



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE QUÍMICA**  
**SEMESTRE 2024-2**



**EVALUACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE EMISIONES DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE CICLO COMBINADO VALLE HERMOSO PARA EL 2022.**

**ENTREGABLE IV. MAPAS DE CLÚSTERES DE TRAYECTORIAS DE LAS EMISIONES DE LA CENTRAL IV DE C. C.**

**ESTANCIA ACADÉMICA (0216)**

**A MARZO DE 2024**

**TUTOR**

**Dr. José Agustín García Reynoso**

Instituto de Ciencias de la Atmósfera y

Cambio Climático

agustin@atmosfera.unam.mx

(+52) 55 56 22 43 96

**ALUMNO**

**Adriana Cruz Rosales**

Facultad de Química

No. de cuenta: 419014526

adrianarosales@comunidad.unam.mx

(+52) 999 272 41 08

## ÍNDICE

---

ÍNDICE	2
ÍNDICE DE TABLAS	2
ÍNDICE DE FIGURAS	3
CONTENIDO	4
Método y definiciones	4
Mapas de clústeres de trayectorias de las emisiones de la Central IV de C. C.	5
<i>Clústers o conjuntos de trayectorias de febrero de 2022</i>	5
<i>Clústers o conjuntos de trayectorias de mayo de 2022</i>	9
<i>Clústers o conjuntos de trayectorias de agosto de 2022</i>	15
<i>Clústers o conjuntos de trayectorias de noviembre de 2022</i>	18
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1.	6
Gráfica clusplot determinación del Número de clusters o conjuntos. Febrero de 2022.	6
Figura 2.	7
Mapa trajplot de trayectorias tipo forward. 1 de 4. Datos de febrero de 2022.	7
Figura 3.	7
Mapa trajplot de trayectorias tipo forward. 2 de 4. Datos de febrero de 2022.	7
Figura 4.	8
Mapa trajplot de trayectorias tipo forward. 3 de 4. Datos de febrero de 2022.	8
Figura 5.	8
Mapa trajplot de trayectorias tipo forward. 4 de 4. Datos de febrero de 2022.	8
Figura 6.	9
Mapa trajmean de trayectorias medias del clúster. Datos de febrero de 2022.	9
Figura 7.	10
Gráfica clusplot determinación del Número de clusters o conjuntos. Mayo de 2022.	10
Figura 8.	11
Mapa trajplot de trayectorias tipo forward. 1 de 7. Datos de mayo de 2022.	11
Figura 9.	11
Mapa trajplot de trayectorias tipo forward. 2 de 7. Datos de mayo de 2022.	11
Figura 10.	12
Mapa trajplot de trayectorias tipo forward. 3 de 7. Datos de mayo de 2022.	12

Figura 11.	12
Mapa trajplot de trayectorias tipo forward. 4 de 7. Datos de mayo de 2022.	12
Figura 12.	13
Mapa trajplot de trayectorias tipo forward. 5 de 7. Datos de mayo de 2022.	13
Figura 13.	13
Mapa trajplot de trayectorias tipo forward. 6 de 7. Datos de mayo de 2022.	13
Figura 14.	14
Mapa trajplot de trayectorias tipo forward. 7 de 7. Datos de mayo de 2022.	14
Figura 15.	15
Mapa trajmean de trayectorias medias del clúster. Datos de mayo de 2022.	15
Figura 16.	16
Gráfica para determinación del Número de clusters o conjuntos. Agosto de 2022.	16
Figura 17.	17
Mapa trajplot de trayectorias tipo forward. 1 de 2. Datos de agosto de 2022.	17
Figura 18.	17
Mapa trajplot de trayectorias tipo forward. 2 de 2. Datos de agosto de 2022.	17
Figura 19.	18
Mapa trajmean de trayectorias medias del clúster. Datos de agosto de 2022.	18
Figura 20.	19
Gráfica clusplot determinación del Número de clusters o conjuntos. Noviembre 2022.	19
Figura 21.	20
Mapa trajplot de trayectorias tipo forward. 1 de 4. Datos de noviembre de 2022.	20
Figura 22.	20
Mapa trajplot de trayectorias tipo forward. 2 de 4. Datos de noviembre de 2022.	20
Figura 23.	21
Mapa trajplot de trayectorias tipo forward. 3 de 4. Datos de noviembre de 2022.	21
Figura 24.	21
Mapa trajplot de trayectorias tipo forward. 4 de 4. Datos de noviembre de 2022.	21
Figura 25.	22
Mapa trajmean de trayectorias medias del clúster. Datos de noviembre de 2022.	22

## CONTENIDO

### Método y definiciones

Para generar estos mapas se utilizó un conjunto de líneas de código *script*. Se trabajó en el *Notebook 03\_Cluster\_Hysplit\_ValleHermoso.ipynb* con la interfaz de Jupyter en kernel Bash. A partir de estos *Notebook* se generaron una serie de líneas llamadas trayectorias. El *script* completo se detalla en el Entregable II. Programas auxiliares para el cálculo de trayectorias (*script*).

Una trayectoria representa la línea central de una dispersión. Es la ruta de un sólo punto hipotético que se lleva pasivamente con el viento medio. Se empleó el modelo HYSPLIT, capaz de ejecutar trayectorias hacia adelante o hacia atrás. Las trayectorias hacia adelante, *forward*, indican hacia dónde irá el aire. Las trayectorias hacia atrás, *backward*, indican de dónde vino el aire. (García Reynoso, 2019)

En este trabajo, todos los mapas se simularon en dirección *forward*.

Se crearon un total de 720 trayectorias por cada mes de estudio, aproximadamente. Es decir, alrededor de **2880 trayectorias** en archivos *tdump-file*. La eficiencia en este proceso radica en que la modelación de la dispersión de contaminantes se generó a través de sistemas de cálculo numérico integrados en un software, diseñados para satisfacer predicciones atmosféricas en un menor tiempo.

Específicamente, en este Entregable muestra mapas de clústeres de trayectorias o **conjuntos de trayectorias**.

Se corrieron las líneas de comando y se obtuvieron una serie de 4 mapas correspondientes a los meses de estudio elegidos para estudiar el comportamiento ambiental en el año 2022.

Los mapas que componen el paquete de *clusters* o conjuntos de trayectorias de las emisiones de la termoeléctrica Central IV de C. C., incluyen tres tipos de salidas por cada uno de los cuatro meses:

#### ***clusplot***

1 Gráfica para determinación del Número de clusters o conjuntos.

#### ***trajplot***

Genera tantos mapas de trayectorias *forward*, comenzando en distintos tiempos, como número final de conjuntos no hayan sido determinados a partir de la gráfica *clusplot*.

El *script* completo del *Notebook 03\_Cluster\_Hysplit\_ValleHermoso.ipynb* se detalla en el Entregable II. Programas auxiliares para el cálculo de trayectorias (*script*).

