

Santiago, 15 de junio de 2023

Mat.: Acompaña Informe que indica.

Ant.: Resolución Exenta N° 5/Rol D-166-2021, de 10 de abril de 2023, de la Superintendencia del Medio Ambiente.

Ref.: Expediente Sancionatorio N° D- 166-2021.

Sra. Carolina Carmona Cortés

Fiscal Instructora de la División de Sanción y Cumplimiento
Superintendencia del Medio Ambiente
Presente

Junto con saludar, **Javier Vergara Fisher**, en representación de **Compañía Contractual Minera Candelaria (CCMC)**, ambos domiciliados para estos efectos en El Bosque Norte 500, oficina 1102, piso 11, comuna de Las Condes, Región Metropolitana, en autos sobre procedimiento administrativo sancionatorio tramitado bajo el Rol N° D-166-2021, a Ud. respetuosamente digo:

Que, en el procedimiento de sanción antes citado, mi representada propuso un Programa de Cumplimiento (10 de mayo de 2023) que recoge todas las observaciones que esta Superintendencia (SMA) informó en Res. Ex. N° 5/Rol D-166-2021.

Que, no obstante lo anterior, en dichas observaciones se solicitó a CCMC el análisis de los efectos en materia de calidad del aire que los hechos infraccionales pudieron haber provocado (Cons. 39 y 68). Al respecto, en el tercer otosí de la presentación de día 10 de mayo de 2023, CCMC informó que requeriría de un nuevo plazo para la elaboración total del análisis de calidad de aire efectuado mediante modelación CALPUFF, debido a la complejidad de que el modelo pueda arrojar resultados fidedignos en tan breve plazo.

Así, los Cons. 22 y 23 de la Res. Ex. N° 7/Rol D-166-2021, si bien no establecen la necesidad de contar con ese nuevo plazo, informan el derecho de este titular de entregar la información que complementa lo indicado en el Programa de Cumplimiento o en el Informe de Efectos, mientras se encuentre pendiente la resolución de este instrumento, por lo que mediante este acto se complementa dicho análisis con el informe “*Resultados modelación de calidad del aire para cargos N° 2, N° 3 y N° 4*” (junio, 2023).

En él, se confirman las conclusiones preliminares que, sobre el particular, se informaron en la presentación de 10 de mayo de 2023, por lo que se solicita a esta SMA tenerlo presente para efectos de analizar los términos del Informe de Efectos y del Programa de Cumplimiento refundido



Candelaria
lundin mining

presentado por CCMC.

Que, por último, se hace presente que dicho informe puede ser descargado desde el siguiente enlace web:
<https://www.dropbox.com/scl/fo/7ar5y3avmb3iz3rgkgs3f/h?dl=0&rlkey=6b5higq7s2gcxmn837859qcd3>

POR TANTO, SOLICITO A UD., se sirva: tener por acompañado el informe antes citado, teniendo por cumplidas las observaciones que, sobre el particular, se establecen en la resolución del ANT.

Sin otro particular, le saluda atentamente,

**JAVIER
VERGARA
FISHER**

Firmado digitalmente
por JAVIER VERGARA
FISHER
Fecha: 2023.06.16
14:48:30 -04'00'

Javier Vergara Fisher
pp. Compañía Contractual Minera Candelaria



RESULTADOS MODELACIÓN DE CALIDAD DEL AIRE
PARA CARGOS N° 2, N° 3 Y N° 4

Compañía Contractual Minera Candelaria

RESOLUCIÓN EXENTA N° 1/ROL D-166-2021

Junio, 2023

1 INTRODUCCIÓN

En el marco del Programa de Cumplimiento presentado con fecha 10 de mayo del 2023 en el marco de la Res. Ex. N°1/Rol D-166-2021 de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), el siguiente documento da cuenta de los principales resultados de las modelaciones de dispersión de contaminantes atmosféricos efectuadas para complementar los análisis de efectos ambientales desarrollados para cargos N°2, N°3 y N°4 del programa de cumplimiento ROL D-118-2021.

En atención a lo anterior, los cargos mencionados corresponden a:

Cargo N°2: "Construcción y operación de una piscina de emergencia o drenaje adicional, de 1.310 m³ de capacidad, que equivale a un 26,2% adicional respecto del total autorizado".

Cargo N°3: "Utilización de una cantidad de explosivos mayor a las 90 ton/día autorizadas, para la realización de cada evento de tronadura, lo que se constata:

Los días 12, 14 y 15 de noviembre de 2018, en 32 ton, 23 ton y 6 ton adicionales, respectivamente, en relación con las 90 ton establecidas en RCA N° 133/2015; y

Durante 124 días, en el período que va entre el 01 de agosto de 2019 y el 30 de abril de 2020, en 136 eventos de tronadura, conforme se indica en la Tabla 12 de la presente Resolución."

Cargo N°4: "Superación en 5 ocasiones del número de tronaduras autorizadas, los días 19 de agosto de 2019, 09 de septiembre de 2019, 11 de diciembre de 2019, 15 y 25 de abril de 2020".

En términos de determinación de efectos ambientales, ambos cargos se relacionan, entre otros aspectos, con el componente aire, particularmente la emisión adicional de material particulado en sus distintas fracciones (MP, MP₁₀ y MP_{2,5}), las cuales se cuantificaron y presentaron en los anexos 4 y 8 del Programa de Cumplimiento Refundido.

Los resultados de esta modelación vienen a complementar las conclusiones del análisis de efectos ya presentado, los cuales se entregan a continuación. Para

mayor información referido a este análisis, se sugiere revisar el apéndice N°1: Modelación de material particulado cargos N°2 y N°4.

2 DETERMINACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE EFECTOS AMBIENTALES

A continuación, se exponen y analizan los resultados obtenidos de las modelaciones de contaminantes realizadas para los hechos infraccionales correspondientes.

2.1 Cargo N°2: Construcción de una piscina de emergencia de 1.310 m³ de capacidad

Conforme lo indicado en la Res. Ex. N°5 / Rol D-166-2021, dentro del anexo 4 del Programa de Cumplimiento Refundido se incorporó, como parte de la evaluación de efectos, la estimación de emisiones asociada a la construcción de la piscina adicional, y operación de esta. Adicionalmente, se realizó la comparación de estas emisiones con la actividad biogénica de la superficie expuesta a erosión eólica, de modo de contrastar y determinar si producto de esta instalación, se generaron emisiones adicionales.

De esta manera, en la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos en relación a las emisiones generadas tanto para la etapa de construcción como operación de la piscina, permitiendo afirmar que existe un total de 14,69 kg de MP₁₀ generados en forma adicional durante la etapa de construcción, puesto que para la operación de ésta, se produce una menor emisión que si no se hubiese construido, asociado a la acción eólica del sector.

Tabla 1. Emisiones resultantes para la construcción y operación de la piscina adicional

Etapa	Fuente/Actividad	Emisiones MP ₁₀ (kg/fase)
Construcción	Movimiento de material	14,69
Operación	Erosión eólica sin piscina de contención	1,12
	Erosión eólica con piscina de contención operativa	0,39

Fuente: Anexo 4 PDC Refundido.

A partir de lo anterior, en el análisis presentado en mayo de 2023 fue posible afirmar que las emisiones resultantes producto de la construcción de la piscina son de baja magnitud, acotadas en el tiempo y no son susceptibles de alterar el

comportamiento de la calidad del aire del sector, lo que se evalúa mediante la modelación efectuada y acompañada a la presente minuta.

La Tabla 2 presenta los resultados de la modelación de MP10 para el Cargo N°2, considerando como receptores de la emisión a las estaciones monitoras de calidad del aire TAMA y Nantoco.

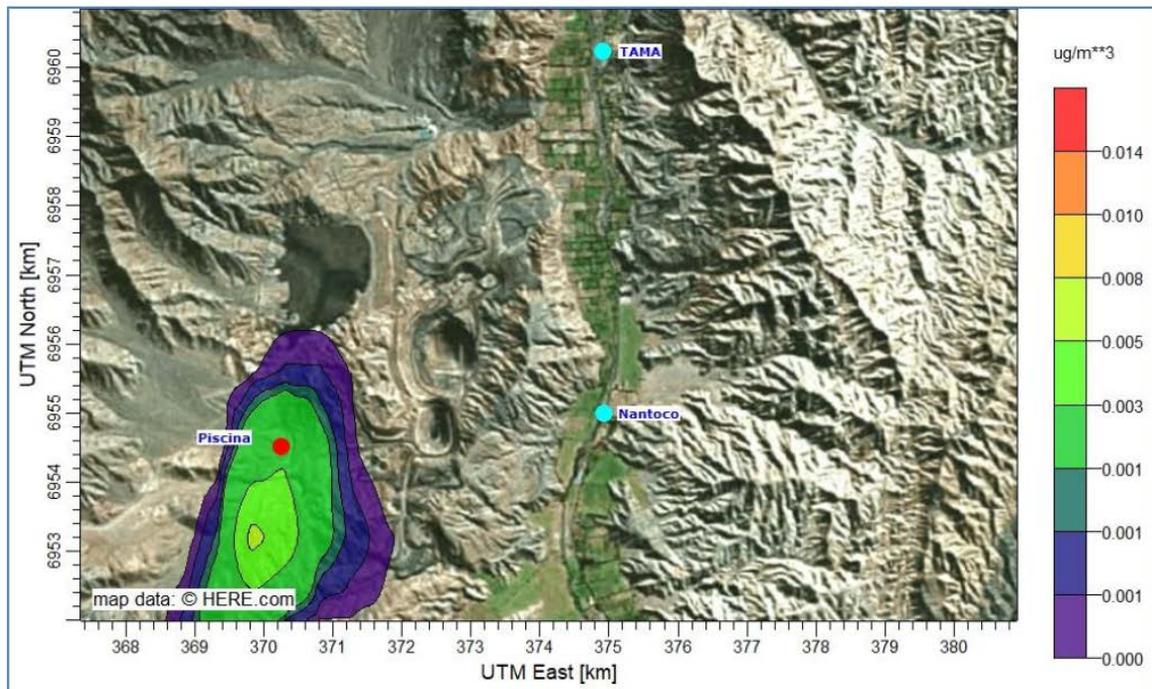
Tabla 2. Resultados modelación MP10 Cargo N°2

Mes	MP ₁₀ (µg/m ³)					
	Modelado		Observado		Aporte Piscina a lo observado	
	Nantoco	TAMA	Nantoco	TAMA	Nantoco	TAMA
ene-2018	0,00001	0,00001	28	53	0,00004%	0,00002%

Fuente: Modelación de MP10 cargo N°2 – Geoaire.

Adicionalmente, la Figura 1 presenta la isolínea mensual, visualizando el bajo impacto en las estaciones monitoreadas, debido a que la pluma se dirige hacia el sur de la fuente, y adicionalmente, los máximos de concentración se producen dentro de faena Candelaria.

Figura 1. Pluma de dispersión media mensual MP10



Fuente: Modelación de MP10 cargo N°2 – Geoaire.

2.2 Cargos N°3 y N°4: Tronaduras superior a lo autorizado

El inventario de emisiones presentado dentro del anexo 8 del Programa de Cumplimiento Refundido, como parte de la evaluación de efectos de los Cargos N°3 y N°4 establece el diferencial de las emisiones producidas bajo un escenario sin infracción (evaluado ambientalmente), en contraste con el escenario realmente efectuado, permitiendo obtener las emisiones adicionales generadas y evaluar su contribución con relación a las emisiones totales determinadas para el proceso de tronadura en particular.

A partir de lo anterior, el análisis efectuado permitió identificar que en el marco del cargo N°3 no se generan emisiones adicionales que requieran, por consiguiente, de una modelación atmosférica, mientras que las emisiones adicionales asociadas al cargo N°4, son presentadas dentro de la Tabla 3.

Tabla 3. Emisiones diarias adicionales a lo autorizado para más de dos tronaduras diarias

Fecha	N° Tronaduras	MPS (kg)	MP ₁₀ (kg)	MP _{2,5} (kg)
19/8/2019	4	292,8	152,2	8,8
09/9/2019	3	87,6	45,6	2,6
11/12/2019	3	96,2	50,0	2,9
15/4/2020	3	86,5	45,0	2,6
25/4/2020	3	-35,4	-18,4	-1,1

Fuente: Anexo 8 PDC Refundido.

Así, es posible identificar las siguientes emisiones producto de la ejecución de más de dos (2) tronaduras diarias entre agosto del 2019 y abril del 2020.

- MPS: 563,1 kg.
- MP₁₀: 292,8 kg.
- MP_{2,5}: 16,9 kg.

Cabe destacar que lo referido al día 25/04/2020, si bien denota una menor emisión respecto a lo autorizado (conforme lo presentado en la Tabla 1), no fue restado para el cálculo total indicado anteriormente, sino que se consideró como emisión adicional cero.

A partir de lo anterior, se realizan modelaciones de dispersión de forma diaria, para así determinar la potencial contribución a la calidad del aire producto de las emisiones asociadas a las tronaduras adicionales en faena Candelaria. Los resultados de este ejercicio se presentan de la Tabla 4 a Tabla 6.

Tabla 4. Resultados modelación MPS Cargo N°4

Mes	MPS (mg/m ² -d)	
	Modelado	
	Nantoco	TAMA
15/04/2020	0,2406	0,0000
19/08/2019	0,0000	0,0000
09/09/2019	0,0004	0,0003
11/12/2019	0,0557	0,0038

Fuente: Modelación de MP10 cargo N°4 - Geoaire.

Tabla 5. Resultados modelación MP10 Cargo N°4

Mes	MP ₁₀ (µg/m ³)					
	Modelado		Observado		Aporte tronaduras a lo observado	
	Nantoco	TAMA	Nantoco	TAMA	Nantoco	TAMA
15/04/2020	0,2047	0,0000	28	33	0,73%	0,00%
19/08/2019	0,0000	0,0000	51	83	0,00%	0,00%
09/09/2019	0,0024	0,0016	32	50	0,01%	0,00%
11/12/2019	0,0684	0,0027	44	64	0,16%	0,00%

Fuente: Modelación de MP10 cargo N°4 - Geoaire.

Tabla 6. Resultados modelación MP2,5 Cargo N°4

Mes	MP _{2,5} (µg/m ³)					
	Modelado		Observado		Aporte tronaduras a lo observado	
	Nantoco	TAMA	Nantoco	TAMA	Nantoco	TAMA
15/04/2020	0,0118	0,0000	10	18	0,12%	0,00%
19/08/2019	0,0000	0,0000	9	12	0,00%	0,00%
09/09/2019	0,0002	0,0001	7	7	0,00%	0,00%
11/12/2019	0,0040	0,0002	8	13	0,05%	0,00%

Fuente: Modelación de MP10 cargo N°4 - Geoaire.

A partir de lo anterior, es posible visualizar que el aporte a las concentraciones observadas en las estaciones de monitoreo no sobrepasa en ningún caso el 1%, considerándose despreciables. El máximo de concentración captado por las estaciones de monitoreo corresponde al día 15/04/2020 con un máximo de 0,2 µg/m³ de MP₁₀ para la estación Nantoco, representando un 0,73% respecto a lo medido en la estación de forma diaria.

3 CONCLUSIONES

En conformidad a lo señalado en los acápite anteriores, el análisis efectuado permite ratificar las conclusiones expuestas en los análisis de efectos desarrollados en el marco de los cargos N°2, N°3 y N°4 y presentados en mayo del 2023, es decir que no se han generado efectos sobre la calidad del aire producto de los hechos infraccionales, toda vez que:

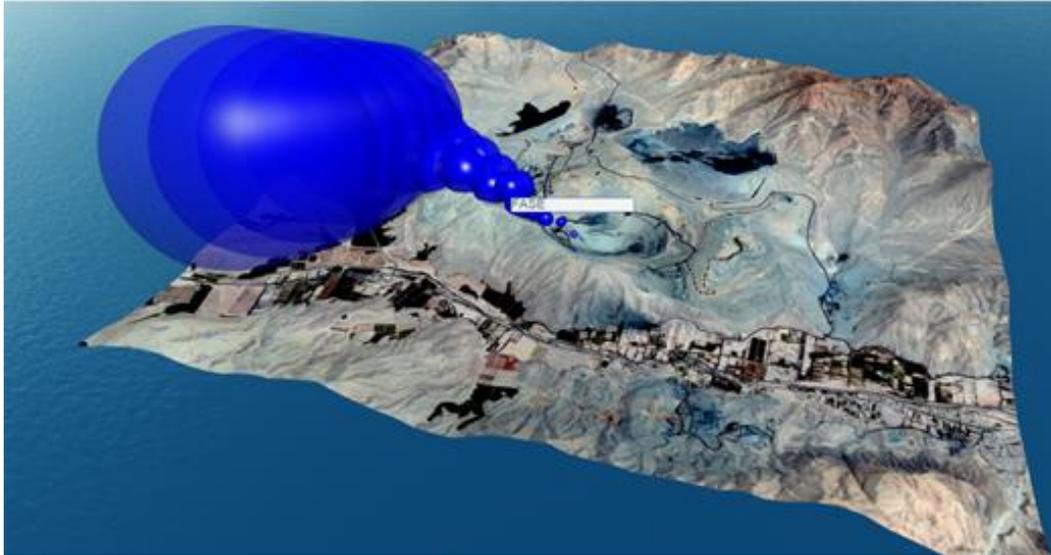
- Las emisiones resultantes producto de la construcción de la piscina (cargo N°2) son de baja magnitud, acotadas en el tiempo y no son susceptibles de alterar el comportamiento de la calidad del aire del sector, lo cual se ratifica en la modelación de dispersión de MP_{10} efectuada, presentando una concentración mensual de $1 \cdot 10^{-5} \mu\text{g}/\text{m}^3$, representando un 0,00004% respecto a lo medido en estación Nantoco para el mes de enero del 2018.
- No se identifican emisiones adicionales asociadas al hecho infraccional N°3, donde si bien se visualiza un aumento de las emisiones para algunos días durante el periodo infraccional producto del uso mayor de explosivos, al compararse con la emisión evaluada a partir de dos (2) tronaduras por día, se calcula una emisión real en el periodo inferior a ésta, para los tres (3) contaminantes en estudio.
- Las emisiones adicionales cuantificadas producto de las tronaduras adicionales a lo permitido (2 diarias) consignadas en el cargo N°4, no generan un efecto cuantificable en términos de concentración medida por las EMCA, toda vez que no se percibe de forma directa la variación de estos parámetros medidos, adicionalmente estas representan un aporte menor al 1% en los receptores identificados (estaciones de monitoreo de calidad del aire), reflejando una baja contribución en los datos medidos en ellas, evidenciando que no se produjo una afectación a la calidad del aire de la zona.

4 APÉNDICES

- Apéndice 1: Modelación de material particulado cargos N°2 a N°4.

MODELACIÓN PLUMA MATERIAL PARTICULADO

CARGOS N° 2 Y N° 4 / ROL D-166-2021



Elaborado por:

GEOAIRE AMBIENTAL SpA.

Para:

ECOS Chile

14 de junio 2023

N° Proyecto	Elaboración		Revisión A		Revisión B		Versión	
G10-23	ESM	13-06-23	MTV	13-06-23	PSH	14-06-23	V	2

ESTUDIO DESARROLLADO POR:

Dr. Ing. Pedro Sanhueza H.
Evelyn Salazar M.
Mónica Torreblanca V.
Daniel Gutiérrez L.

Jefe de Proyecto
Modelación de Calidad del Aire
Modelación de Calidad del Aire
Apoyo Informático

CONTRAPARTE TÉCNICA:

Ivonne Quintana

ECOS Chile

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	4
1.1	OBJETIVOS.....	4
1.2	LOCALIZACIÓN DE LAS FUENTES CONSTITUTIVAS DE INFRACCIÓN	5
2	CALIDAD DEL AIRE Y METEOROLOGIA EN LA ZONA.....	6
2.1	CALIDAD DEL AIRE.....	6
2.2	DESCRIPCIÓN METEOROLÓGICA.....	8
2.2.1	METEOROLOGÍA DÍAS DEL CARGO N° 2.....	8
2.2.2	METEOROLOGÍA DÍAS DEL CARGO N° 4.....	11
3	INVENTARIO DE EMISIONES	20
3.1	CARGO N° 2.....	20
3.2	CARGO N° 4.....	20
4.	MODELACIÓN METEOROLÓGICA.....	21
4.1	ANÁLISIS DE LA MODELACIÓN METEOROLÓGICA.....	29
4.1.1	ANÁLISIS SECTOR MINA.....	29
4.2	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA METEOROLOGIA MODELADA CON LA METEOROLOGIA OBSERVADA DE LOS CARGOS N°2 Y N°4.....	56
5	MODELACIÓN CALIDAD DEL AIRE.....	65
5.1	CARGO N° 2.....	67
5.2	CARGO N° 4.....	68
6	CONCLUSIONES.....	75

1 INTRODUCCIÓN

La Compañía Minera Candelaria ha sido sancionada por la SMA, con seis cargos, dos de los cuales están relacionados con incumplimientos en el proceso de tronadura y debido a la construcción en exceso de una piscina de emergencia.

El Plan de cumplimiento (PDC) requiere entre otras cosas, la estimación del efecto, en términos de concentraciones y tasas de depositación de material particulado, que fueron aportados por las tronaduras (5 días) y la construcción de la piscina. Cabe notar que aun cuando el día 25 de abril del 2020 está mencionado en el Cargo N° 4, éste día no se considera en el análisis, pues se emitió menos de lo autorizado por RCA, en base a la estimación presentada en el PDC refundido considerando dos tronaduras por día.

Específicamente, los cargos que se analizan en este Informe son:

Cargo N° 2: Construcción y operación de una piscina de emergencia o drenaje adicional, de 1.310 m³ de capacidad, que equivale a un 26,2% adicional respecto del total autorizado (5.000 m³).

Cargo N° 4: Superación en 5 ocasiones del número de tronaduras autorizadas, los días

- 19 agosto 2019
- 9 septiembre 2019
- 11 diciembre 2019
- 15 abril 2020
- 25 abril 2020

Por lo anterior, se ha realizado una modelación de calidad del aire, para cada uno de los eventos relacionados con el incumplimiento.

Cabe notar que todas las modelaciones de material particulado que se presentan en este informe, consideran como fuente sólo las emisiones de las tronaduras y la construcción de la piscina, por tanto, lo que se presenta son los aportes o contribuciones de éstas fuentes en específico sobre la calidad del aire en su entorno, y en especial, el aporte registrado en las estaciones monitoras del área (TAMA y Nantoco).

1.1 OBJETIVOS

El objetivo de este estudio, es modelar el comportamiento de las emisiones de material particulado (MP, MP10, y MP2,5), debido a las tronaduras en exceso y la construcción de un volumen adicional de la piscina autorizada, para determinar su contribución a la calidad del aire.

1.2 LOCALIZACIÓN DE LAS FUENTES CONSTITUTIVAS DE INFRACCIÓN

La Figura 1.1 presenta la localización de la faena de Candelaria (CCMC), y su entorno. Además se muestran las zonas donde se ejecutan las tronaduras y donde está la piscina de emergencia.

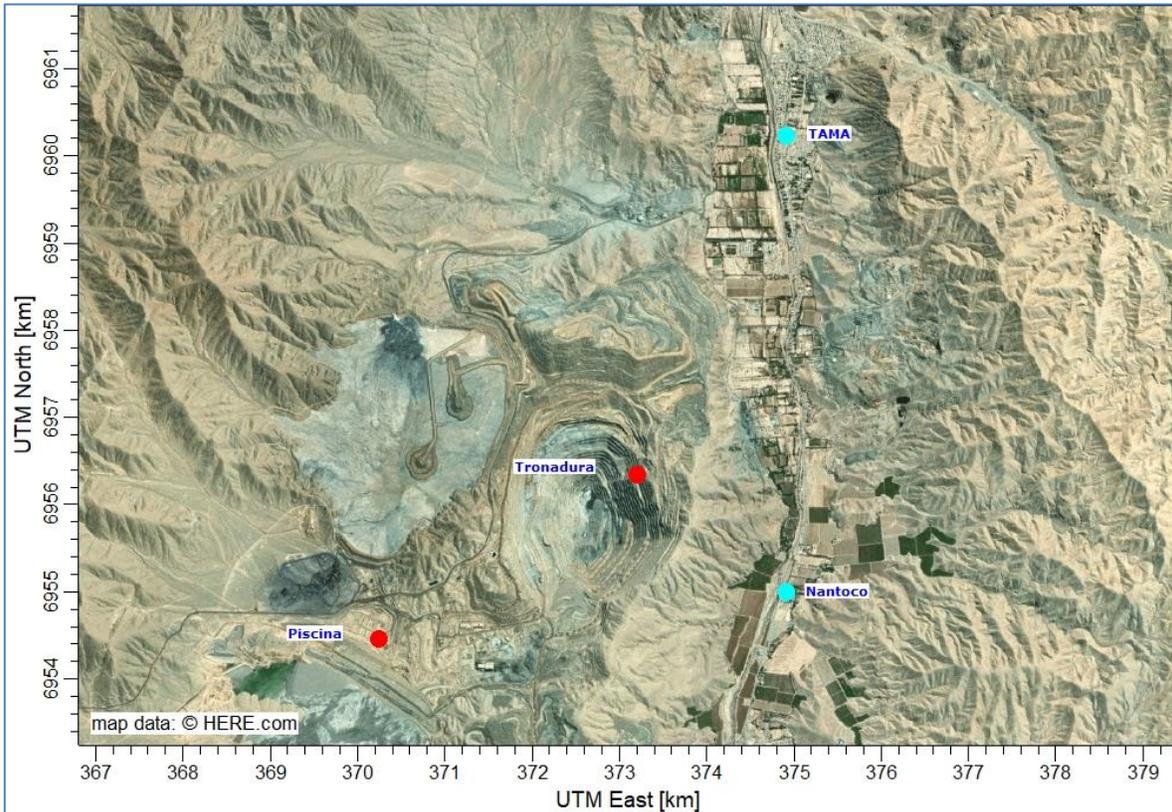


Figura 1.1: Localización de la faena de Candelaria, las fuentes constitutivas de infracción, y de las estaciones monitoras de calidad del aire en la zona

2 CALIDAD DEL AIRE Y METEOROLOGIA EN LA ZONA

2.1 CALIDAD DEL AIRE

En la zona se registran las concentraciones de MP2,5 y MP10, y además, las tasas de depositación de material particulado (MPS).

Las concentraciones de MP2,5 y MP10 se registran en forma diaria, sin embargo, las tasas de depositación de material particulado tienen frecuencia mensual. Esto se relaciona con los tiempos normados de cada contaminante.

La Tabla II.1 muestra los valores normados para cada contaminante evaluado en este informe. Cabe notar que no existe norma de MPS en la zona, por tanto, se utiliza como referencia, aquella considerada en el EIA de Candelaria.

Tabla II.1: Normas de calidad del aire por contaminante

Contaminante	Cuerpo Legal	Métrica	Valor
MP10	DS N° 12/22 del MINSEGPRES(4), modificada por D.S.N° 45/01 del MINSEGPRES	Promedio aritmético de tres años calendario consecutivos	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$
		Percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un período anual	130 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$
MP2,5	DS N° 12/11 del MMA	Promedio tri-anual de las concentraciones anuales	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		Percentil 98 de los promedios diarios registrados durante un año	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Material Particulado Sedimentable (MPS) (*)	Ordenanza de la Confederación Suiza, Sobre Control de Contaminación del Aire, de 1993.	Media Anual	200 $\text{mg}/\text{m}^2\text{-día}$

(*): Norma de referencia:

Las concentraciones de MP10, durante el mes de enero del 2018 (Cargo N° 2), en las estaciones de TAMA y Nantoco, se muestra en la Tabla II.2.

MES	MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	Observado	
	TAMA	Nantoco
Enero 2018	53	28

Las concentraciones de MP2,5 y MP10, registradas en las estaciones monitoras de TAMA y Nantoco, para los días del Cargo 4 se muestran en la Tabla II.3. De ella se observa que en ningún día se supera el valor de la norma de calidad del aire diaria para el MP2,5 ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ni para el MP10 ($130 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tabla II.3: Concentraciones de MP2,5 y MP10 en los días en que hubo infracción

Fecha	MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	TAMA	Nantoco	TAMA	Nantoco
19-Ago-2019	12	9	83	51
09-Sep-2019	7	7	50	32
11-Dic-2019	13	8	64	44
15-Abr-2020	18	10	33	28

2.2 DESCRIPCIÓN METEOROLÓGICA

Se realizó un análisis de las variables meteorológicas que ocurrieron durante el mes del Cargo N° 2, y de los días del Cargo N° 4.

2.2.1 METEOROLOGÍA DÍAS DEL CARGO N° 2

El Cargo N°2, asociado a la construcción de un volumen adicional de 1.310 m³ de una piscina de emergencia, se evalúa para el mes de enero del 2018.

La velocidad del viento corresponde al aire en movimiento, y su patrón estacional, diurno y horario permite caracterizar las zonas de influencia y hasta dónde podrían llegar los contaminantes emitidos en un área.

La dirección del viento indica hacia donde viajan los contaminantes, y es una variable clave en la determinación del efecto de una fuente emisora sobre un receptor de interés. Para analizar esta variable se elaboran las rosas de los vientos.

La Tabla II.1 muestra los estadígrafos de la velocidad y dirección del viento, para el mes de enero del 2018 y las métricas anuales. De ella se observa que el mes cuando se trabajó en la construcción de la piscina, las condiciones fueron muy parecidas al promedio del año, por tanto, no ocurrieron condiciones adversas para la dispersión.

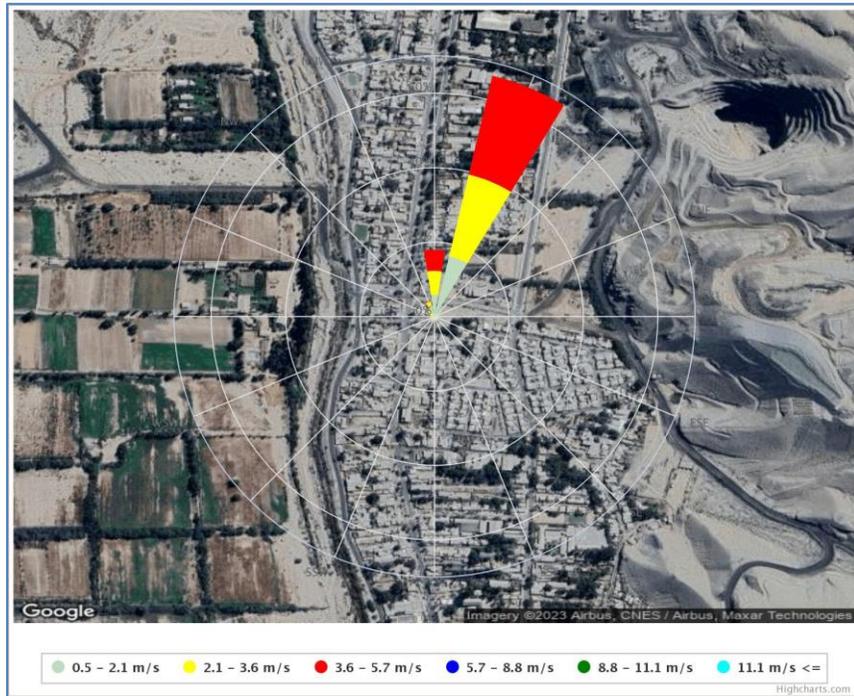
Además, de la Tabla II.1 se observa que las variables de viento se comportan de forma similar en ambas estaciones.

Tabla II.1: Estadísticas del viento período Cargo N° 2

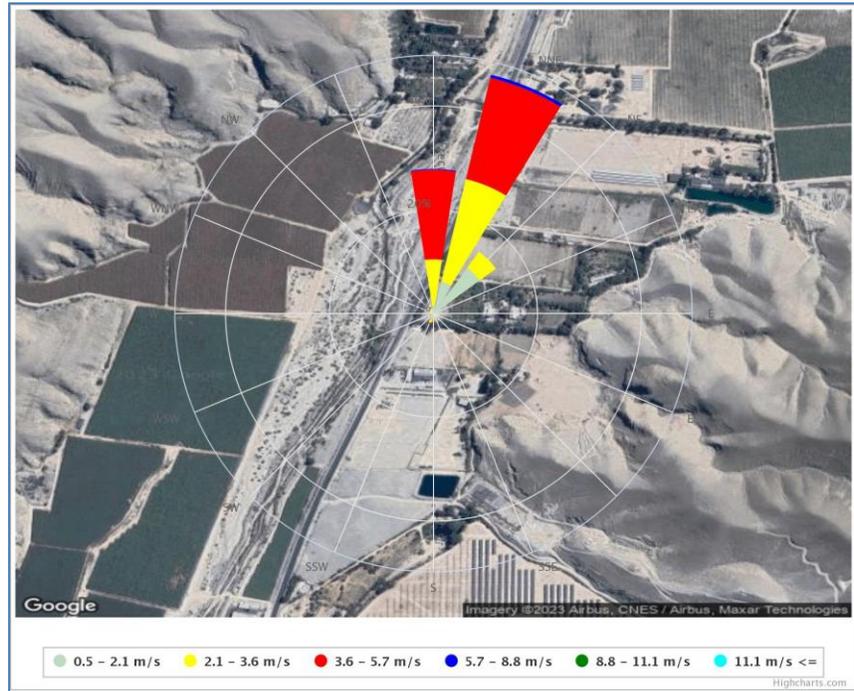
Variable Vientos	Estación TAMA		Estación Nantoco	
	Enero 2018	Anual	Enero 2018	Anual
Velocidad (m/s)	2.8	2.3	3.1	2.6
Dirección (°)	11	13	17	27

La Figura 2.1 muestra las rosas de viento para ese mes. De ellas se observa que en la zona existe una componente principal de los vientos, que soplan desde el nor-este hacia el sur-oeste, lo cual se condice con la topografía de la zona.

La Figura 2.2 muestra el ciclo diario de la velocidad del viento. De ella se observa un patrón similar en ambas estaciones, con las mayores intensidades de viento entre las 12:00 y las 19:00 horas.

