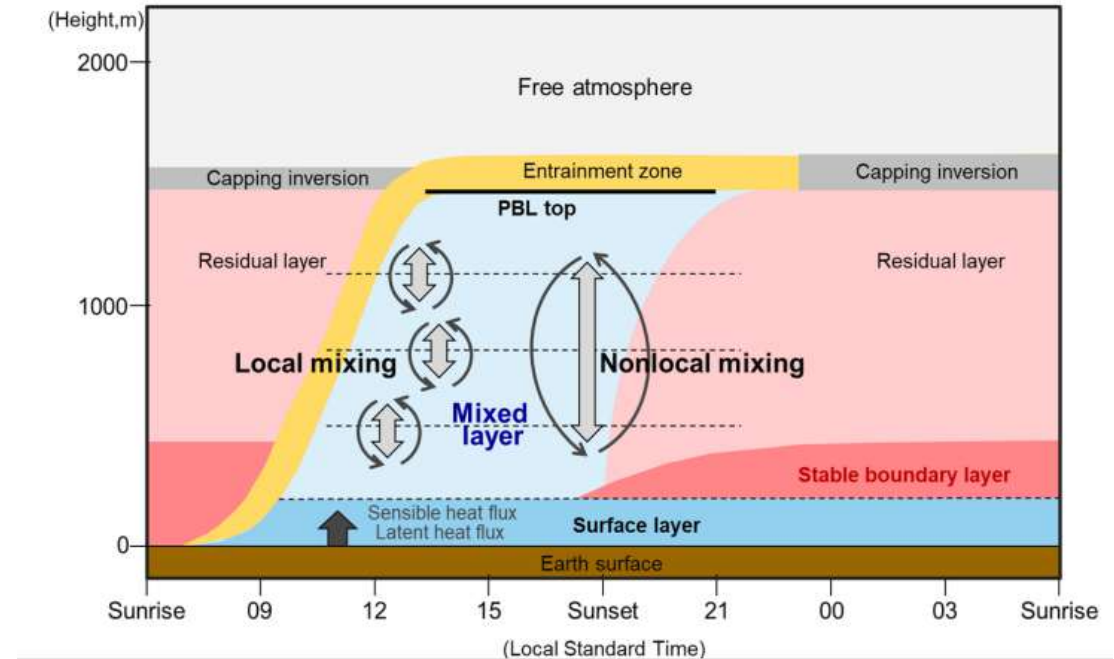


Figura 4. Esquemas locales y no locales en el proceso de mezcla de la PBL (Ahasan, Chowdhury, & Qadir, 2014)

MARCO METODOLÓGICO

TEMPEATURA POTENCIAL VIRTUAL

Las temperaturas potenciales virtuales son análogas a las temperaturas potenciales en que eliminan la variación de temperatura causada por los cambios en la altitud de presión de una parcela de aire. La turbulencia incluye el movimiento vertical del aire, lo que hace que una variable como la temperatura potencial virtual no sólo sea atractiva sino casi necesaria (Stull, 1988).

$$r = \frac{m_{\text{vapor de agua}}}{m_{\text{aire seco}}}$$

$$\theta_v = T_v \left(\frac{P_o}{P} \right)^{0.286}$$

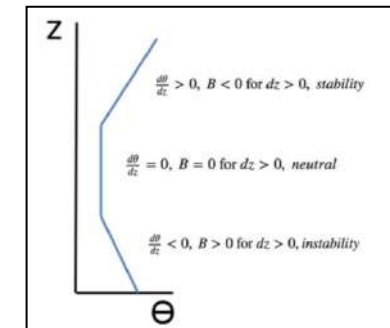
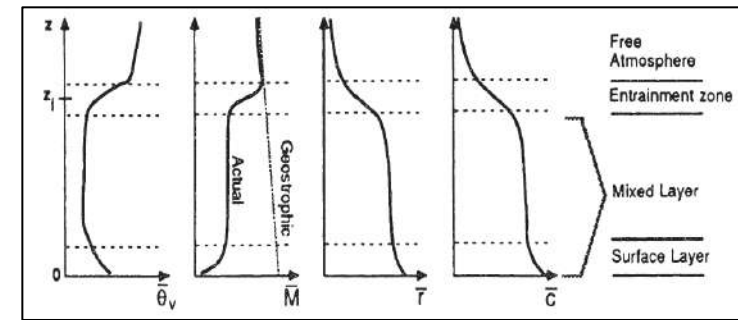


Figura 5. Comportamiento de la temperatura potencial virtual en CLP.

MARCO METODOLÓGICO

En el estudio se implementó el modelo meteorológico Weather Research and Forecasting- WRF (Skamarock et al., 2021).

Se corrió con tres grillas de resoluciones de:

9 Km (Centrado en el Norte de Colombia)

3 Km (Abarcó, el valle del río Cesar la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía del Perijá)

1 Km (Centrado en la Zona minera del Cesar)

El modelo WRF fue alimentado con datos del Global Forecast System (GFS) a una resolución de 0.25 grados, 37 niveles de presión, una resolución vertical y una frecuencia de actualización de 6 horas.

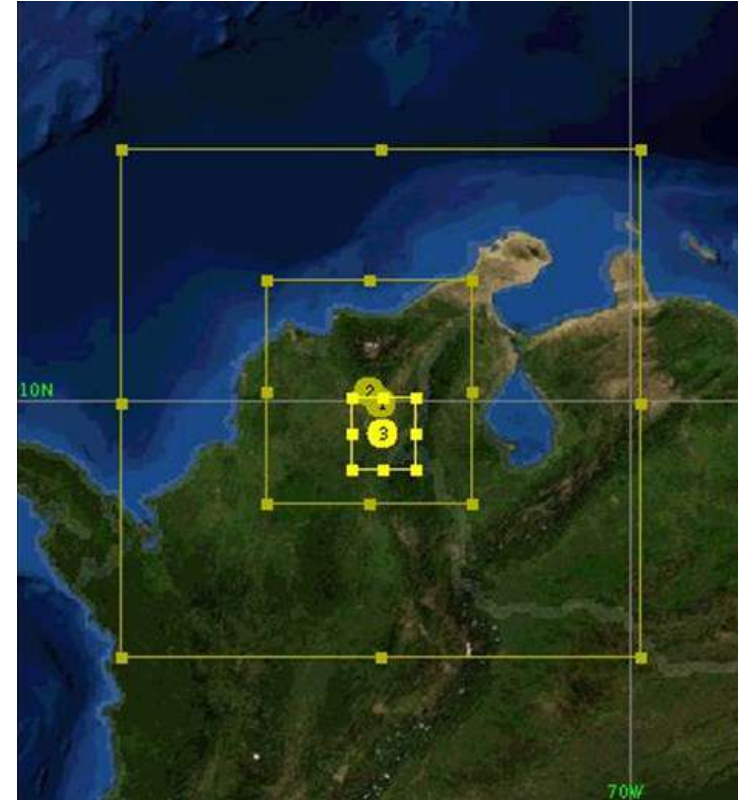


Figura 6. Dominios del modelo WRF.