#### ***trajmean***

1 Mapa de trayectorias medias del clúster. Muestra la media de las direcciones que toman las trayectorias en los mapas tipo *trajplot* resultantes.

## Mapas de clústeres de trayectorias de las emisiones de la Central IV de C. C.

Una sola trayectoria no puede representar adecuadamente la expansión de una nube de contaminación cuando se varía el campo de viento en el espacio y tiempo. La simulación se debe realizar con muchas partículas contaminantes (García Reynoso, 2019). Esto explica el resultado obtenido de los mapas correspondientes a las Figuras 1-4.

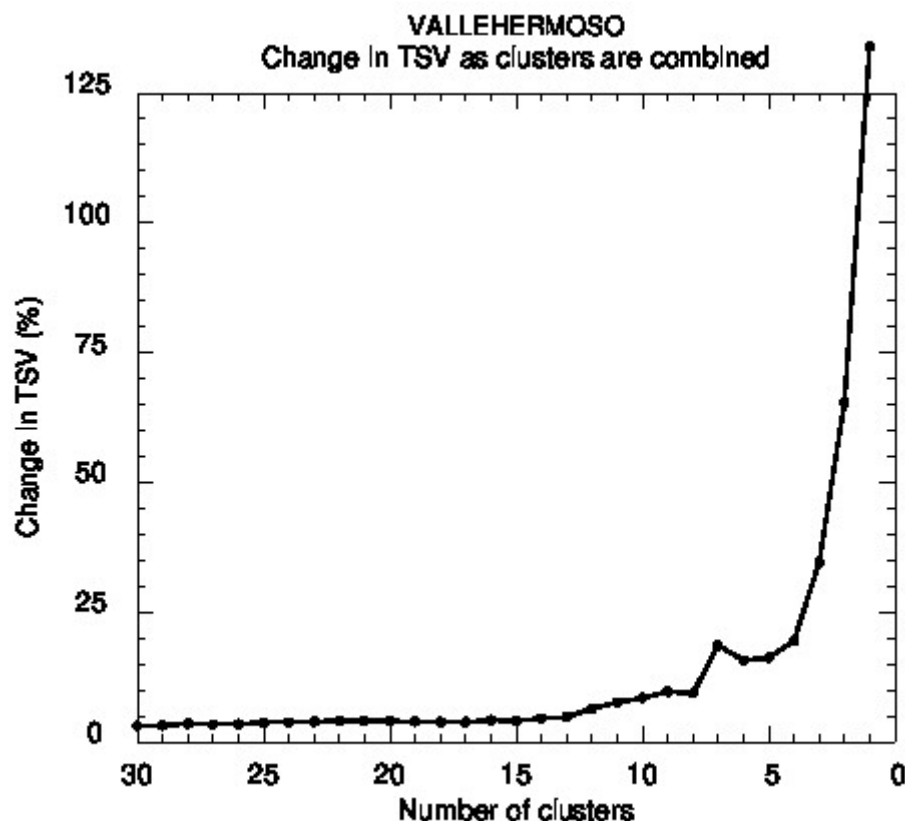
### Clústers o conjuntos de trayectorias de febrero de 2022

De los tres tipos de salidas, los mapas **trajmean** de trayectorias medias del clúster son los más relevantes para su estudio, pues muestran la media de las direcciones que toman las trayectorias en los mapas tipo **trajplot** resultantes. Esto es útil a la hora de hacer conclusiones sobre en qué dirección se aglomeran estas líneas conocidas como trayectorias.

En la Figura 1, la línea cambia de tendencia y se estabiliza en el número de conjunto  $nc=4$ .

Figura 1.

Gráfica **clusplot** para determinación del Número de clusters o conjuntos. Febrero de 2022.

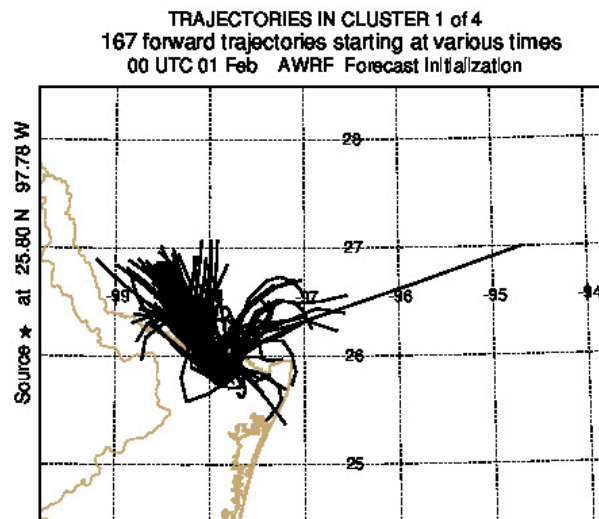


**Nota.** Fuente: Elaboración propia generada en Python HYSPLIT model (2024).

La salida **trajplot** (Figuras 2-5) genera tantos mapas de trayectorias forward, comenzando en distintos tiempos, como número final de conjuntos nc hayan sido determinados a partir de la gráfica clusplot (Figura 1). Es decir, si a partir de la Figura 1 se determina un nc=4, entonces el programa genera 4 mapas.

**Figura 2.**

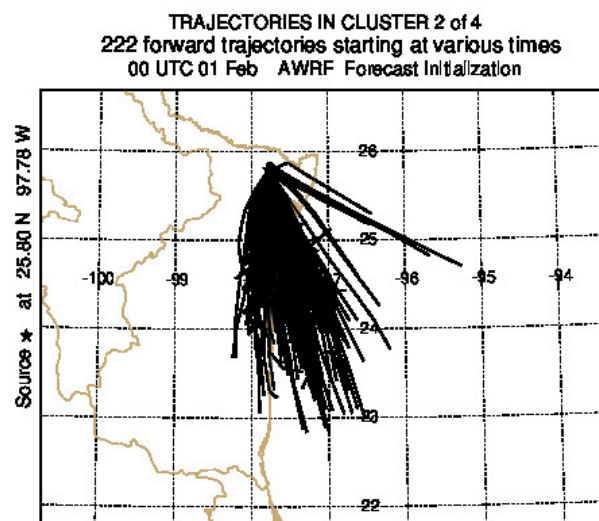
Mapa **trajplot** de trayectorias tipo *forward*. 1 de 4. Datos de febrero de 2022.



**Nota.** Fuente: Elaboración propia generada en Python HYSPLIT model (2024).

**Figura 3.**

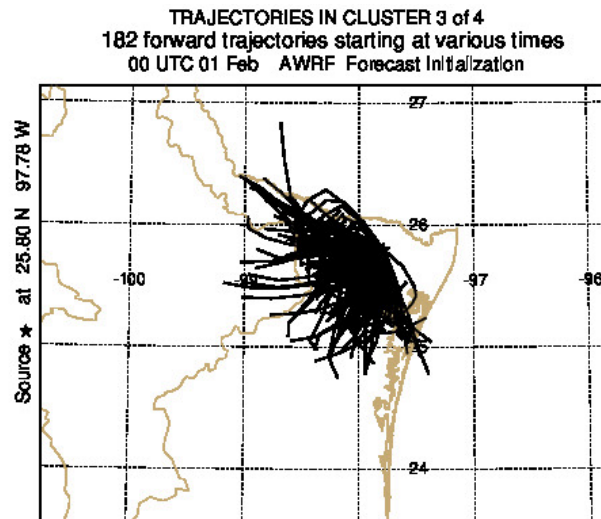
Mapa **trajplot** de trayectorias tipo *forward*. 2 de 4. Datos de febrero de 2022.