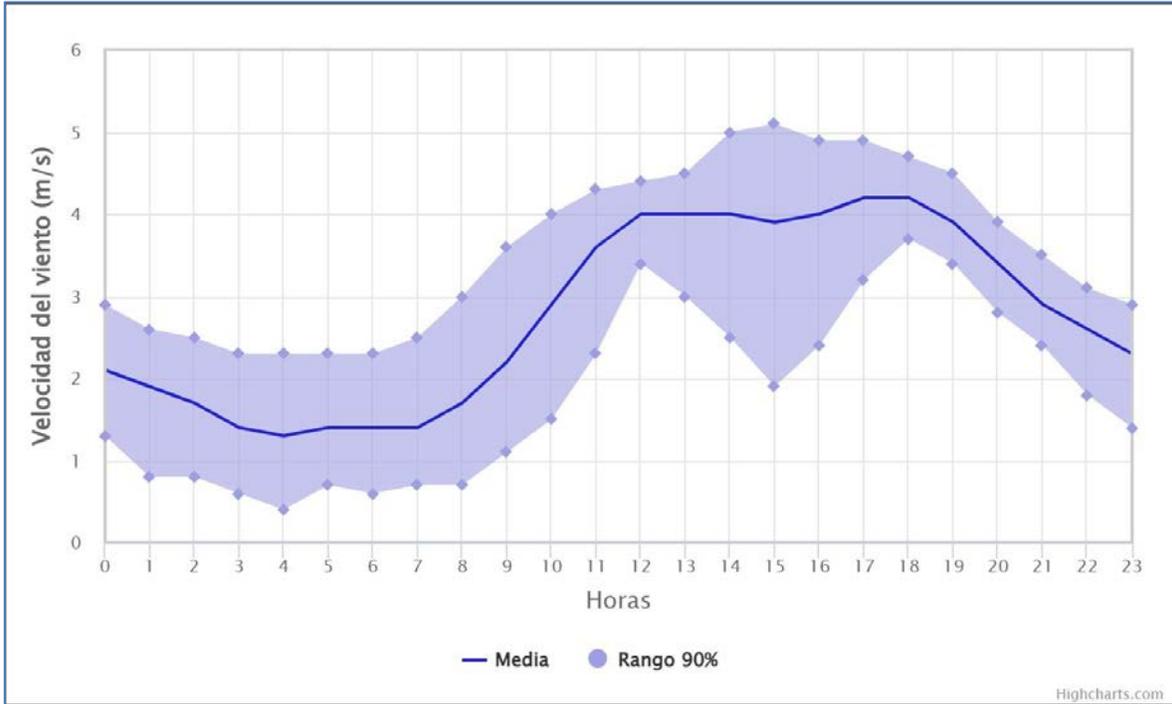


(a) Estación TAMA

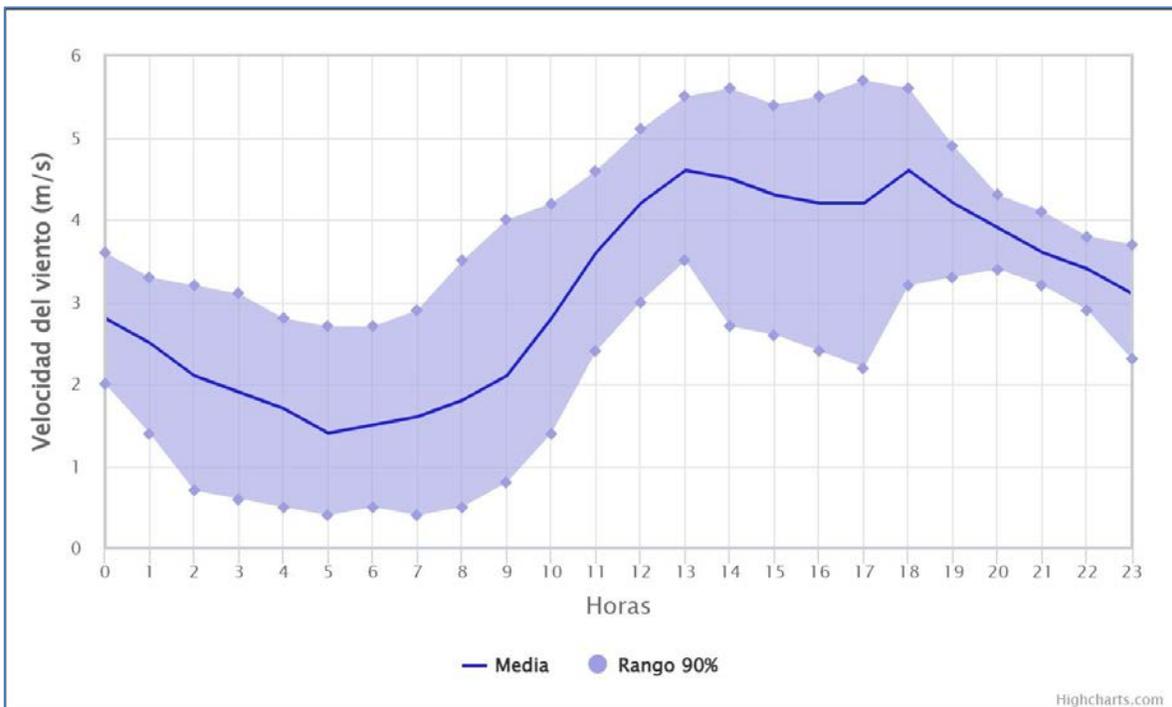


(b) Estación Nantoco

Figura 2.1: Rosas de vientos Enero 2018



(a) Estación TAMA



(b) Estación Nantoco

Figura 2.2: Ciclo diario de la velocidad del viento - Enero 2018

2.2.2 METEOROLOGÍA DÍAS DEL CARGO N° 4

Las condiciones meteorológicas asociadas al Cargo N°4, que corresponde a las tronaduras en exceso, ocurridas los días 19 de agosto, 9 de septiembre y 11 de diciembre del 2019, y 15 de abril del 2020, se evalúan considerando las velocidades y direcciones del viento de cada día.

La Tabla II.2 muestra los estadígrafos de la velocidad y dirección del viento, para cada día en que se ejecutaron tronaduras en exceso. De ella se observa que el mes cuando se trabajó en la construcción de la piscina, las condiciones fueron muy parecidas al promedio del año, por tanto, no ocurrieron condiciones adversas para la dispersión.

De la Tabla II.2 se observa que existe variabilidad en el comportamiento de la meteorología entre los días, y en especial en las direcciones del viento entre estaciones, sin embargo, la intensidad del viento muestra variación entre los días, pero no así entre las estaciones para un mismo día.

Tabla II.1: Estadísticas del viento período Cargo N° 2

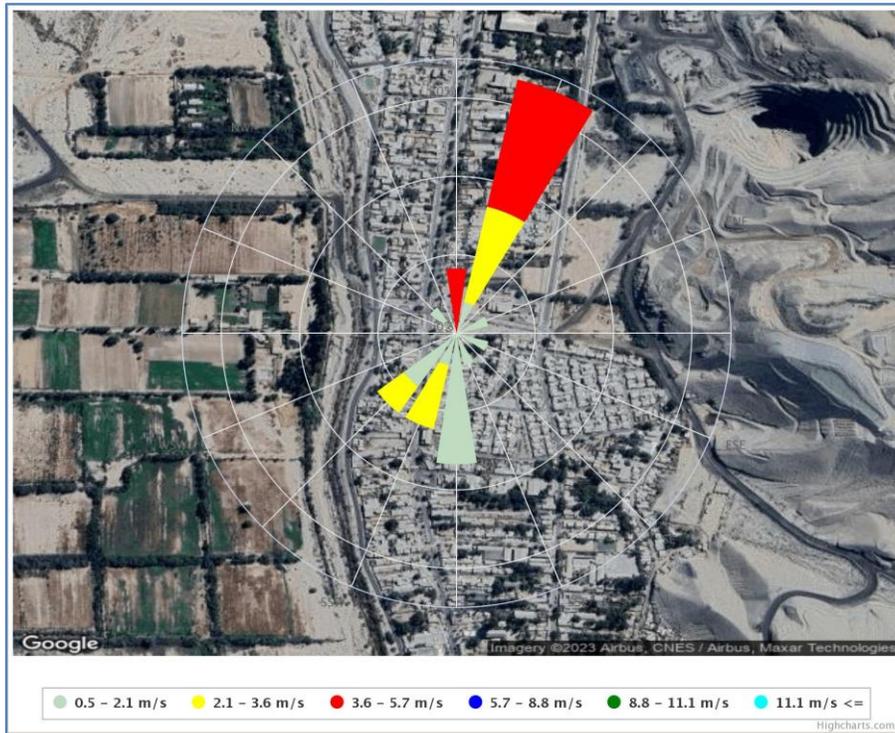
Fecha	Variable Vientos	Estación TAMA	Estación Nantoco
19-Ago-2019	Velocidad (m/s)	2.2	2.2
	Dirección (°)	58	47
09-Sep-2019	Velocidad (m/s)	1.6	1.6
	Dirección (°)	6	72
11-Dic-2019	Velocidad (m/s)	3.0	3.3
	Dirección (°)	27	52
15-Abr-2020	Velocidad (m/s)	2.1	2.1
	Dirección (°)	40	33

Las rosas de viento para los días 19 de agosto, 9 de septiembre, y 11 de diciembre del 2019, y del día 15 de abril del 2020, en estación TAMA y Nantoco, se muestran en las Figuras 2.3 a 2.6, respectivamente.

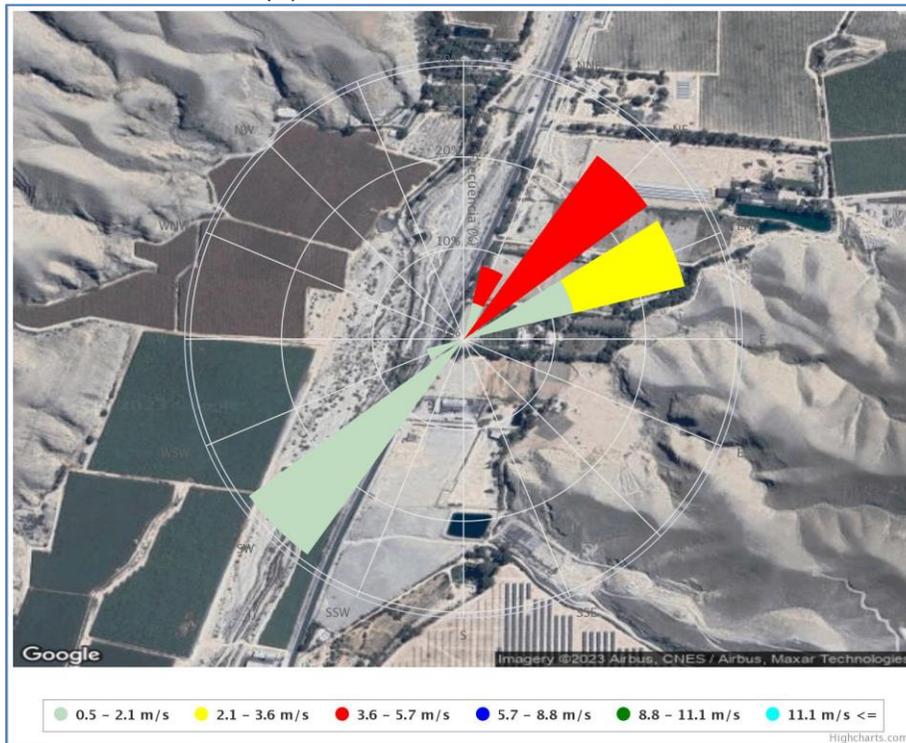
De las Figuras 2.3 a 2.6 se observa que durante esos días, los vientos se dirigieron principalmente hacia el sur-oeste, con pequeñas frecuencias hacia el nor-este durante el período nocturno.

En particular, a las 14:00 horas (hora de la Tronadura), el viento se dirigía con mayor intensidad hacia el sur-oeste.

Las Figuras 2.7 a 2.10, muestran el ciclo diario de la velocidad del viento para cada día del Cargo N° 4. De ella se observa un patrón similar en ambas estaciones, con mayores intensidades de viento ocurren alrededor de las 14:00 horas, tiempo que coincide con la ejecución de las tronaduras.

