

Perfil termodinámico característico para un evento de *Norte* en el Puerto de Veracruz.

Edgar Dolores Tesillos¹ y Juan Matías Méndez Pérez²

Universidad Veracruzana, Veracruz, México, edgar.dot.01@gmail.com¹, jumendez@uv.mx²

Introducción

Los eventos de *Norte* son fenómenos típicos en la temporada invernal, para el Puerto de Veracruz y la región. Estos vientos intensos que penetran al Golfo de México y América Central constituyen un ejemplo de interacción entre trópicos y latitudes medias. Se trata de sistemas que son ondas de escala sinóptica de latitudes medias, que se forman al este de las montañas Rocallosas y se propagan hacia los trópicos. Las circulaciones anticiclónicas asociadas a la onda pueden ocasionar en el Golfo de México vientos del norte por arriba de los 30 m/s (Figura 1), descensos de temperatura desde 2° hasta 15° C en 24 horas, nubosidad baja y en ocasiones, precipitación sobre las cordilleras del este de México y las de Centroamérica (Schultz et al., 1998). Estos cambios en las condiciones del tiempo meteorológico merman la calidad de vida de los habitantes del Puerto de Veracruz, el estado y sus alrededores.

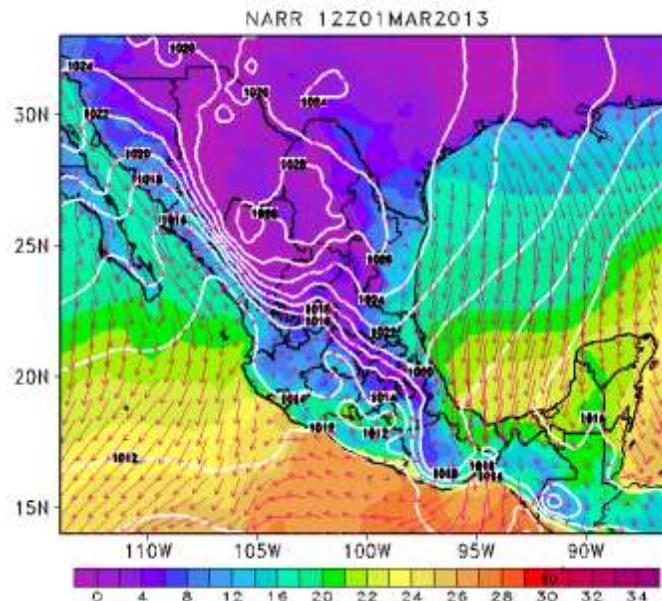


Figura 1. Ejemplo de un evento de *Norte* provocado por el Frente frío 31 de la temporada 2012 - 2013.

Objetivo

Determinar las características del perfil termodinámico previo, durante y posterior al paso de un *Norte* en el Puerto de Veracruz. Que servirá para una mejor comprensión de la estructura de estos fenómenos meteorológicos.

Metodología

1) Se procede a determinar las fechas de *Nortes* objetivamente utilizando la metodología propuesta por Vázquez (2000) haciendo uso de los datos de temperatura máxima a 2 m y dirección del viento a 10 m del NCEP/NCAR Reanálisis 1.

Este método considera las variables antes mencionadas para el periodo noviembre – abril y se procede de la siguiente manera, se trata de un evento de *Norte* si:

a) $\Delta T_{\text{máx}} \leq -2^{\circ}\text{C}$, Condición (i),

donde $\Delta T_{\text{máx}}$ es el descenso de temperatura máxima en 24 horas, y el viento de superficie sopla en el rango:

b) $NW \leq \theta \leq NE$, Condición (ii),

donde θ es la dirección media del viento en una extensa región del Golfo de México.

En el caso de que exista un descenso de temperatura máxima en días consecutivos, se considera el día con descenso más marcado como fecha principal del *Norte*.

2) Se procesan datos de radiosondeo para el periodo 1980 al 2011 del Observatorio Meteorológico ubicado en Boca del Río, los cuales son obtenidos de la base de datos llamado Integrated Global Radiosonde Archive (IGRA) (Imke et al., 2006).

Se procede a dar el formato necesario para su trabajo posterior, esto consiste en filtrar las variables presión, altura geopotencial, temperatura, las componentes zonal y meridional del viento y la presión de vapor, esta última fue utilizada para determinar la temperatura de rocío. Además de considerar solo los niveles obligatorios (1000, 925, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100 mb).

3) Una vez obtenidas las fechas de *Norte* se elaboran diagramas de los perfiles verticales promedios previo, durante y posterior al paso de un *Norte*. Así mismo se calculan algunos índices de estabilidad atmosférica.