**Nota.** Fuente: Elaboración propia generada en Python HYSPLIT model (2024).

**Figura 4.**

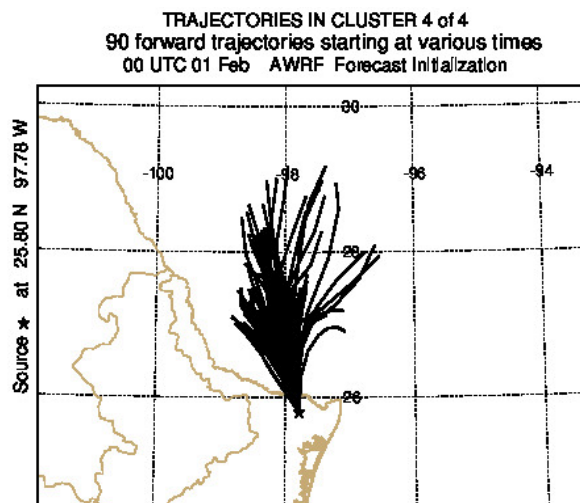
Mapa *trajplot* de trayectorias tipo *forward*. 3 de 4. Datos de febrero de 2022.



**Nota.** Fuente: Elaboración propia generada en Python HYSPLIT model (2024).

**Figura 5.**

Mapa *trajplot* de trayectorias tipo *forward*. 4 de 4. Datos de febrero de 2022.

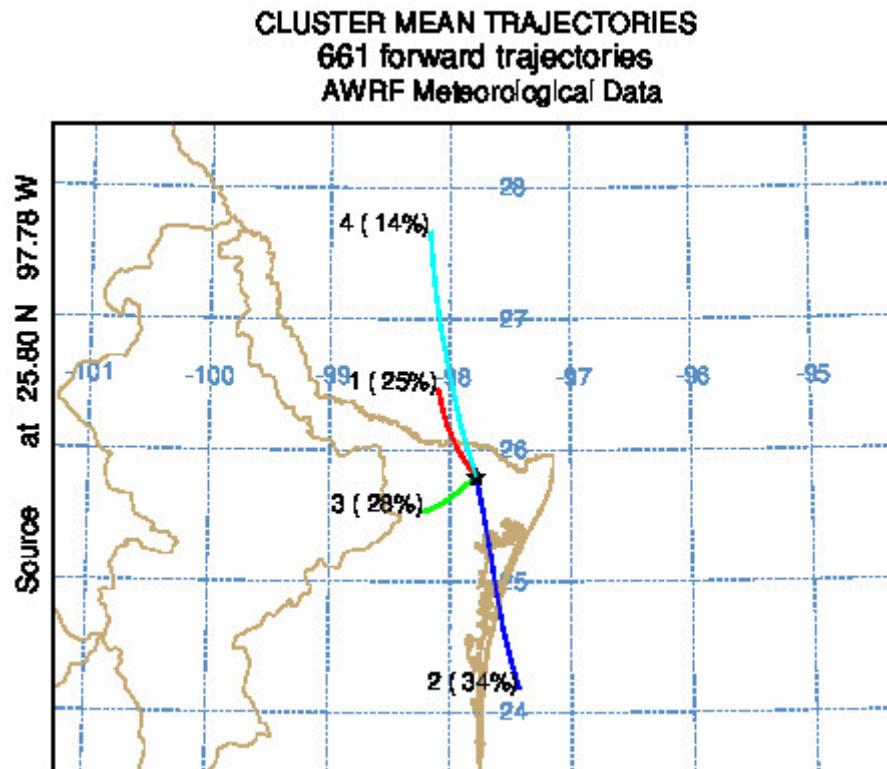


**Nota.** Fuente: Elaboración propia generada en Python HYSPLIT model (2024).

El mapa **trajmean** de trayectorias medias del clúster (Figura 6), muestra la media de las direcciones que toman las trayectorias en los mapas tipo **trajplot** resultantes (Figuras 2-5).

**Figura 6.**

Mapa **trajmean** de trayectorias medias del clúster. Datos de febrero de 2022.



**Nota.** Fuente: Elaboración propia generada en Python HYSPLIT model (2024).

El conjunto de trayectorias resultantes provenientes de la Central IV de C. C. (trazo negro), indican hacia dónde irá el aire, pues corresponden a trayectorias hacia adelante, ó *forward*. En **febrero de 2022, el conjunto de trayectorias**, en su mayoría, tomaron dirección y se aglomeraron en el suroeste de Tamaulipas (28% línea verde) y suroeste (34% línea azul marino). (Figura 6)

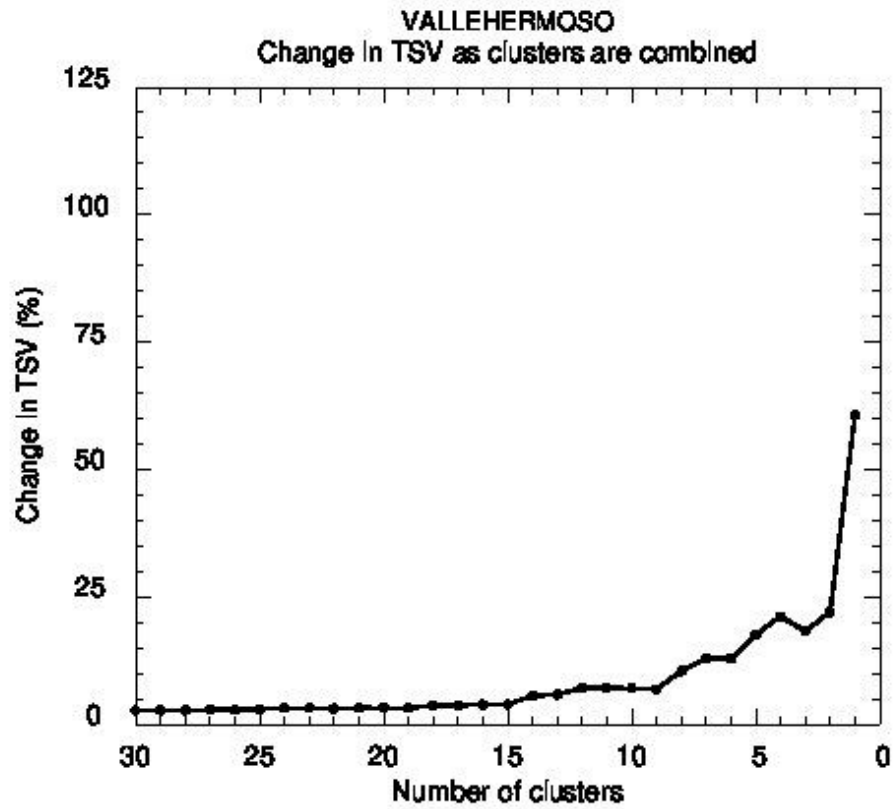


### ***Clústers o conjuntos de trayectorias de mayo de 2022***

En la Figura 7, la línea cambia de tendencia y se estabiliza en el número de conjunto  $nc=7$ .