MARCO METODOLÓGICO

-Se realizó un downscaling aplicando el modelo WRF e implementando las parametrizaciones de capa límite planetaria YSU (Yonsei University scheme) y MYNN2 (Mellor-Yamada-Nakanishi-Niino-Level 2.5). El modelo se corrió para los días de monitoreo de PM10 y PM2.5 en los periodos de:

Julio 2019 (transicional)

Octubre 2019 (mas lluvias)

Febrero 2020 (menos lluvias)

-Para determinar la sensibilidad del modelo WRF se confrontaron los datos arrojados por el WRF con la información de 5 de las estaciones superficiales del Sistema de vigilancia de la calidad del aire del Cesar

-En la vertical el WRF se confronto con el

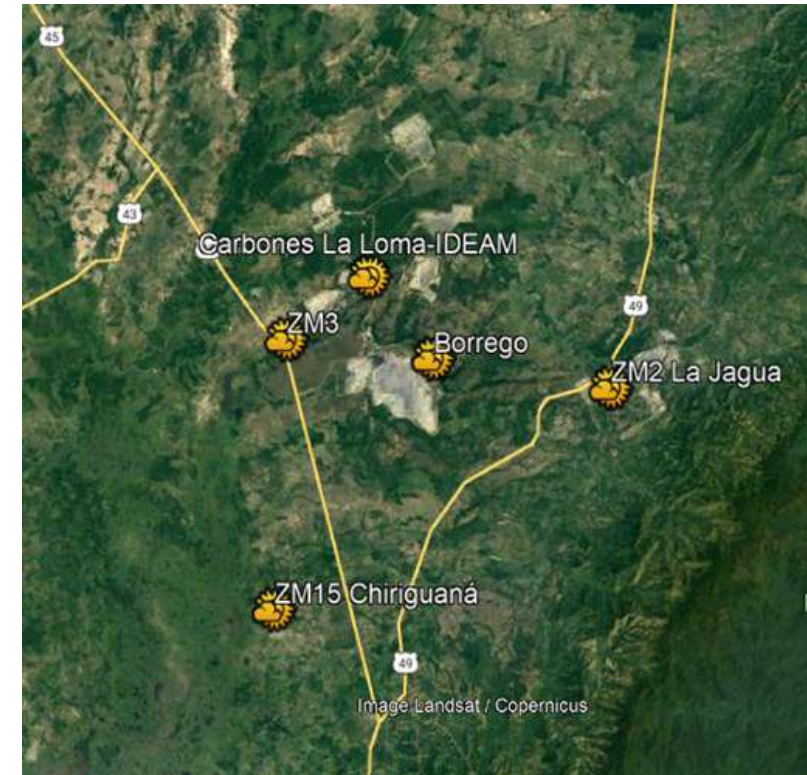


Figura 7. Estaciones meteorológicas superficiales del SVCAC..

MARCO METODOLÓGICO

El WRF nos abrió el camino para correr el modelo HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory model). (Draxler et al., 2022).

Se implementó el Hysplit en su función de retrotrayectorias para identificar la procedencia o rutas de entrada del material particulado PM10 y PM2.5 a la zona minera del departamento del Cesar.

Se tomó como punto final de las partículas en las retrotrayectorias, las estaciones de ZM3 (Loma Caribe, Jagua centro) y ZM15 (Chiriguan

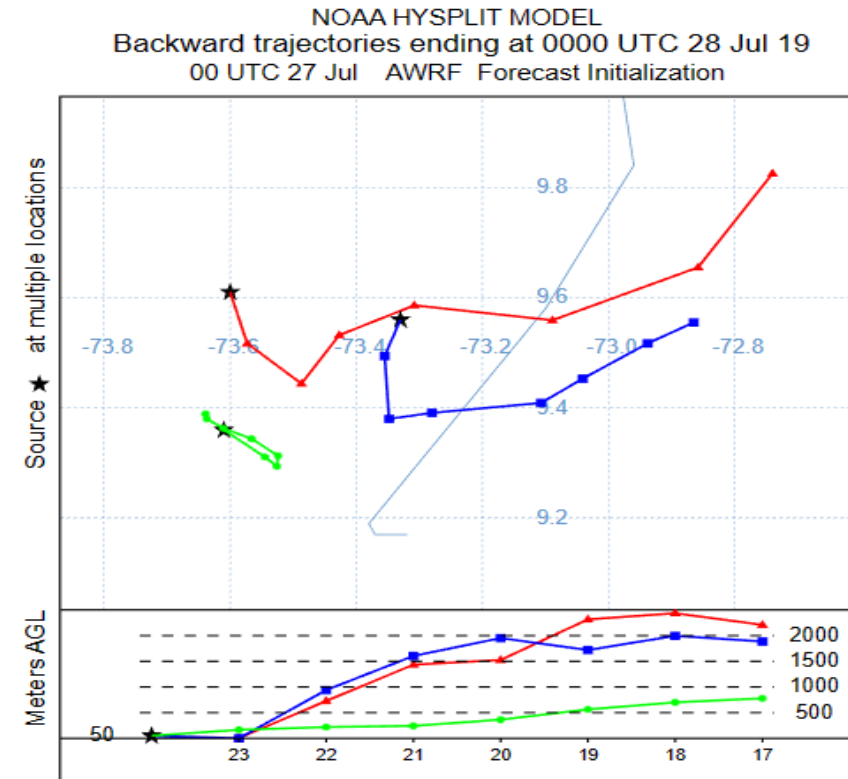


Figura 8. Retrotrayectorias modelo hysplit.

RESULTADOS

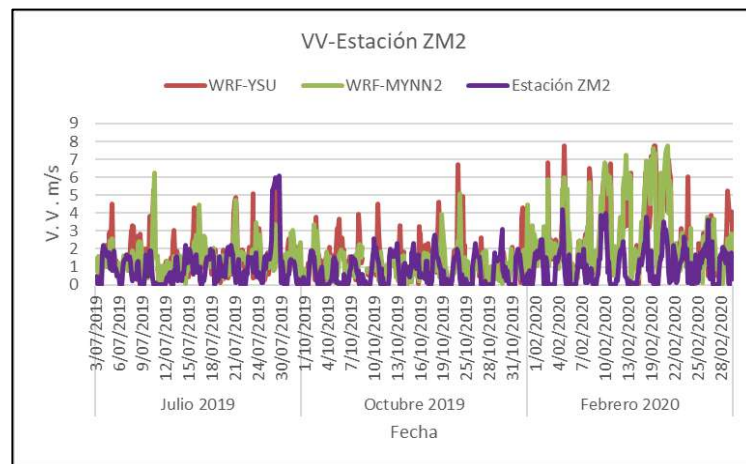
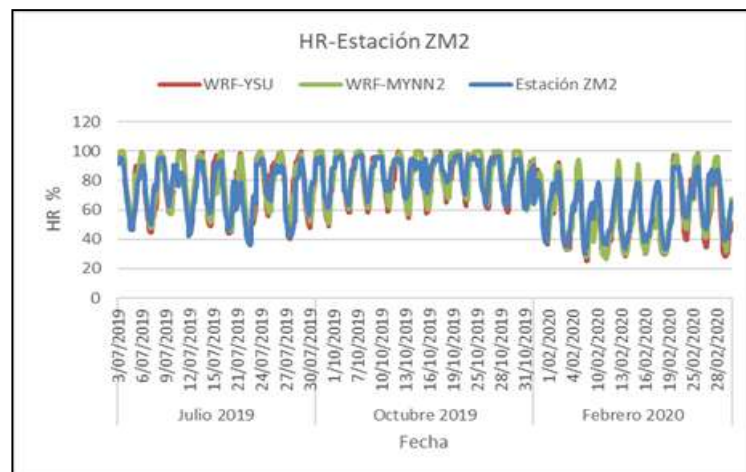


Figura 9. Graficas de Validación parametrizaciones CLP WRF.