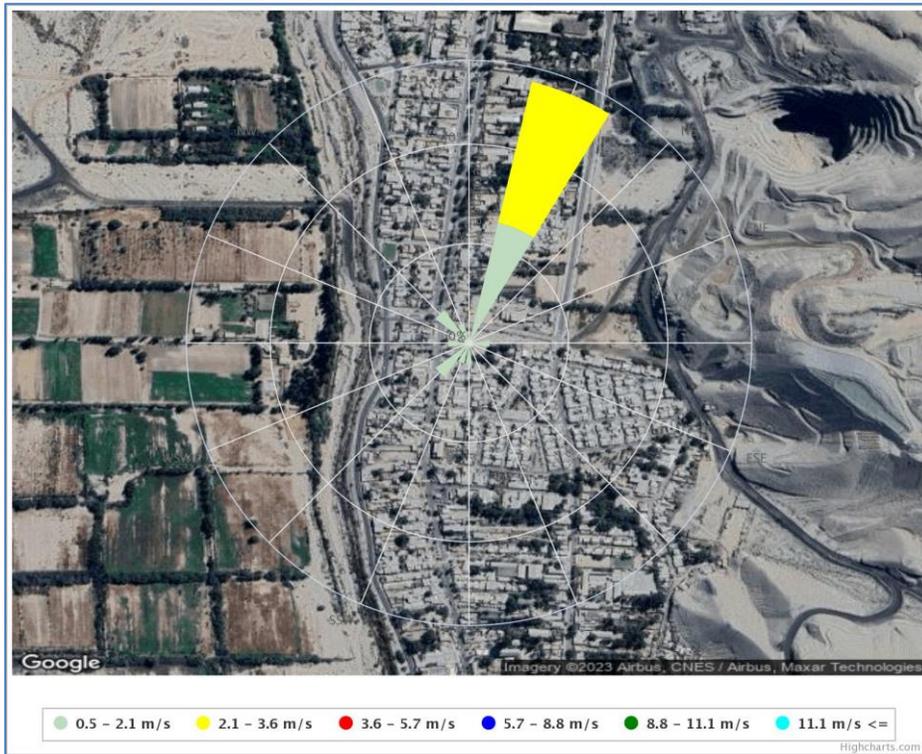


(a) Estación TAMA

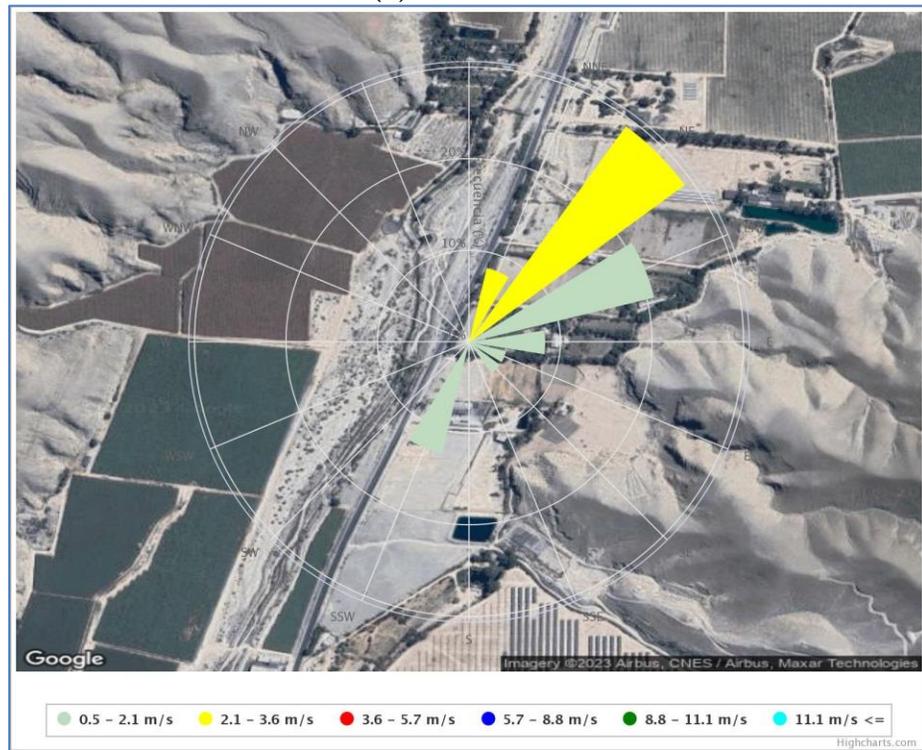


(b) Estación Nantoco

Figura 2.3: Rosas de viento día 19 de Agosto del 2019

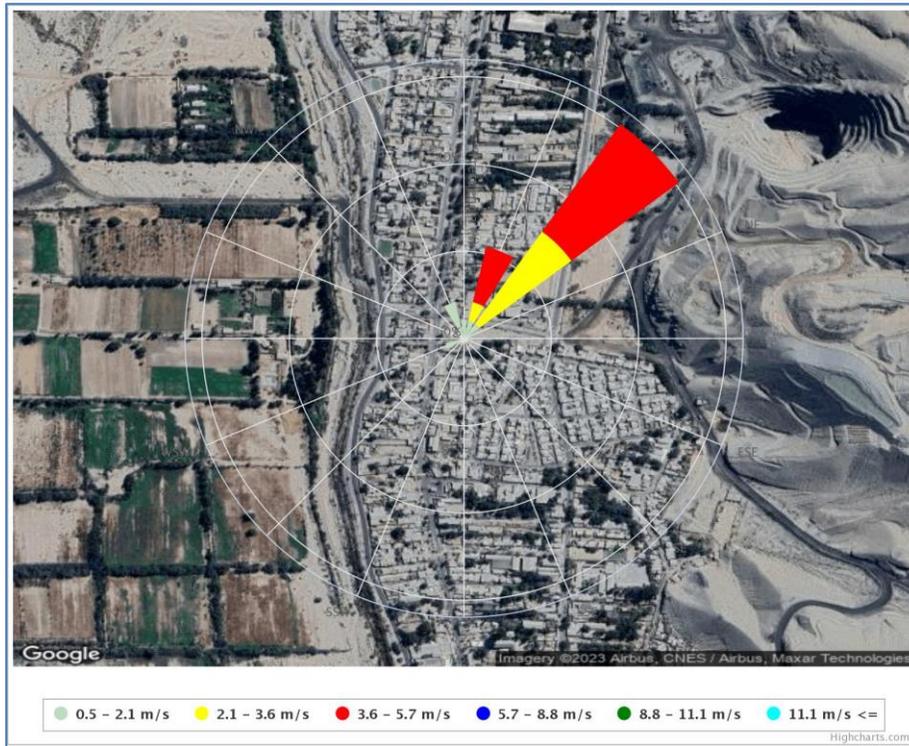


(a) Estación TAMA

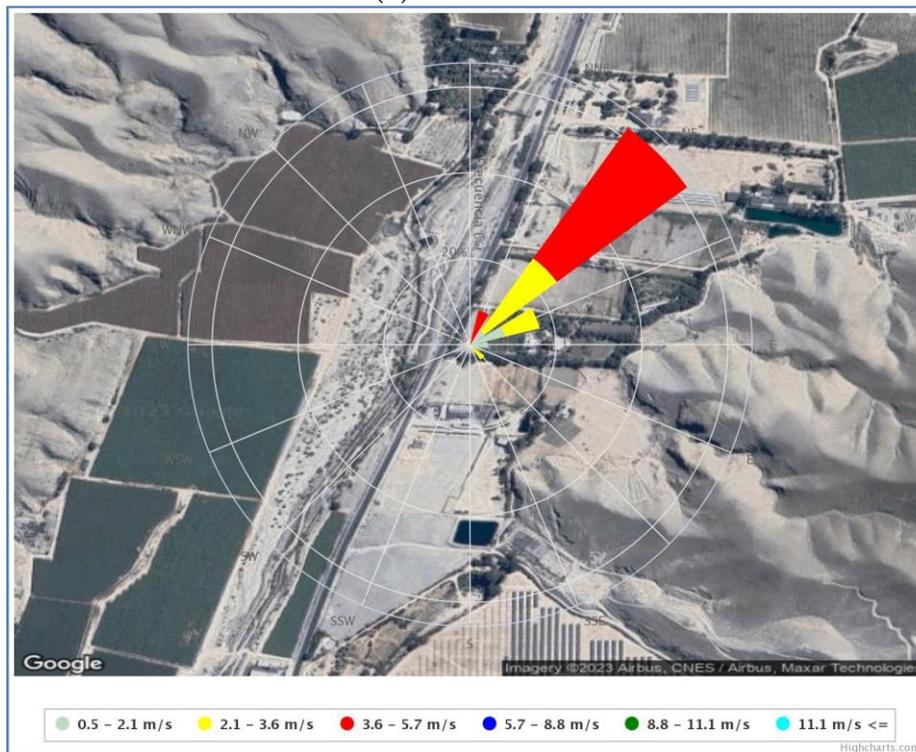


(b) Estación Nantoco

Figura 2.4: Rosas de viento día 9 de Septiembre del 2019

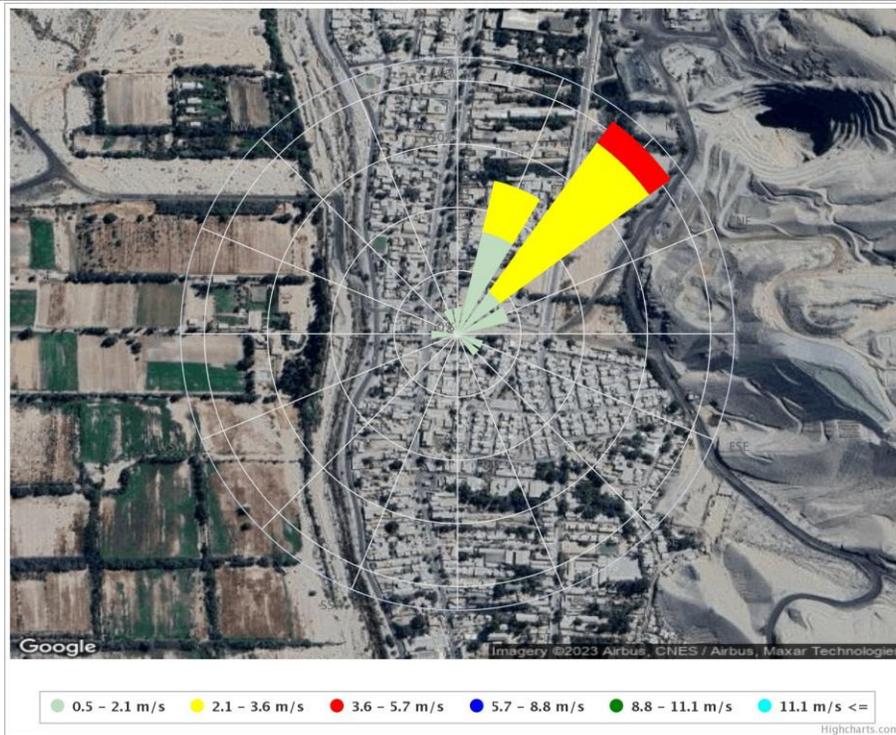


(a) Estación TAMA

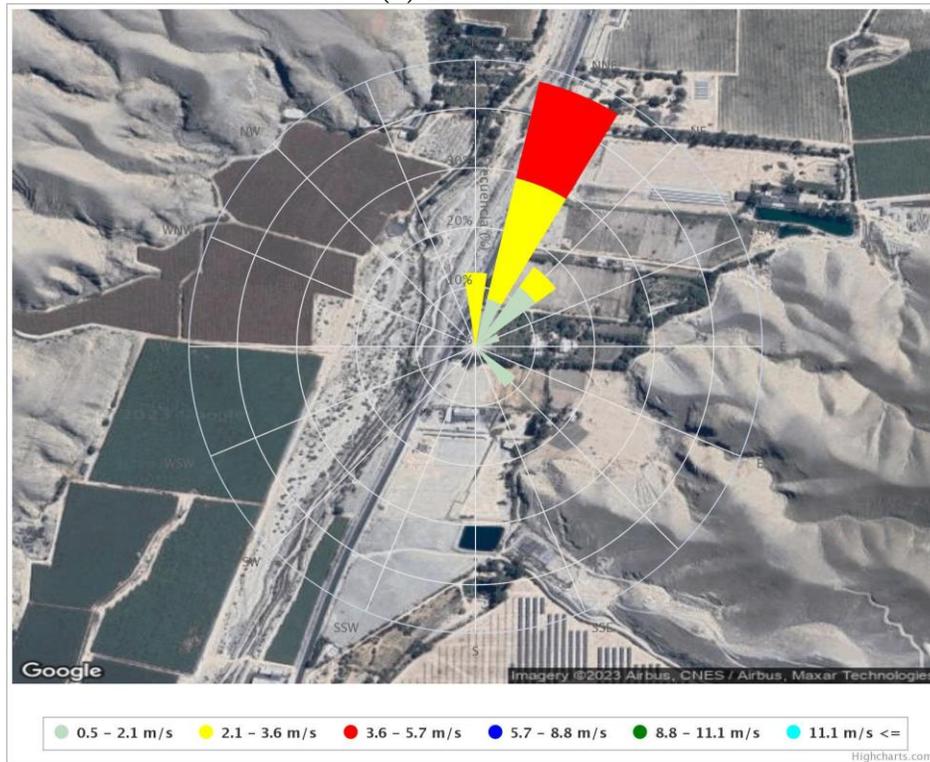


(b) Estación Nantoco

Figura 2.5: Rosas de viento día 11 de Diciembre del 2019

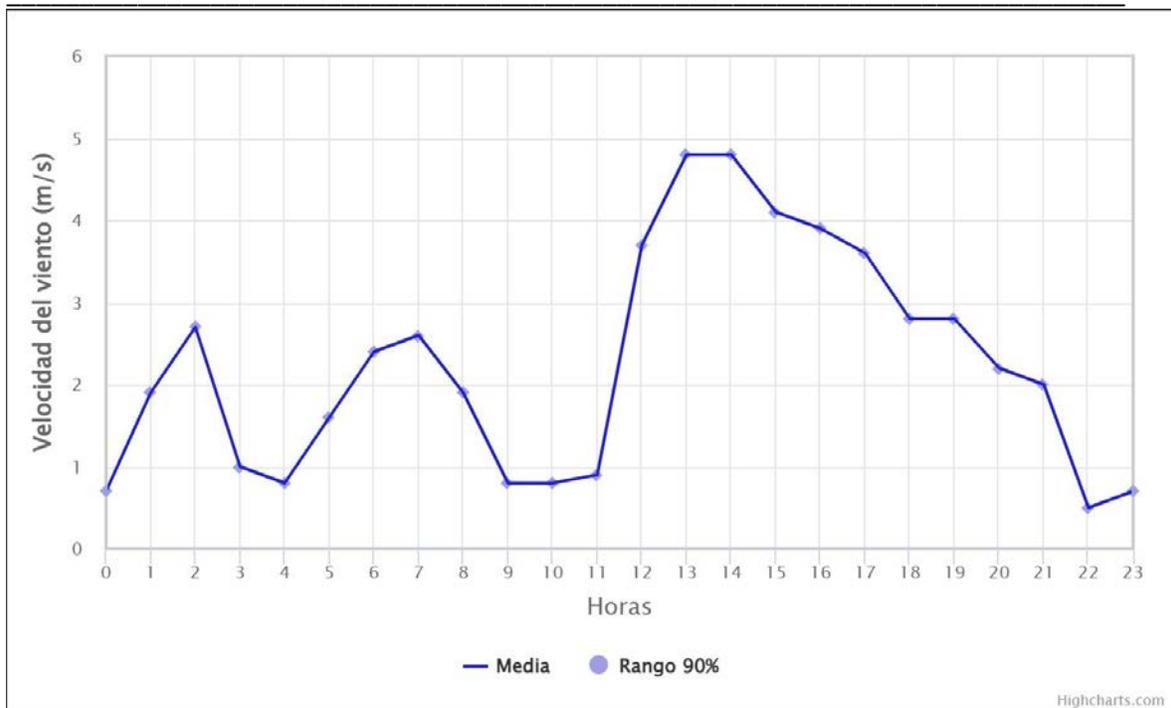


(a) Estación TAMA

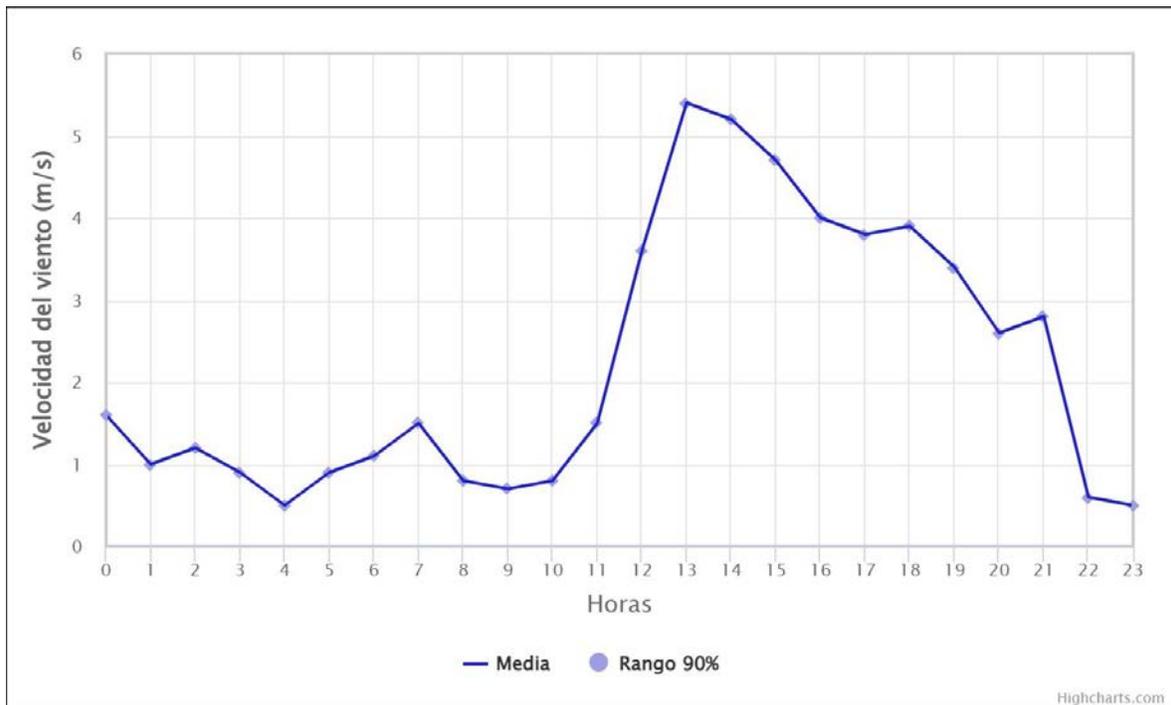


(b) Estación Nantoco

Figura 2.6: Rosas de viento día 15 de Abril del 2020

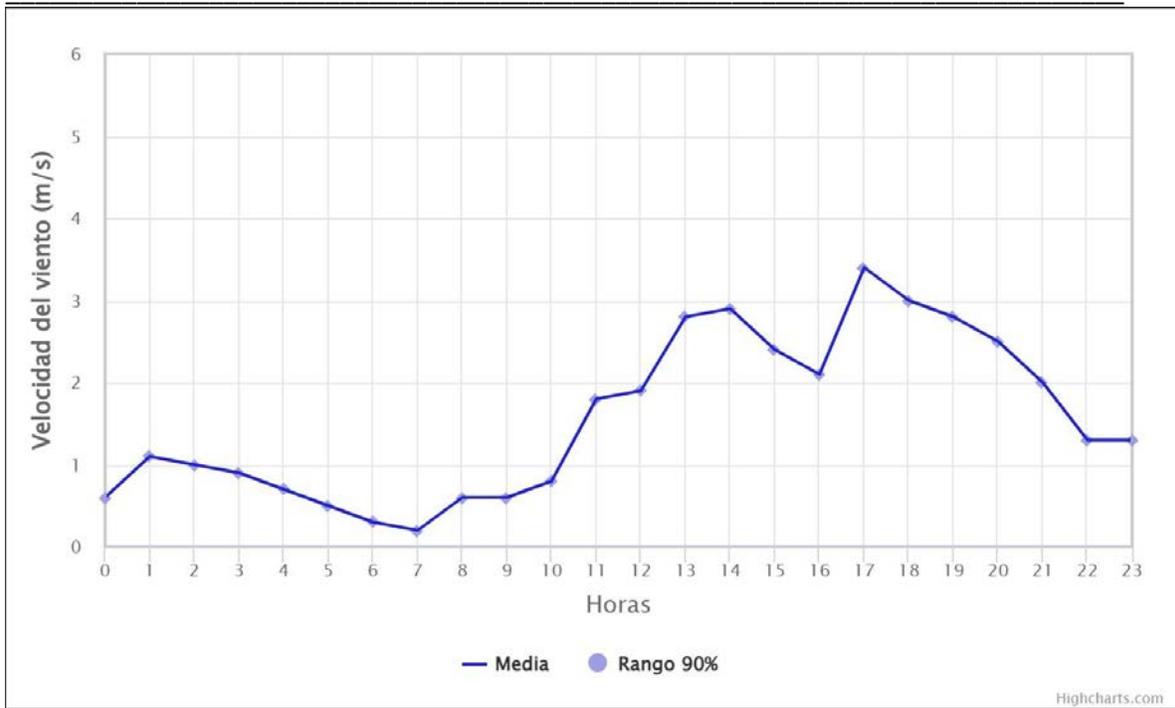


(a) Estación TAMA

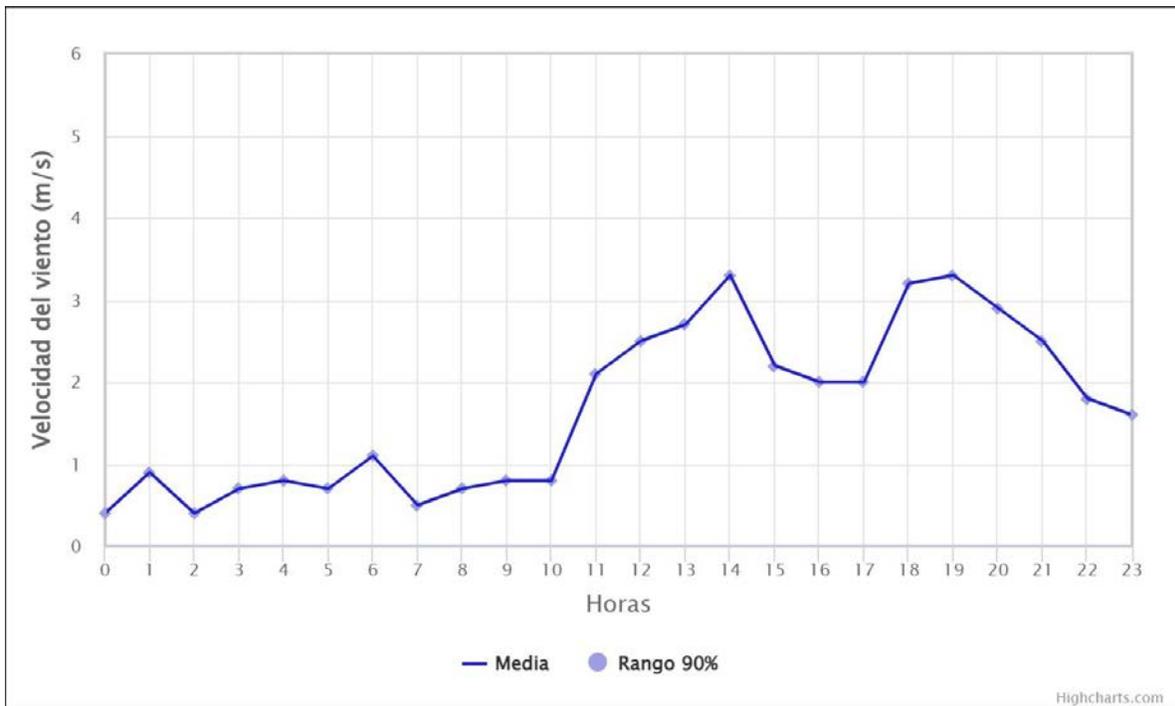


(b) Estación Nantoco

Figura 2.7: Ciclo diario del viento día 19 de Agosto del 2019

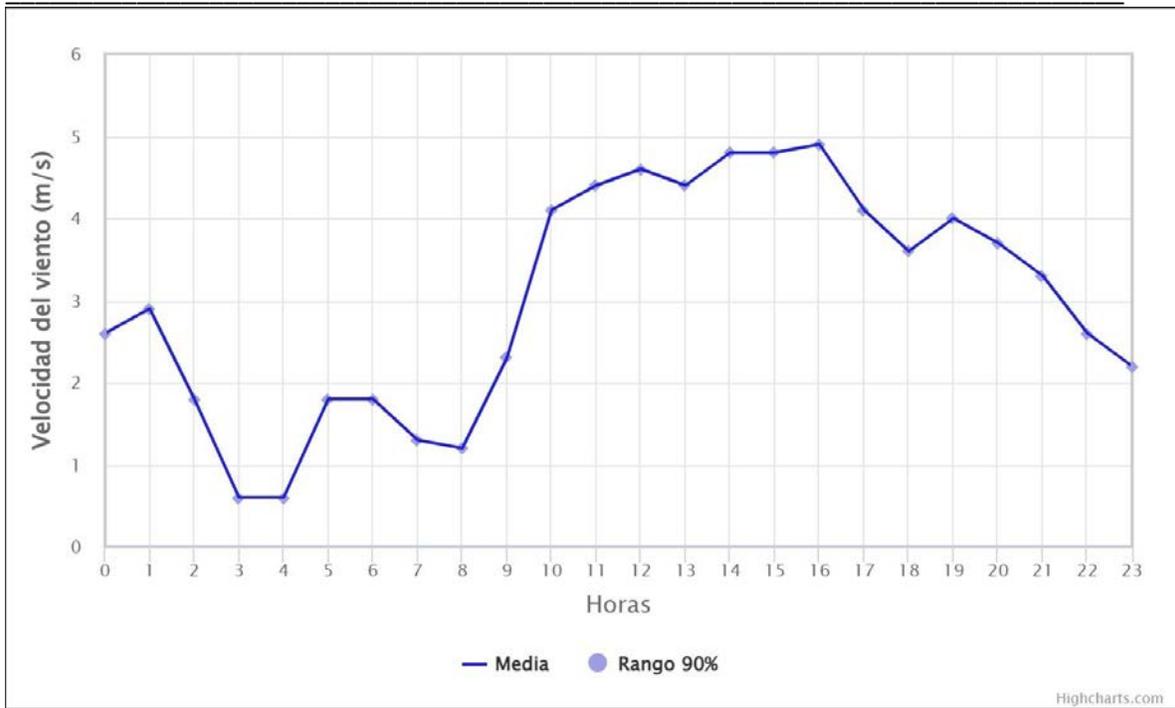


(a) Estación TAMA

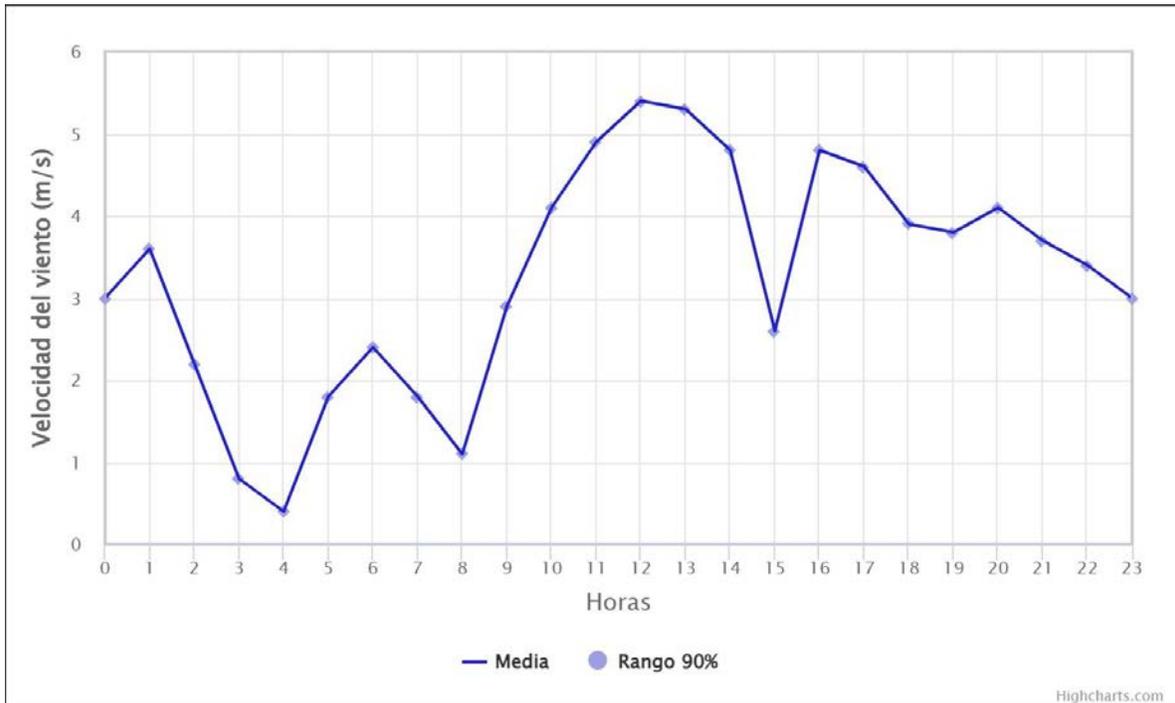


(b) Estación Nantoco

Figura 2.8: Ciclo diario del viento día 9 de Septiembre del 2019

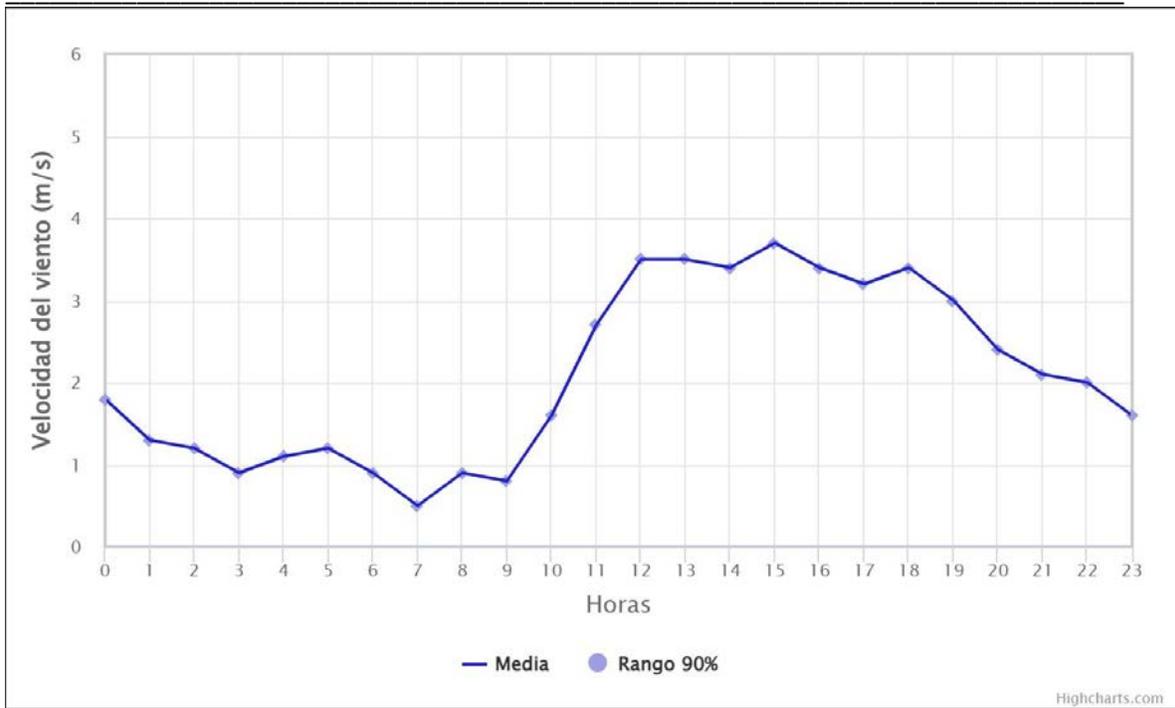


(a) Estación TAMA

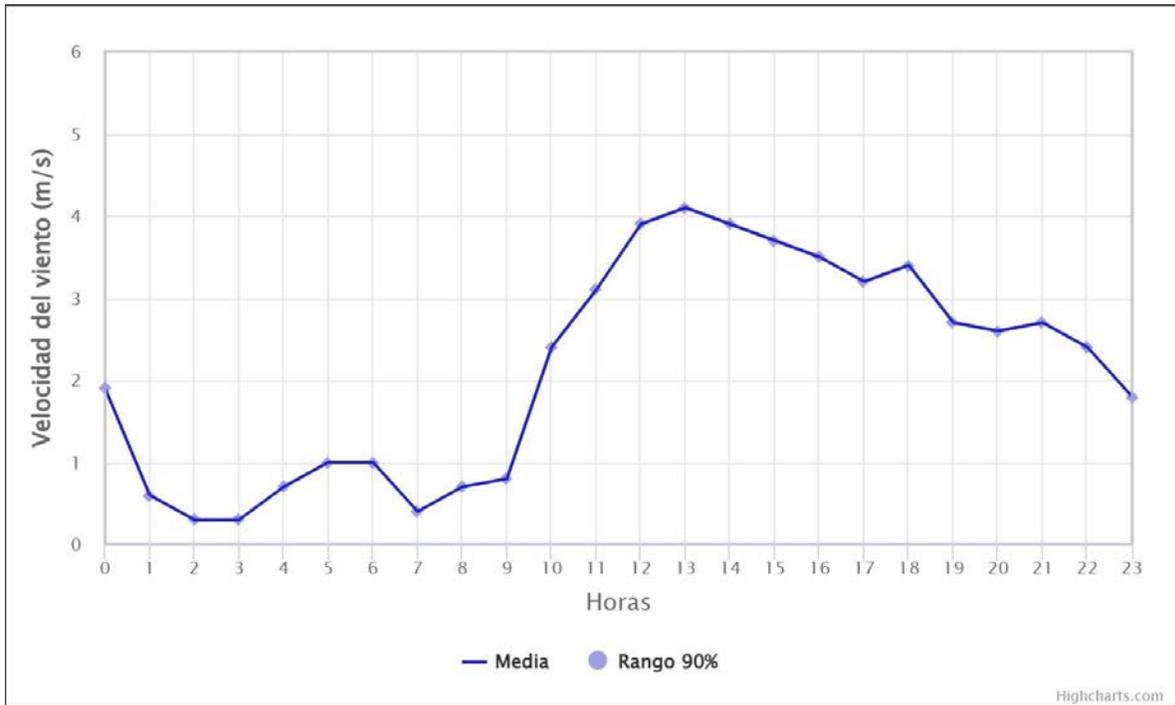


(b) Estación Nantoco

Figura 2.9: Ciclo diario del viento día 11 de Diciembre del 2019



(a) Estación TAMA



(b) Estación Nantoco

Figura 2.10: Ciclo diario del viento día 15 de Abril del 2020

3 INVENTARIO DE EMISIONES

En esta sección se muestran los resultados del cálculo de estimación de emisiones para los cargos N° 2 y N° 4. Esta estimación de emisiones fue realizada por la empresa ECOS Chile, y fue entregada a GEOAIRE para realizar la modelación de calidad del aire.

Para el Cargo N°2 se realizó la estimación de MP10, y para el Cargo N°4, la estimación incluyó el MP, MP10, y MP2,5.

3.1 CARGO N° 2

La Tabla III.1, muestra los resultados para la estimación de emisiones de MP10. De ella se observa que los 1.310 m³ adicionales al total autorizado (5.000 m³) para la construcción de la piscina, genera una emisión de 14,69 Kg de MP10, la cual fue realizada durante enero del año 2018.

Tabla III.1: Emisiones de MP10 – Cargo N°2

MP10 (kg/fase)	14,69
----------------	-------

3.2 CARGO N° 4

La Tabla III.2, muestra los resultados para la estimación de emisiones de MP, MP10, y MP2,5 para cada día del Cargo N°4. Cada tronadura considera una superficie tronada de 3.560 m².

Tabla III.2: Emisiones de MP-MP10-MP2,5 – Cargo N°4

Fecha	MP (kg)	MP10 (kg)	MP2,5 (kg)
19/8/2019	292,78	152,24	8,78
09/9/2019	87,64	45,57	2,63
11/12/2019	96,17	50,01	2,89
15/4/2020	86,51	44,98	2,60

4. MODELACIÓN METEOROLÓGICA

Se realizó una modelación meteorológica 3D con el modelo WRF para el año calendario 2018, con resolución de 1000 m. El análisis del ajuste de la modelación meteorológica WRF, indicó que no es posible reproducir en forma correcta las direcciones de viento en la zona. La Figura 4.1 muestra la rosa de vientos observada en la estación Los Bronces, y la rosa que se obtiene con el modelo WRF. Se observa de esta figura, que el modelo genera una componente SurOeste que no existe en la zona. Por tal motivo, la modelación WRF no tiene la habilidad de caracterizar las condiciones de transporte y dispersión en la zona.

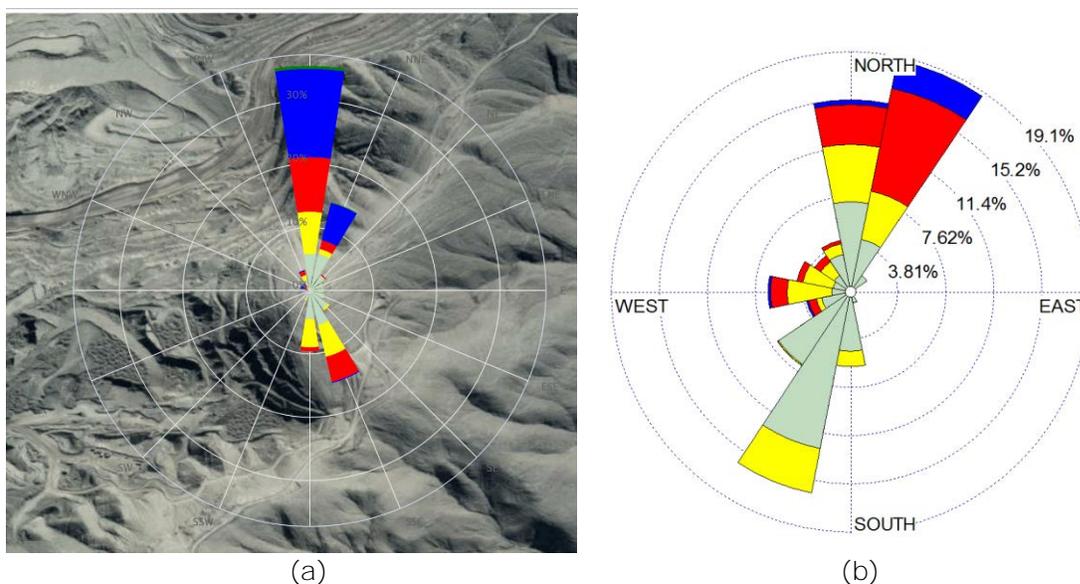
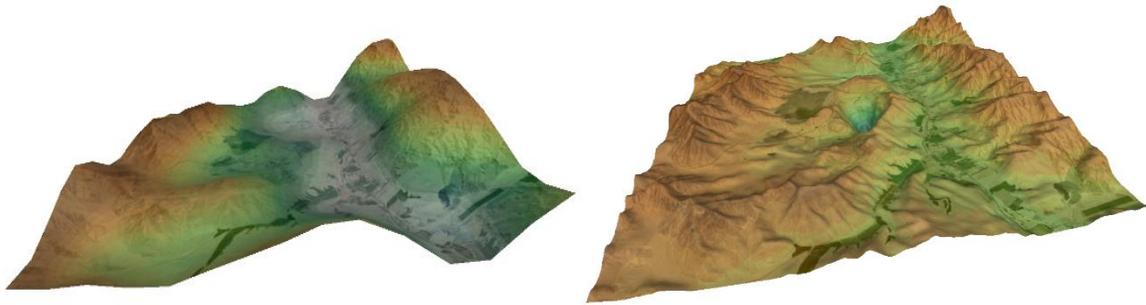


Figura 4.1: Rosa de Viento Observada (a) y Modelada con WRF (b)

Para mejorar la modelación meteorológica, se ha utilizado una modelación híbrida que combina la modelación WRF con CALMET. De esta forma se logra reducir la resolución espacial del terreno de 1000m a 200 m, logrando un mejor ajuste en la modelación meteorológica. El uso de la modelación híbrida está avalada en varios artículos científicos (Lu, Y.-X, Tang,).

De esta forma, la Figura 4.2, muestra el terreno WRF y el CALMET, donde se observa que 1000 metros de resolución no logra representar fielmente la topografía de la zona. La Figura 4.3 compara las rosas de viento Observada y Modelada con WRF/CALMET. Claramente esta modelación híbrida logra un mejor ajuste de la meteorología, y por tanto, se logrará reproducir de mejor manera el transporte y dispersión de contaminantes en la zona.



(a)

(b)

Figura 4.2: Topografía WRF -1000 m (a) y CALMET - 200 m (b)

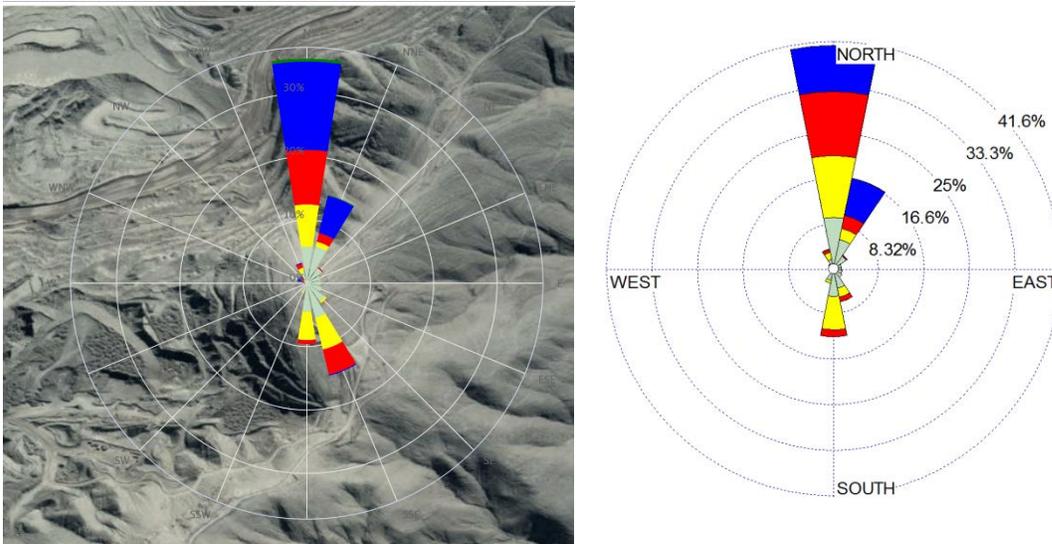


Figura 4.3: Rosa de Viento Observada (a) y Modelada con WRF/CALMET (b)

Se realizó también una comparación cuantitativa, utilizando estadígrafos de bondad de ajuste para determinar el desempeño de ambas modelaciones meteorológicas. La Tabla IV.1 muestra el ajuste usando la modelación WRF, y la Tabla IV.2 muestra el ajuste usando la modelación híbrida WRF/CALMET. De ellas se observa que todos los estadígrafos resultan mejores en la modelación híbrida.

Tabla IV.1: Estadígrafos de bondad de ajuste meteorológico usando WRF

ESTACIÓN	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)			TEMPERATURA (°C)		
	Sesgo	Coefficiente de correlación	Error Cuadrático Medio	Sesgo	Coefficiente de correlación	Error Cuadrático Medio
Mina El Bronce	-0,85	0,71	1,83	2,22	0,78	3,91
Nantoco	1,84	0,70	1,69	-	-	-
Tama	0,88	0,75	1,74	3,01	0,82	4,84
Tama Enami	1,21	0,69	2,09	-	-	-
Paipote	1,03	0,78	2,22	-	-	-

Tabla IV.2: Estadígrafos de bondad de ajuste meteorológico usando WRF/CALMET

ESTACIÓN	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)			TEMPERATURA (°C)		
	Sesgo	Coefficiente de correlación	Error Cuadrático Medio	Sesgo	Coefficiente de correlación	Error Cuadrático Medio
Mina El Bronce	0,07	0,84	1,33	-0,08	0,96	1,40
Nantoco	-0,08	0,85	0,85	-	-	-
Tama	-0,20	0,89	0,63	0,07	0,96	1,71
Tama Enami	-0,00	0,87	0,62	-	-	-
Paipote	-0,08	0,90	0,67	-	-	-

Por otro lado, al comparar datos observados de la altura de mezcla disponibles en la zona de la faena de Candelaria (25 de agosto al 18 de septiembre), con la altura de mezcla generada por el modelo WRF, y por el modelo híbrido (WRF-CALMET) para el mismo período, se obtiene que el modelo híbrido permite un mejor ajuste de la altura de mezcla, en comparación con utilizar sólo el modelo WRF. Ver Figura 4.4.

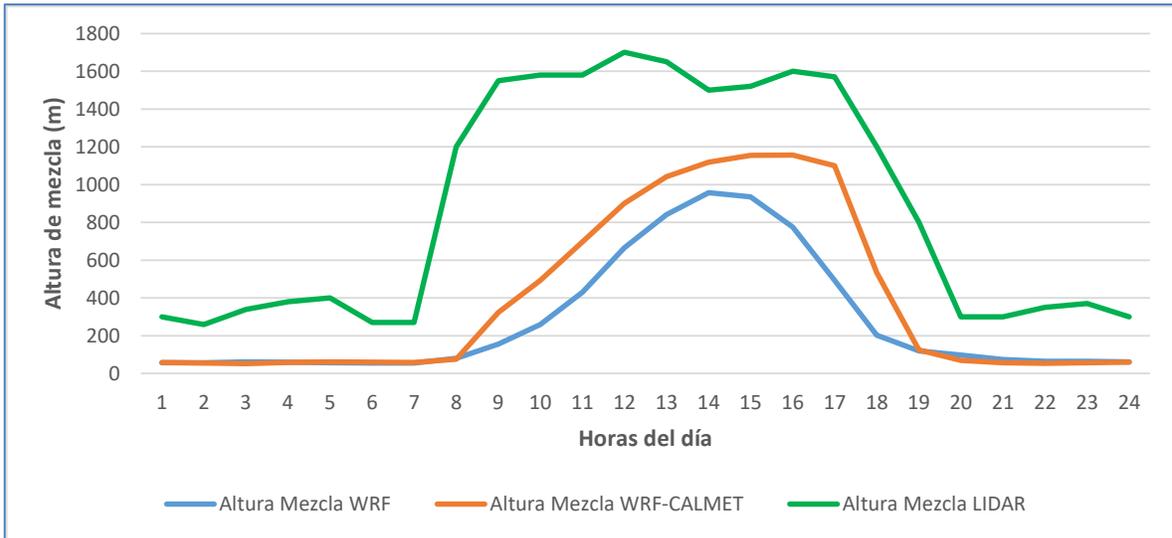


Figura 4.4: Comparación alturas de mezcla observada versus modelada en Mina Candelaria

Caber notar que aunque ambos modelos subestiman la altura de mezcla, esta es una condición conservadora, debido a que a menor altura de mezcla, mayor es la concentración de contaminantes, debido a que es menor el volumen donde se mezclan los contaminantes.

De lo anterior se desprende que la modelación híbrida (WRF-CALMET), permite una mejor representación de la meteorología de la zona, tanto superficial como en altura, que el usar sólo el modelo WRF.

Esto se manifiesta en que la dirección y velocidad del viento, así como la temperatura modelada por WRF-CALMET se ajustan a lo observado, mientras que sólo WRF genera distorsiones significativas principalmente en la dirección del viento, que invalida la herramienta de pronóstico al entregar una distribución espacial que no se condice con la realidad.

De esta forma, se realizaron modelaciones WRF/CALMET para el sector Mina. Con un dominio de 25x60 km y una grilla de 200 m. La Figura 4.5 y 4.6 muestra una representación del terreno utilizado en la modelación y la resolución de la grilla.

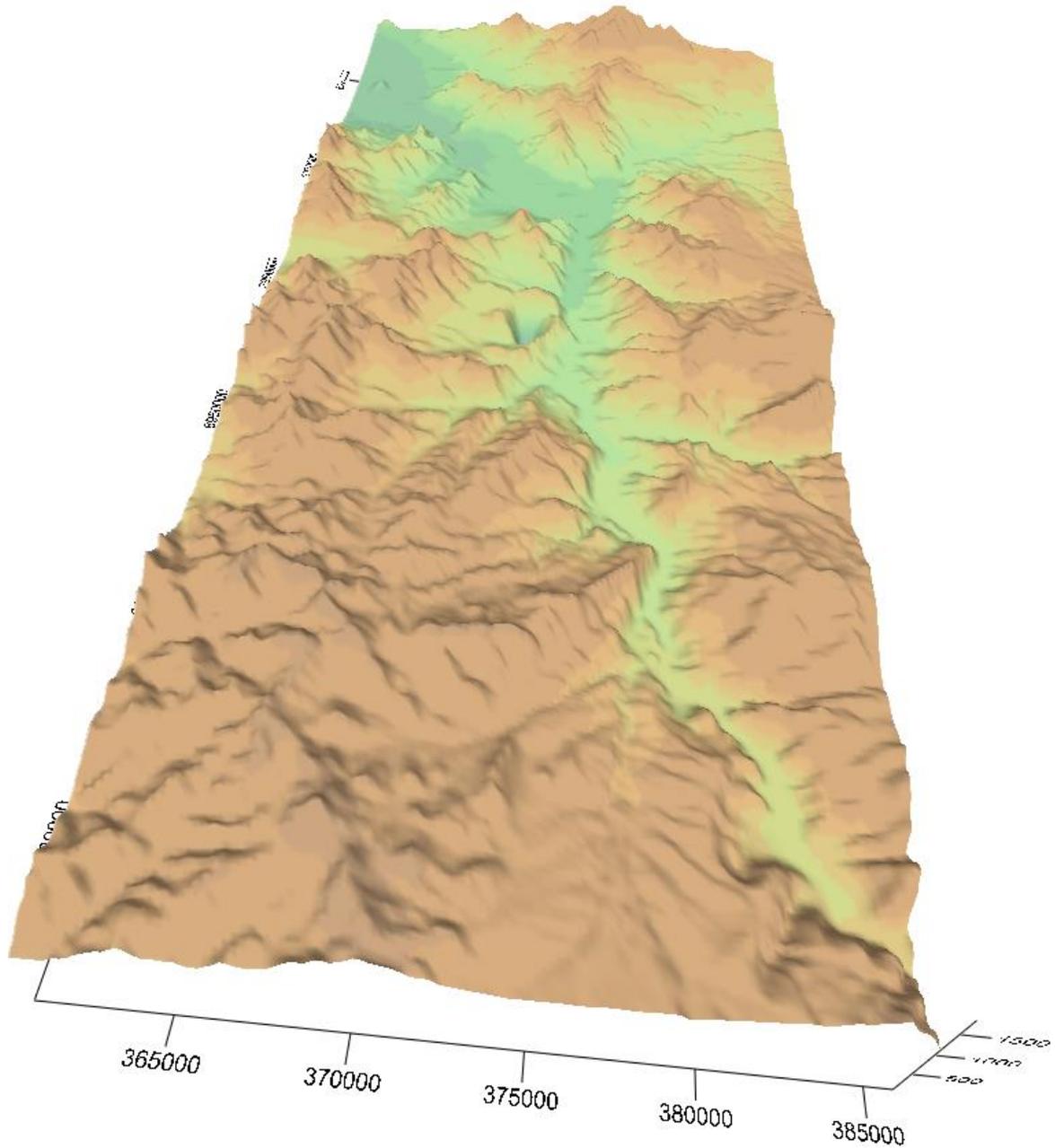


Figura 4.5: Topografía usada en la modelación meteorológica – Sector Mina

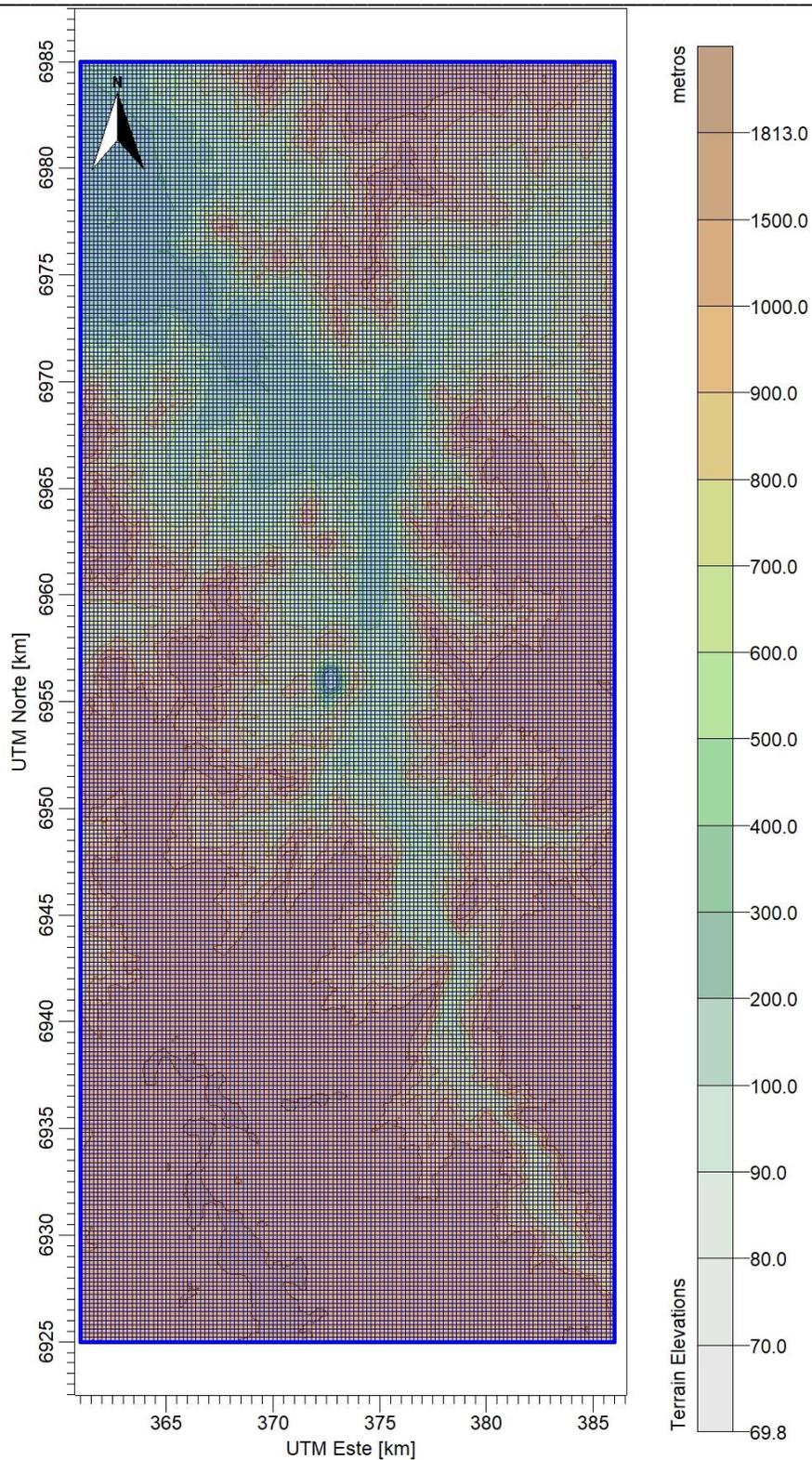


Figura 4.6: Dominio de modelación y resolución espacial –Sector Mina

La Figura 4.7 muestra la estacionalidad de la velocidad del viento en altura. De ella se observa que la velocidad del viento en superficie es menor entre los meses de abril a agosto, y en altura su comportamiento muestra un aumento hasta los 230 metros, excepto en los meses de abril a octubre, en que se mantienen las bajas velocidades aun en altura.

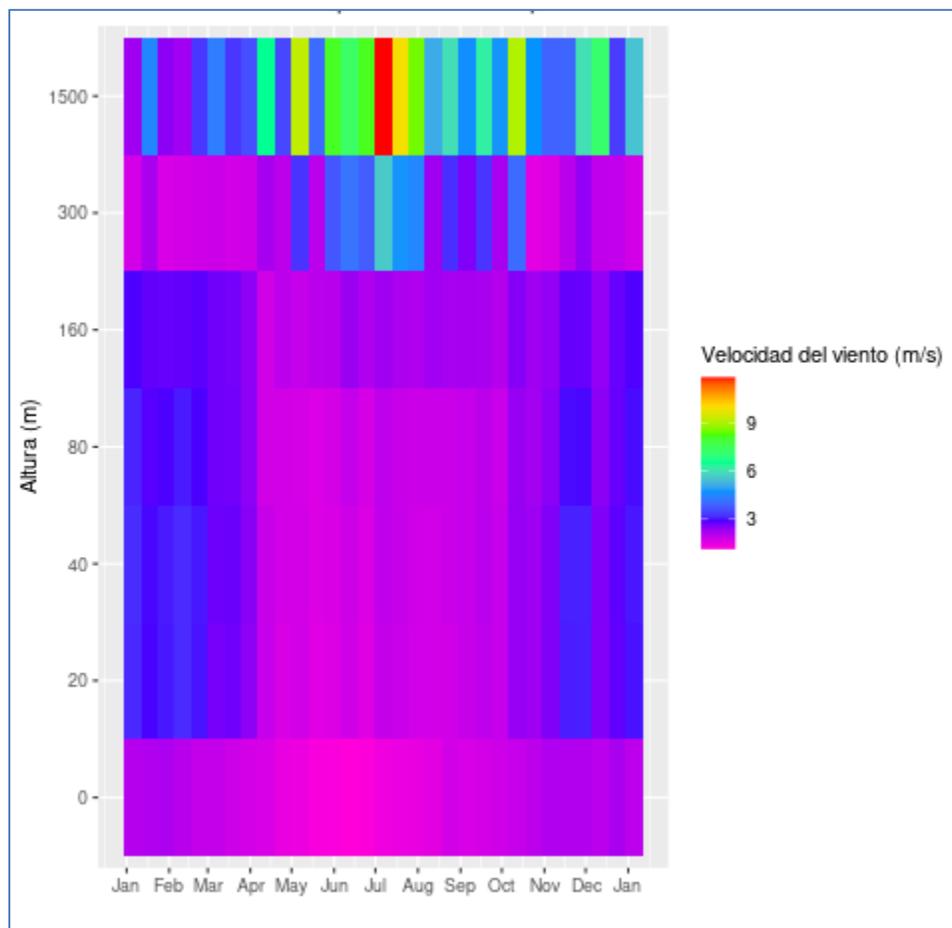


Figura 4.7: Estacionalidad de la velocidad del viento en altura – Sector Mina

La Figura 4.8 muestra la estacionalidad de la temperatura ambiental en altura. De ella se observa que la temperatura en superficie es menor entre los meses de mayo a agosto, y en altura su comportamiento muestra una disminución a medida que se asciende en las capas superiores de la atmósfera.