**Figura 7.**

Gráfica **clusplot** para determinación del Número de clusters o conjuntos. Mayo de 2022.

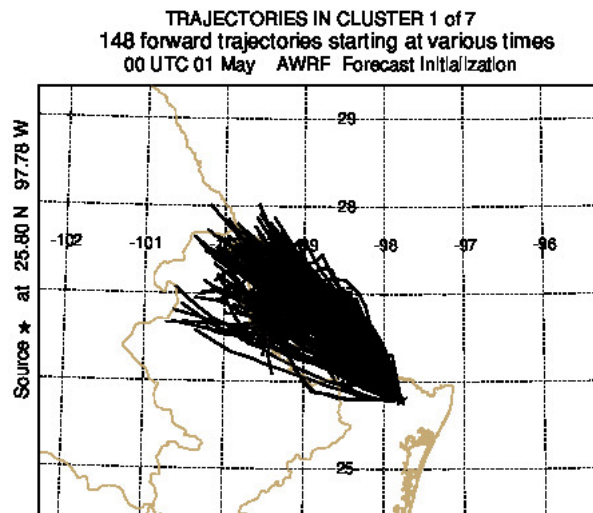


**Nota.** Fuente: Elaboración propia generada en Python HYSPLIT model (2024).

La salida **trajplot** (Figuras 8-14) genera tantos mapas de trayectorias forward, comenzando en distintos tiempos, como número final de conjuntos nc hayan sido determinados a partir de la gráfica clusplot (Figura 7). Es decir, si a partir de la Figura 7 se determina un  $nc=7$ , entonces el programa genera 7 mapas.

**Figura 8.**

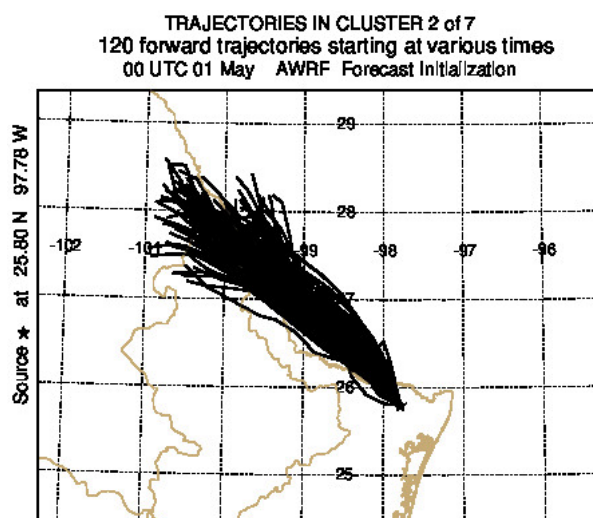
Mapa **trajplot** de trayectorias tipo *forward*. 1 de 7. Datos de mayo de 2022.



**Nota.** Fuente: Elaboración propia generada en Python HYSPLIT model (2024).

**Figura 9.**

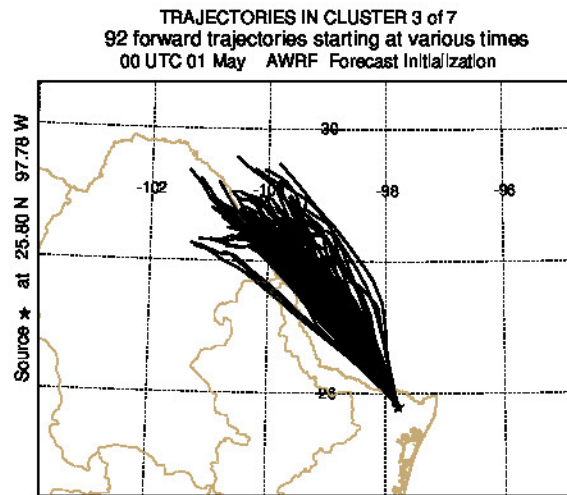
Mapa **trajplot** de trayectorias tipo *forward*. 2 de 7. Datos de mayo de 2022.



**Nota.** Fuente: Elaboración propia generada en Python HYSPLIT model (2024).

**Figura 10.**

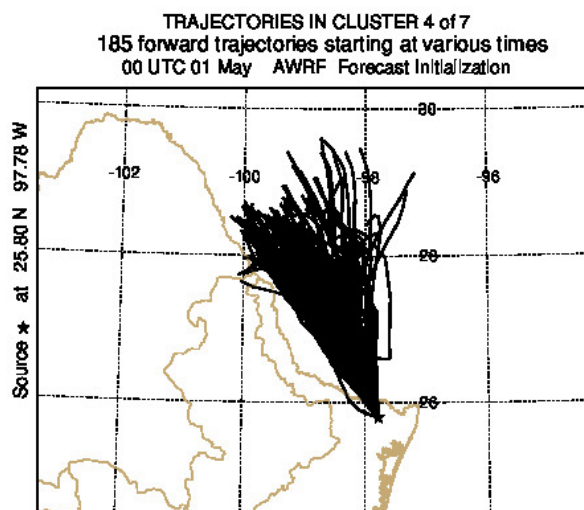
Mapa *trajplot* de trayectorias tipo *forward*. 3 de 7. Datos de mayo de 2022.



**Nota.** Fuente: Elaboración propia generada en Python HYSPLIT model (2024).

**Figura 11.**

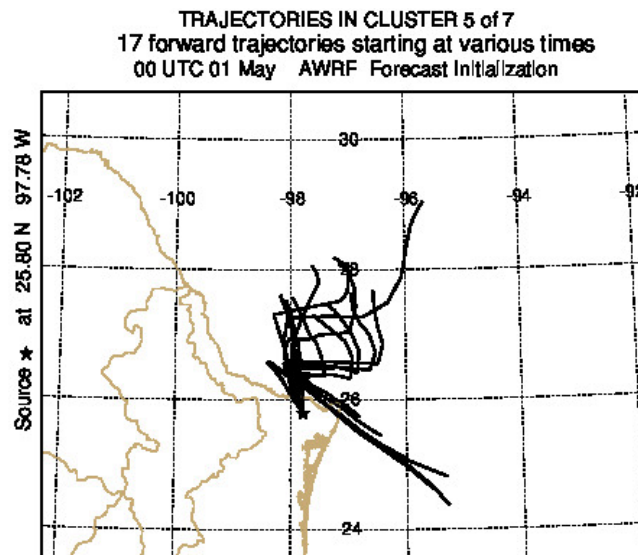
Mapa *trajplot* de trayectorias tipo *forward*. 4 de 7. Datos de mayo de 2022.