Para la elaboración de los perfiles verticales promedios se realizó el cálculo del promedio aritmético para cada variable y nivel, esto para las fechas correspondientes a los días antes, durante y posteriores al evento de *Norte*. Para el despliegue gráfico de termogramas se utilizó GrADS. Estos termogramas despliegan los perfiles de temperatura (línea roja) y temperatura de punto de rocío (línea azul marino), el viento en barras, su hodógrafo, el perfil de humedad relativa (línea verde) y una parcela idealizada (línea azul cielo) (Figura 2).

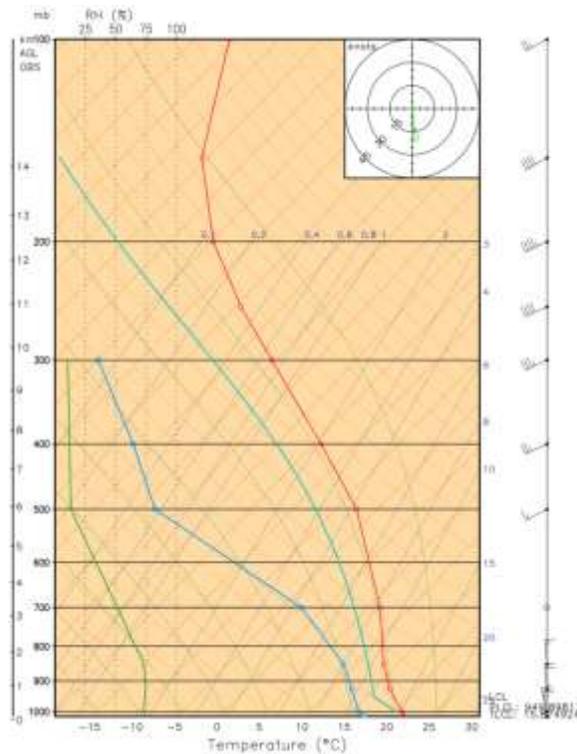


Figura 2. Ejemplo de un Termodiagrama T – inclinada log P (Mañana de la fecha principal de Norte).

Para el caso de estabilidad se eligieron 8 índices, estos índices se escogieron dado que los valores resultantes se muestran dentro de los umbrales descritos por algunos artículos que tratan a estos indicadores y además de que son predictores de precipitación, lo cual resulta significativo por su presencia en episodios de *Nortes*. Los índices que se determinaron se muestran en la tabla 1. Se calcularon para los días previos, la fecha principal y los posteriores.

Tabla 1. Índices de estabilidad.

Número	Índice
1	Índice K
2	Índice SWEAT
3	Índice Total de Totales
4	Presión en el NCA (mb)
5	Agua precipitable (mm)
6	Índice de elevación
7	CAPE (J/Kg)
8	CIN (J/Kg)

Por último se determino el número de *Nortes* según la clasificación del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) (tabla 2). Los datos de racha máxima son del observatorio de Boca del Río y fueron proporcionados por CONAGUA.

Tabla 2. Clasificación de *Nortes* según la racha máxima de viento (smn.conagua.gob.mx).

Clasificación	I. Débil	II. Moderado	III. Fuerte	IV. Intenso	V. Severo
Rango de vientos	20-38 km/h	39-61 km/h	62-88 km/h	89-117 km/h	> 118 km/h

Finalmente se cuantifico los *Nortes* por su cantidad de precipitación acumulada, la clasificación utilizada se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Clasificación la cantidad lluvia acumulada diaria (smn.conagua.gob.mx).

Clasificación	Lluvia acumulada (mm)
Tormentas de intensas a torrenciales	(>150 mm)
Tormentas muy fuertes a intensas	(70 a 150 mm)
Intervalos de chubascos con tormentas muy fuertes	(50 a 70 mm)
Intervalos de chubascos con tormentas fuertes	(20 a 50 mm)
Lluvia moderada con chubascos aislados	(5 a 20 mm)
Lloviznas o lluvia ligera	(menor de 5 mm)

Resultados

Perfiles verticales promedio

A continuación se muestran los perfiles promedio resultantes, para el desarrollo temporal del *Norte*.

Previo al *Norte*

En general se observa que la humedad se concentra en niveles bajos, entre superficie y los 900 mb y de ahí enseguida tiende a disminuir. El momento con mayor humedad ocurre 2 días antes del evento, durante la tarde.