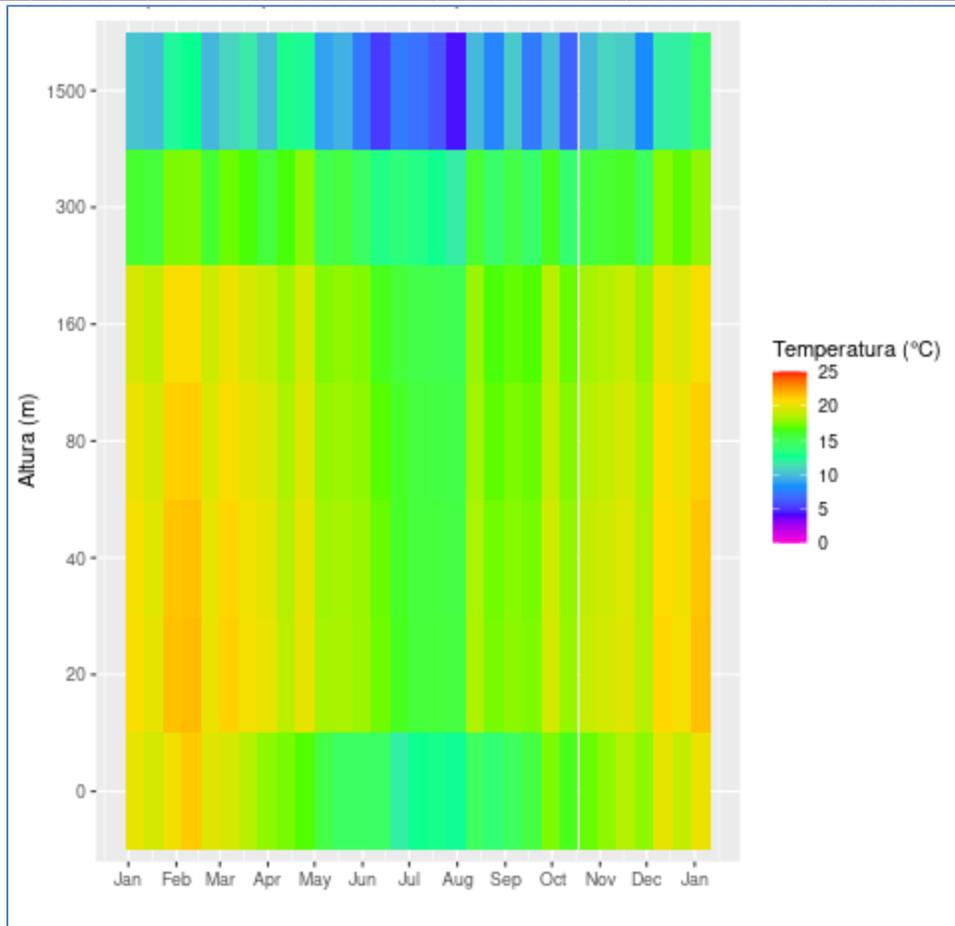


Figura 4.8: Estacionalidad de la temperatura en altura – Sector Mina

4.1 ANÁLISIS DE LA MODELACIÓN METEOROLÓGICA

La evaluación del ajuste de la modelación meteorológica se realiza desde un punto de vista gráfico y analítico. El análisis gráfico resume las series de tiempo, los ciclos estacionales y los ciclos diarios para los datos medidos (observados) y los estimados (modelados), y para la evaluación analítica se utilizan los estadígrafos de bondad de ajuste definidos por la USEPA.

La modelación WRF/CALMET del sector Mina, se utilizan las estaciones Mina El Bronce, Nantoco, Tama Enami, TAMA, y Paipote.

4.1.1 ANÁLISIS SECTOR MINA

Velocidad del Viento

En las Figuras 4.9 a 4.13 se muestra el ciclo diario de la velocidad del viento observada y modelada, para las estaciones Mina El Bronce, Nantoco, Tierra Amarilla, Tierra Amarilla Enami y Paipote respectivamente. En general se puede observar que en todas las estaciones ocurre un incremento de la velocidad durante el ciclo diurno, el cual es reproducido en los ciclos modelados.

En las Figuras 4.14 a la 4.18 se observa el ciclo estacional de la velocidad del viento observada y modelada, para las estaciones Mina El Bronce, Nantoco, Tierra Amarilla, Tierra Amarilla Enami y Paipote respectivamente. En estas figuras se aprecia la modelación logra reproducir el ciclo estacional en todas las estaciones donde el periodo de incremento de las velocidades diarias es de menor tiempo durante el invierno. Para la estación Mina El Bronce, la magnitud del viento modelada es mayor que la observada, sin embargo, para el resto de las estaciones, lo modelado es menor a lo observado, es decir que en su mayoría el modelo tiende a subestimar la magnitud de la velocidad del viento y por tanto, a sobreestimar las concentraciones.

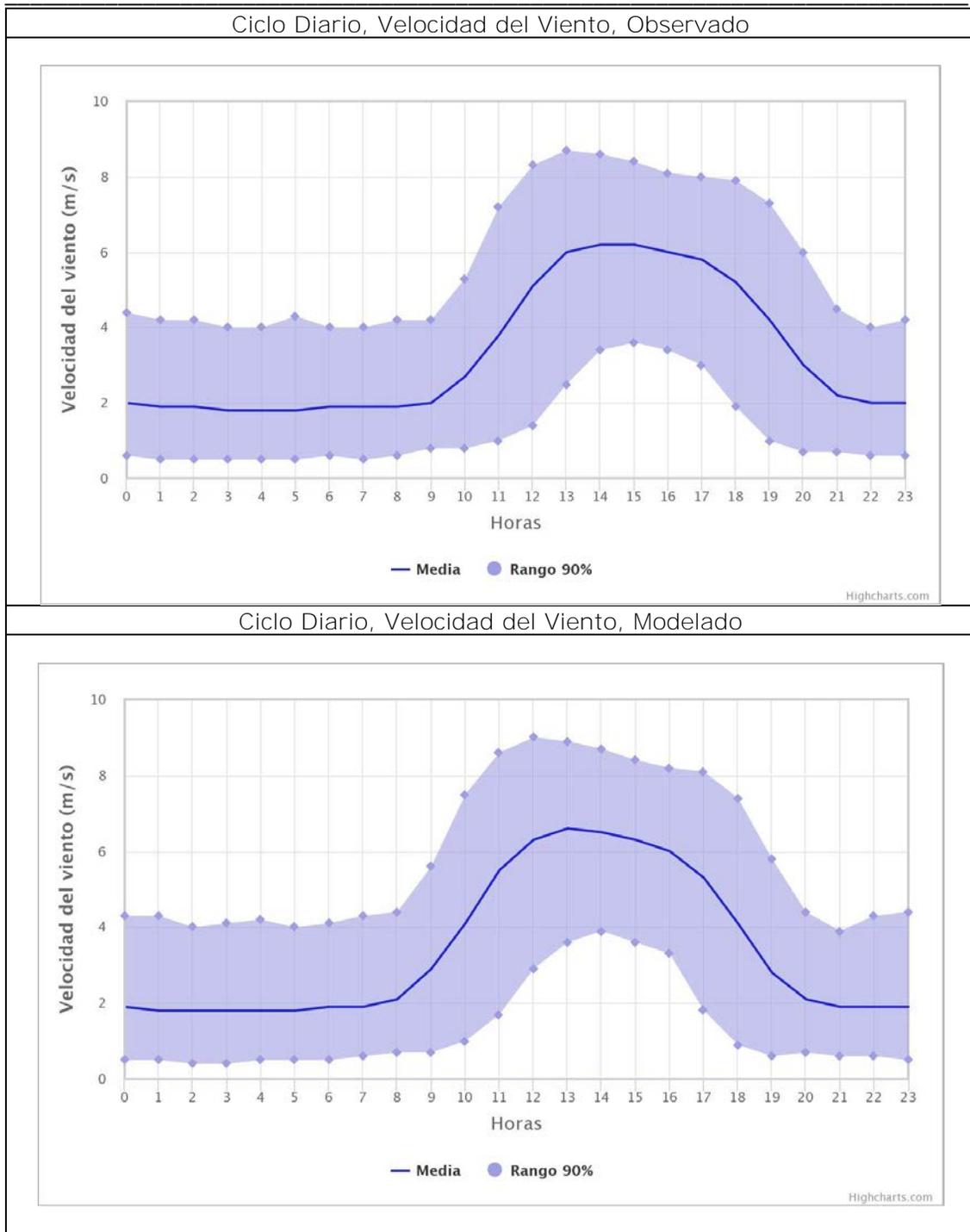


Figura 4.9: Comparación Ciclos diarios de Velocidad del Viento (m/s) observada y modelada. Estación Mina El Bronce.

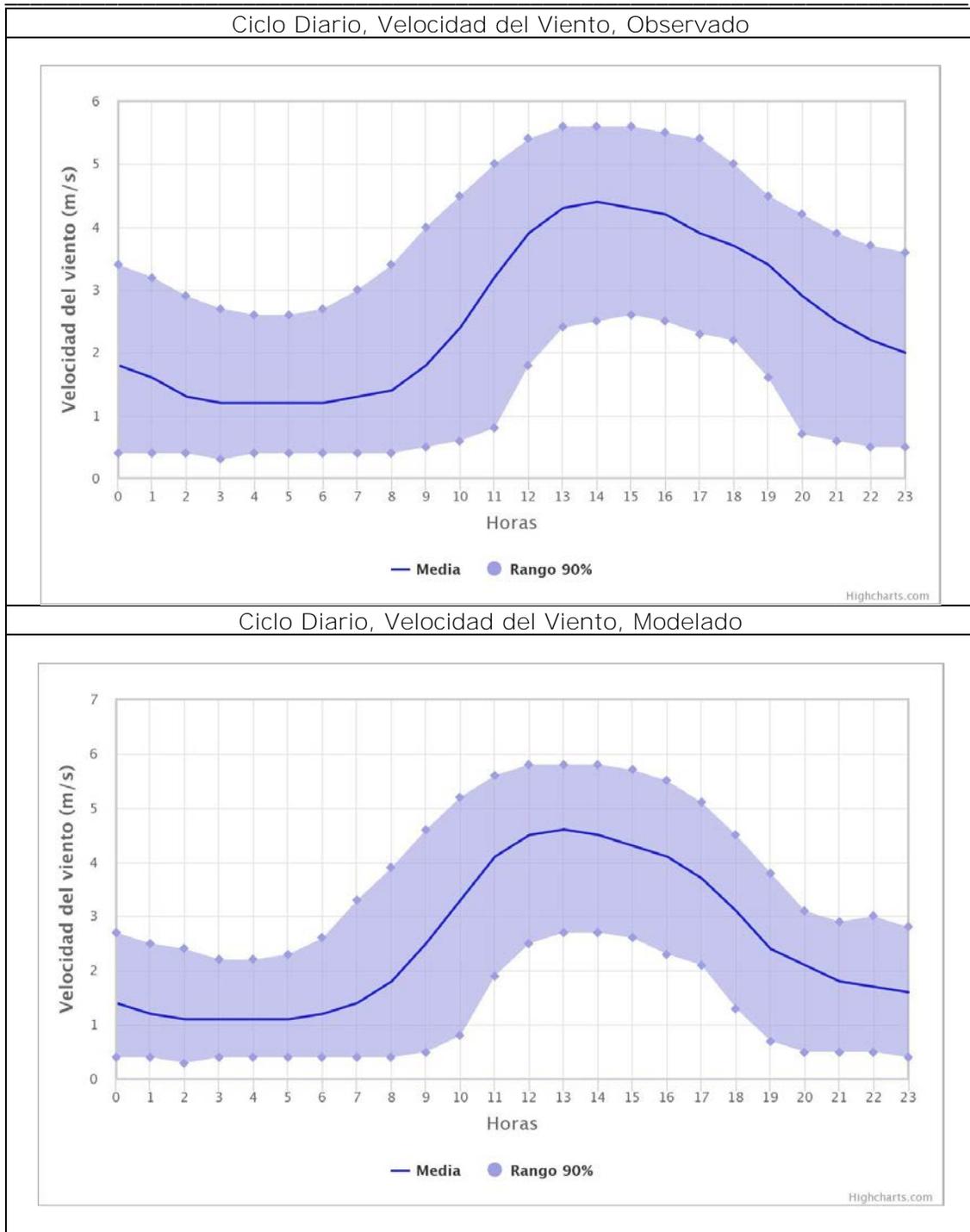


Figura 4.10: Comparación Ciclos diarios de Velocidad del Viento (m/s) observada y modelada. Estación Nantoco.

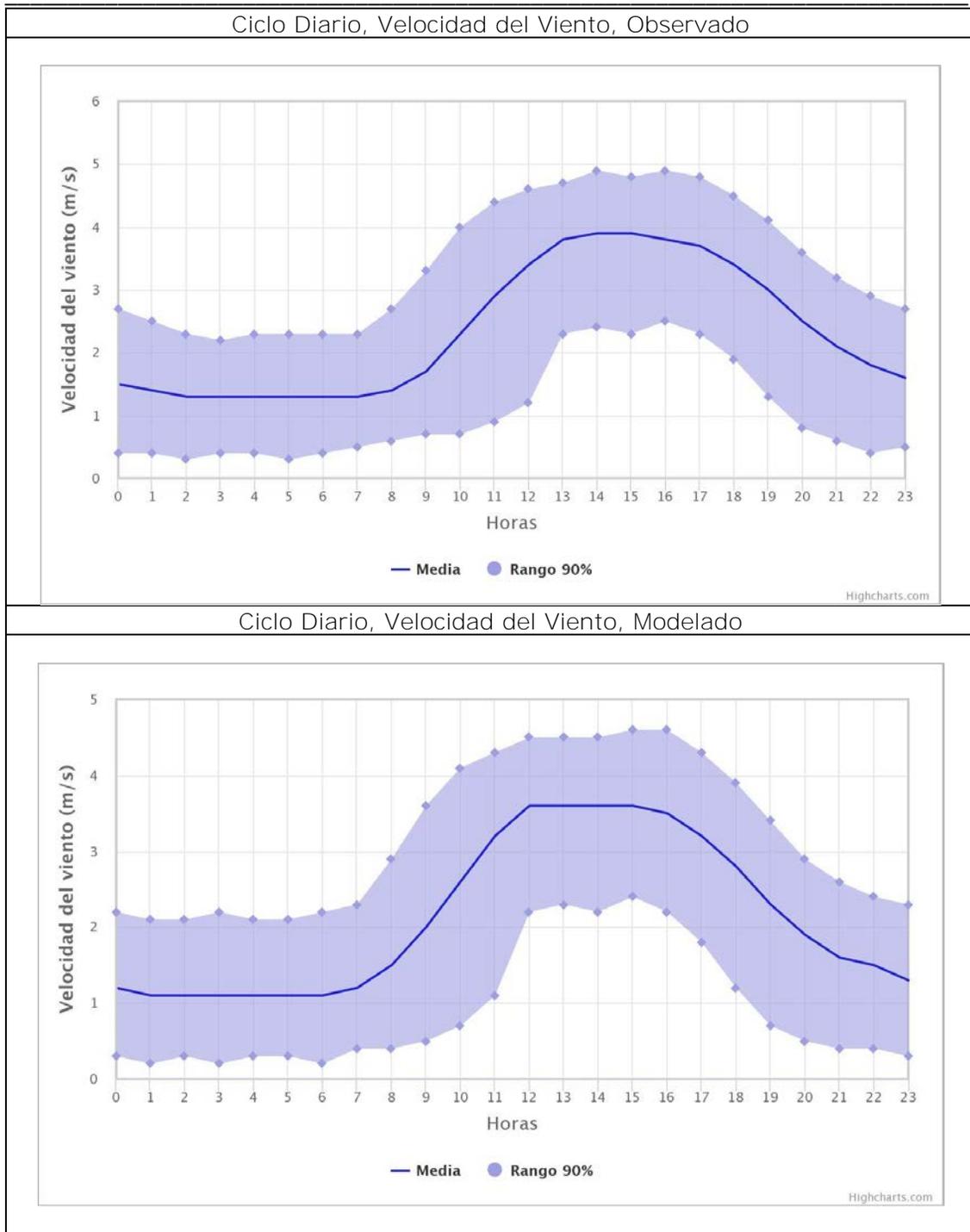


Figura 4.11: Comparación Ciclos diarios de Velocidad del Viento (m/s) observada y modelada. Estación Tierra Amarilla.

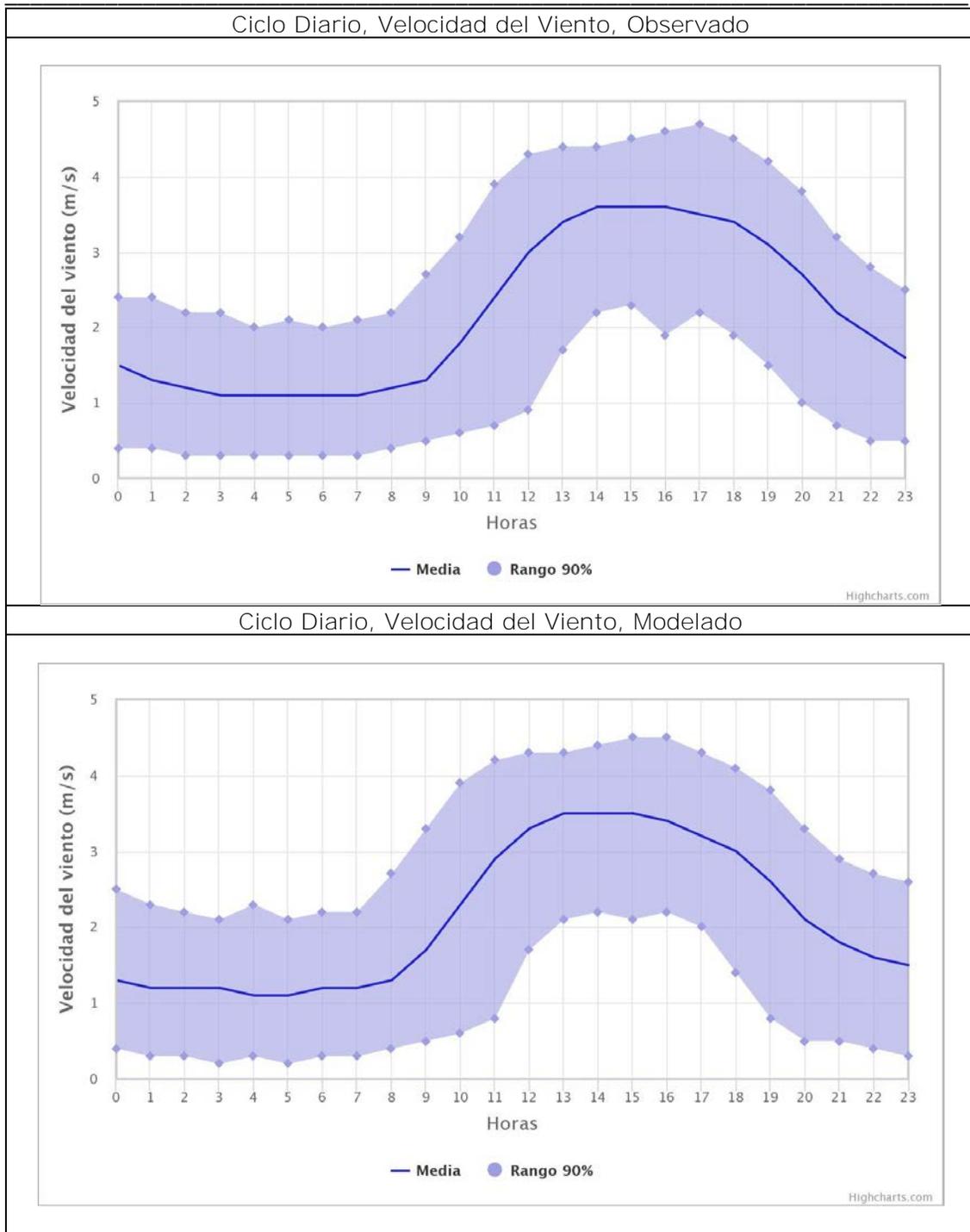


Figura 4.12: Comparación Ciclos diarios de Velocidad del Viento (m/s) observada y modelada. Estación Tierra Amarilla Enami.

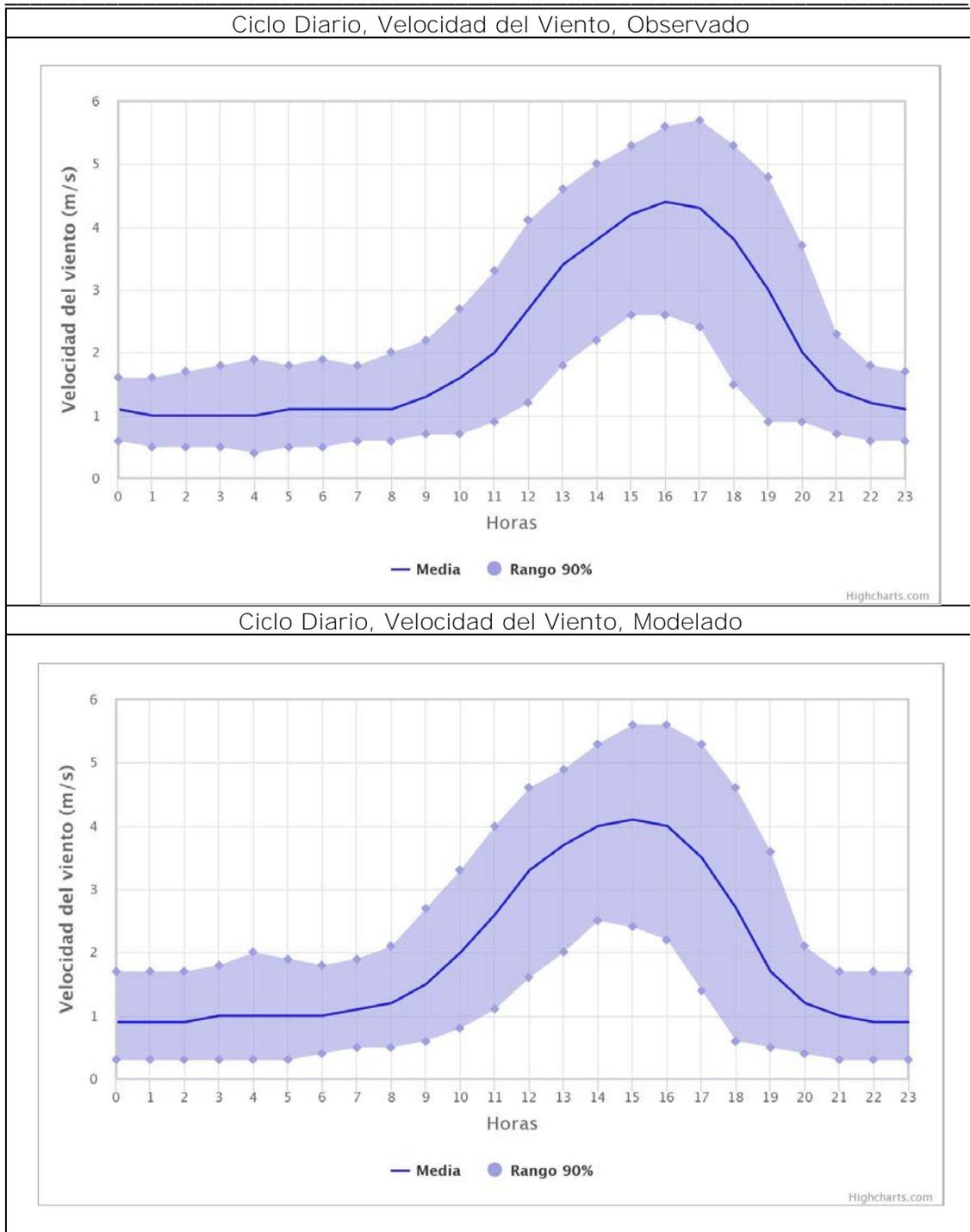


Figura 4.13: Comparación Ciclos diarios de Velocidad del Viento (m/s) observada y modelada. Estación Paipote.

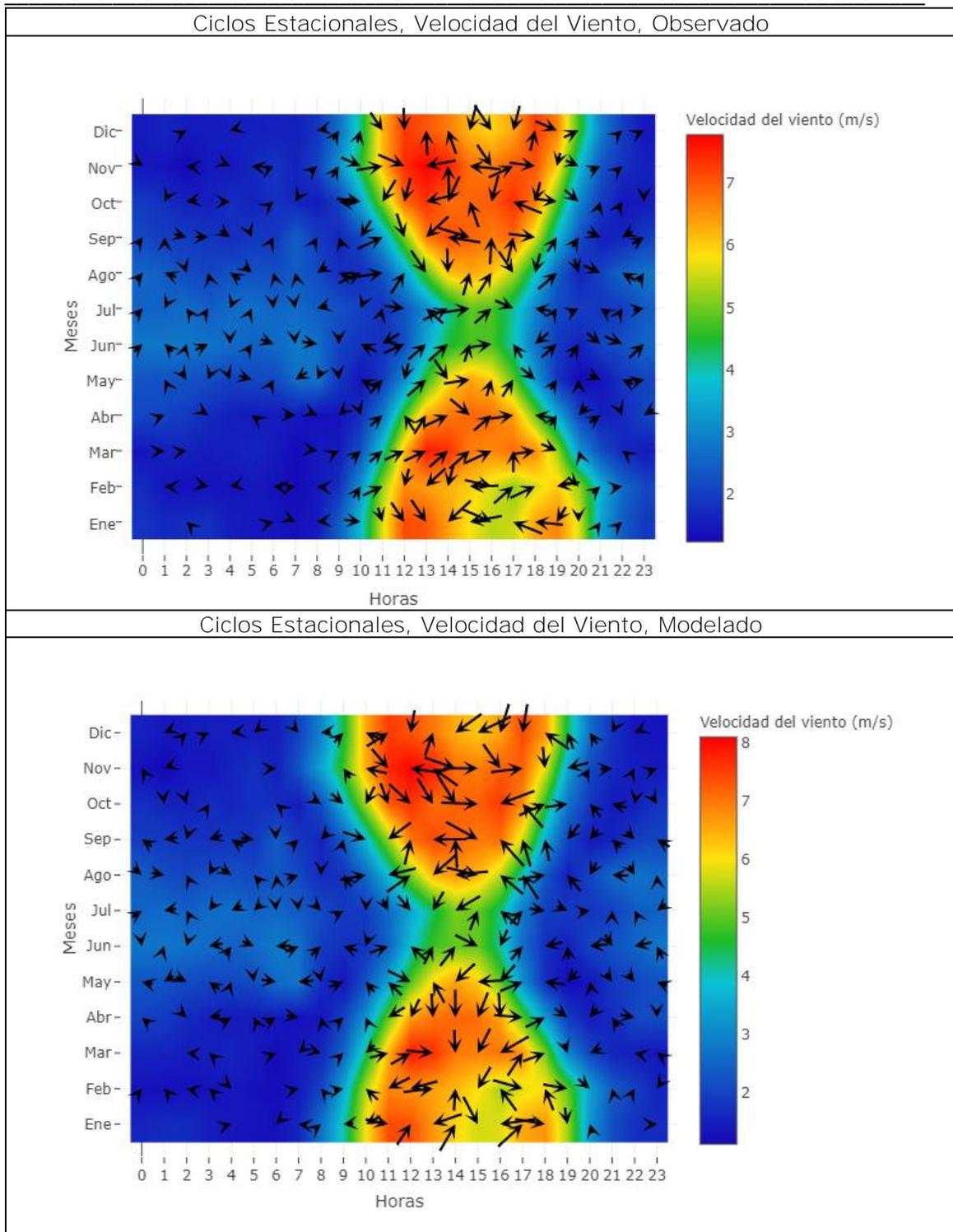


Figura 4.14: Comparación Ciclos Estacionales de Velocidad del Viento (m/s) observada y modelada. Estación Mina El Bronce.

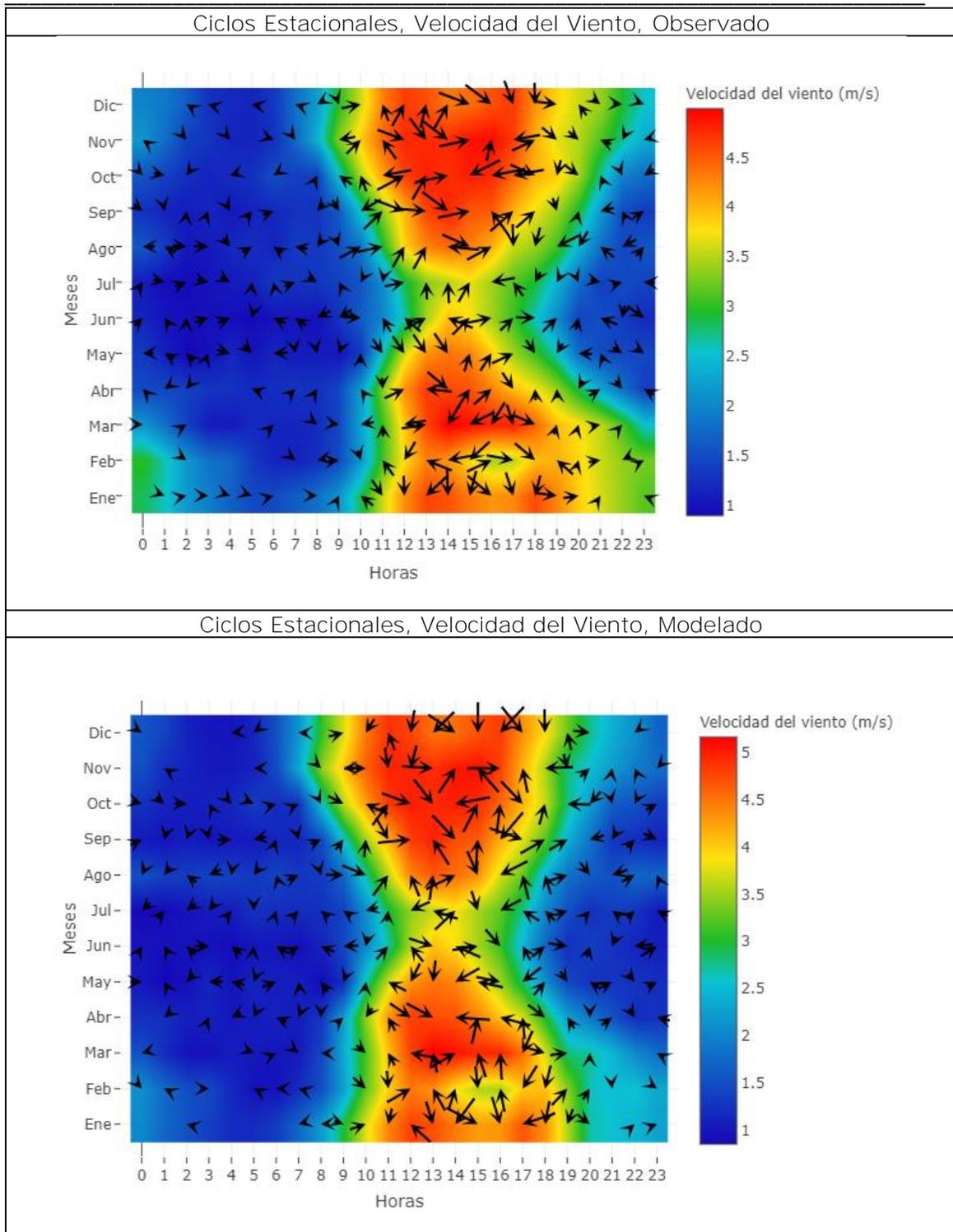


Figura 4.15: Comparación Ciclos Estacionales de Velocidad del Viento (m/s) observada y modelada. Estación Nantoco.

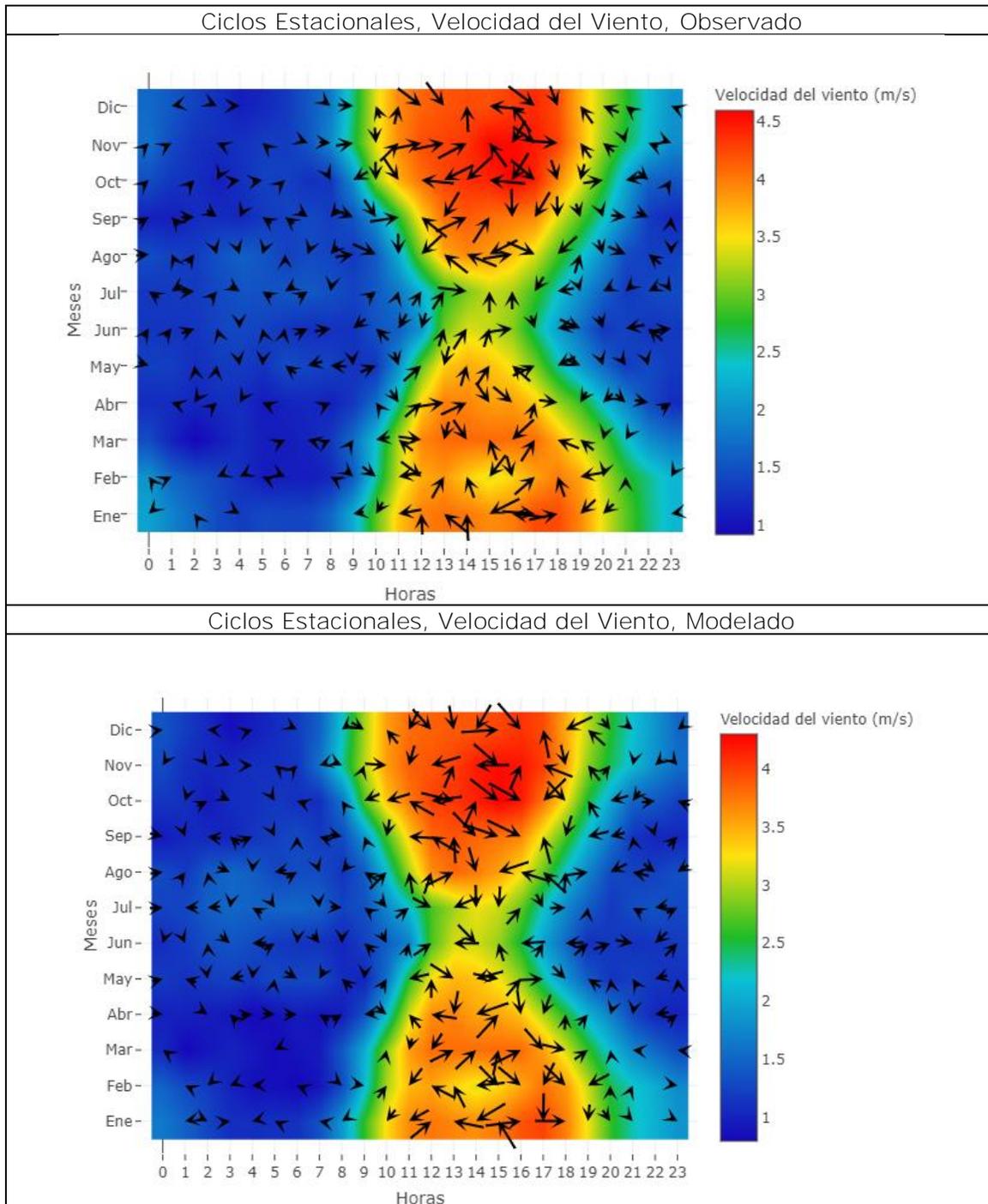


Figura 4.16: Comparación Ciclos Estacionales de Velocidad del Viento (m/s) observada y modelada. Estación Tierra Amarilla.