**Nota.** Fuente: Elaboración propia generada en Python HYSPLIT model (2024).

**Figura 12.**

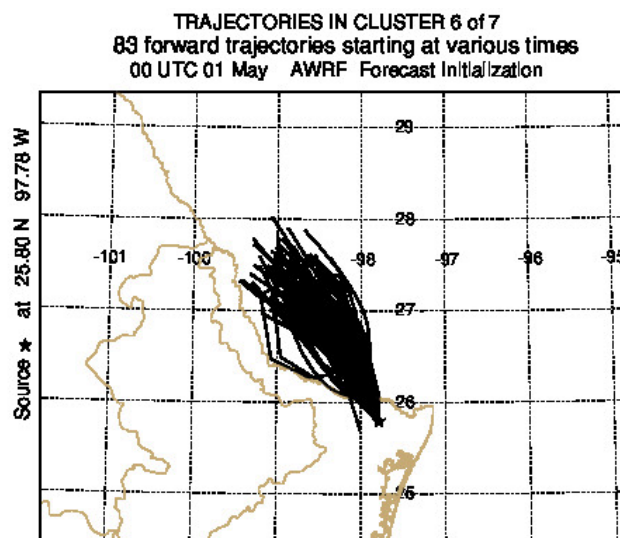
Mapa *trajplot* de trayectorias tipo *forward*. 5 de 7. Datos de mayo de 2022.



**Nota.** Fuente: Elaboración propia generada en Python HYSPLIT model (2024).

**Figura 13.**

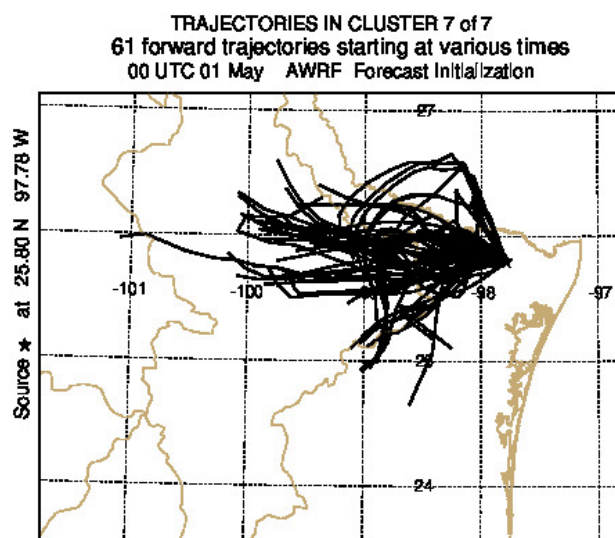
Mapa *trajplot* de trayectorias tipo *forward*. 6 de 7. Datos de mayo de 2022.



**Nota.** Fuente: Elaboración propia generada en Python HYSPLIT model (2024).

**Figura 14.**

Mapa *trajplot* de trayectorias tipo *forward*. 7 de 7. Datos de mayo de 2022.

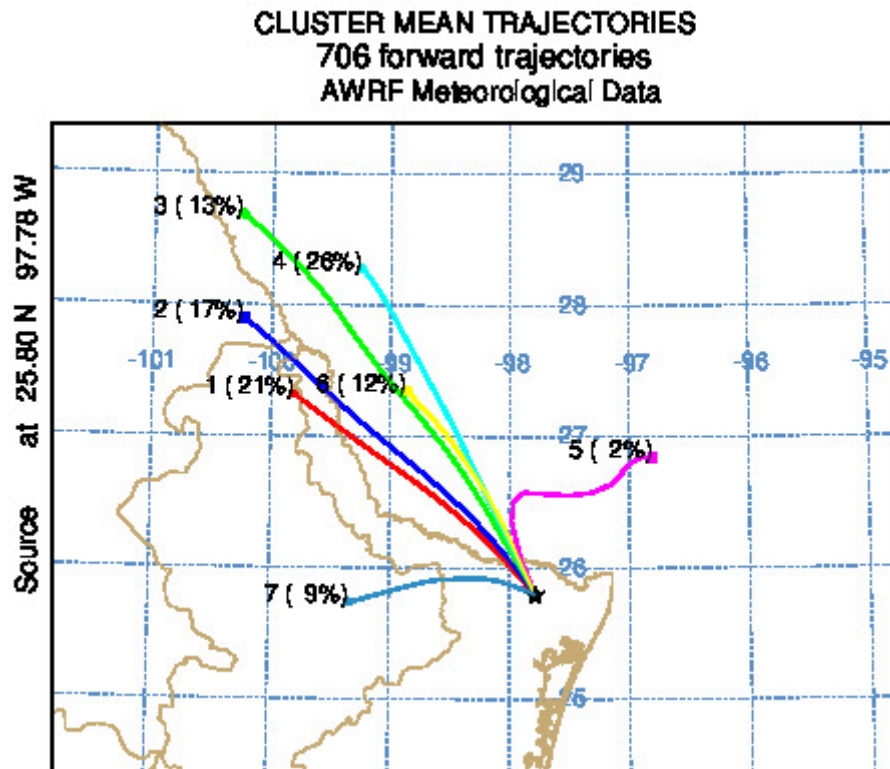


**Nota.** Fuente: Elaboración propia generada en Python HYSPLIT model (2024).

El mapa **trajmean** de trayectorias medias del clúster (Figura 15), muestra la media de las direcciones que toman las trayectorias en los mapas tipo **trajplot** resultantes (Figuras 8-14).

**Figura 15.**

Mapa **trajmean** de trayectorias medias del clúster. Datos de mayo de 2022.