Por otro lado la inversión frontal que indica la presencia del choques de masas, no resulta evidente sin embargo la tarde correspondiente a 2 días antes y la mañana de 1 días antes al evento de *Norte* se observa una ligera tendencia a invertirse sobre los 850 mb, esto puede deberse al movimiento vertical en ascenso del aire cálido que debilita la discontinuidad (Air weather service, 1990).

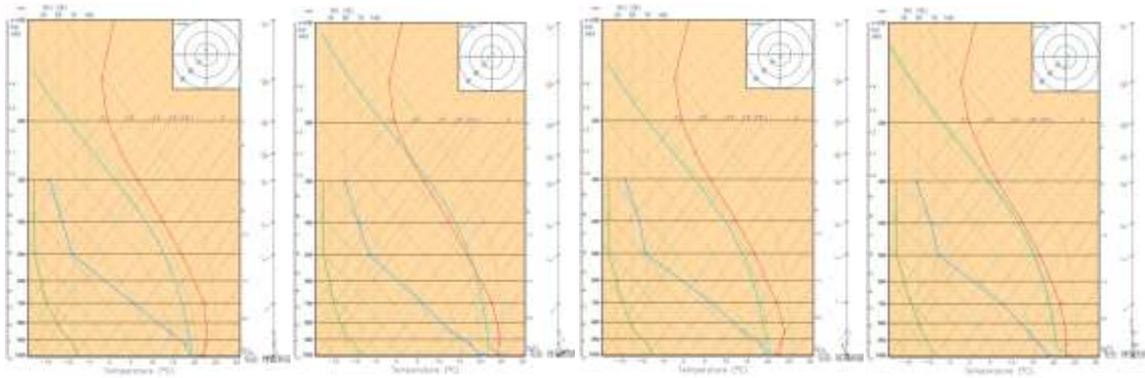


Figura 3. Perfiles promedio antes del evento de *Norte*, 2 días antes y 1 día antes (mañana y tarde).

Al examinar la dirección del viento con altura, el mayor cambio ocurre precisamente en los instantes antes mencionados (2 días antes durante la tarde y 1 día antes durante la mañana). Este cambio en la dirección del viento cerca de superficie es un buen indicador del paso del frente (Lackmann, G., 2011) que origina los *Nortes*. De mismo modo se observa que el viento tiende a disminuir con la altura y a cambiar de dirección hacia los 700 mb, por lo que se espera que en este nivel se de la colisión entre las masas fría y cálida.

Durante el *Norte*.

Los perfiles promedios para el fecha principal se muestra en la figura 4. Al examinar los perfiles de temperatura es claro como el estrato de humedad es más profundo pero menos húmedo que los días previos al *Norte*.

Por otro lado en este caso tampoco es evidente la inversión frontal, pero se puede observar como el viento cerca de superficie hasta los 850 mb es intenso y de componente norte como se esperaba, ahora es notable como el viento a 700 mb es muy débil, de hecho para la mañana es 0. Dicho debilitamiento se puede asociar al choque de masas, ya que para niveles superiores se vuelve a notar el incremento en la magnitud del viento. Cabe mencionar que se puede observar en el cambio del viento con la altura un giro anti horario (backing) lo que se traduce en una advección de tipo fría.