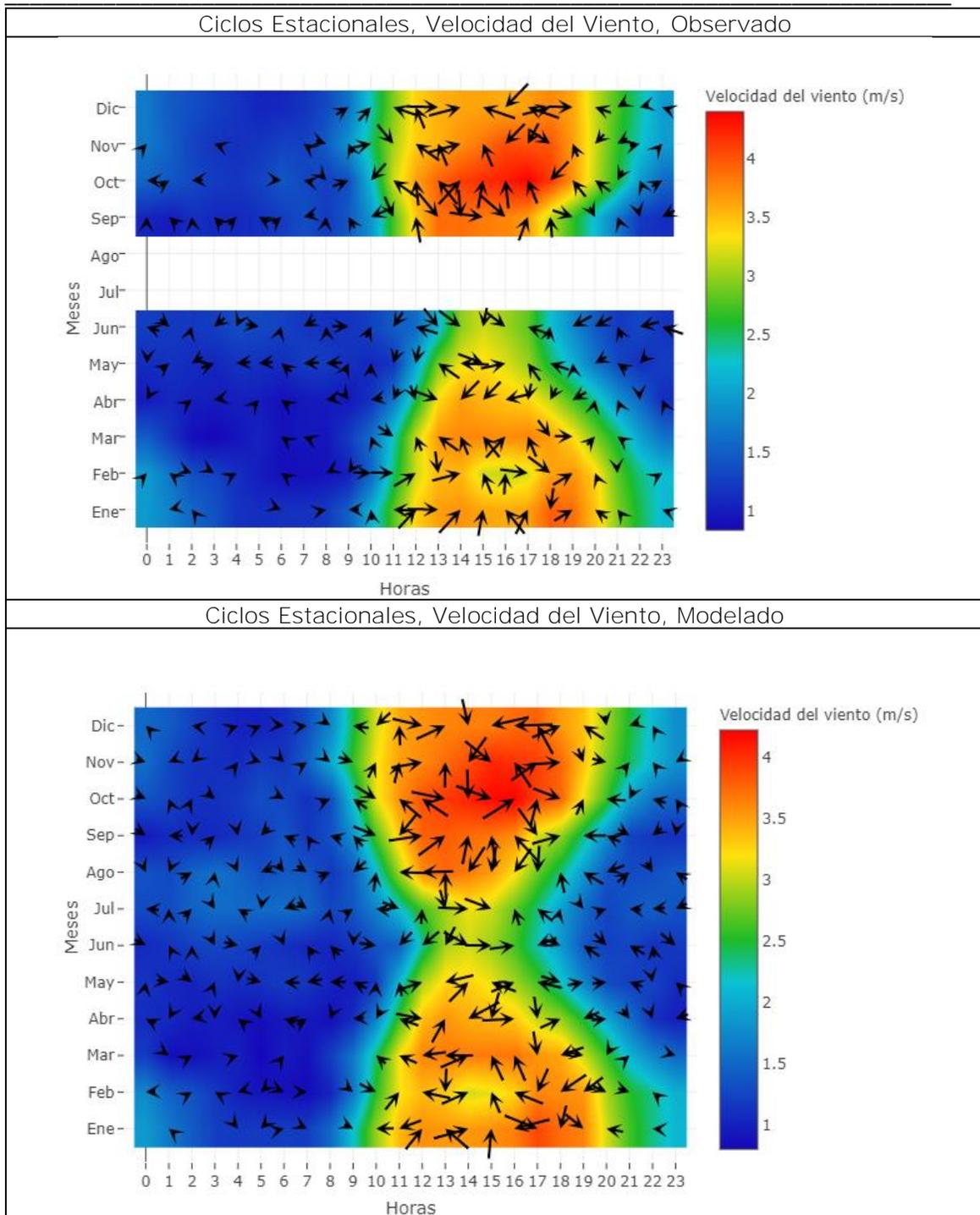


Figura 4.17: Comparación Ciclos Estacionales de Velocidad del Viento (m/s) observada y modelada. Estación Tierra Amarilla Enami.

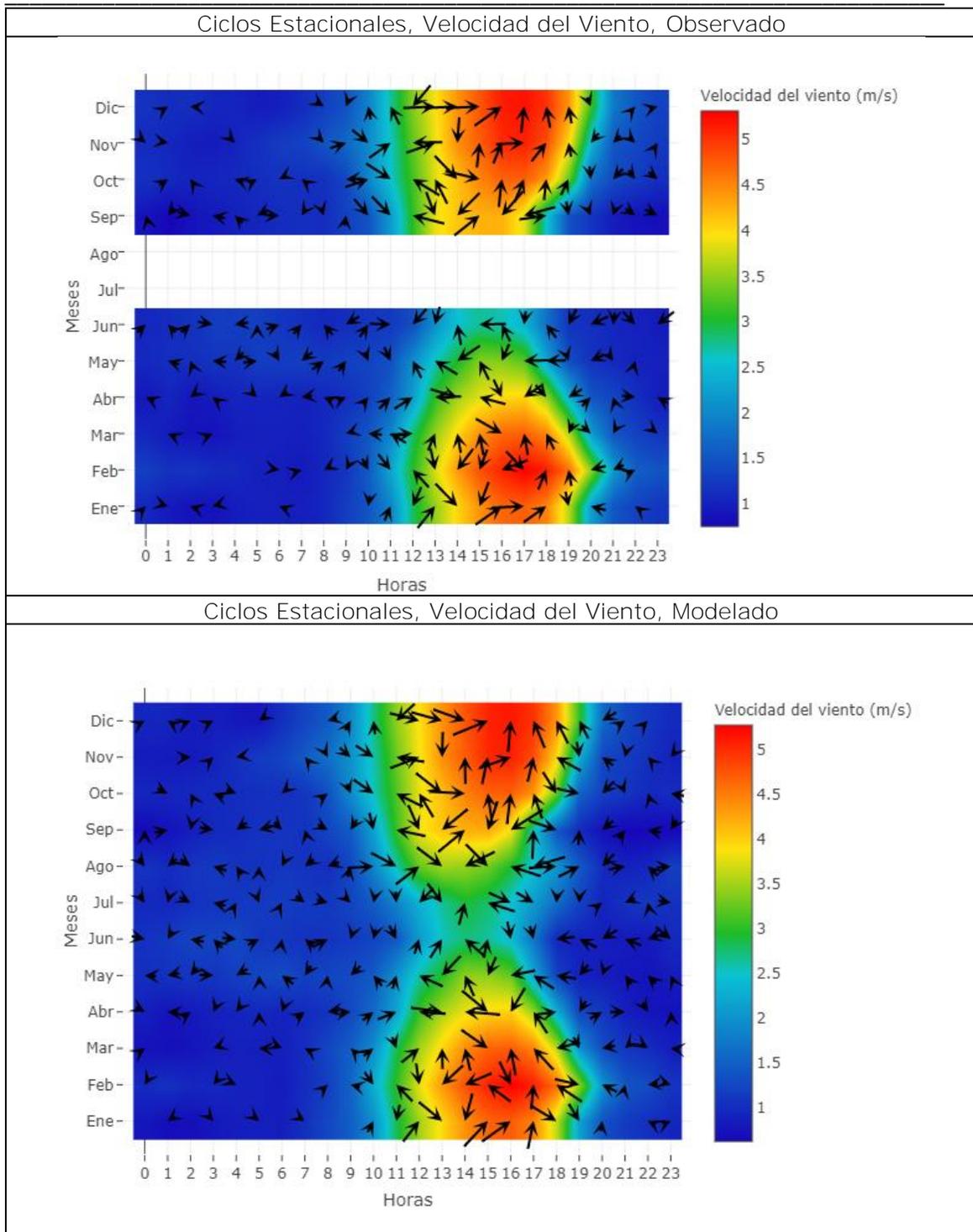


Figura 4.18: Comparación Ciclos Estacionales de Velocidad del Viento (m/s) observada y modelada. Estación Paipote.

Dirección del Viento

Las Figura 4.19 a 4.23 muestran el ciclo diario, para la dirección del viento, modelada y observada en las estaciones Mina El Bronce, Nantoco, Tierra Amarilla, Tierra Amarilla Enami y Paipote respectivamente. En ellas se aprecia que tanto la dirección del viento modelada y observada presentan direcciones dominantes similares.

El lograr un buen ajuste en la dirección del viento modelada, asegura que las áreas afectadas por las emisiones de las fuentes quedan bien representadas con la modelación.

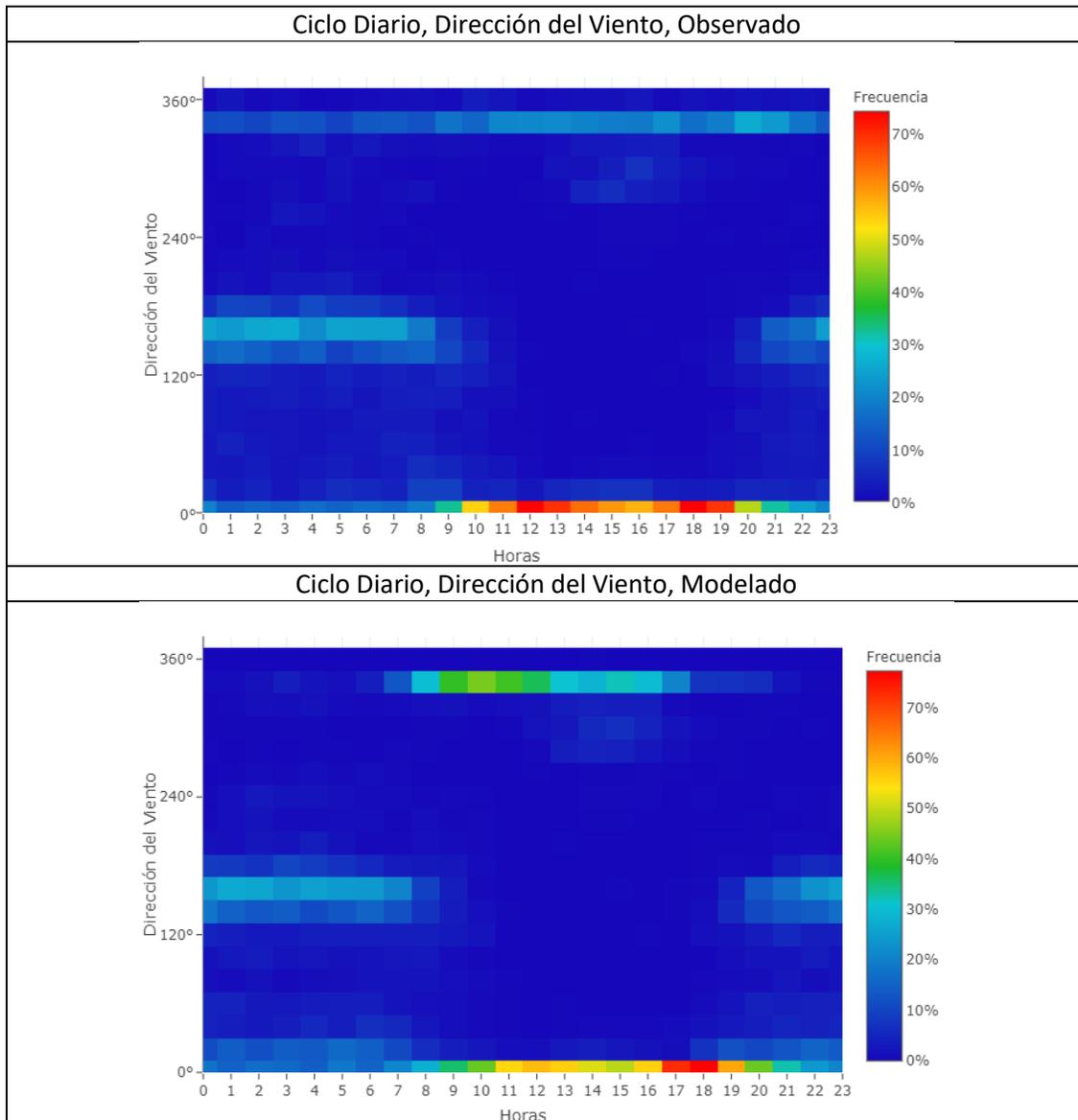


Figura 4.19: Comparación Ciclos diarios de Dirección del Viento (°) observada y modelada. Estación Mina El Bronce.

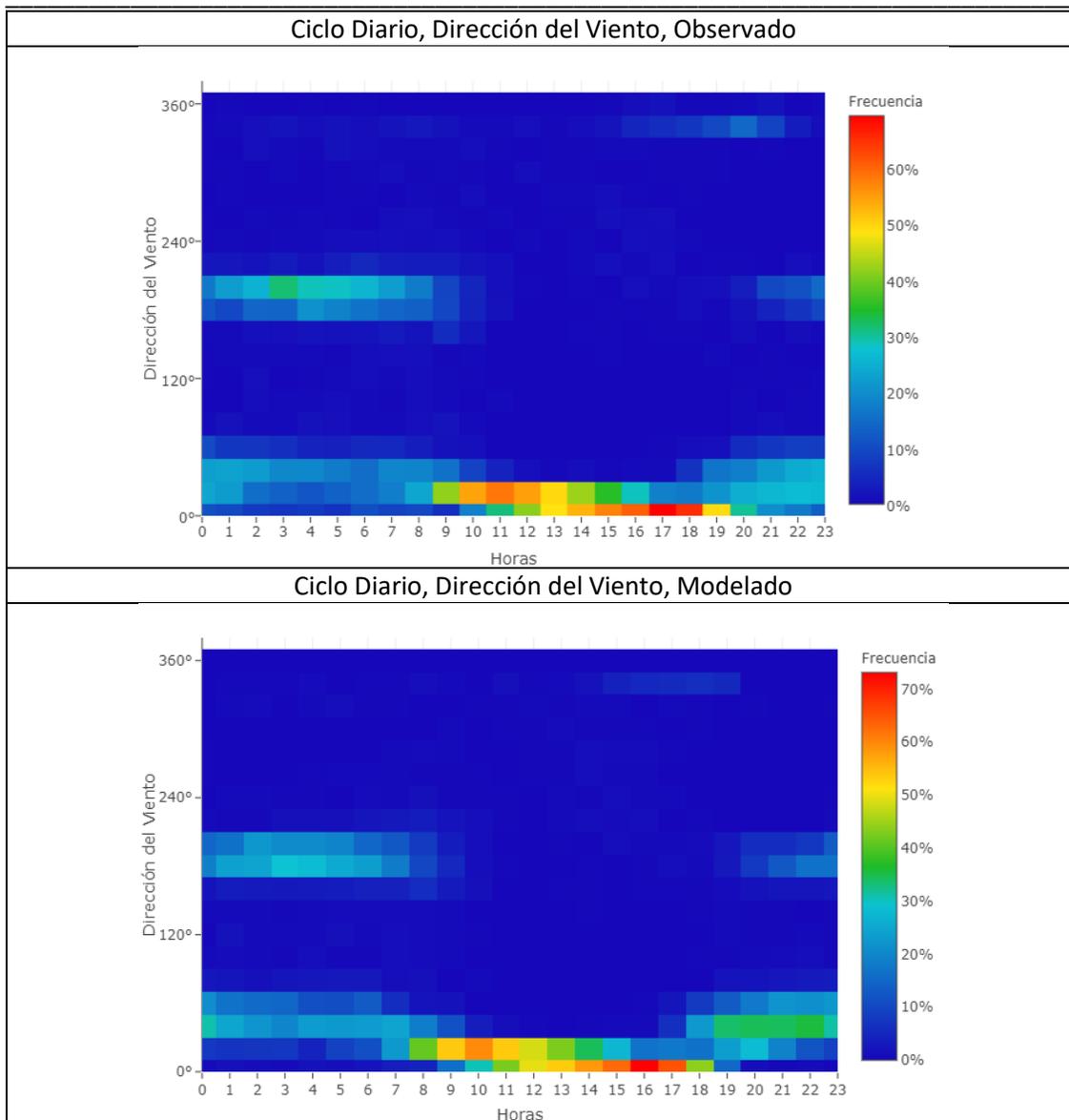


Figura 4.20: Comparación Ciclos diarios de Dirección del Viento (°) observada y modelada. Estación Nantoco.

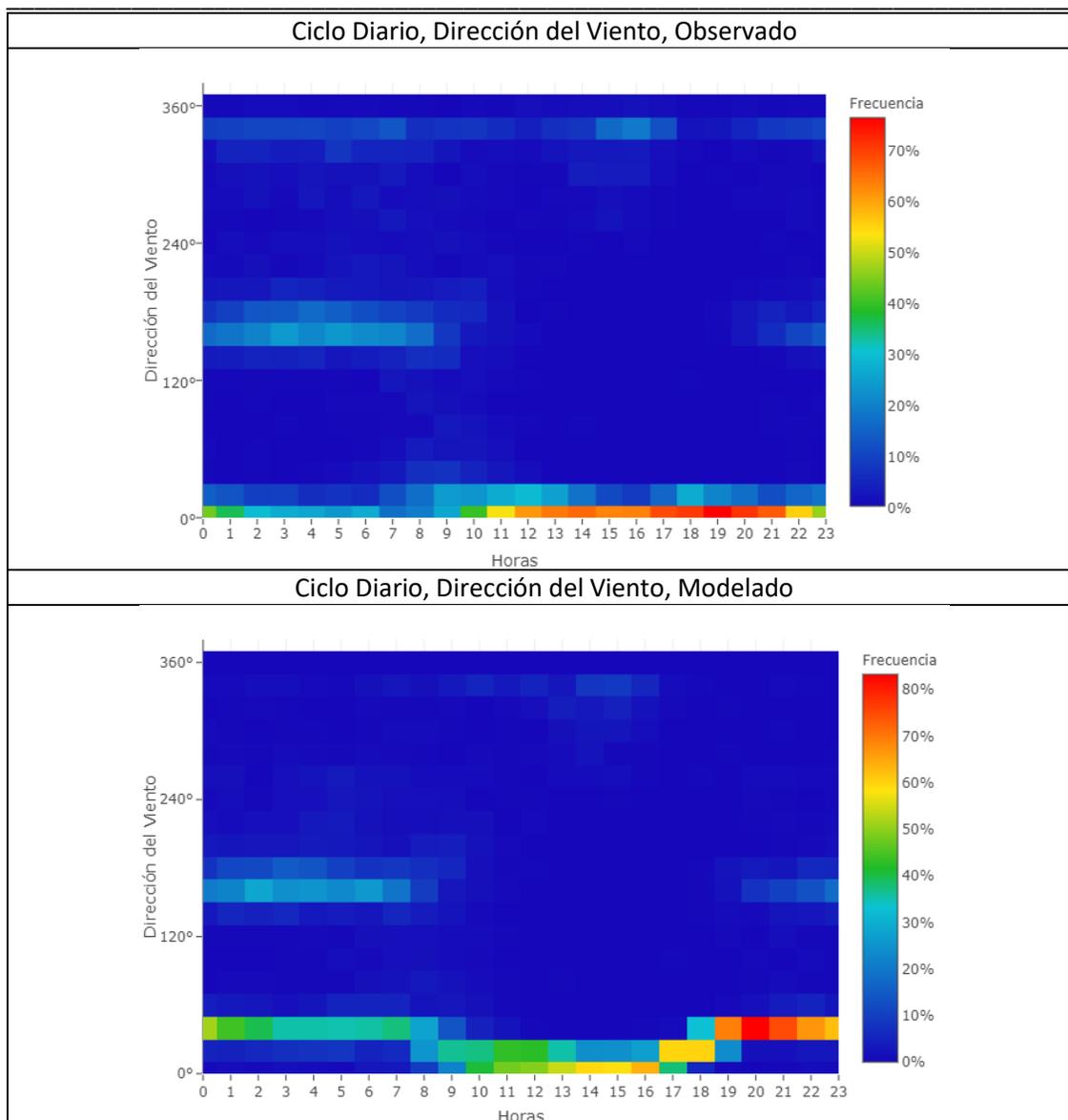


Figura 4.21: Comparación Ciclos diarios de Dirección del Viento (°) observada y modelada. Estación Tierra Amarilla.

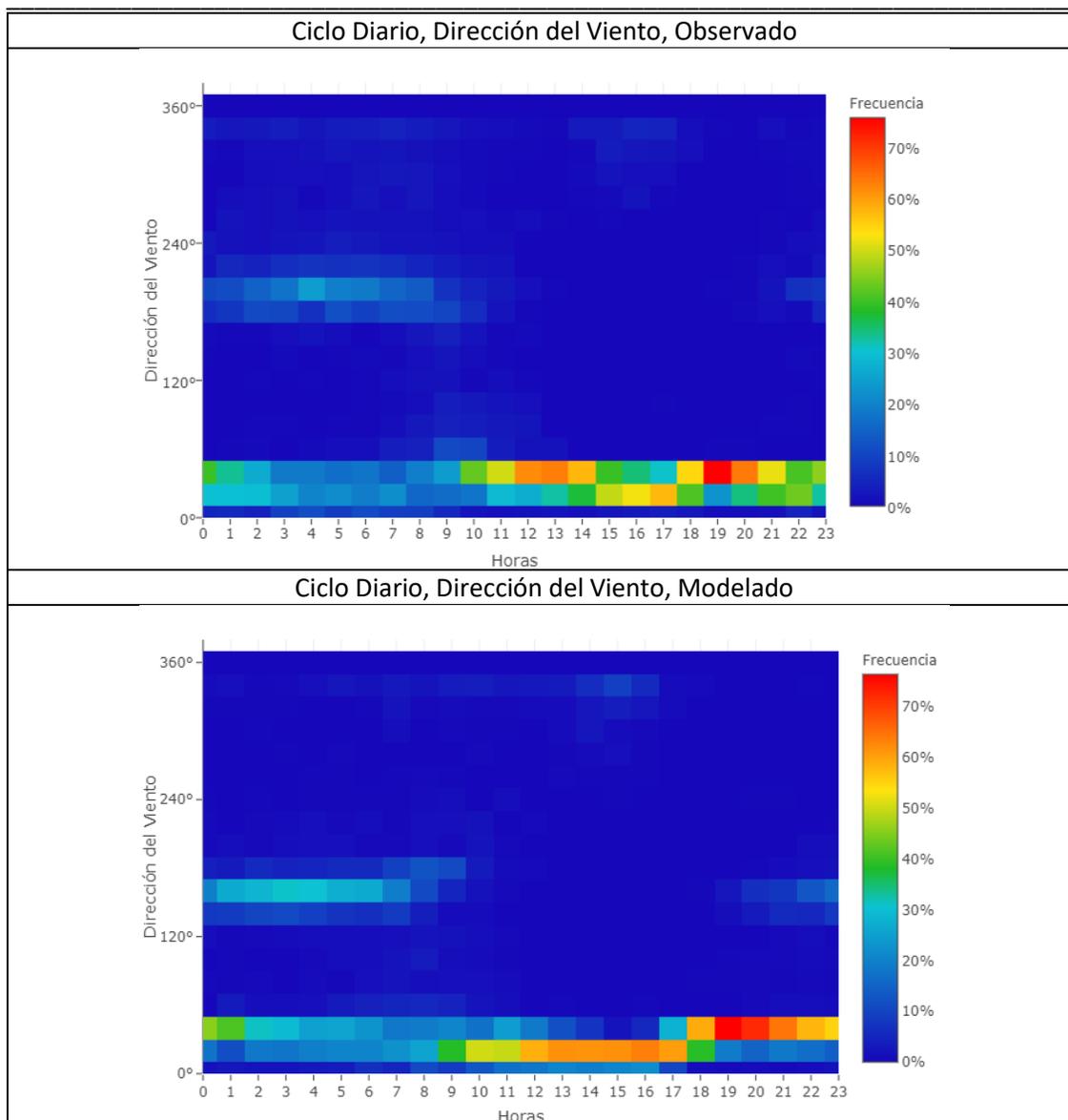


Figura 4.22: Comparación Ciclos diarios de Dirección del Viento (°) observada y modelada. Estación Tierra Amarilla Enami.

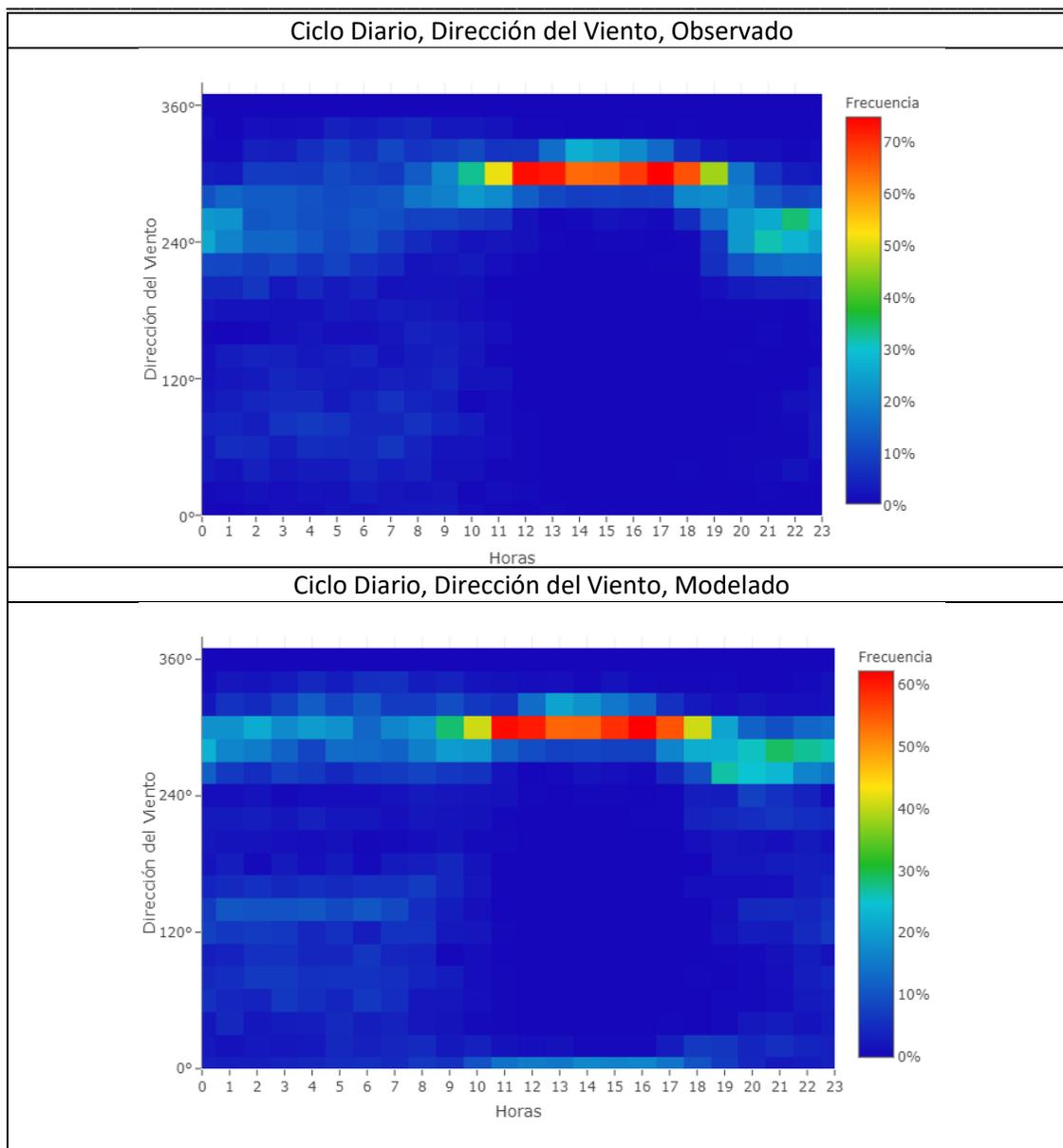


Figura 4.23: Comparación Ciclos diarios de Dirección del Viento (°) observada y modelada. Estación Paipote.

Temperatura

En las Figuras 4.24 y 4.25 se observa el ciclo diario de temperatura observada y modelada en las estaciones Mina El Bronce y Tierra Amarilla. Para la estación Mina El Bronce el ciclo medio observado va desde los 12,8°C hasta los 23,5°C, por su parte el ciclo medio modelado abarca el rango de 12,5°C a 23,6°C. La estación Tierra Amarilla, tiene un ciclo medio modelado donde los valores medios se encuentran entre 11,1°C y 25,4°C, mientras que el ciclo medio observado está entre 10,8°C y 25,5°C.

Los ciclos estacionales se muestran en las Figuras 4.26 y 4.27 para las estaciones Mina El Bronce y Tierra Amarilla, respectivamente. En ellas se puede apreciar que los ciclos modelados representan de buena forma el comportamiento horario y mensual, así como la magnitud de la temperatura.

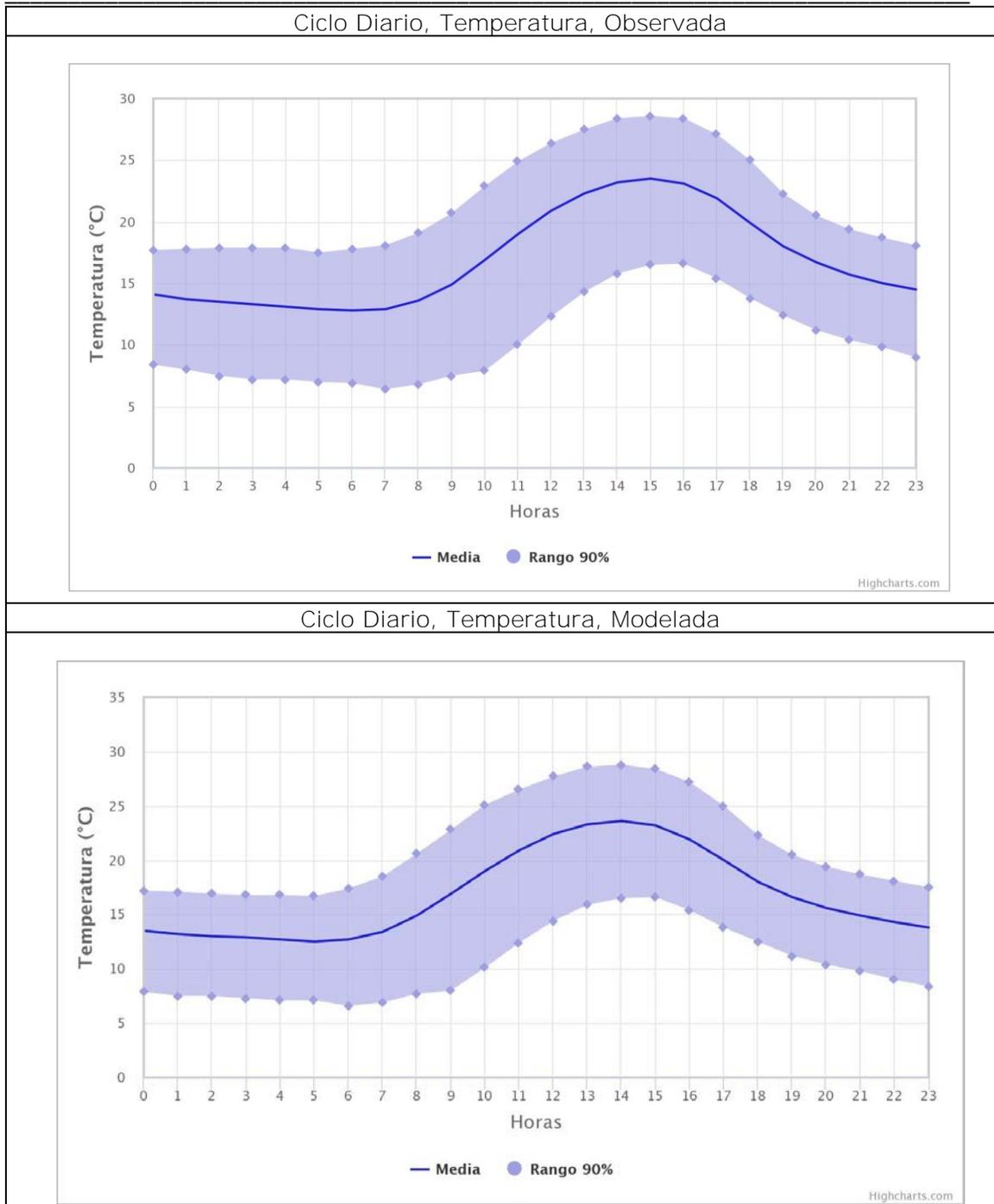


Figura 4.24: Comparación Ciclos diarios de Temperatura (°C) observada y modelada. Estación Mina El Bronce.

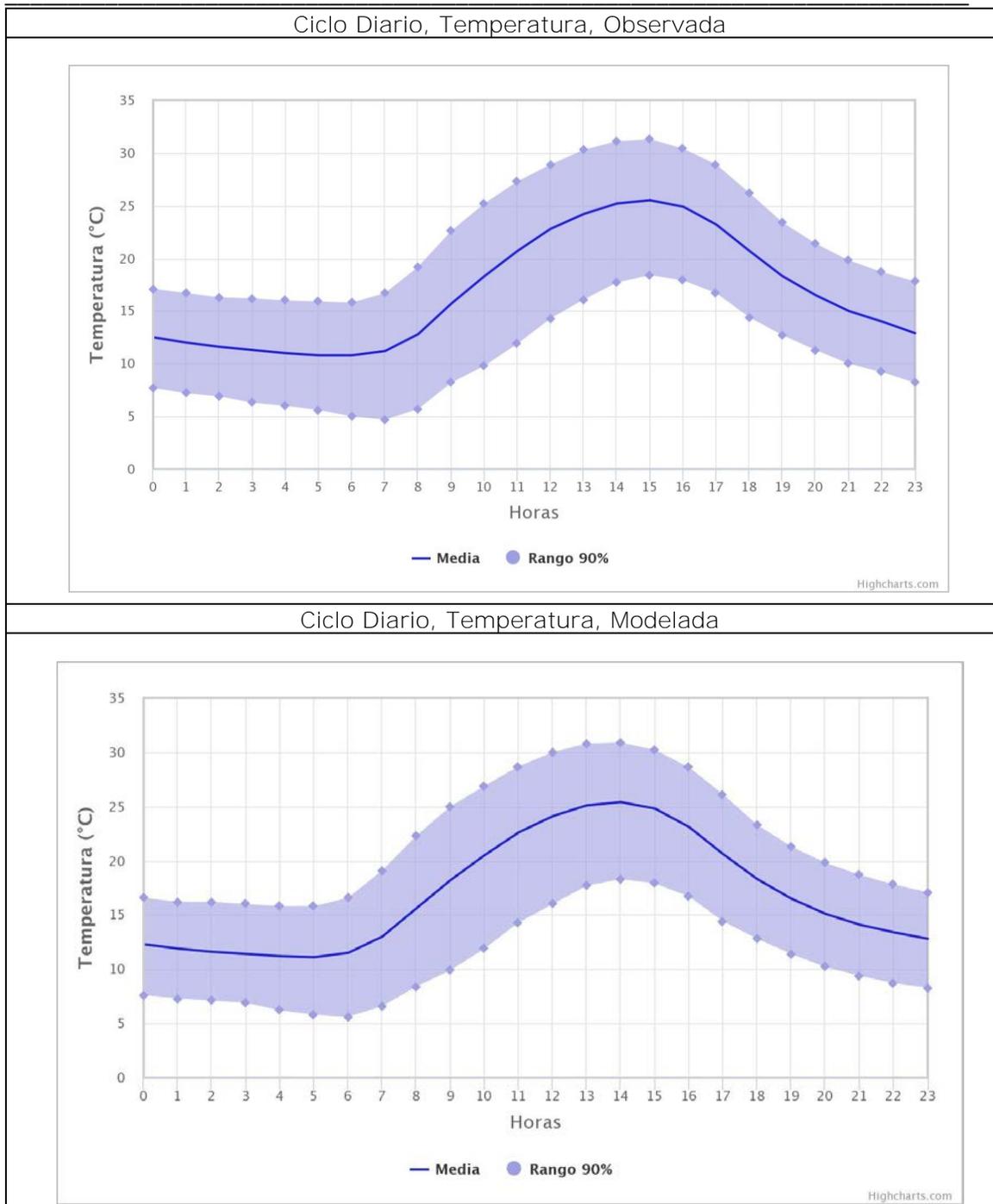


Figura 4.25: Comparación Ciclos diarios de Temperatura (°C) observada y modelada. Estación Tierra Amarilla.