Estación ZM2	PBL-YSU				PBL-MYNN2			
	Temp.	HR	V V	D V	Temp.	HR	V V	D V
MB, Bias	1,0510	1,0599	-0,8998	5,7661	1,1590	0,0118	-0,7465	-0,0366
NMB	0,0363	0,0145	-0,9555	0,0311	0,0401	0,0002	-0,7969	-0,0002
RMSE	1,9478	9,5801	1,8309	116,0997	1,9533	8,7948	1,7713	117,4358
NMSE	0,0046	0,0164	1,6898	0,3951	0,0047	0,0137	1,7982	0,3953

Tabla 2. Estadísticos de validación de las simulaciones del WRF

RESULTADOS

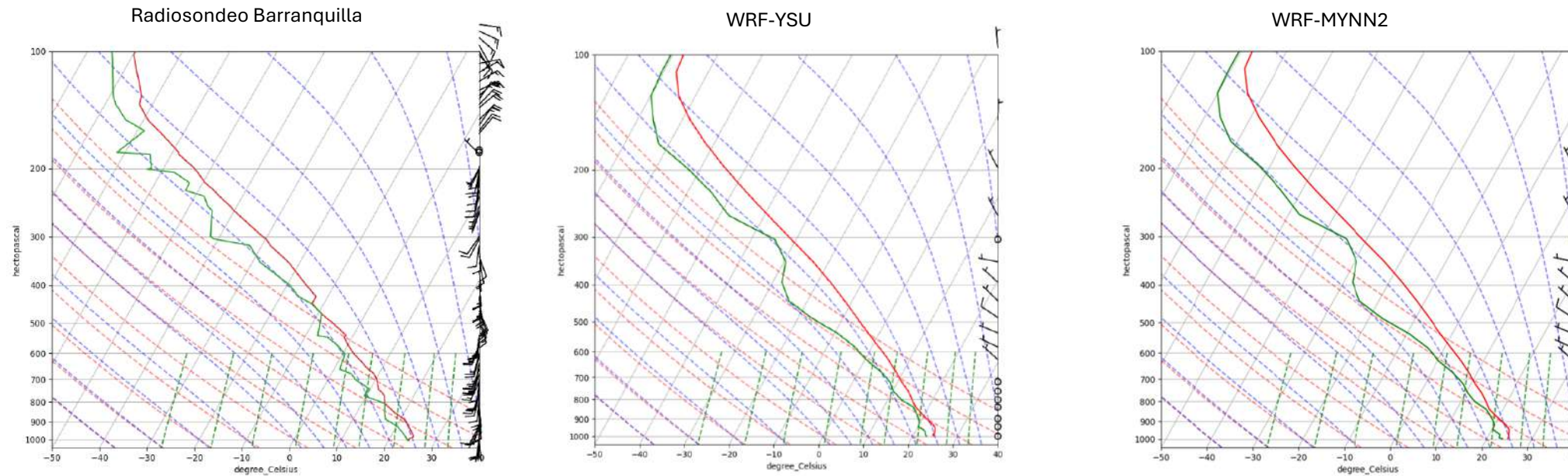


Figura 10 Radiosondeo Barranquilla vs WRF. (01 de octubre de 2019; 12:00 UTC).

RESULTADOS

T. potencial virtual y vientos-2019-07-27 - A LAS 5

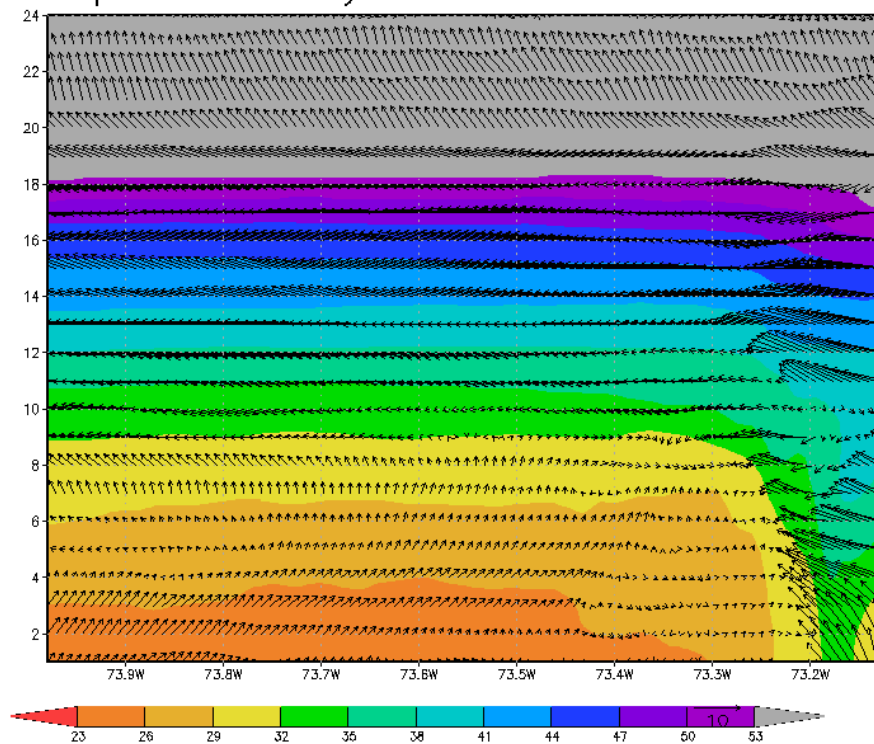


Figura 11. Simulación de T. potencial virtual y vientos en la vertical.
(2020.02-25)- Transepto Este-Oeste ZMC.

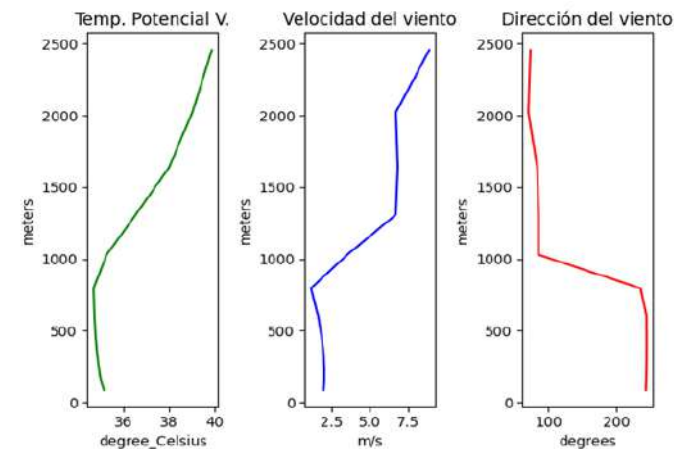


Figura 12. T. potencial virtual y vientos en la vertical
27 de julio 1:00 PM-La Jagua de Ibirico.

Level 1 24.1 m	Level 2 79.1 m	Level 3 149.2 m	Level 4 238.4 m	Level 5 351 m	Level 6 491.5 ^c
Level 7 664.8 m	Level 8 875.8 m	Level 9 1,129.0 m	Level 10 1,427.9 m	Level 11 1,774.6 m	Level 12 2,169.7 m
Level 13 2,611.7 m	Level 14 3,097.1 m	Level 15 3,624.7 m	Level 16 4,196.3 m	Level 17 4,814.1 m	Level 18 5,481.9 m
Level 19 6,205.4 m	Level 20 6,987.6 m	Level 21 7,829.2 m	Level 22 8,731.5 m	Level 23 9,657.9 m	Level 24 10,570.2 m
Level 25 11,472.8 m	Level 26 12,375.9 m	Level 27 13,285.9 m	Level 28 14,200.4 m	Level 29 15,114.3 m	Level 30 16,024.4 m
Level 31 16,927.5 m	Level 32 17,822.9 m	Level 33 18,714.7 m	Level 34 19,607.6 m		

Figura 13. T. Niveles sigma WRF

RESULTADOS

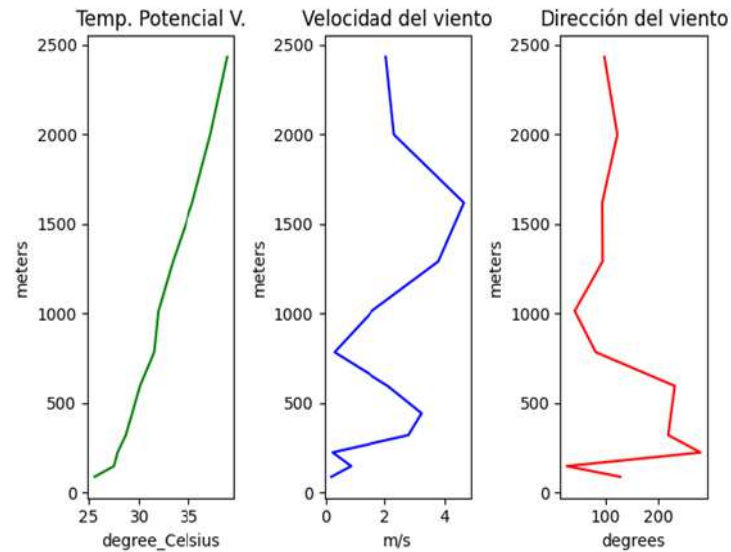


Figura 14. T. potencial virtual y vientos en la vertical
12 de julio 2019 6:00 AM- la Jagua de Ibirico.