**Nota.** Fuente: Elaboración propia generada en Python HYSPLIT model (2024).

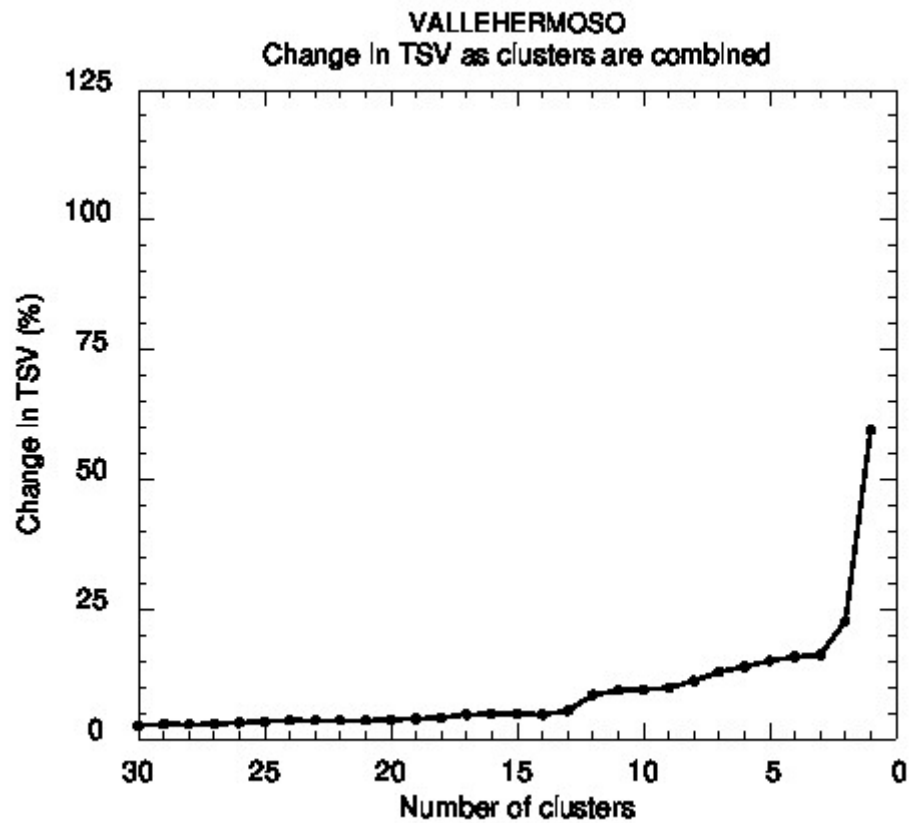
El conjunto de trayectorias resultantes provenientes de la Central IV de C. C. (trazo negro), indican hacia dónde irá el aire, pues corresponden a trayectorias hacia adelante, ó *forward*. En **mayo de 2022, el conjunto de trayectorias**, en su mayoría, tomaron dirección y se aglomeraron en el noroeste de Tamaulipas (26% línea azul aqua y 26% línea roja). También afectando al norte de Nuevo León. (Figura 15)

### ***Clústers o conjuntos de trayectorias de agosto de 2022***

En la Figura 16, la línea cambia de tendencia y se estabiliza en el número de conjunto  $nc=2$ .

**Figura 16.**

Gráfica **clusplot** para determinación del Número de clusters o conjuntos. Agosto de 2022.

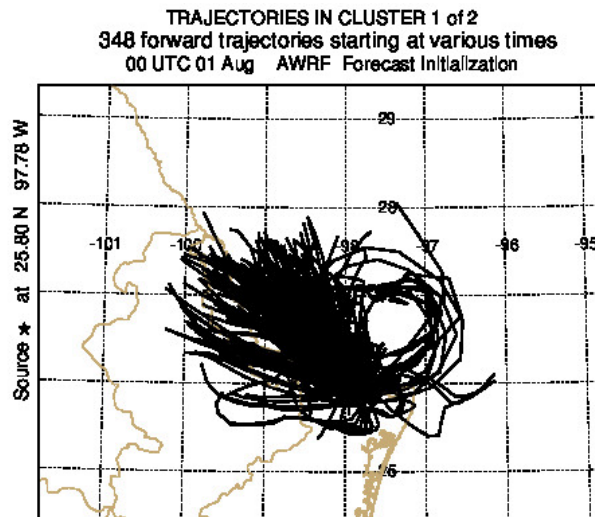


**Nota.** Fuente: Elaboración propia generada en Python HYSPLIT model (2024).

La salida **trajplot** (Figuras 17-18) genera tantos mapas de trayectorias forward, comenzando en distintos tiempos, como número final de conjuntos nc hayan sido determinados a partir de la gráfica clusplot (Figura 16). Es decir, si a partir de la Figura 16 se determina un  $nc=2$ , entonces el programa genera 2 mapas.

**Figura 17.**

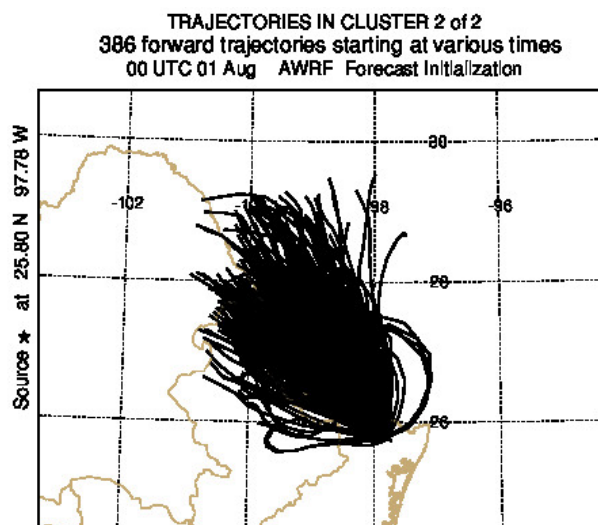
Mapa **trajplot** de trayectorias tipo *forward*. 1 de 2. Datos de agosto de 2022.



**Nota.** Fuente: Elaboración propia generada en Python HYSPLIT model (2024).

**Figura 18.**

Mapa **trajplot** de trayectorias tipo *forward*. 2 de 2. Datos de agosto de 2022.



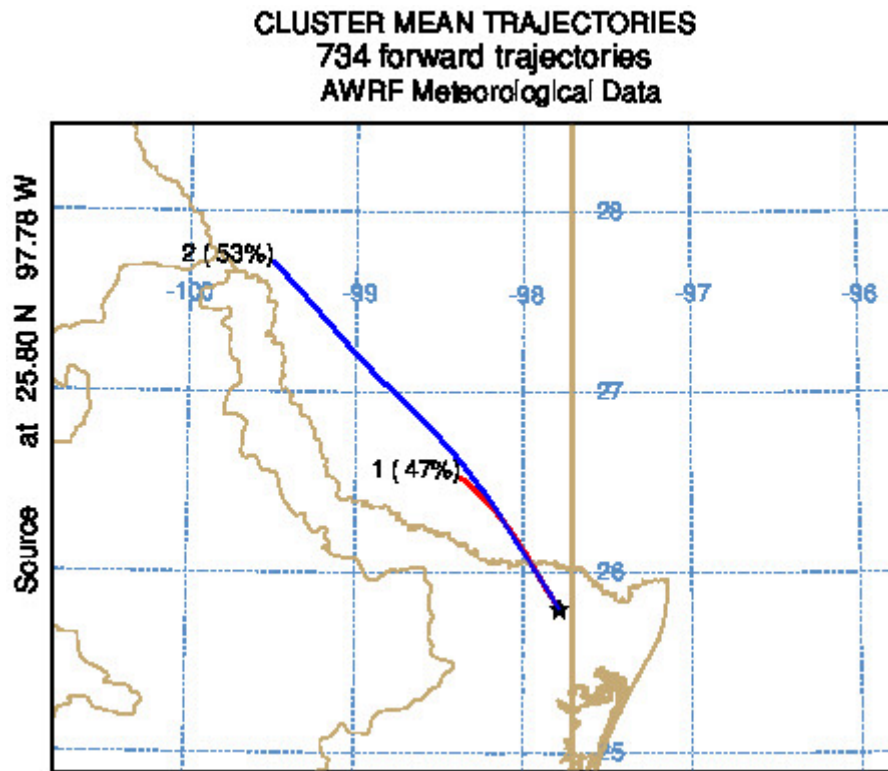
**Nota.** Fuente: Elaboración propia generada en Python HYSPLIT model (2024).