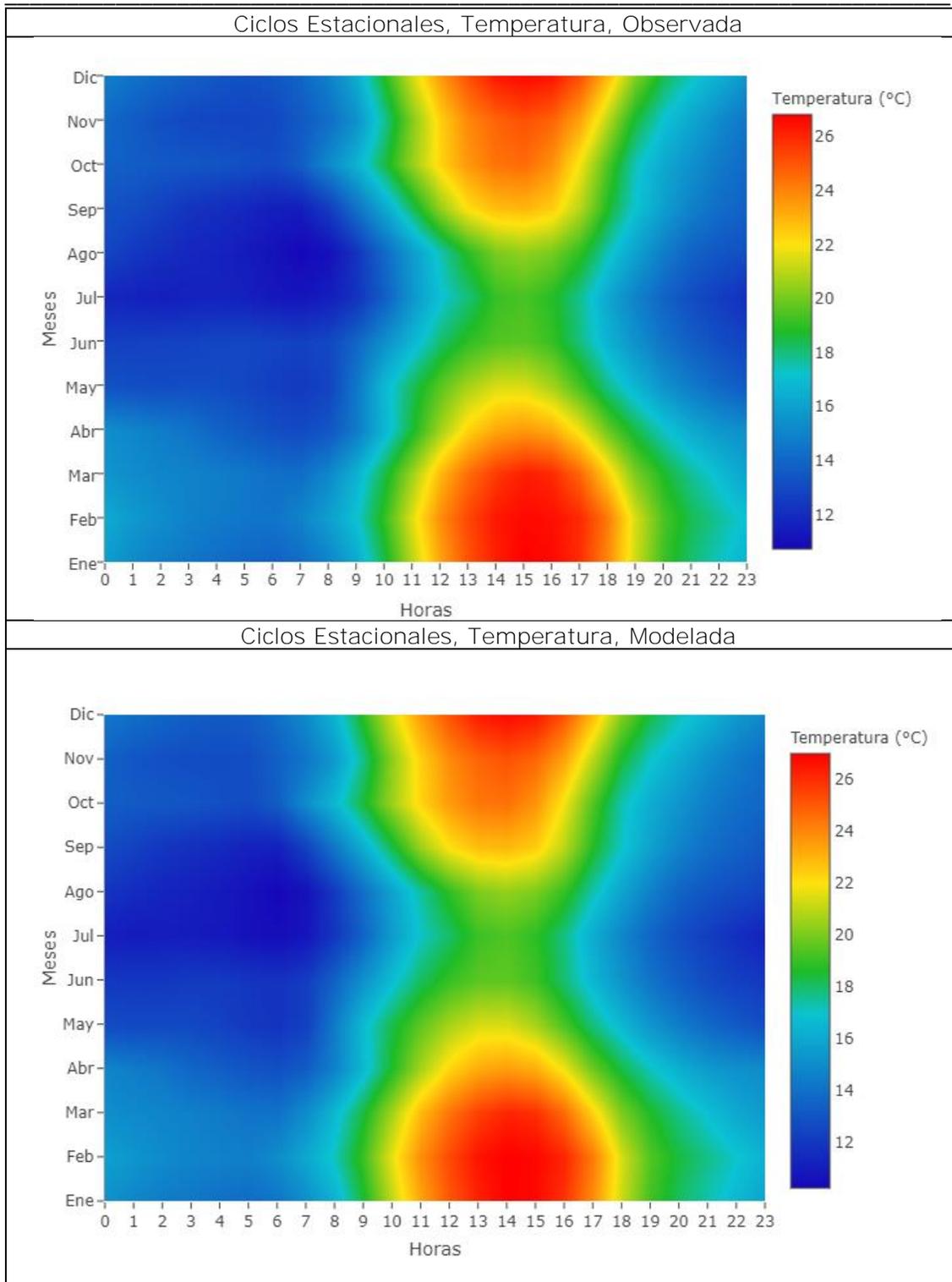


Figura 4.26: Comparación Ciclos Estacionales de Temperatura (°C) observada y modelada. Estación Mina El Bronce.

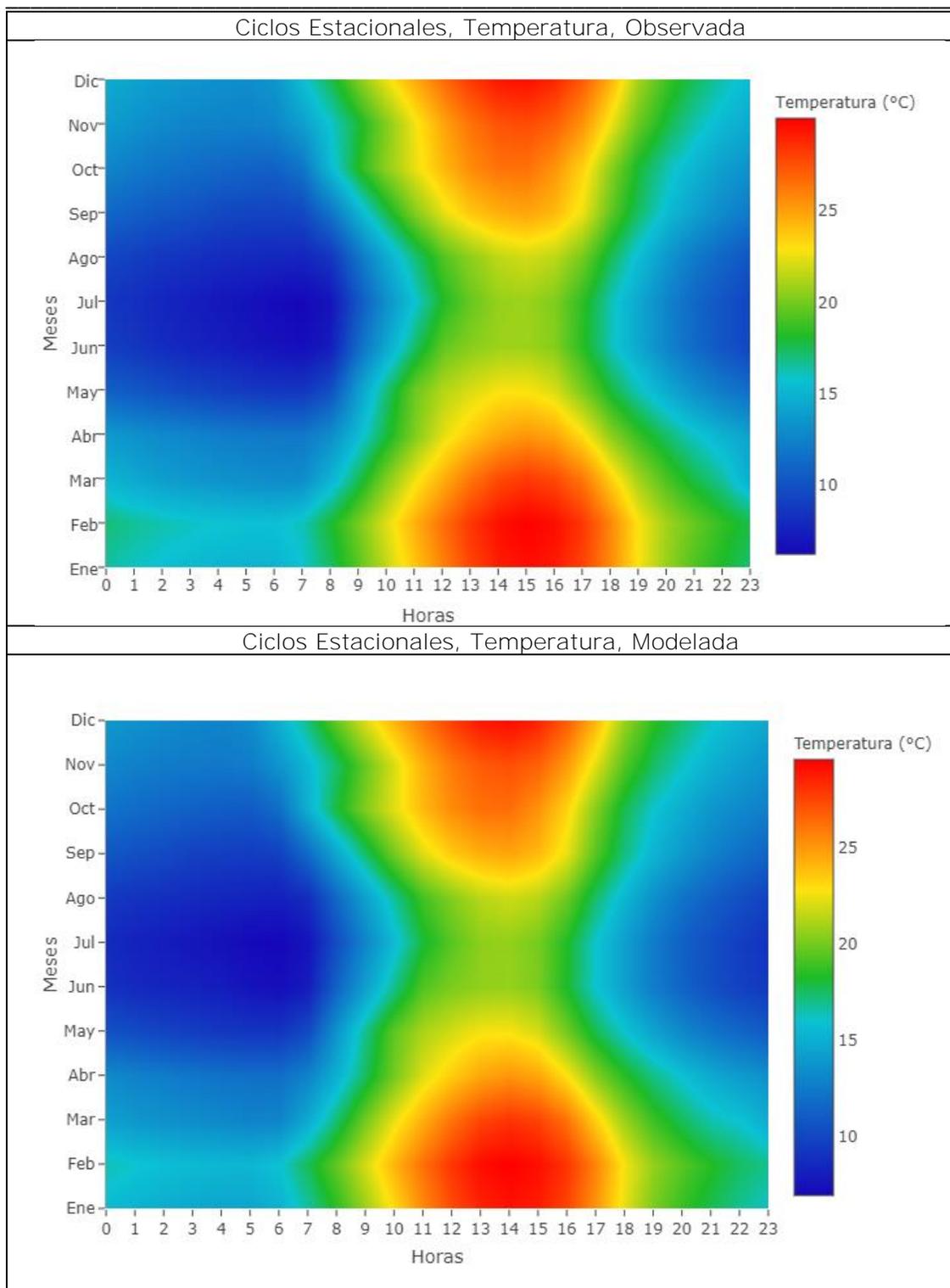


Figura 4.27: Comparación Ciclos Estacionales de Temperatura (°C) observada y modelada. Estación Tierra Amarilla.

Humedad Relativa

En las Figuras 4.28 y 4.29 se observan los ciclos diarios observados y modelados de la humedad relativa para las estaciones Mina El Bronce y Tierra Amarilla, respectivamente, las cuales muestran un comportamiento similar durante el día, tanto en el valor medio como en la dispersión.

Las Figuras 4.30 y 4.31 muestran los ciclos estacionales de la humedad relativa para las estaciones Mina El Bronce y Tierra Amarilla. En las dos estaciones se puede apreciar que los datos modelados reproducen de manera muy similar tanto los ciclos horarios como mensuales de las observaciones.

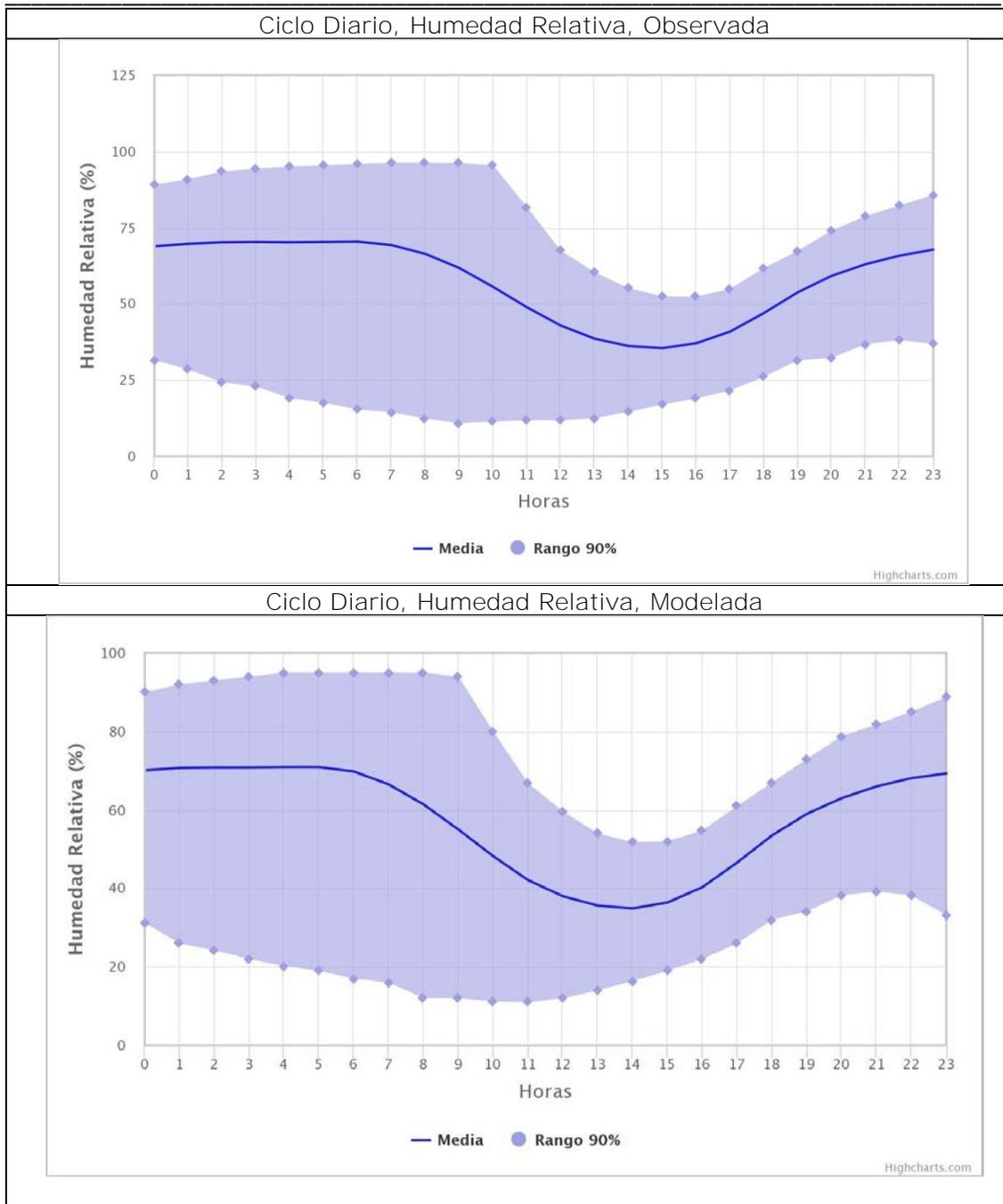


Figura 4.28: Comparación Ciclos diarios de Humedad Relativa [%] observada y modelada. Estación Mina El Bronce.

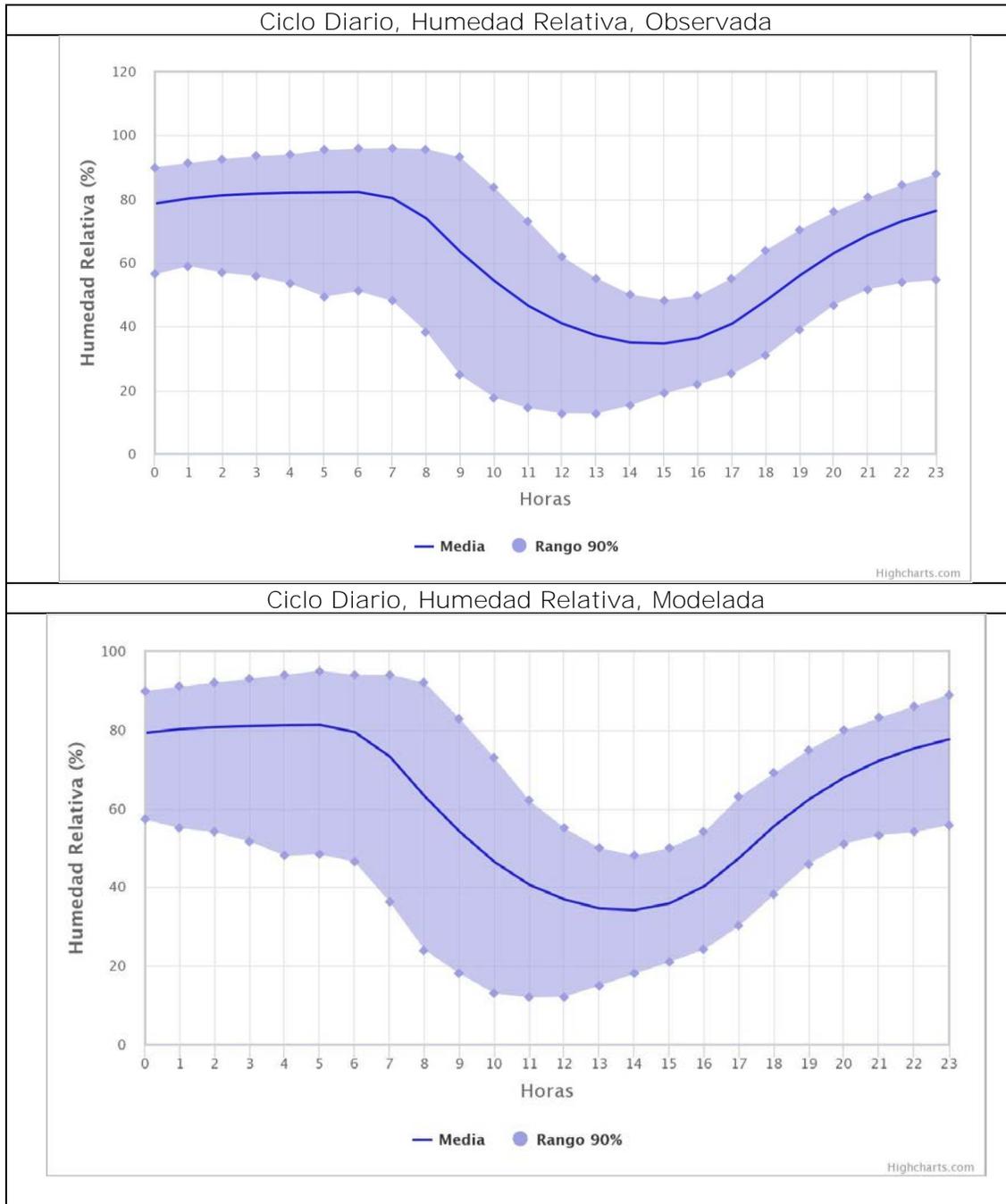


Figura 4.29: Comparación Ciclos diarios de Humedad Relativa [%] observada y modelada. Estación Tierra Amarilla.

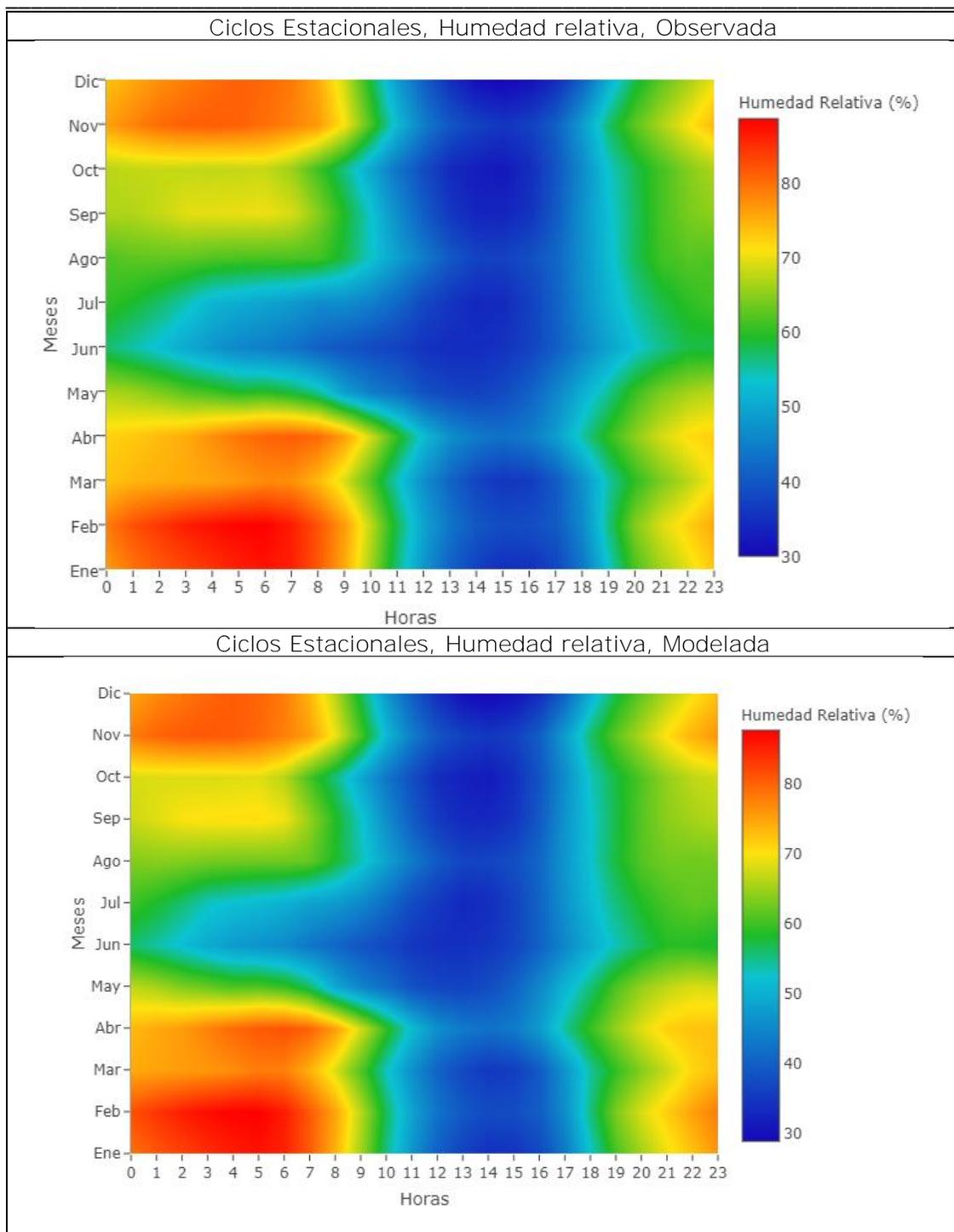


Figura 4.30: Comparación Ciclos Estacionales de Humedad Relativa [%] observada y modelada. Estación Mina El Bronce.

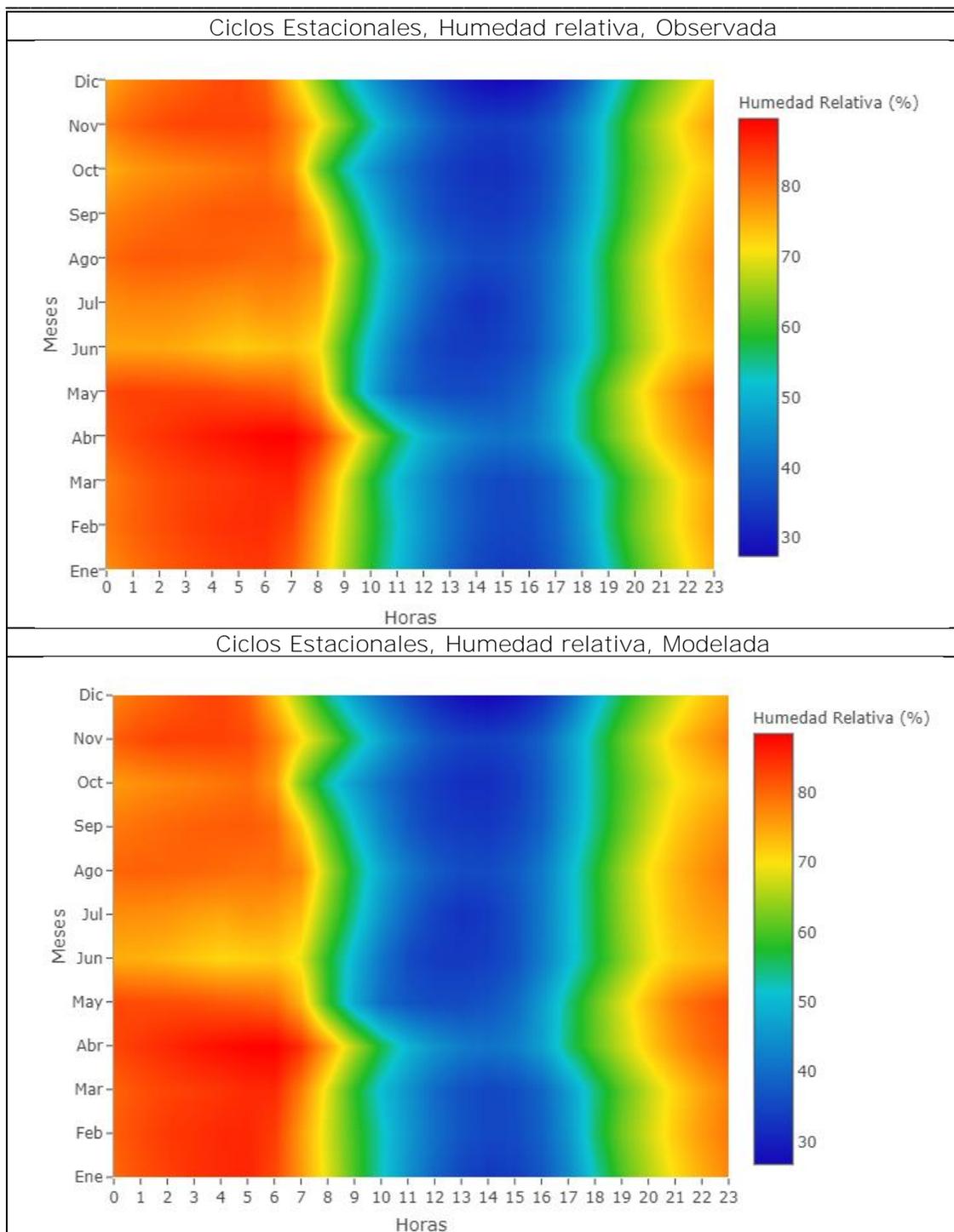


Figura 4.31: Comparación Ciclos Estacionales de Humedad Relativa [%] observada y modelada. Estación Tierra Amarilla.

Análisis de incertidumbre sector Mina

Los resultados de la modelación de variables meteorológicas se utilizan como input para la modelación del transporte y dispersión de contaminantes, por esta razón, interesa conocer el análisis de la incertidumbre de dicha modelación.

Considerando los resultados de la modelación meteorológica utilizando WRF/CALMET 2018 para la zona de estudio, se comparan los valores modelados con los valores registrados (observados) en la estación. En base a lo anterior, se presenta un análisis de incertidumbre de manera que se explicita el potencial impacto de la modelación meteorológica sobre las concentraciones estimadas.

Es así como se calculó la incertidumbre de la modelación meteorológica al estimar los errores porcentuales de la velocidad del viento¹. La Tabla IV.3 muestra el promedio para los datos observados y modelados en Candelaria.

Tabla IV.3: Media variables meteorológicas (observada y modelada)

ESTACIÓN	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)			TEMPERATURA (°C)		
	Observada	Modelada	Error	Observada	Modelada	Error
Mina El Bronce	3,3	3,4	3,0	16,9	16,8	-0,6
Nantoco	2,6	2,5	-3,8	-	-	-
Tama	2,3	2,1	-8,7	16,8	16,8	0
Tama Enami	2,2	2,1	-4,5	-	-	-
Paipote	2,1	1,9	-9,5	-	-	-
	Error promedio		-4,7%	Error promedio		-0,3%

Los errores mostrados en la Tabla V.2 corresponden a los errores porcentuales, es decir, se calculan de acuerdo a la fórmula:

$$E_p = \left(\frac{x_m - x_o}{x_o} \right) \cdot 100 \quad (a)$$

Donde E_p corresponde al error porcentual de la medición, x_m es el valor modelado y x_o es el valor observado. Dado que la velocidad del viento modelada por WRF/CALMET subestima los valores observados, entonces, su efecto es aumentar las concentraciones, por tanto, este efecto debe ser considerado en la corrección por incertidumbre en la modelación CALPUFF y corresponderá al promedio de la incertidumbre de las cinco estaciones, es decir, -4,7% para el viento.

De similar forma como la temperatura modelada por WRF/CALMET subestima los valores observados, entonces, su efecto es aumentar las concentraciones, es por esto que al igual que con la velocidad del viento, se debe realizar una corrección por incertidumbre en la modelación CALPUFF, cuyo valor es de -0,3% para el caso de la temperatura.

¹ Según lo establece la Guía para el uso de modelos de Calidad del Aire en el SEIA

La ecuación (b) muestra el ajuste por incertidumbre para las estaciones para los parámetros de velocidad del viento y temperatura.

$$\begin{aligned} Conc_f &= Conc_m * -0,047 * Conc_m - 0,003 * Conc_m \\ Conc_f &= 0,95 * Conc_m \end{aligned} \quad (b)$$

Donde:

$Conc_f$ = Concentración modelada ajustada por incertidumbre meteorológica

$Conc_m$ = Concentración modelada

Por lo tanto, para obtener la concentración modelada ajustado por incertidumbre meteorológica, será necesario multiplicar por un factor 0,95 la concentración modelada. Para efectos de obtener resultados conservadores, no se reducirán las concentraciones modeladas, por tanto, el factor será 1.0

4.2 ANALISIS COMPARATIVO DE LA METEOROLOGIA MODELADA CON LA METEOROLOGIA OBSERVADA DE LOS CARGOS N°2 Y N°4

CARGO N°2: Las Figuras 4.32 y 4.33 muestran una comparación entre la meteorología modelada y observada en las estaciones de TAMA y Nantoco para enero del año 2018 en donde ocurre el cargo N° 2. De ellas se observa un buen ajuste de dicha variable meteorológica, logrando reproducir el comportamiento horario.

La Figura 4.34 muestra las rosas de vientos en ambas estaciones. De ella se observa un buen ajuste de la modelación meteorológica para el mes de enero del año 2018.

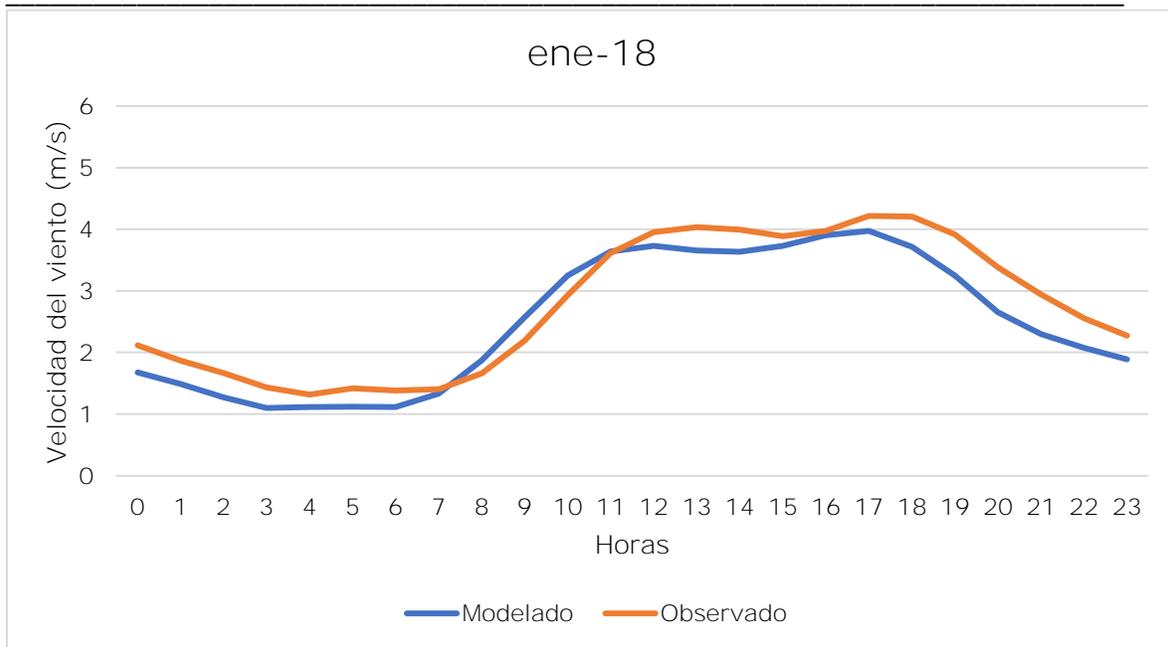


Figura 4.32: Velocidad del viento estación TAMA enero 2018

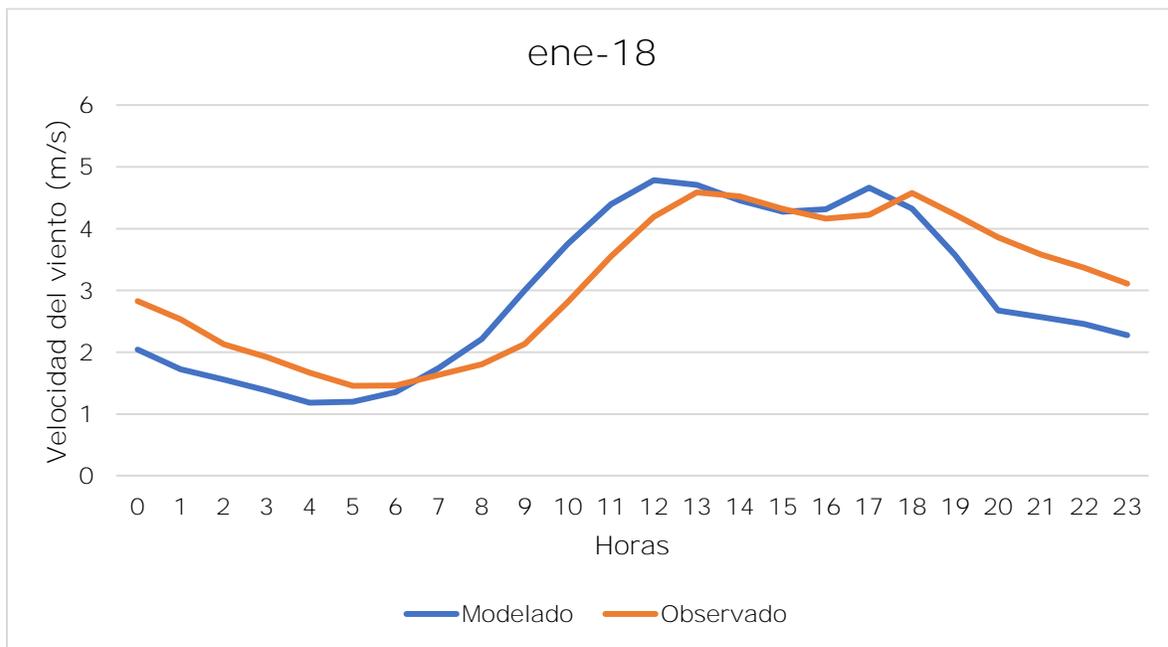


Figura 4.33 Velocidad del viento estación Nantoco enero 2018

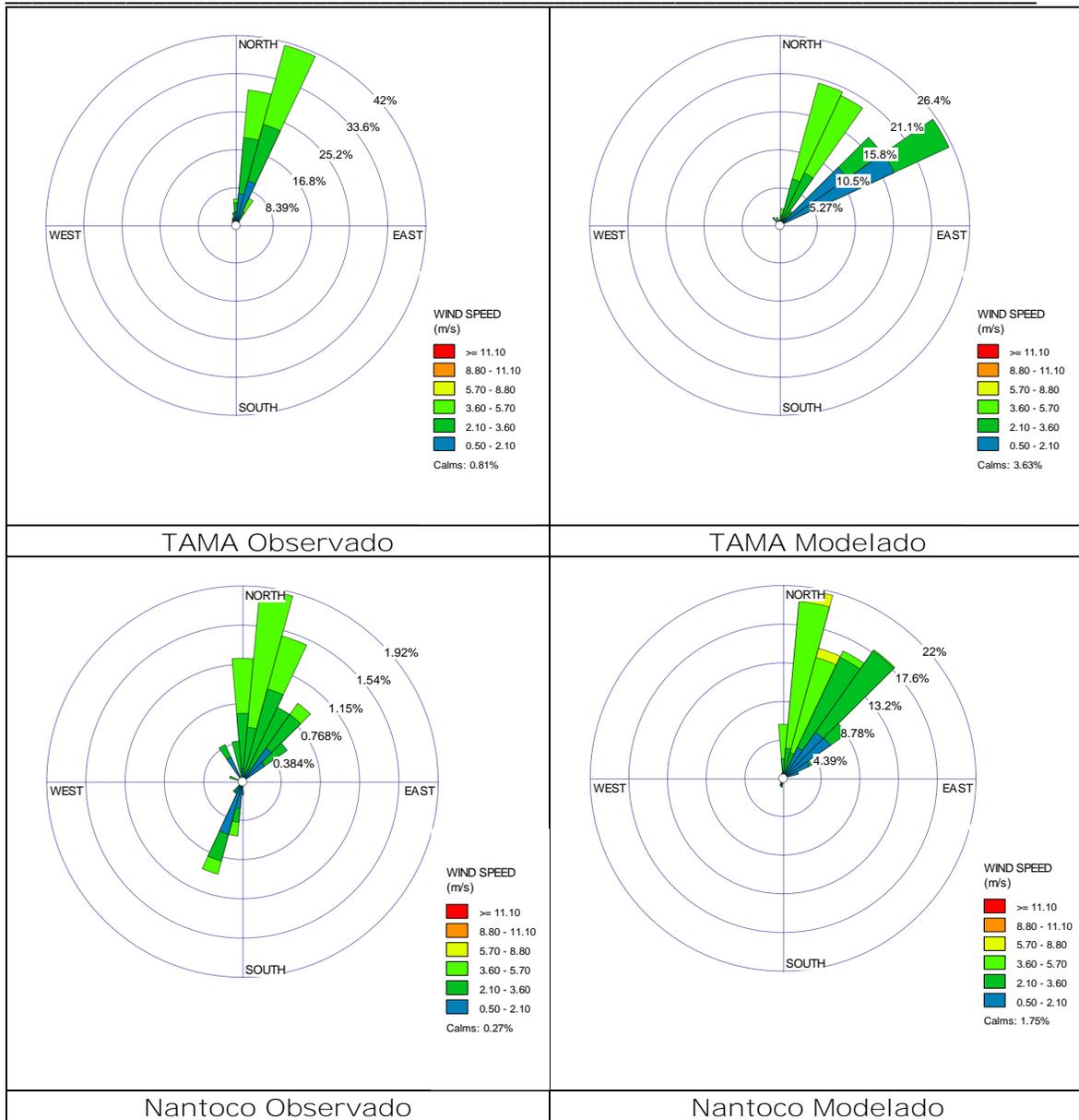


Figura 4.34 Dirección del viento estaciones TAMA y Nantoco enero 2018

CARGO N°4: Las Figuras 4.35 a 4.42 muestran una comparación de la velocidad del viento modelada y aquella ocurrida para cada uno de los días del cargo N° 4 en las estaciones de TAMA y Nantoco. De ella se observa que en general se logra reproducir de manera satisfactoria los datos observados.