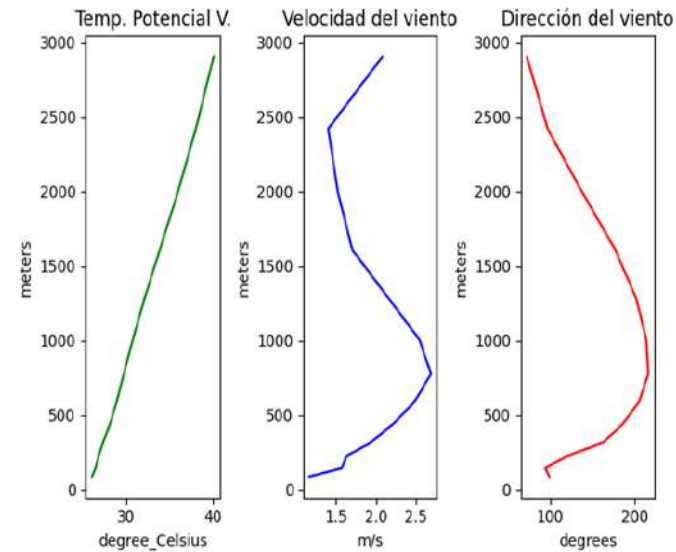


Figura 15. T. potencial virtual y vientos en la vertical
10 de octubre de 2019 6:00 AM- la Jagua de Ibirico.

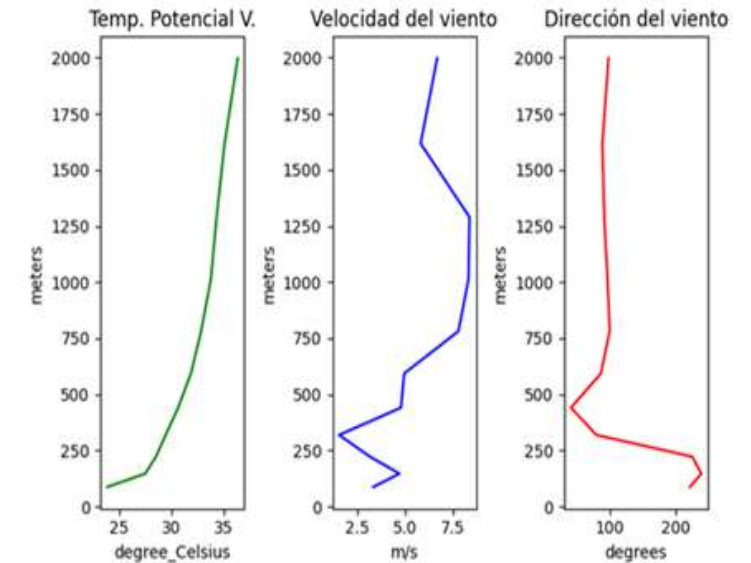


Figura 16. T. potencial virtual y vientos en la vertical
10 de febrero de 2020 6:00 AM- la Jagua de Ibirico.

RESULTADOS

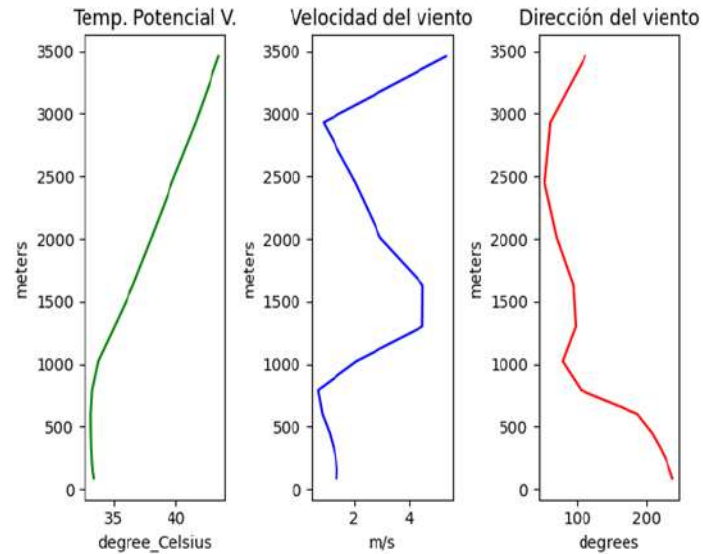


Figura 17. T. potencial virtual y vientos en la vertical
12 de julio 2019 1:00 PM- la Jagua de Ibirico.

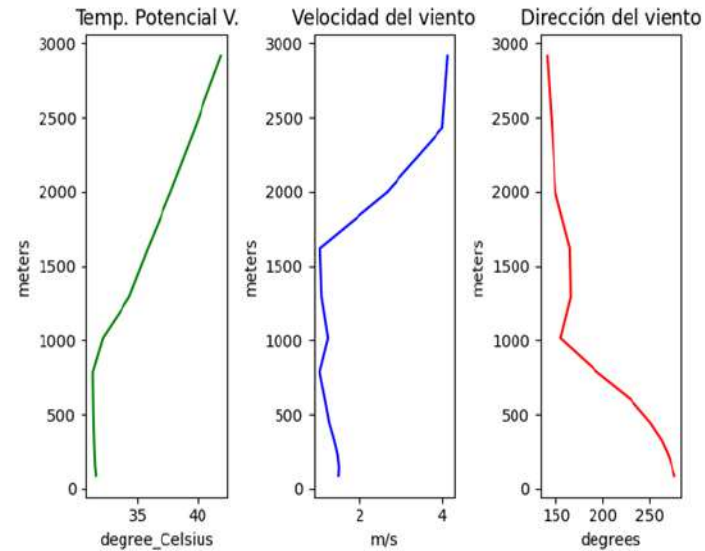


Figura 18. T. potencial virtual y vientos en la vertical
10 de octubre de 2019 1:00 PM- la Jagua de Ibirico.

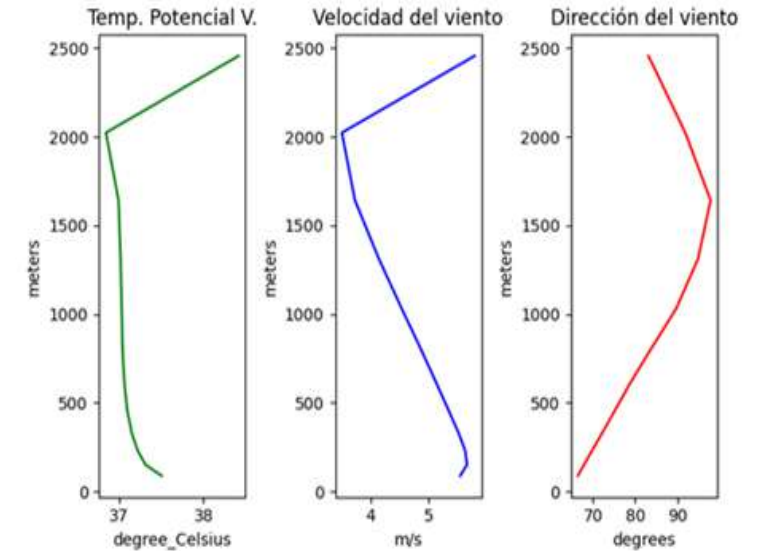


Figura 19. T. potencial virtual y vientos en la vertical
10 de febrero de 2020 1:00 PM- la Jagua de Ibirico.