El mapa **trajmean** de trayectorias medias del clúster (Figura 19), muestra la media de las direcciones que toman las trayectorias en los mapas tipo **trajplot** resultantes (Figuras 17-18).

**Figura 19.**

Mapa **trajmean** de trayectorias medias del clúster. Datos de agosto de 2022.



**Nota.** Fuente: Elaboración propia generada en Python HYSPLIT model (2024).

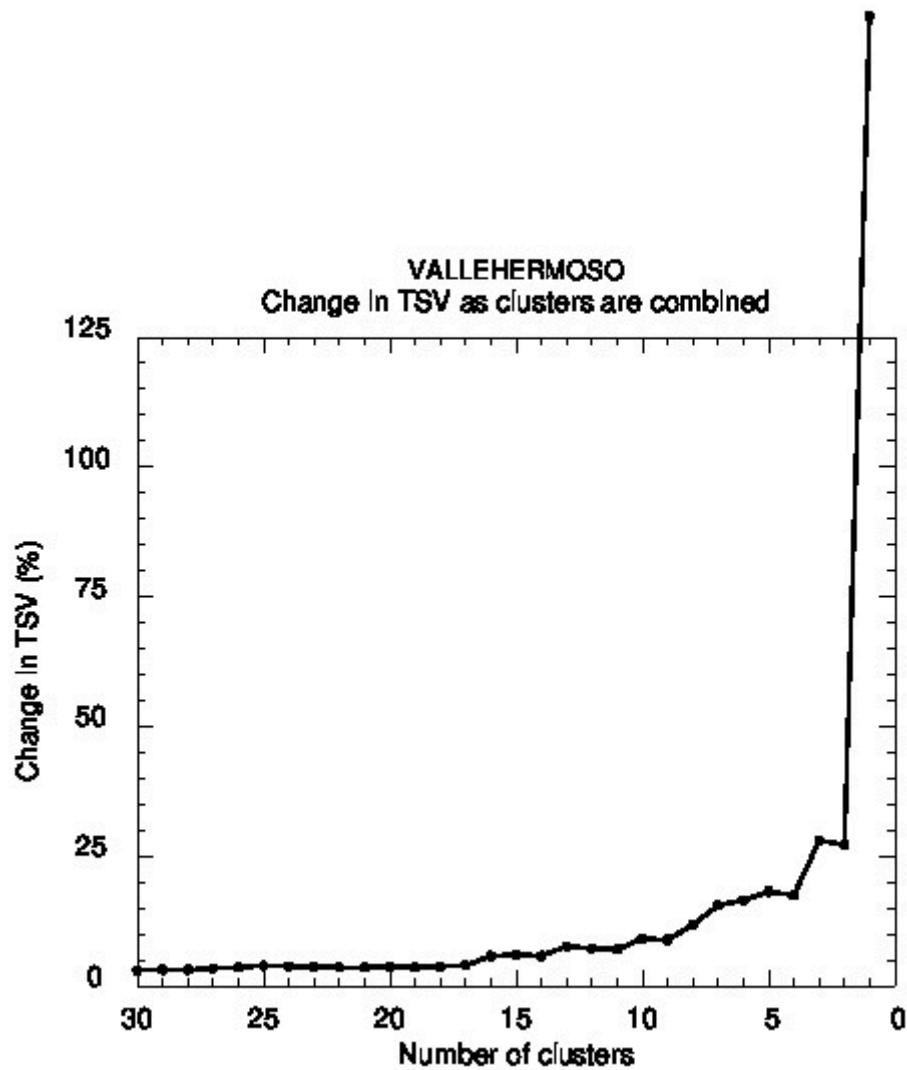
El conjunto de trayectorias resultantes provenientes de la Central IV de C. C. (trazo negro), indican hacia dónde irá el aire, pues corresponden a trayectorias hacia adelante, ó *forward*. En **agosto de 2022, el conjunto de trayectorias**, en su mayoría, tomaron dirección y se aglomeraron en el noroeste de Tamaulipas (53% línea azul marino y 47% línea roja). También afectaron el norte de Nuevo León. (Figura 19)

### ***Clústers o conjuntos de trayectorias de noviembre de 2022***

En la Figura 20, la línea cambia de tendencia y se estabiliza en el número de conjunto  $nc=4$ .

**Figura 20.**

Gráfica **clusplot** para determinación del Número de clusters o conjuntos. Noviembre de 2022.

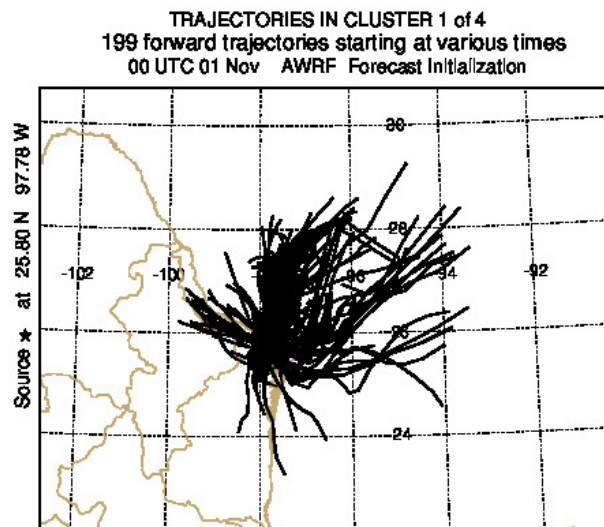


**Nota.** Fuente: Elaboración propia generada en Python HYSPLIT model (2024).

La salida **trajplot** (Figuras 21-24) genera tantos mapas de trayectorias forward, comenzando en distintos tiempos, como número final de conjuntos nc hayan sido determinados a partir de la gráfica clusplot (Figuras 20). Es decir, si a partir de la Figura 20 se determina un nc=4, entonces el programa genera 4 mapas.

**Figura 21.**

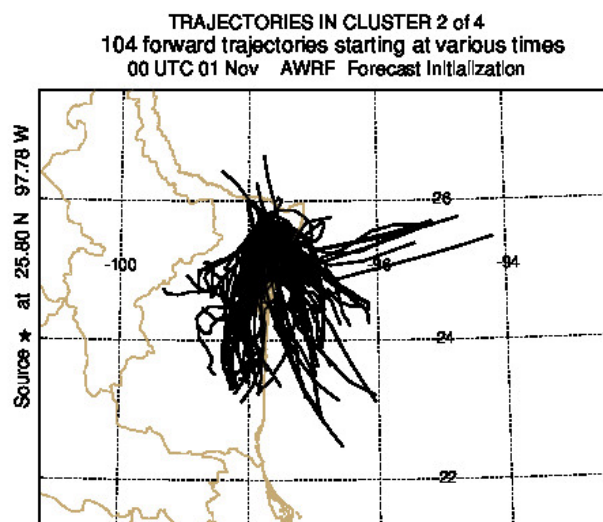
Mapa **trajplot** de trayectorias tipo *forward*. 1 de 4. Datos de noviembre de 2022.