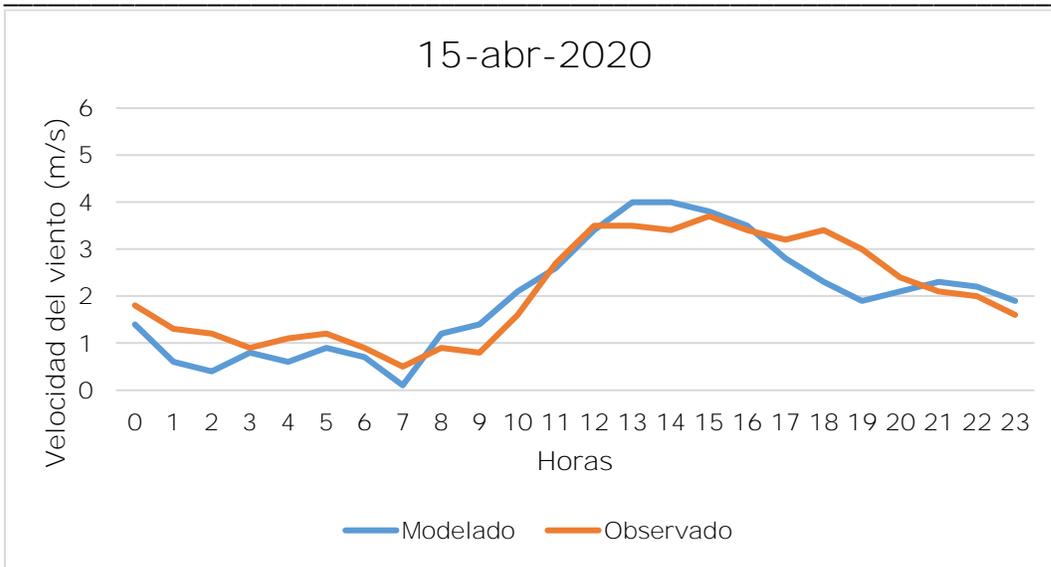


Figura 4.35: Velocidad del viento estación TAMA 15 de abril 2020

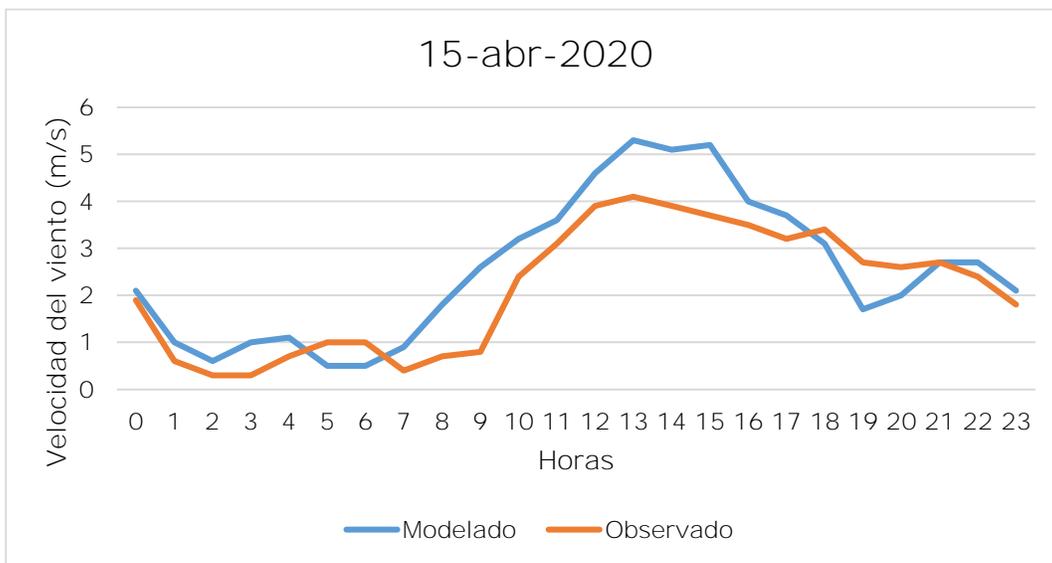


Figura 4.36: Velocidad del viento estación Nantoco 15 de abril 2020

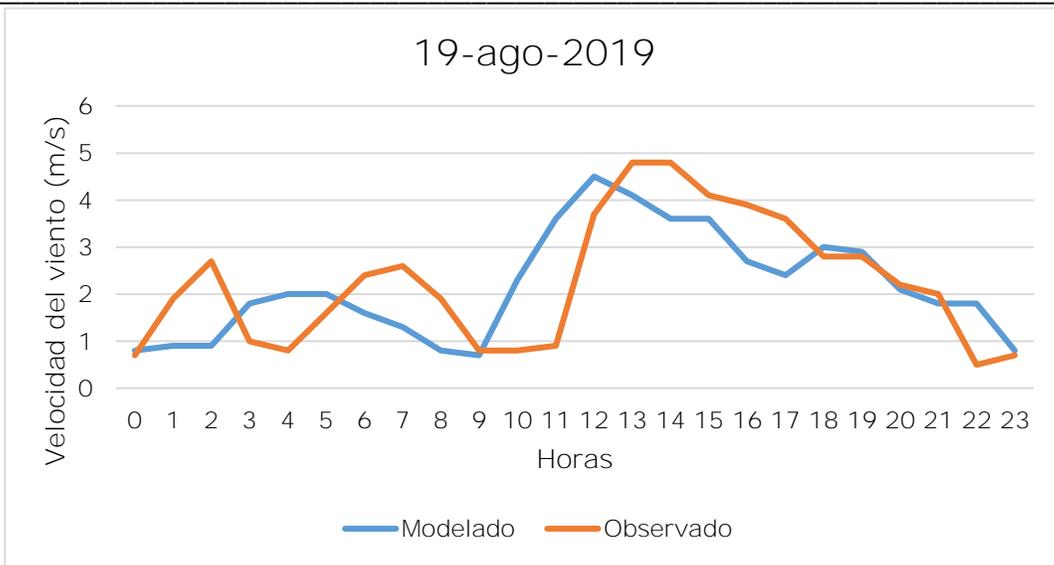


Figura 4.37: Velocidad del viento estación TAMA 19 de agosto 2019

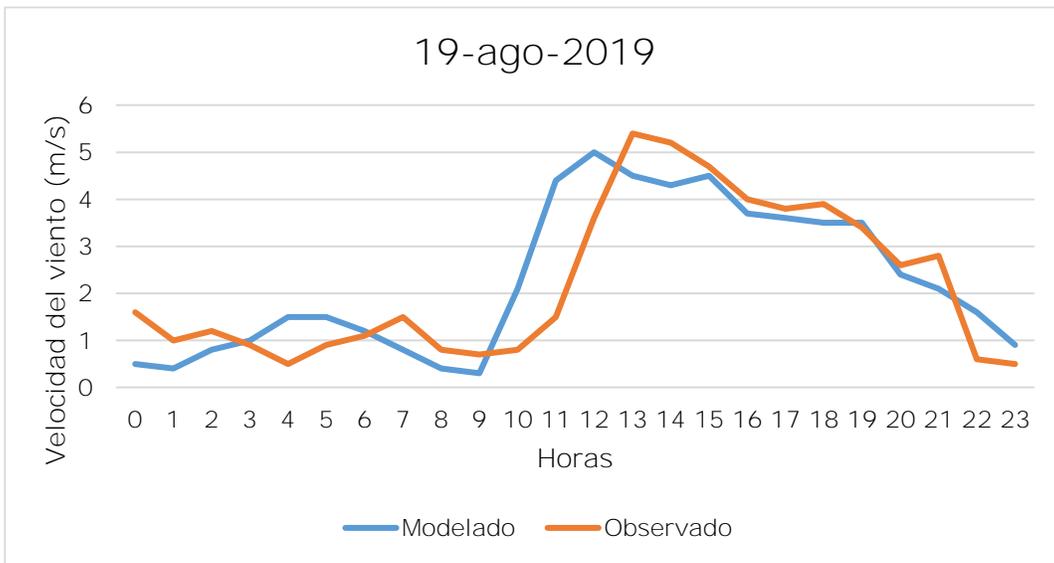


Figura 4.38: Velocidad del viento estación Nantoco 19 de agosto 2019

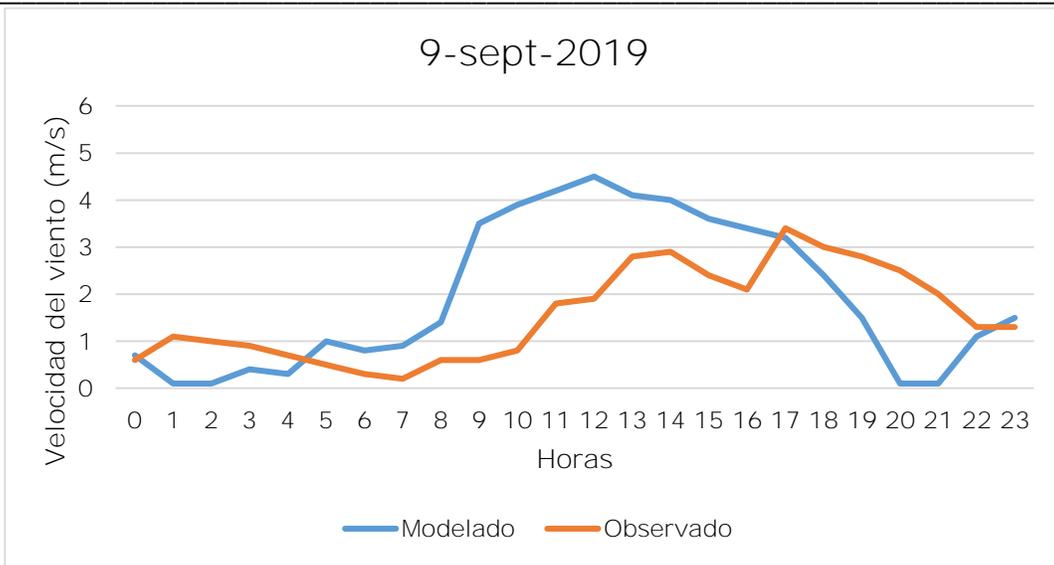


Figura 4.39: Velocidad del viento estación Tama 9 de septiembre 2019

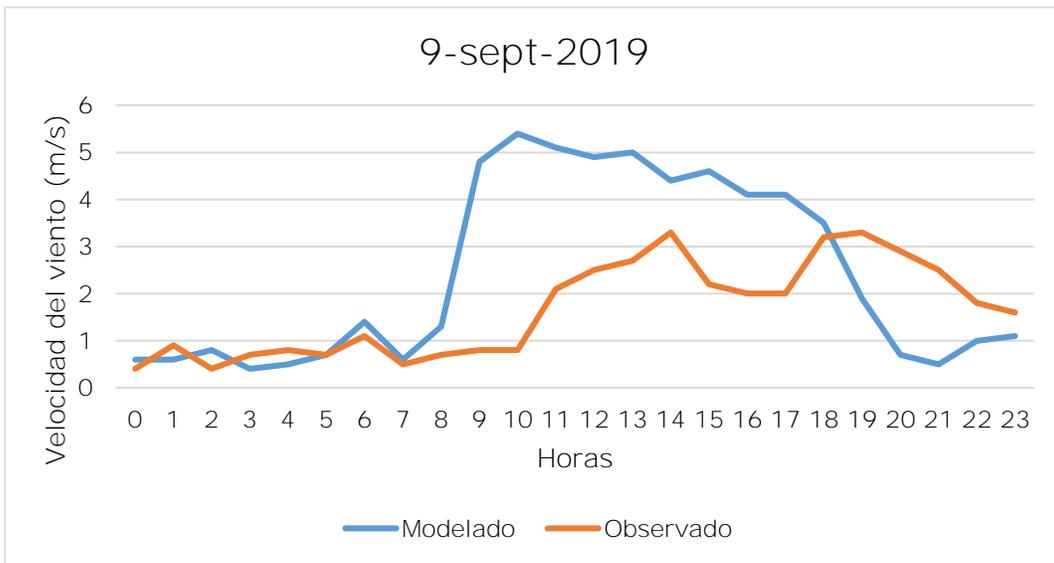


Figura 4.40: Velocidad del viento estación Nantoco 9 de septiembre 2019

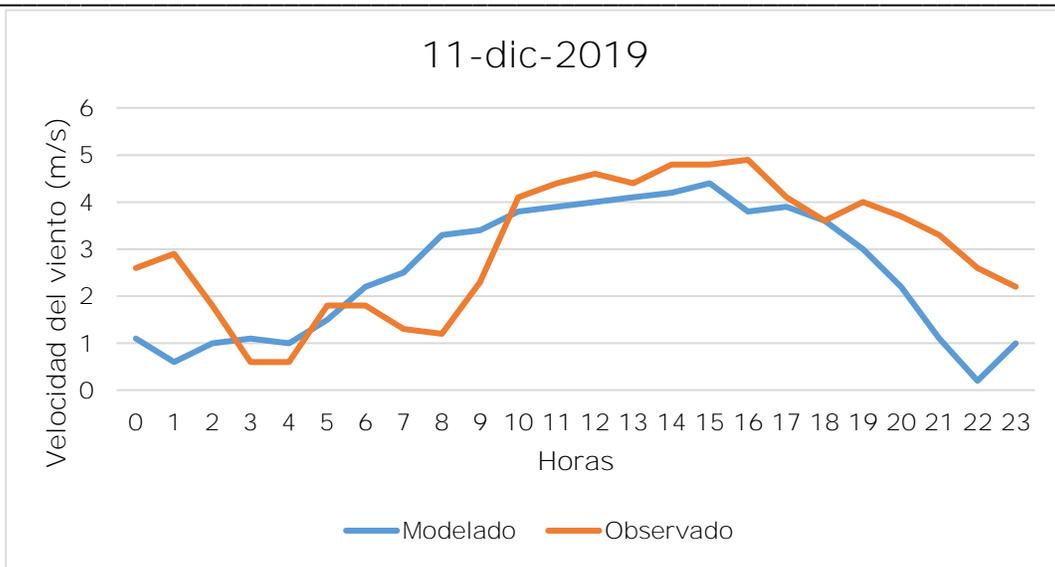


Figura 4.41: Velocidad del viento estación Tama 11 de diciembre 2019

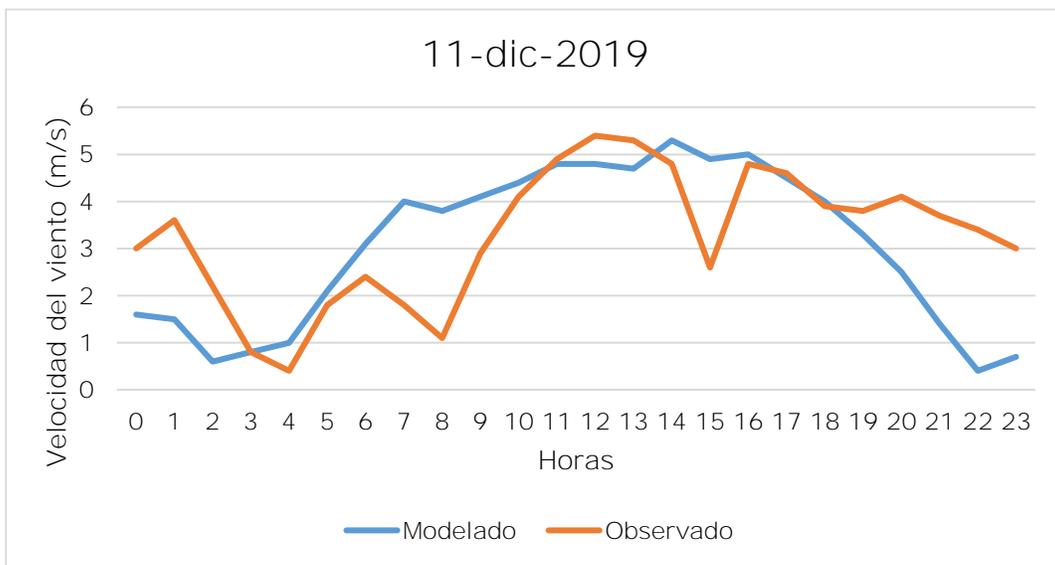


Figura 4.42: Velocidad del viento estación Nantoco 11 de diciembre 2019

Las Figuras 4.43 y 4.44 muestran las rosas de vientos para cada uno de los días del cargo N°4 en las estaciones de TAMA y Nantoco. De ellas se observa un buen ajuste de la modelación meteorológica.

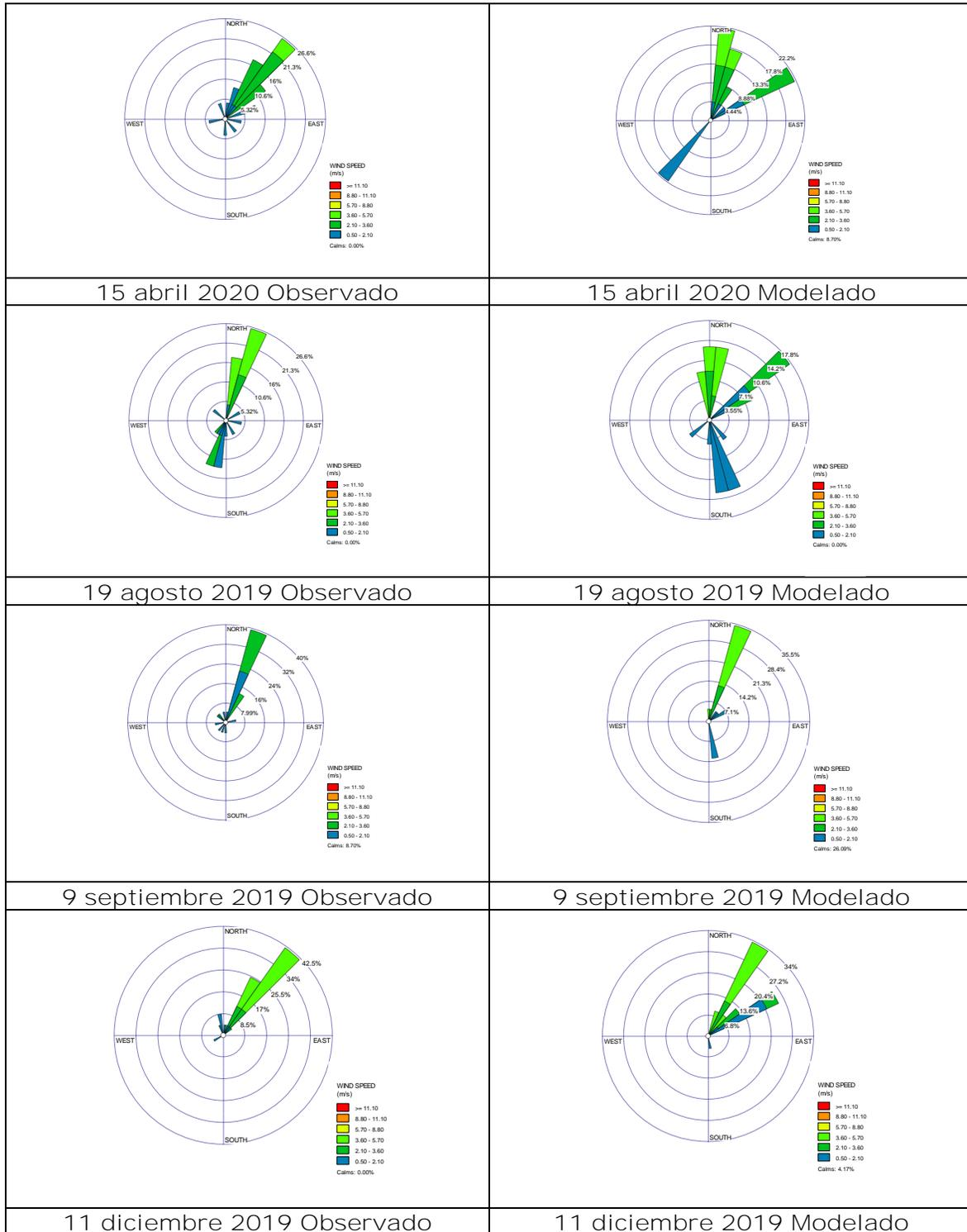


Figura 4.43: Rosas de viento Estación TAMA

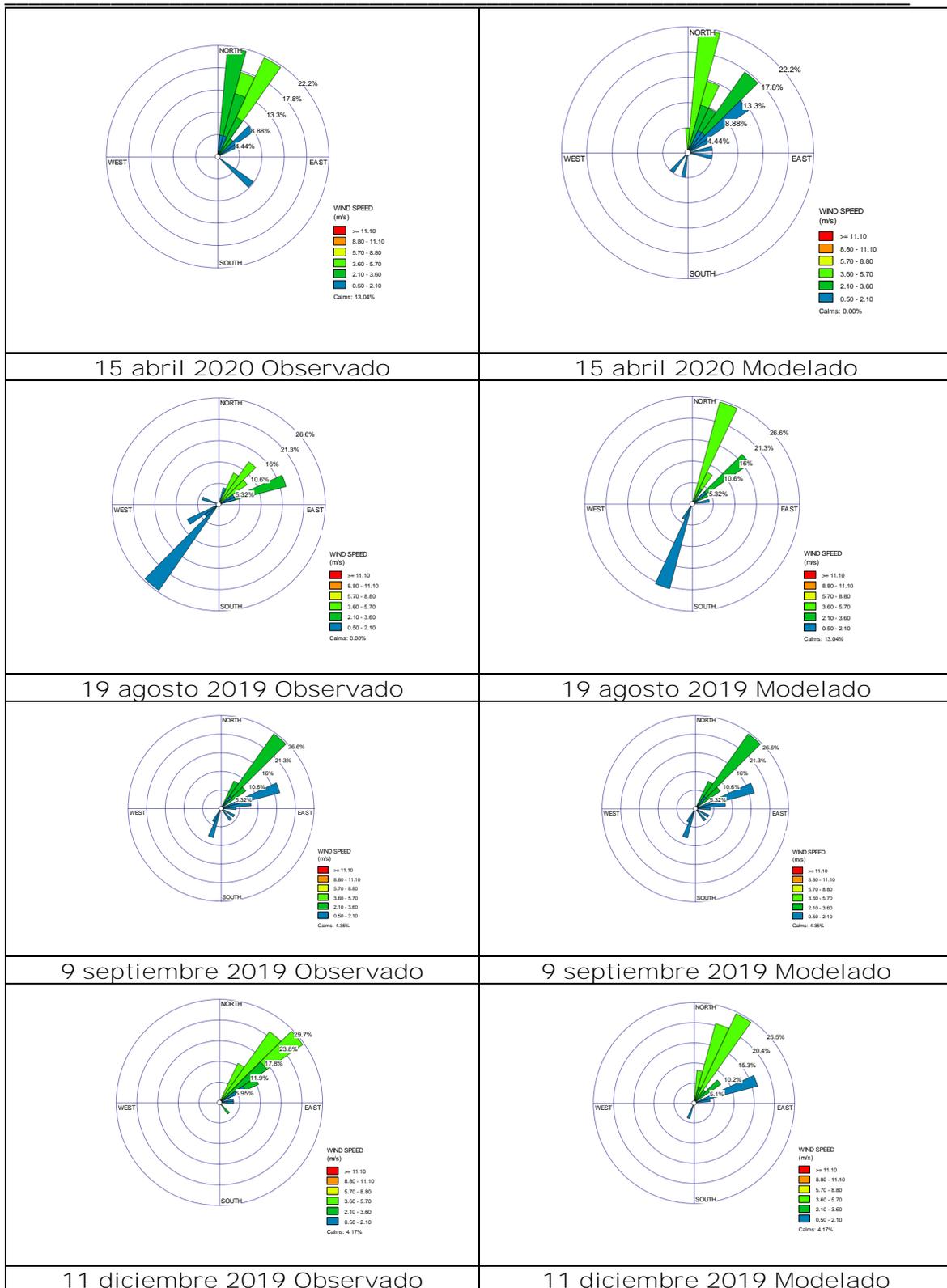


Figura 4.44: Rosas de viento Estación Nantoco

5 MODELACIÓN CALIDAD DEL AIRE

Para determinar la contribución de las fuentes emisoras contenidas en los Cargos N° 2 y N° 4 de la SMA, se modelaron dichas emisiones, obteniéndose las concentraciones de MP2,5 y MP10, así como las tasas de depositación de material particulado sedimentable MPS, en todo el dominio, y en especial, en las estaciones monitoras de TAMA y Nantoco.

Para esto se utilizó una modelación WRF-CALMET 2018, con resolución de 0,2 km. Los campos de viento y demás variables meteorológicas obtenidas en conjunto con las emisiones de MP, MP10, y MP2,5 asociadas a las fuentes de construcción de una piscina de emergencia y a las tronaduras, alimentaron el modelo de transporte y difusión de contaminantes atmosféricos denominado CALPUFF, con lo cual se obtuvo las concentraciones de MP2,5 y MP10, así como el MPS en toda el área.

La Figura 5.1 muestra el dominio de modelación considerado en este estudio, así como las estaciones TAMA y Nantoco.

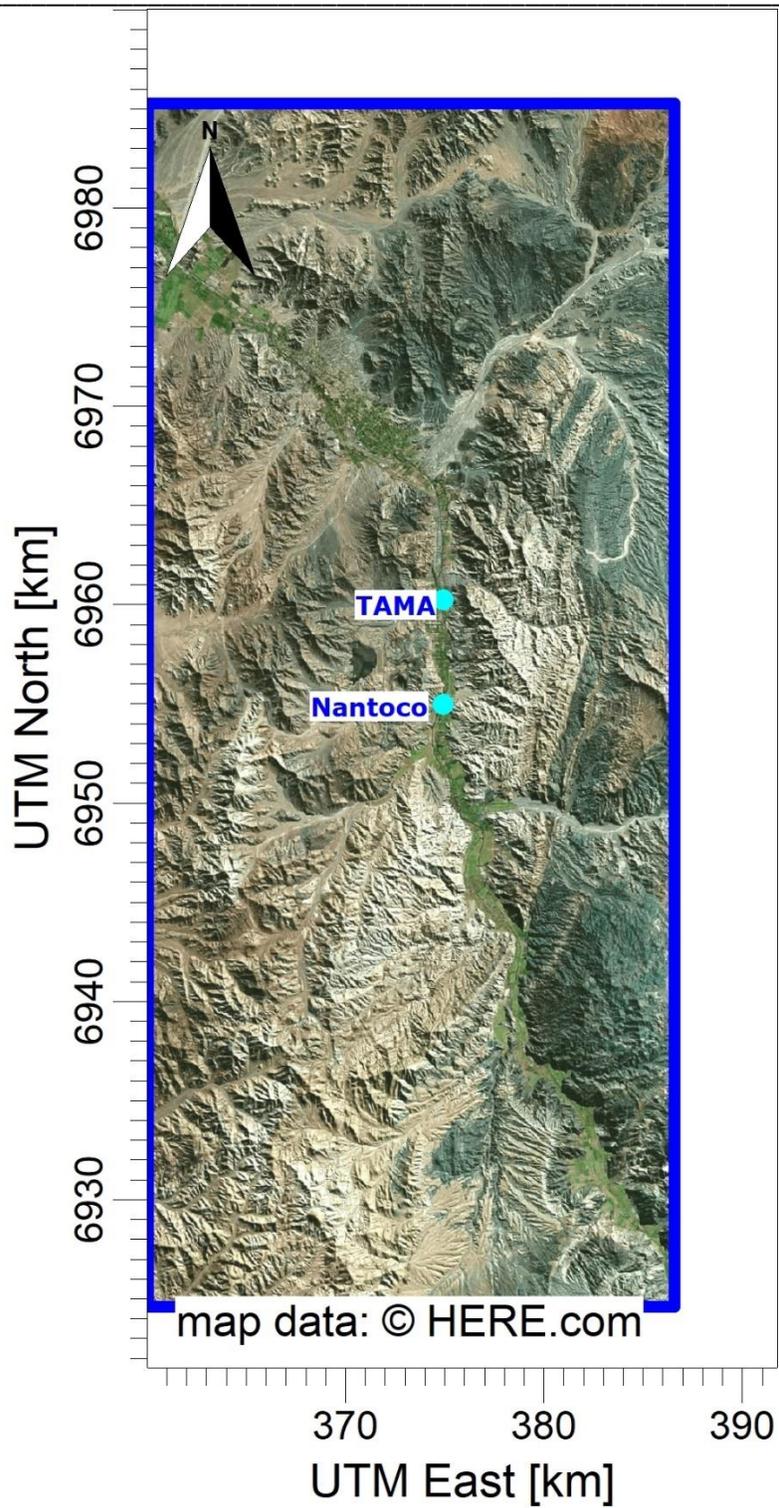


Figura 5.1: Dominio de modelación

5.1 CARGO N° 2

Con las emisiones de MP10 entregadas por ECOS Chile, se corrió el modelo CALPUFF para un mes, entregando los resultados en términos de concentraciones de MP10.

La Tabla V.1 muestra los resultados de la modelación del MP10 para el Cargo N° 2 (construcción extra de la piscina de emergencia). De ella se observa que en ambas estaciones el aporte de la construcción de la piscina a las concentraciones monitoreadas mensuales es poco significativo.

Tabla V.1: Resultados Cargo N°2

MES	MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	Modelado		Observado		Aporte Piscina a lo observado	
	Nantoco	TAMA	Nantoco	TAMA	Nantoco	TAMA
ene-18	0.00001	0.00001	28	53	0.00004%	0.00002%

La Figura 5.2 muestra la isolínea mensual para el Cargo N°2, observándose que el impacto es poco significativo en las estaciones monitoreadas, debido a que la pluma se dirige hacia el sur de la fuente.

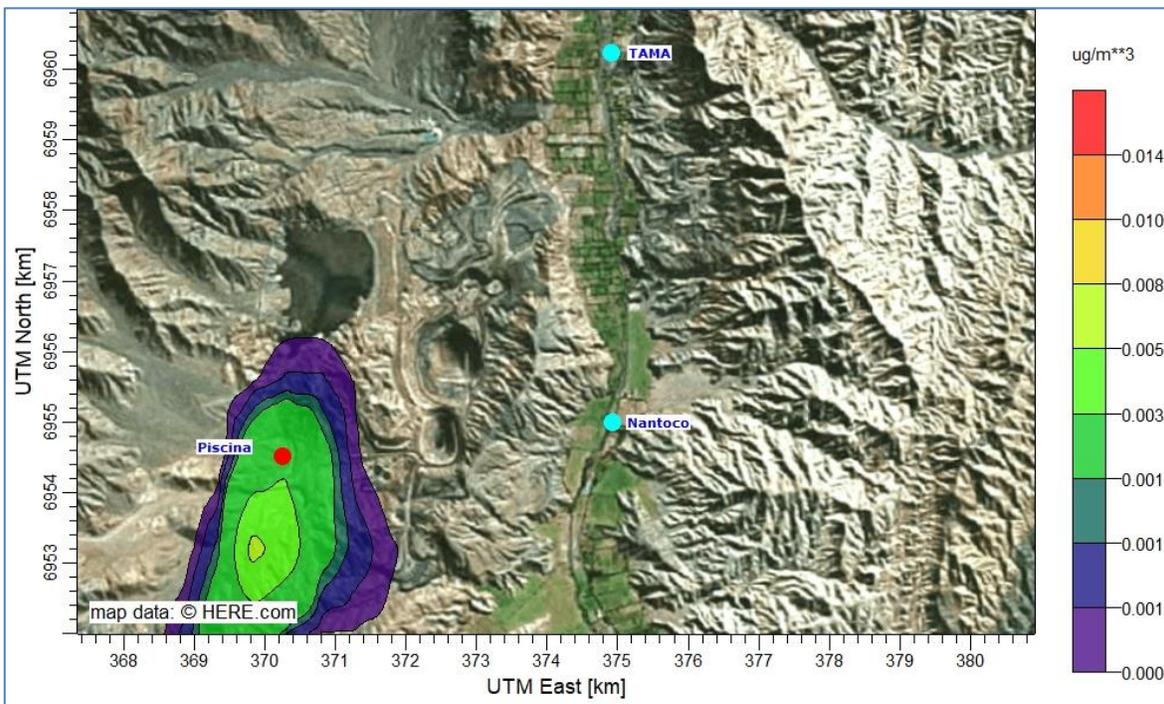


Figura 5.2: Media mensual MP10 Cargo N° 2

5.2 CARGO N° 4

Con las emisiones de MP, MP10, y MP2,5 entregadas por ECOS Chile, se corrió el modelo CALPUFF para cada día del Cargo N° 4 (excepto el 25 de abril 2020), entregando los resultados en términos de concentraciones y depositaciones de material particulado.

Cabe notar que las tronaduras se realizaron alrededor de las 14:00 horas cada día.

Las Tablas V.2 a V.4 muestran los resultados de la modelación para el MPS, MP10, y MP2,5 para el cargo 4, respectivamente. De ellas se observa que para las distintas fechas consideradas el impacto en la depositación del MPS y en las concentraciones de MP10 y MP2,5, es poco significativo.