RESULTADOS

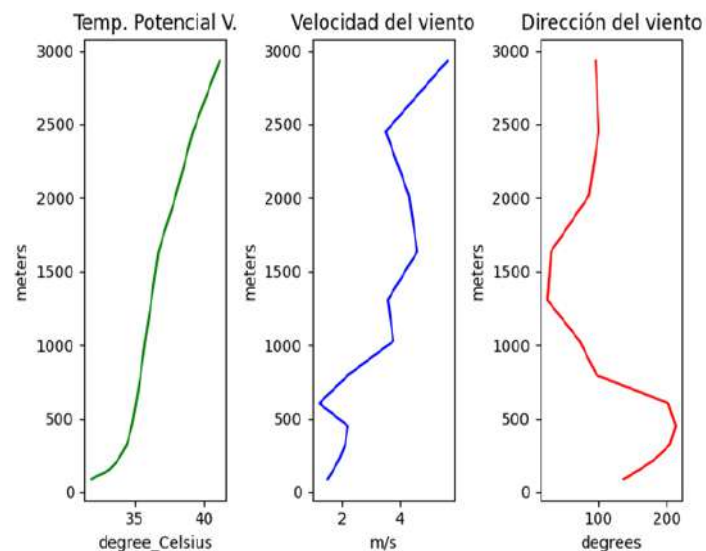


Figura 20. T. potencial virtual y vientos en la vertical
12 de julio 2019 9:00 PM- la Jagua de Ibirico.

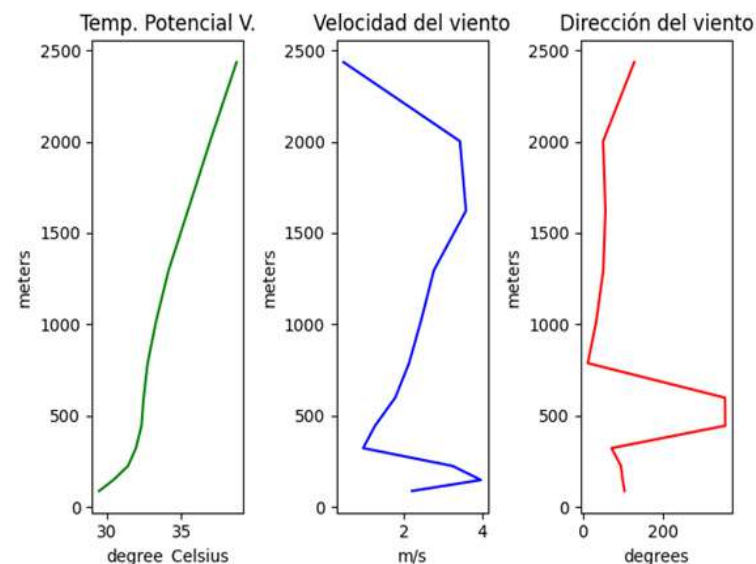


Figura 21. T. potencial virtual y vientos en la vertical
10 de octubre de 2019 9:00 PM- la Jagua de Ibirico.

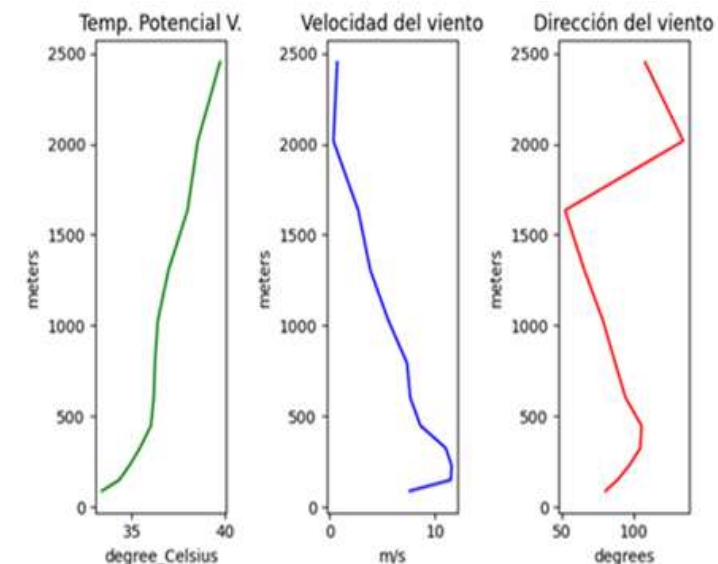


Figura 22. T. potencial virtual y vientos en la vertical
10 de febrero de 2020 9:00 PM- la Jagua de Ibirico.

RESULTADOS

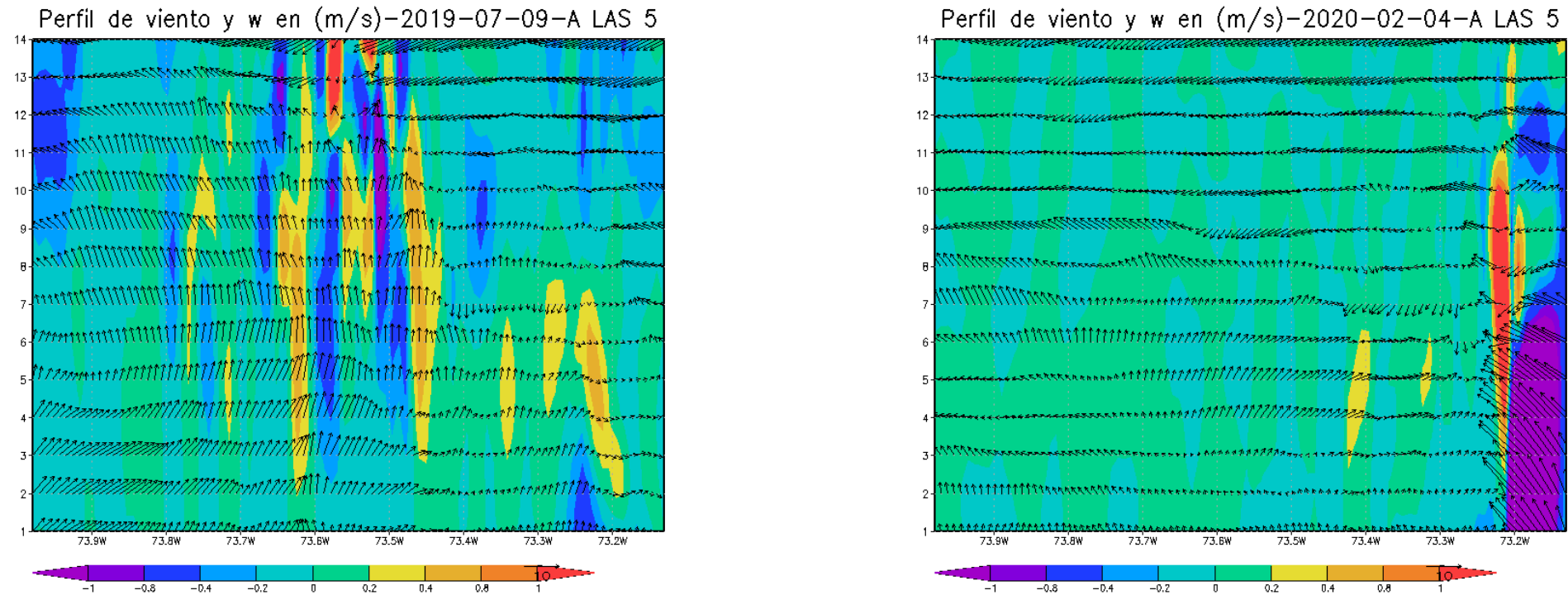


Figura 23 Simulación de la componente vertical del viento w en la vertical para los los días (2019.07-09) y (2020-02-04).Transepto Este-Oeste ZMC.