**Nota.** Fuente: Elaboración propia generada en Python HYSPLIT model (2024).

**Figura 22.**

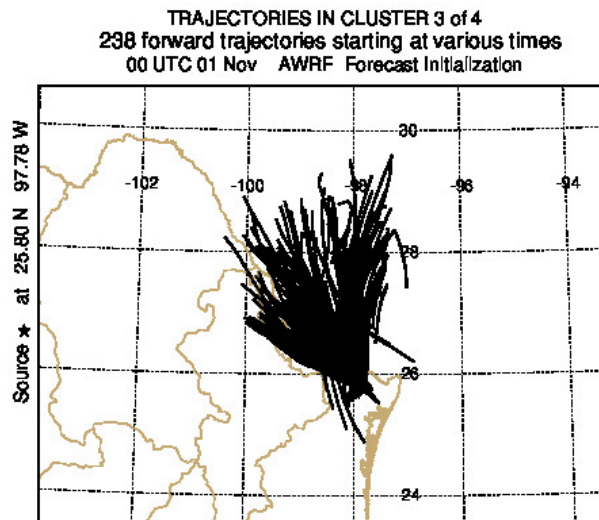
Mapa **trajplot** de trayectorias tipo *forward*. 2 de 4. Datos de noviembre de 2022.



**Nota.** Fuente: Elaboración propia generada en Python HYSPLIT model (2024).

**Figura 23.**

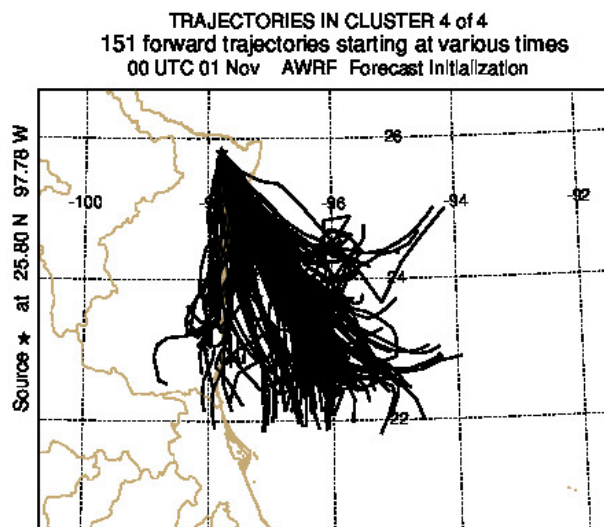
Mapa *trajplot* de trayectorias tipo *forward*. 3 de 4. Datos de noviembre de 2022.



**Nota.** Fuente: Elaboración propia generada en Python HYSPLIT model (2024).

**Figura 24.**

Mapa *trajplot* de trayectorias tipo *forward*. 4 de 4. Datos de noviembre de 2022.

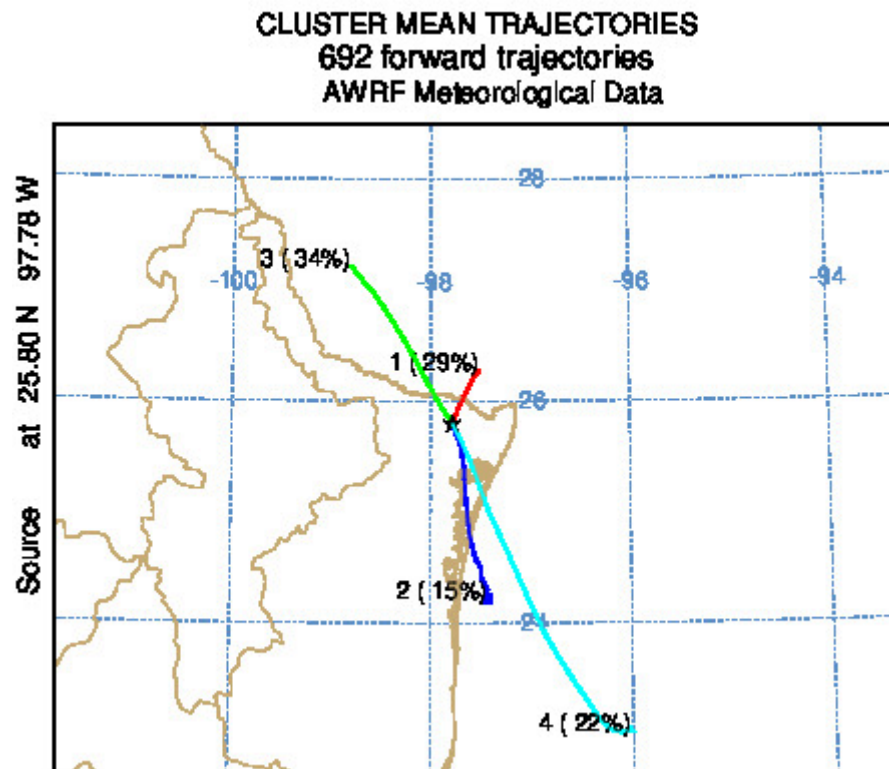


**Nota.** Fuente: Elaboración propia generada en Python HYSPLIT model (2024).

El mapa **trajmean** de trayectorias medias del clúster (Figura 25), muestra la media de las direcciones que toman las trayectorias en los mapas tipo **trajplot** resultantes (Figuras 21-24).

**Figura 25.**

Mapa **trajmean** de trayectorias medias del clúster. Datos de noviembre de 2022.



**Nota.** Fuente: Elaboración propia generada en Python HYSPLIT model (2024).

El conjunto de trayectorias resultantes provenientes de la Central IV de C. C. (trazo negro), indican hacia dónde irá el aire, pues corresponden a trayectorias hacia adelante, ó *forward*. En **noviembre de 2022, el conjunto de trayectorias**, en su mayoría, tomaron dirección y se aglomeraron en el noroeste y noreste de Tamaulipas (34% línea verde y 29% línea roja). También llegaron a afectar el norte de Nuevo León. (Figura 25)

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Dr. García Reynoso, J. A. (2019). Introducción al modelo HYSPLIT. Gobierno de México. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/864306/Sesion\\_6\\_Introduccion\\_modelo\\_HYSPLIT.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/864306/Sesion_6_Introduccion_modelo_HYSPLIT.pdf)
- Dr. García Reynoso, J. A. (2023). *Protección Ambiental del aire*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química. ISBN: 9786073059251