Tabla V.2: Resultados de MPS cargo N°4

FECHA	MPS (mg/m ² -d)	
	Modelado	
	Nantoco	TAMA
15/04/2020	0.2406	0.0000
19/08/2019	0.0000	0.0000
09/09/2019	0.0004	0.0003
11/12/2019	0.0557	0.0038

Tabla V.3: Resultados del MP10 cargo N°4

FECHA	MP10 (µg/m ³)					
	Modelado		Observado		Aporte tronadura a lo observado	
	Nantoco	TAMA	Nantoco	TAMA	Nantoco	TAMA
15/04/2020	0.2047	0.0000	28	33	0.73%	0.00%
19/08/2019	0.0000	0.0000	51	83	0.00%	0.00%
09/09/2019	0.0024	0.0016	32	50	0.01%	0.00%
11/12/2019	0.0684	0.0027	44	64	0.16%	0.00%

Tabla V.4: Resultados del MP2,5 cargo N°4

FECHA	MP2.5 (µg/m ³)					
	Modelado		Observado		Aporte tronadura a lo observado	
	Nantoco	TAMA	Nantoco	TAMA	Nantoco	TAMA
15/04/2020	0.0118	0.0000	10	18	0.12%	0.00%
19/08/2019	0.0000	0.0000	9	12	0.00%	0.00%
09/09/2019	0.0002	0.0001	7	7	0.00%	0.00%
11/12/2019	0.0040	0.0002	8	13	0.05%	0.00%

Las Figuras 5.3 a 5.14 muestran la pluma de la depositación de MPS y de las concentraciones de MP10 y MP2,5 a las 14:00 horas para cada una de las fechas señaladas en el Cargo N°4. De ellas se observa que el impacto en las estaciones TAMA y Nantoco es poco significativo siendo a lo más 0,2 µg/m³.

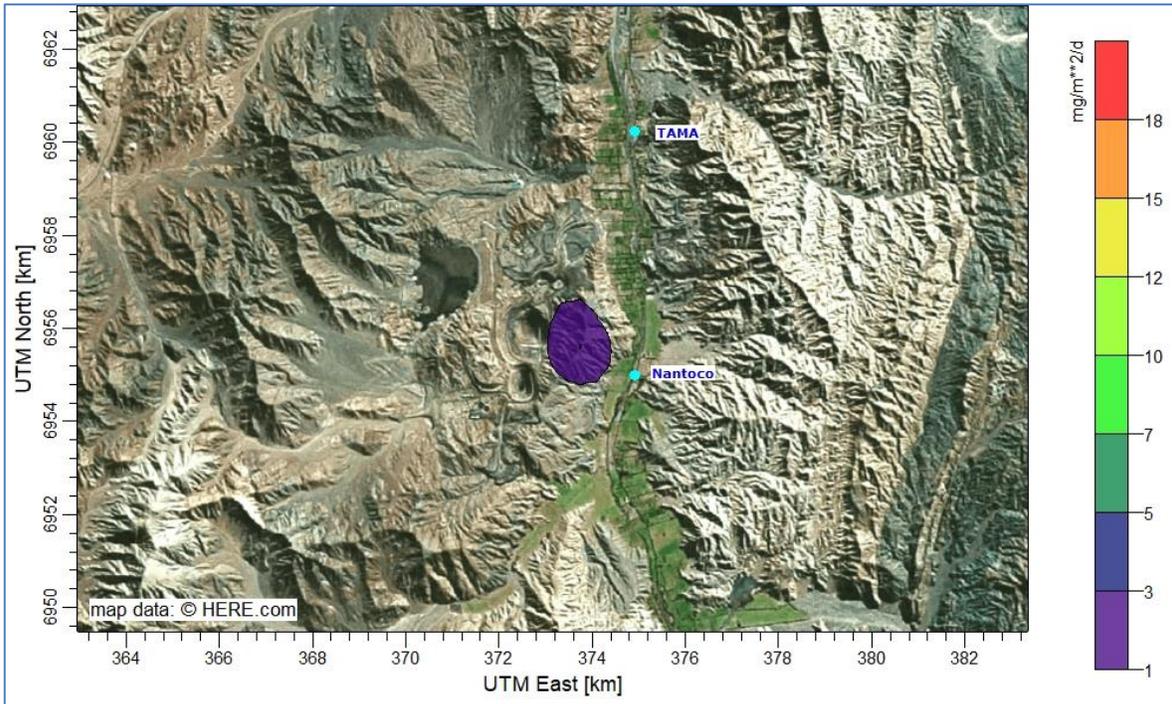


Figura 5.3: I solínea de MPS promedio diario día 15 de abril 2020

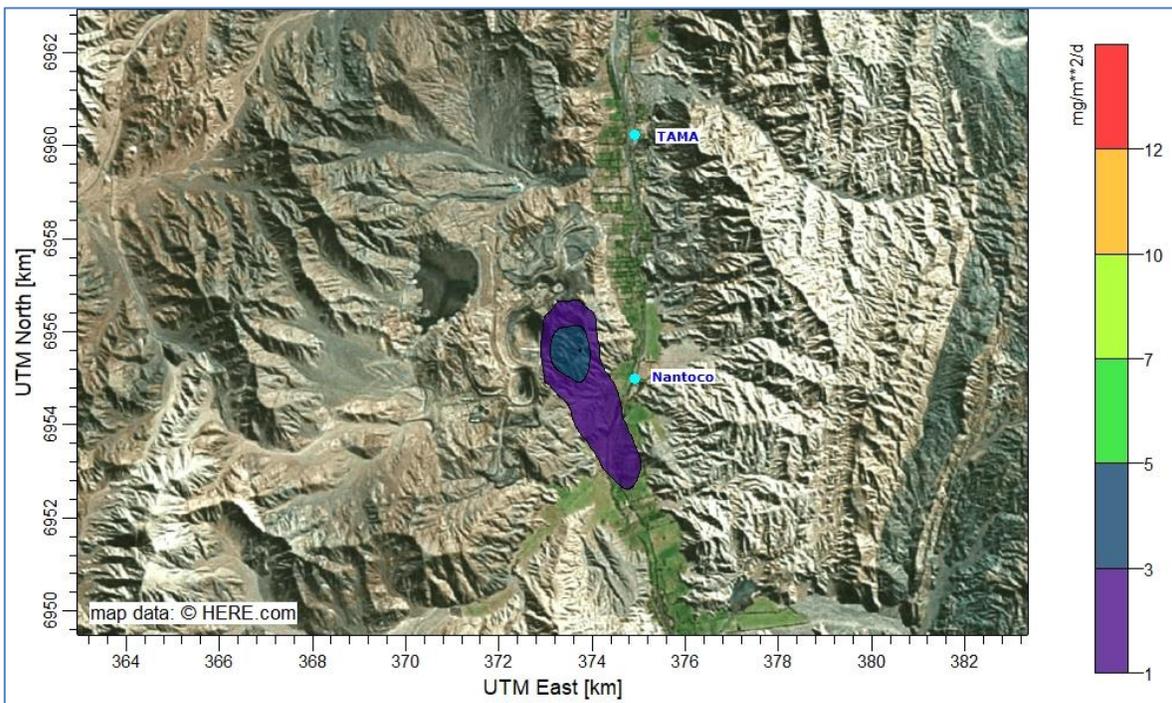


Figura 5.4: I solínea de MPS promedio diario día 19 de agosto 2019

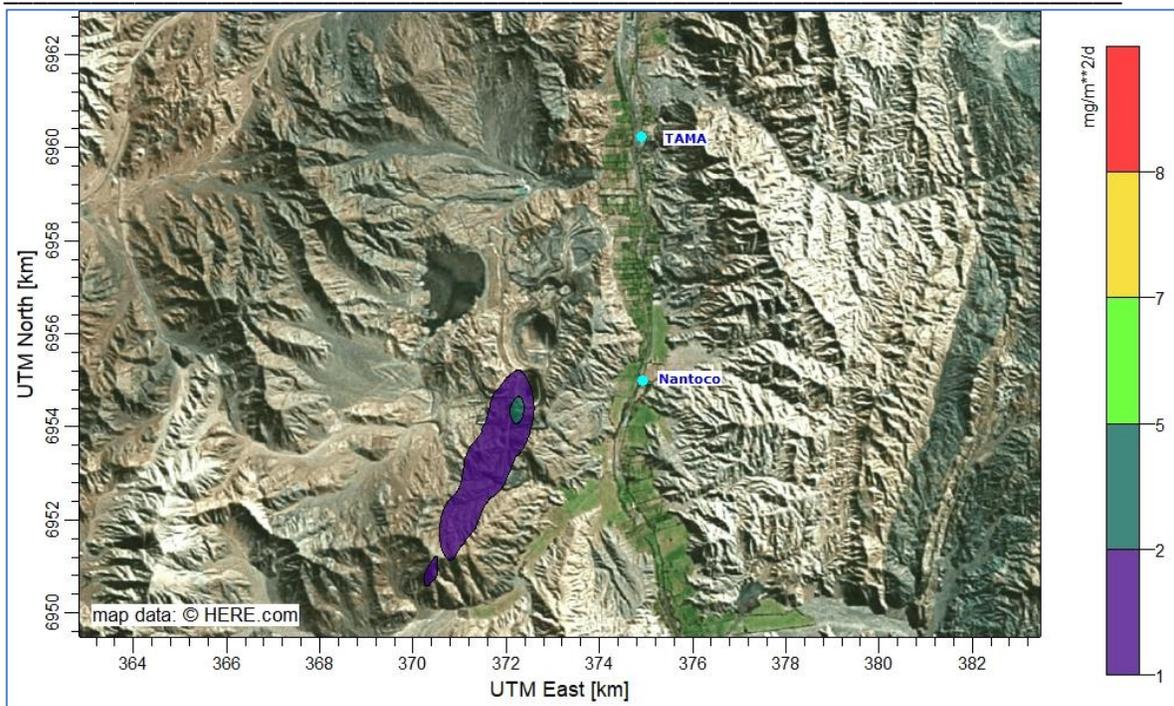


Figura 5.5: Isolínea de MPS promedio diario día 9 de septiembre 2019

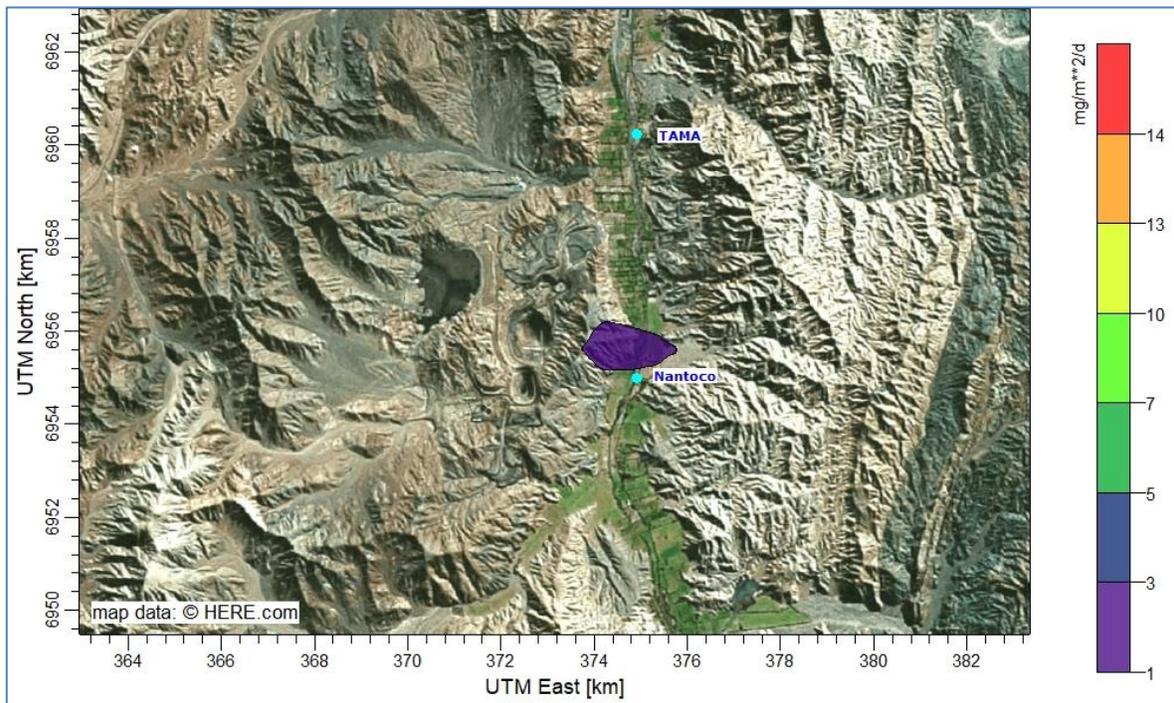


Figura 5.6: Isolínea de MPS promedio diario día 11 de diciembre 2019

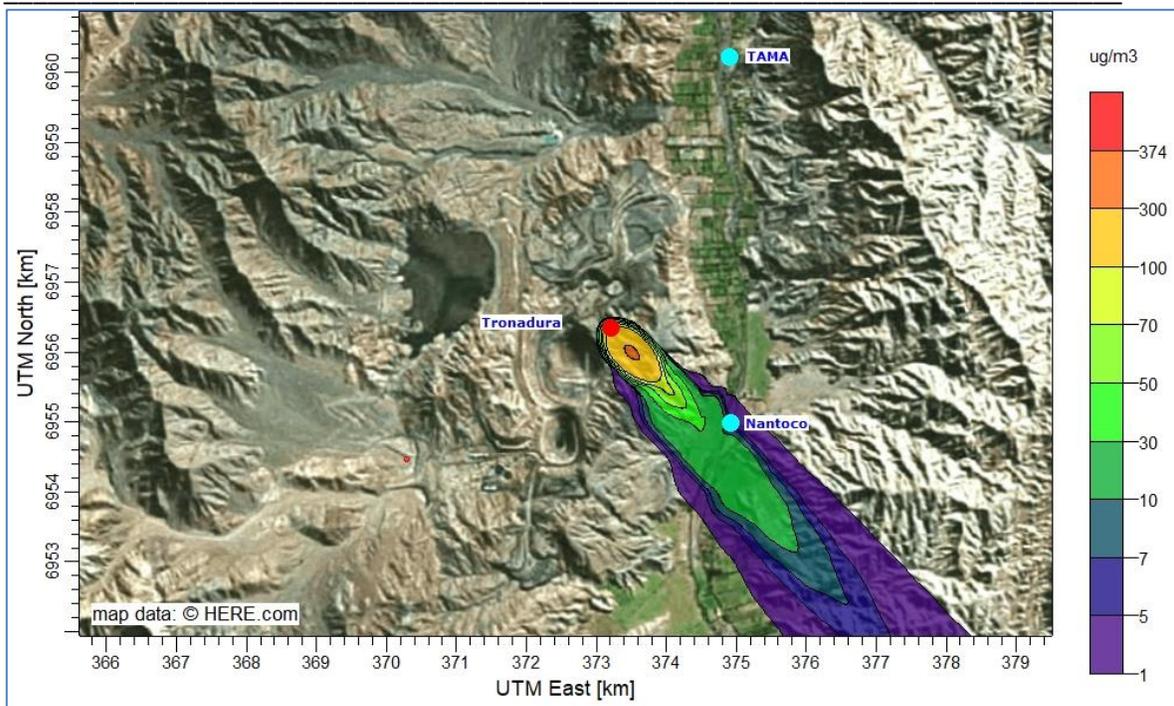


Figura 5.7: I solínea de MP10 horaria 14:00 horas 15 de abril 2020

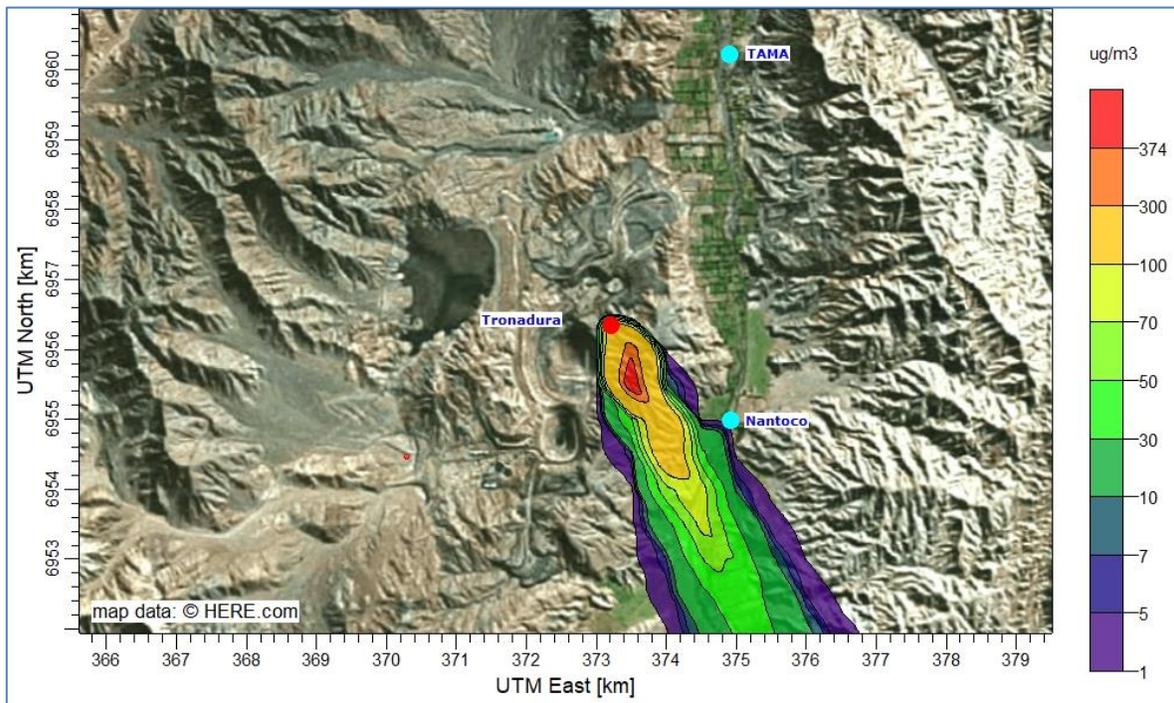


Figura 5.8: I solínea de MP10 horaria 14:00 horas 19 de agosto 2019

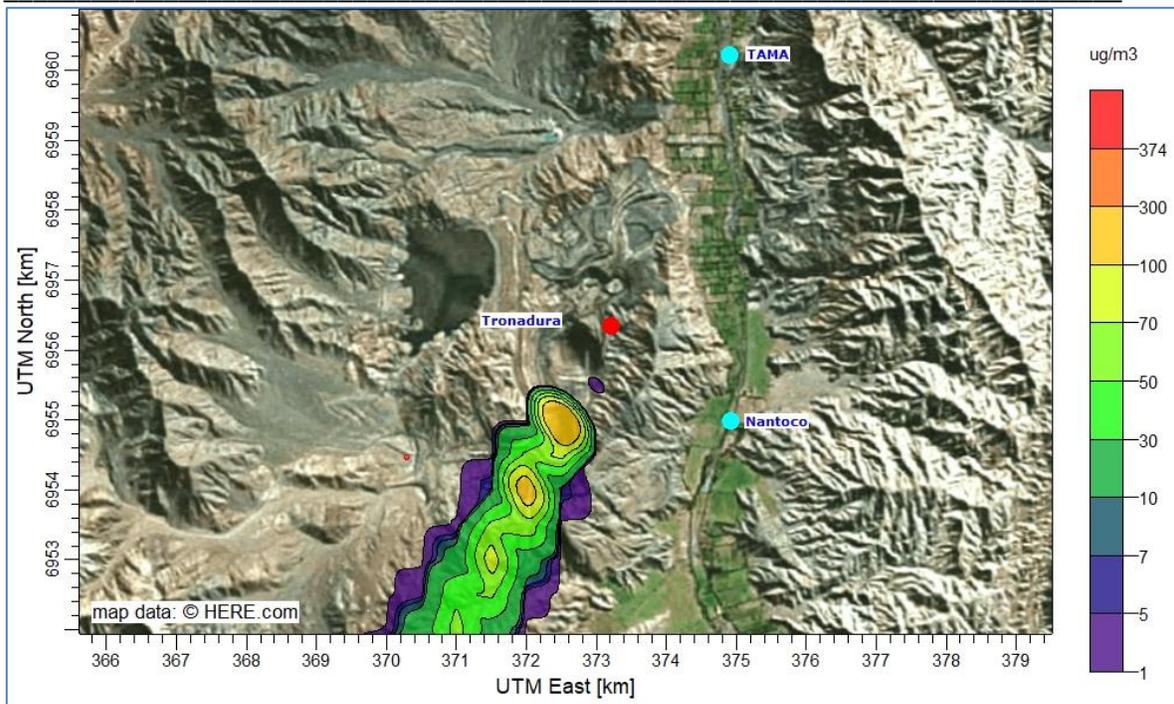


Figura 5.9: I solínea de MP10 horaria 14:00 horas 9 septiembre 2019

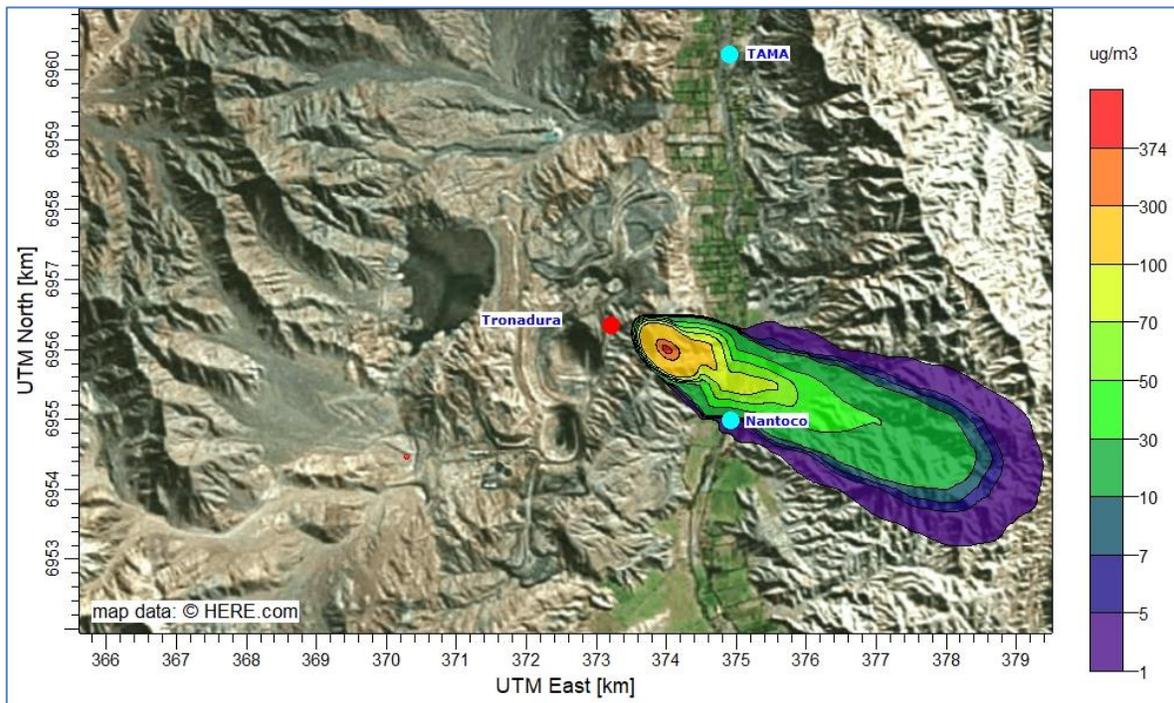


Figura 5.10: I solínea de MP10 horaria 14:00 horas 11 de diciembre 2019

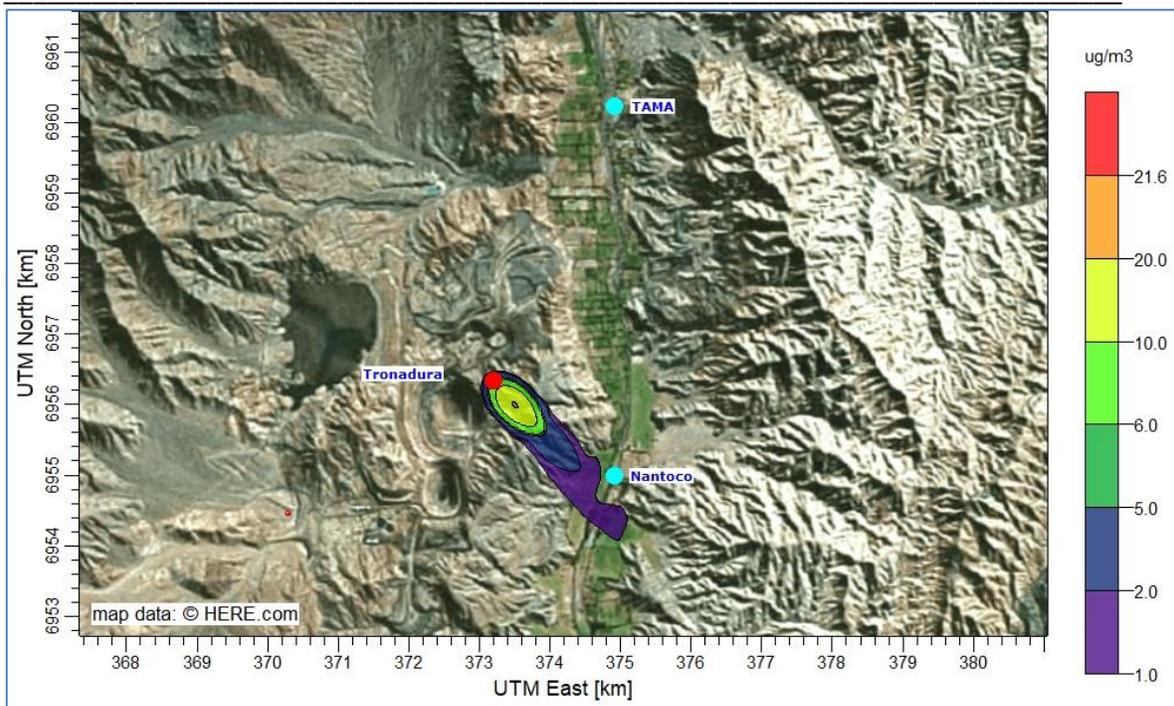


Figura 5.11: I solínea de MP2,5 horaria 14:00 horas 15 de abril 2020

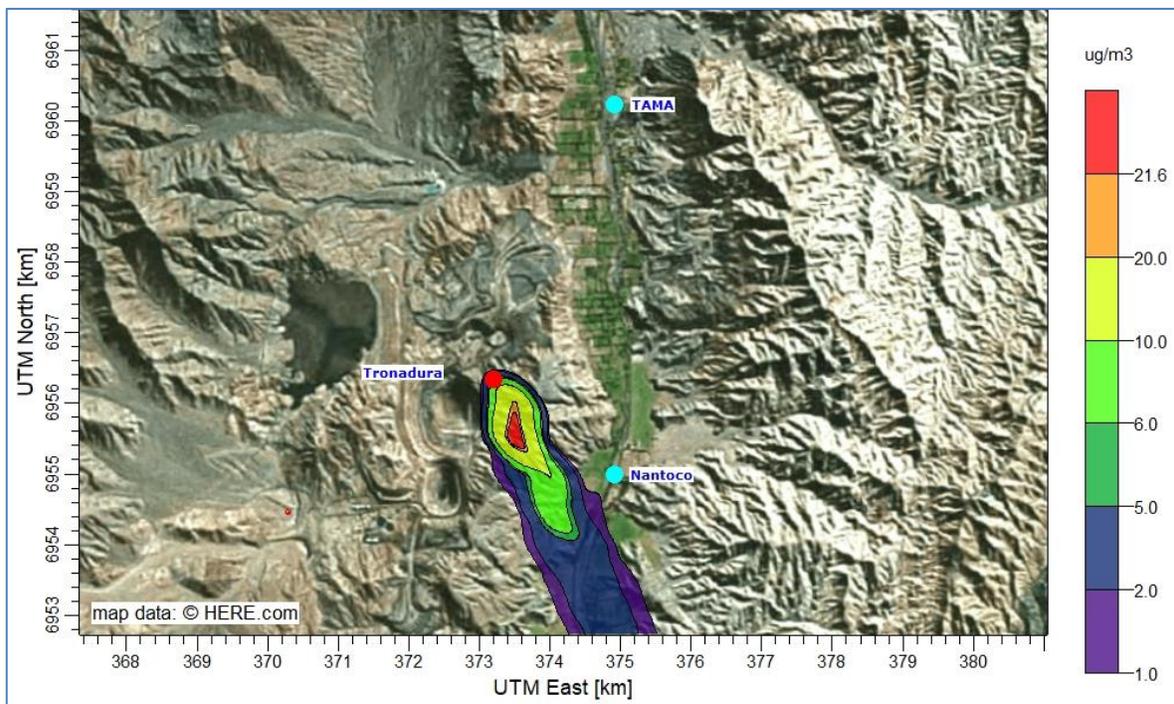


Figura 5.12: I solínea de MP2,5 horaria 14:00 horas 19 de agosto 2019

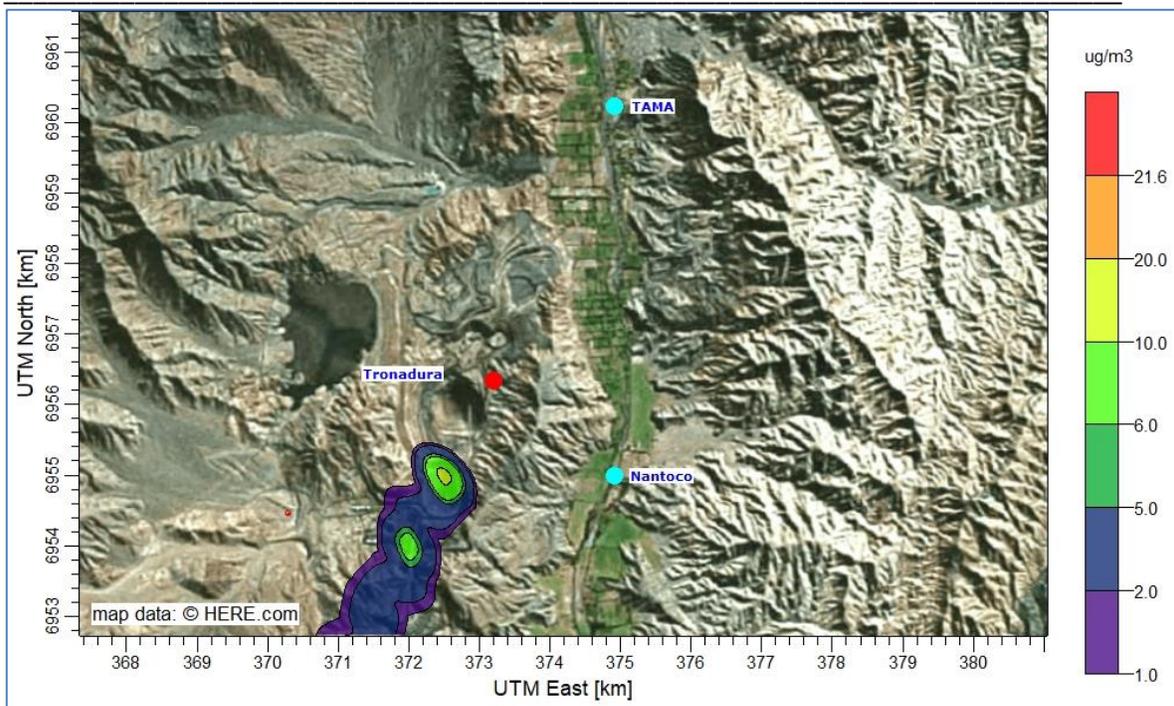


Figura 5.13: Isolínea de MP2,5 horaria 14:00 horas 9 septiembre 2019

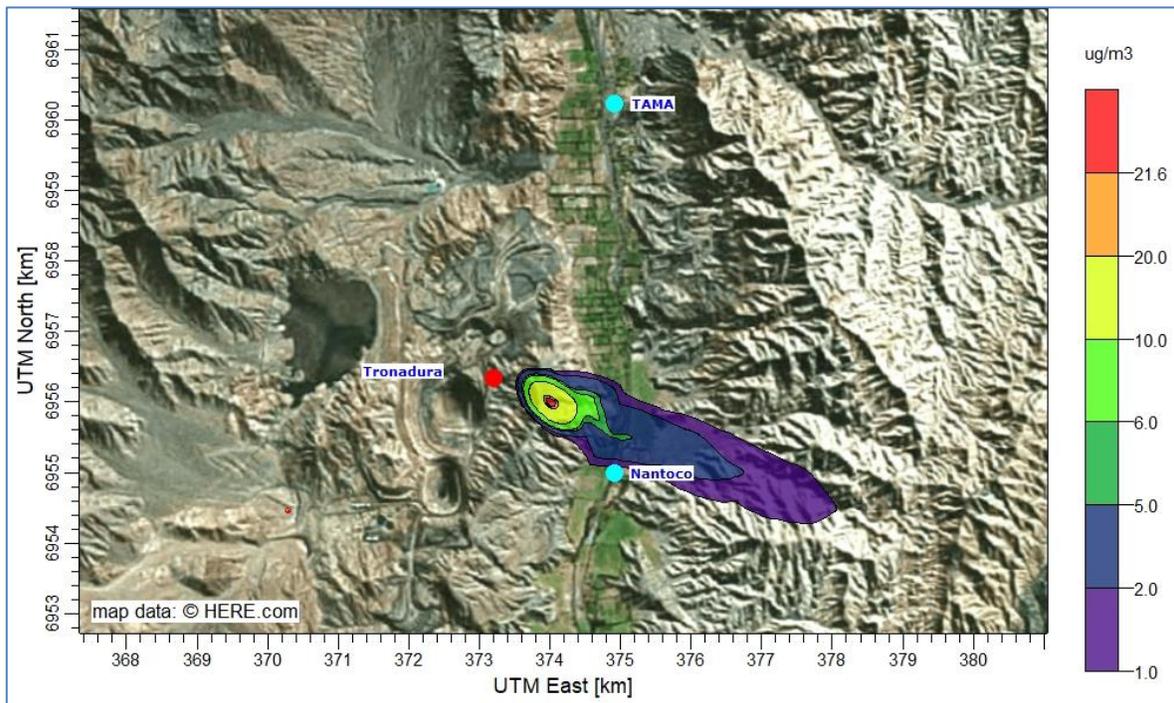


Figura 5.14: Isolínea de MP2,5 horaria 14:00 horas 11 de diciembre 2019

6 CONCLUSIONES

Se ha realizado una modelación del transporte, dispersión, y depositación de material particulado, debido a las emisiones en exceso por aumento en el volumen de tierra considerado en la construcción de una piscina de emergencia (Cargo N° 2), y el exceso de tronaduras sobre lo permitido en cuatros días entre el 2019 y el 2020 (Cargo N° 4).

Se analizó la meteorología que ocurrió en las fechas de los Cargos, encontrándose que aquellos días presentaron condiciones normales, con buena ventilación y viento soplando en su mayor parte del tiempo hacia el sur-oeste de la faena de Candelaria, es decir, en dirección opuesta a las zonas pobladas o agrícolas.

Los días de los Cargos muestran concentraciones de material particulado bajo los valores normados, por tanto, no hubo riesgo para la salud de la población.

Además, los resultados indican que los efectos, en términos de concentraciones y depositación de material particulado se localizan al interior de la faena minera, con aportes muy bajos en las localidades pobladas y zonas agrícolas.

Es así como el MPS aportado por el Cargo N°4, resultó ser a lo más 0,24 mg/m²-d, lo que representa un 0,12% del valor de la norma de referencia.

Cabe destacar que en los días de los cargos se registraron concentraciones de MP10 y MP2,5 bajo los niveles normativos en TAMA y Nantoco, y además, las contribuciones de Candelaria a los datos medidos fueron muy bajas, evidenciando que no se produjo una afectación a la calidad del aire de la zona.