RESULTADOS

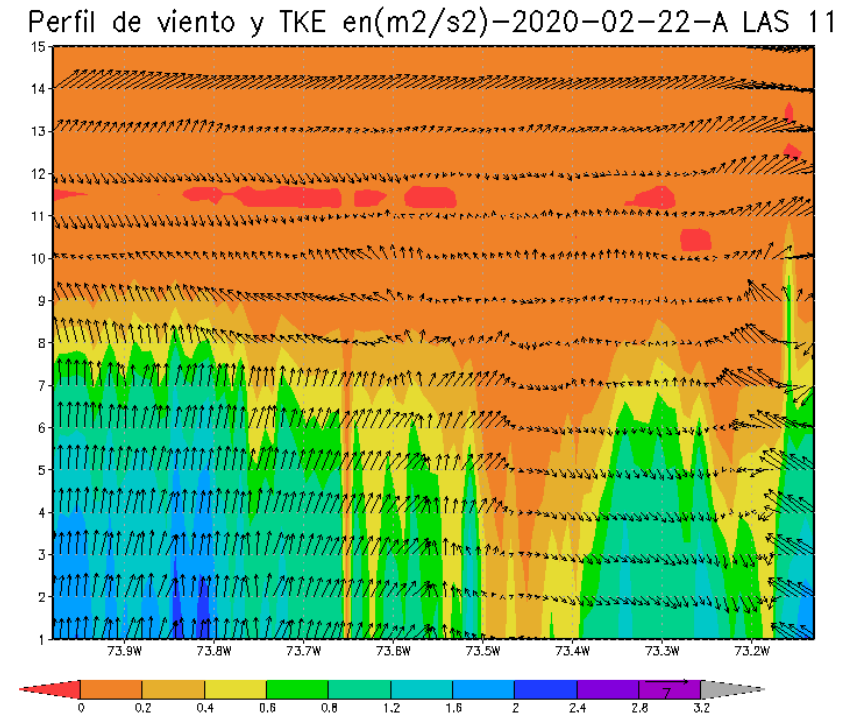
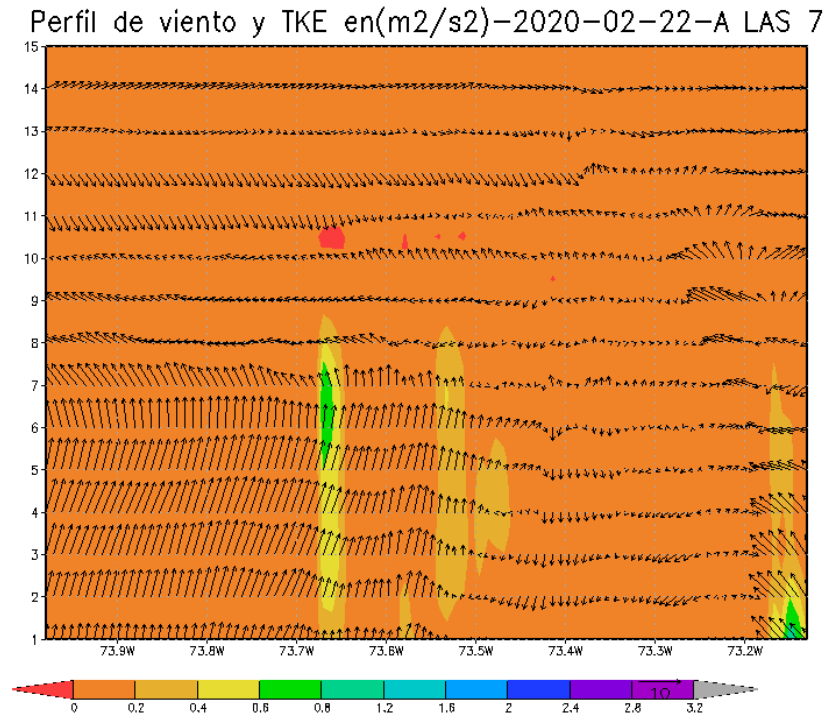


Figura 24. Simulación de vector del viento en la vertical para los el día (2020-02-22).Transecto Este-Oeste ZMC.

RESULTADOS

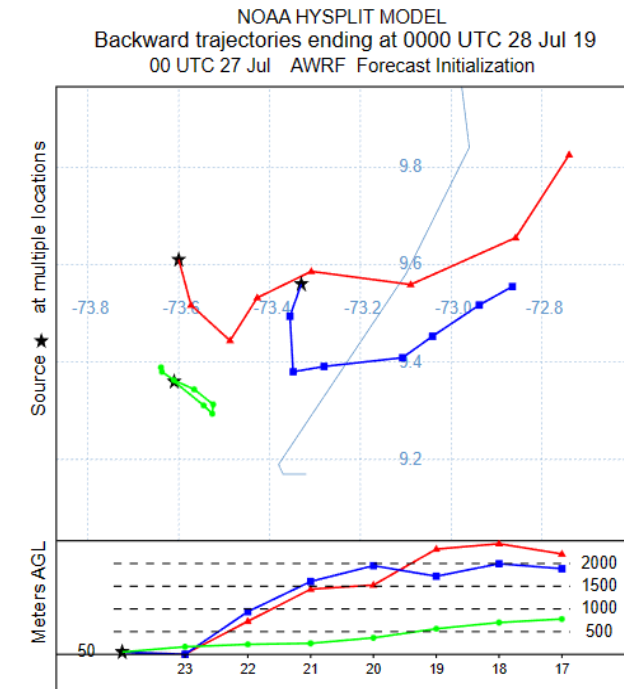
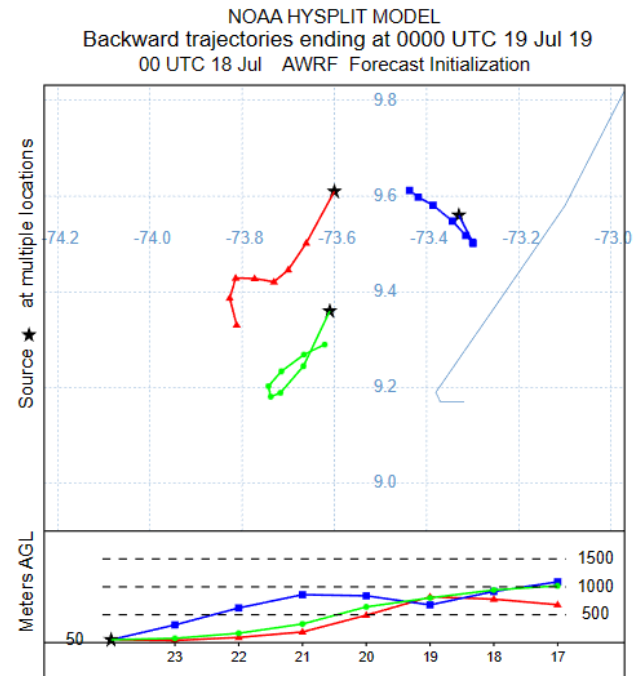
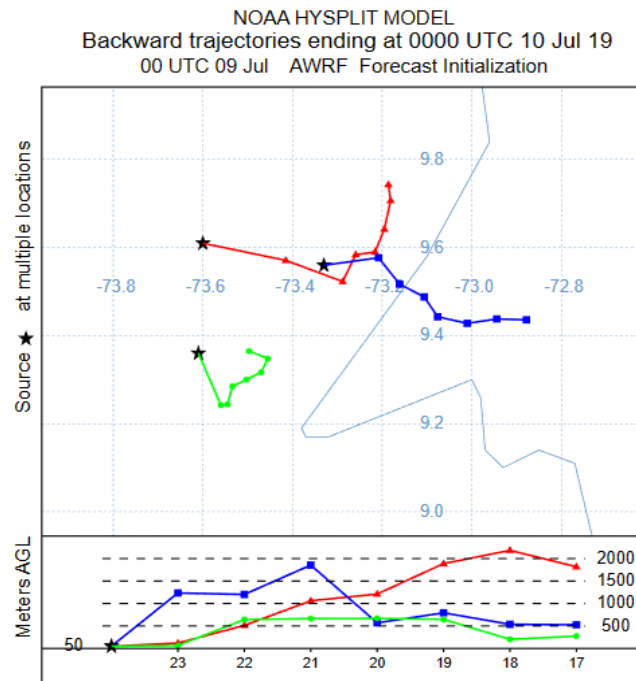


Figura 25. Simulación de retrotrayectorias con Hysplit en julio 2019

RESULTADOS

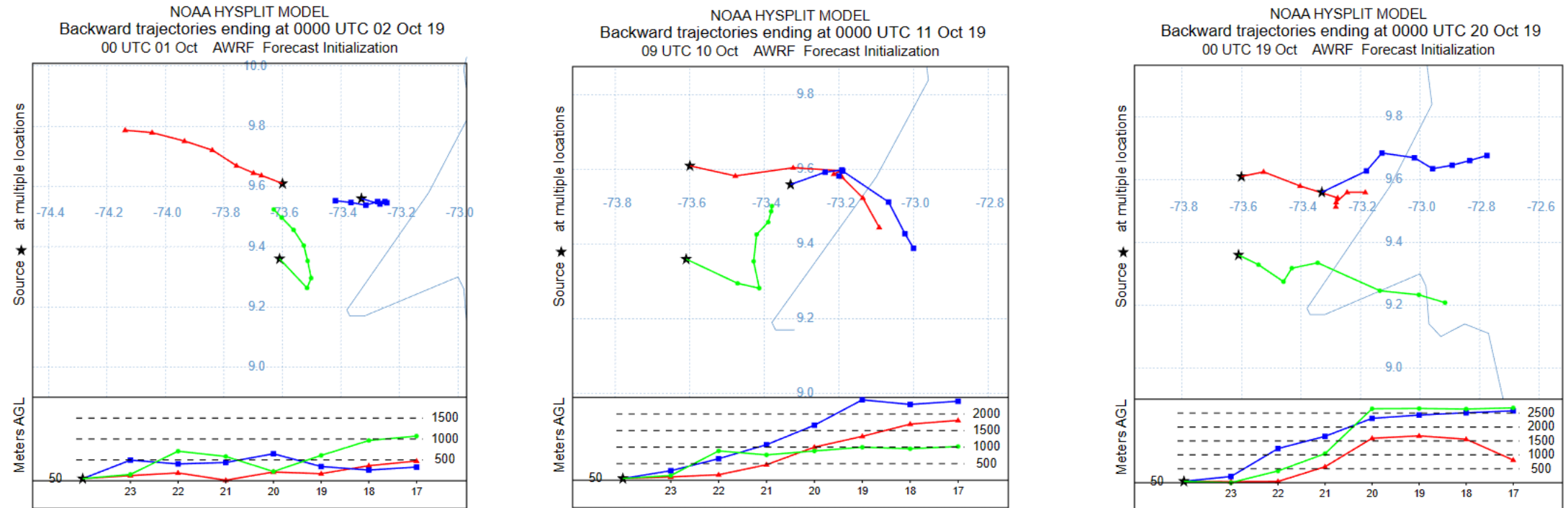


Figura 26. Simulación de retrotrayectorias con Hysplit en febrero de 2020.

RESULTADOS

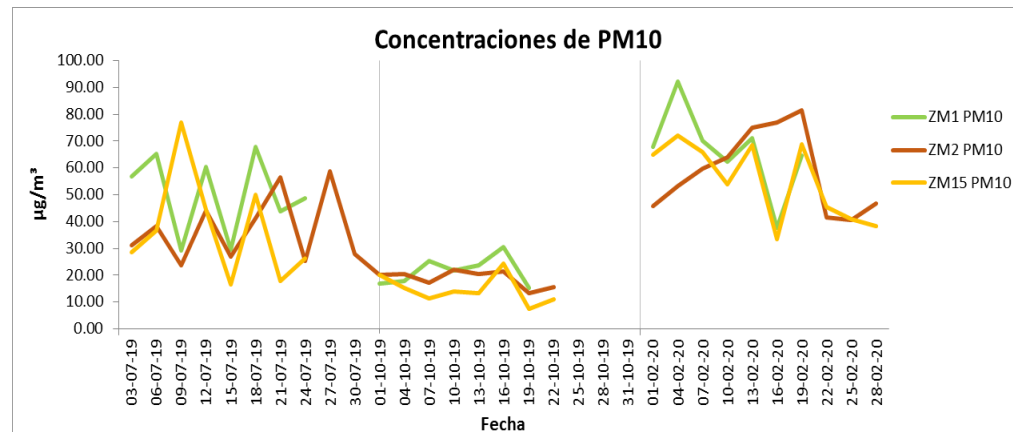


Figura 2. 7datos monitoreados de PM10 del SVCAC.

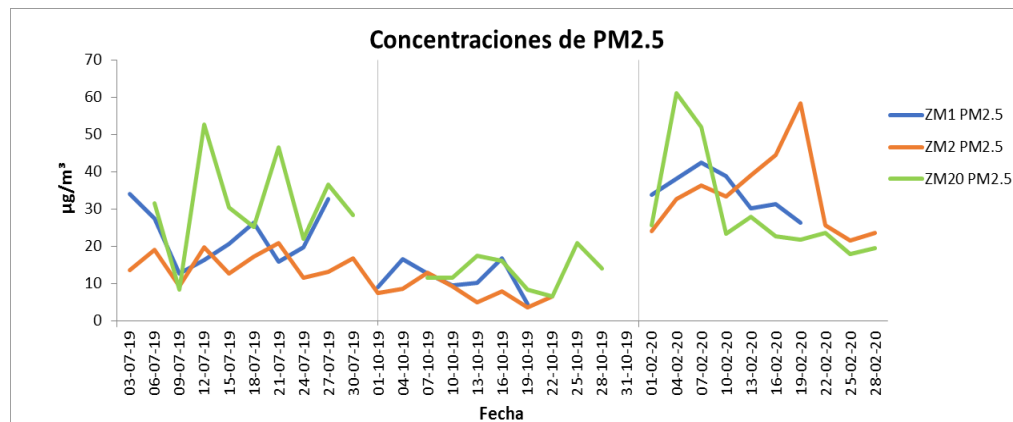


Figura 28 datos monitoreados de PM2.5 del SVCAC.

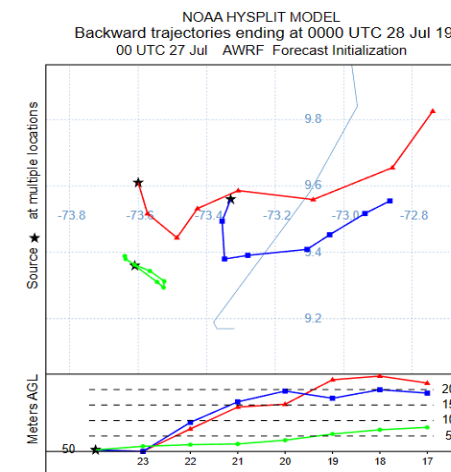


Figura 29. Retrotrayectorias 27 de julio de 2019.

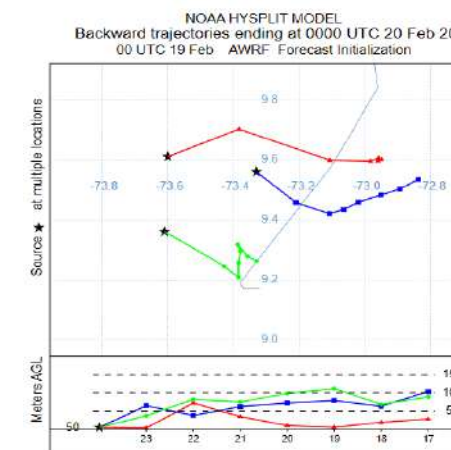


Figura 30 Retrotrayectorias 19 de febrero de 2020..

CONCLUSIONES

En modelo WRF en sus esquemas de capa limite planetaria YSU y MYNN2 representó de forma adecuada la meteorología de la zona de minería de carbón a cielo abierto del departamento del Cesar en el periodo de estudio. Los datos de las variables estudiadas arrojados por los dos esquemas de CLP mostraron tener correspondencia con los datos de cinco estaciones de superficie del SVCAC.

La dinámica atmosférica en la zona es influenciada por la intensidad en la que se pueden presentar los vientos alisios del Nor-este; cuando su influencia es mayor se presenta un desplazamiento de la humedad en la atmosfera de la zona y se dan condiciones de estabilidad

Lineas de corriente y PBLH en (m)
2020-02-04 - A LAS 5

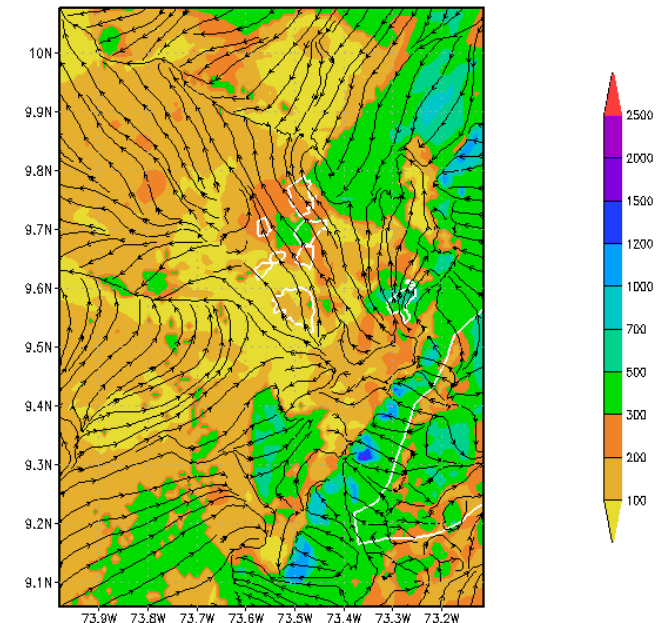


Figura 31. Altura de capa de mezcla en metros y líneas de corriente del viento 04 de febrero 2020.

CONCLUSIONES

Cuando los vientos alisios son menos intensos, en la zona se presentan procesos convectivos que propician la caída de precipitación, lo cual ayuda a atenuar las concentraciones de material particulado, como se pudo observar para el mes de octubre de 2019.

En la zona del piedemonte más cercana a la serranía del Perijá, se observó una influencia notable de los vientos catabáticos procedentes de esta formación montañosa en las horas de la noche y de la madrugada. Además, se destaca en la zona la influencia de los vientos provenientes del sur oeste, que tienen predominancia en épocas de lluvia y que aun en épocas secas logran

Perfil de viento y vel en(m/s) -2020-02-25 - A LAS 5

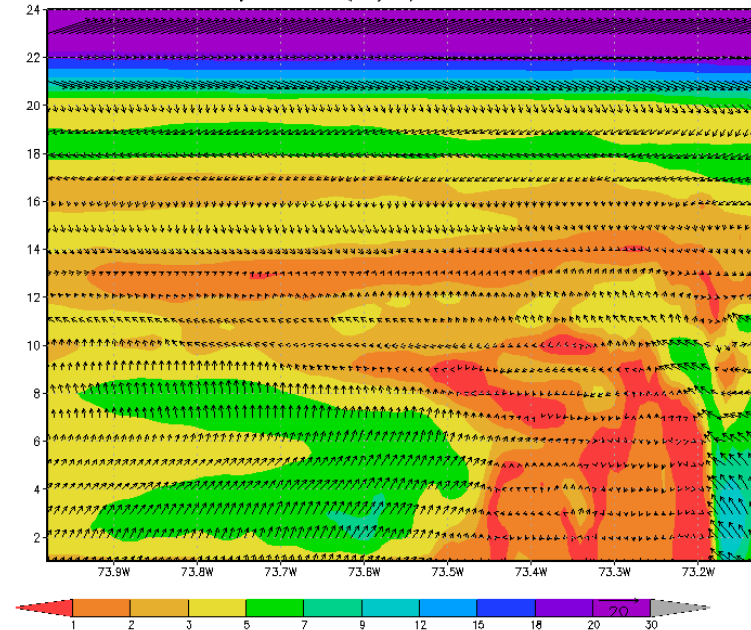


Figura 32 velocidad del viento en la vertical 25 de febrero 2020.

RECOMENDACIONES

Es importante continuar aplicando modelación meteorológica de alta resolución en la zona de minería de carbón a cielo abierto en el departamento del Cesar y acompañarla de instrumentos de medida como radares y radiosondeos.

En el presente estudio se implementó el modelo Hysplit como una herramienta de diagnóstico en la determinación de las causas de los picos de concentración de material particulado PM10 y PM2.5, pero es necesario aplicarla para casos de pronóstico de dichos eventos.



BIBLIOGRAFÍA

- Draxler, R. R., & Hess, G. D. (1998). An overview of the HYSPLIT_4 modeling system for trajectories, dispersion, and deposition. Australian Meteorological Magazine, 47, 295-308.
- Hong, S. Y. (2010). A new stable boundary layer mixing scheme and its impact on the simulated East Asian summer monsoon. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 136(651), 1481–1496.
- Hong, S. Y., Noh, Y., & Dudhia, J. (2006). A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes. Monthly Weather Review, 134,, 2318–2341.
- Mellor, G., & Yamada, T. (1974). A Hierarchy of Turbulence Closure Models for Planetary Boundary Layers. Journal of the Atmospheric Sciences, 31., 1791-1806.
- Nakanishi, M., and H. Niino. (2009). Development of an improved turbulence closure model for the atmospheric boundary layer. J. Meteor. Soc. Japan. 87, 895–912.
- Skamarock, W. C., Klemm, J. G., & University of the Pacific (2001). Prototypes for the WRF (Weather Research and Forecasting) model. Preprints, Ninth Conference on



Gracias DIOS

GRACIAS

joselrodriguez@unicesar.edu.co



Medellín, Colombia

CASAP X

CONGRESO COLOMBIANO Y
CONFERENCIA INTERNACIONAL

DE CALIDAD DE AIRE, CAMBIO CLIMÁTICO Y SALUD PÚBLICA



Más información



<https://casap.science/>



casap@casap.science



Medellín, Colombia

CASAP X

CONGRESO COLOMBIANO Y
CONFERENCIA INTERNACIONAL

DE CALIDAD DE AIRE, CAMBIO CLIMÁTICO Y SALUD PÚBLICA



Más información



<https://casap.science/>



casap@casap.science