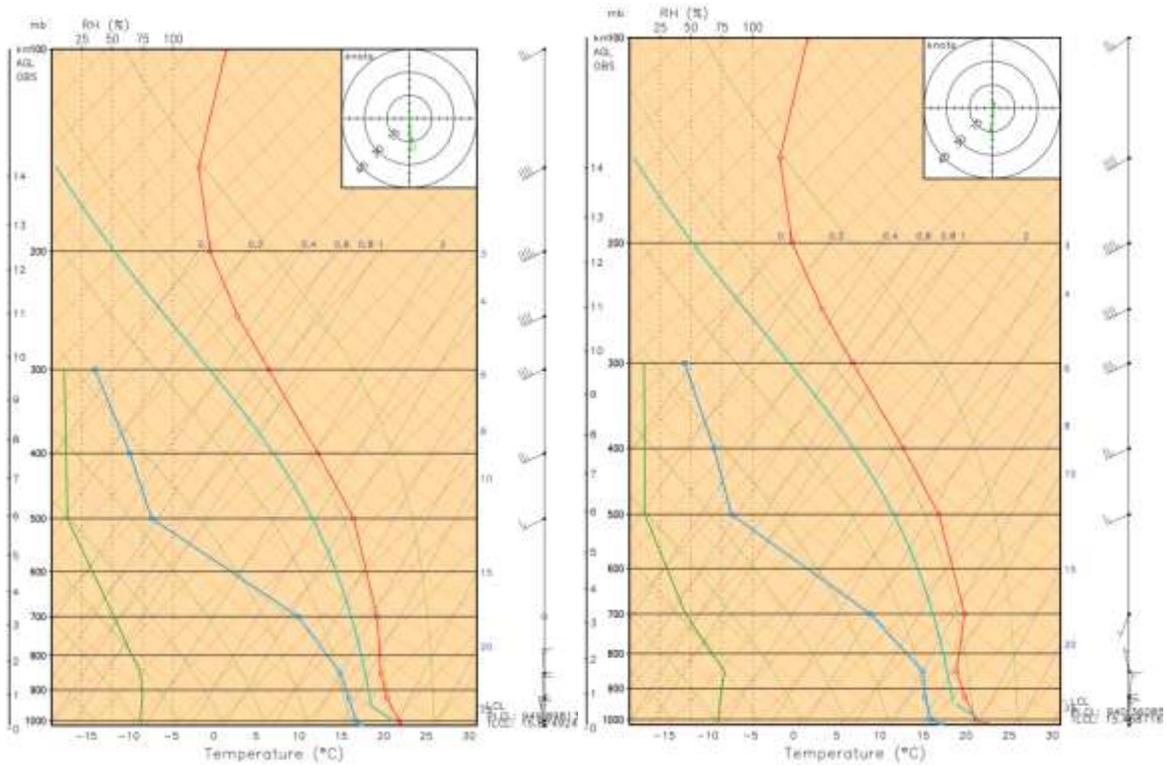


Figura 4. Mañana y tarde para la fecha principal de *Norte* (mañana y tarde).

Posterior al *Norte*.

En la figura 5, se muestra el caso de los días posteriores al evento de *Norte*. Para el caso de la humedad, se observa que tiende a reducirse en cuanto transcurre el tiempo y la altura del estrato disminuye. Se presenta una discontinuidad cerca de superficie en los perfiles de la mañana, tal discontinuidad puede ser efecto del enfriamiento radiativo provocado por cielos despejados, a causa del paso del evento de *Norte*. Con lo que respecta a los vientos, esta variable tiende a cambiar de dirección y ya no se muestra tan uniforme como sucedía con la fecha principal para la capa superficie – 850 mb. Sin embargo sigue presentando la disminución de la intensidad a los 700 mb y al igual la cortante indica advección fría.

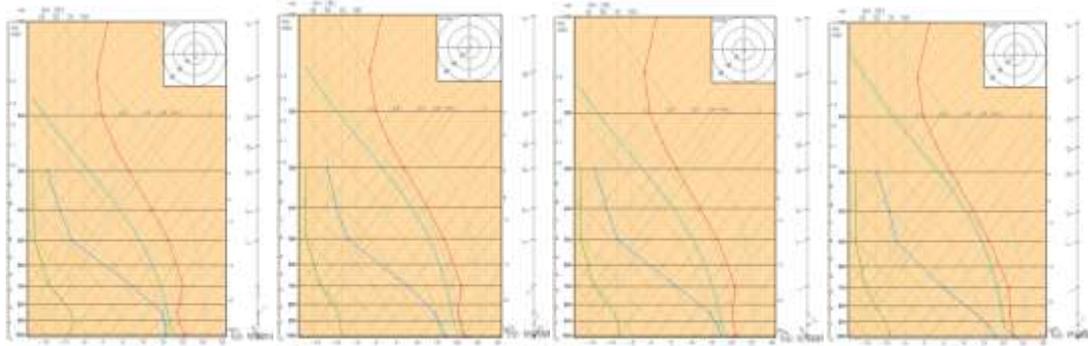


Figura 5. Posterior a la fecha principal de *Norte* 1 y 2 días antes (mañana y tarde).

Índices de estabilidad

Los parámetros para conocer algunas características que propicie la ocurrencia lluvia el agua precipitable y el nivel de condensación por ascenso. Del primero se tiene que el cambio es muy poco se mantiene entre los 13.9 y 15.4 mm, pero se puede notar que 2 días antes del evento de *Norte* es menor que para 2 días después (tabla 4). En el caso del nivel de condensación por ascenso este tiende a estar más bajo antes del evento de *Norte*, sube durante el evento y vuelve a bajar para los días posteriores.

Tabla 4. Valores promedio de los índices de estabilidad (M es mañana y T es tarde).

Índice	2 días antes		1 día antes		Día principal		1 día después		2 días después	
	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T
Índice K	14.9	15.7	17.2	17.6	20.3	17.3	15.5	16.0	15.0	13.7
Índice SWEAT	133.9	113.4	118.1	98.0	90.2	115.5	120.1	121.0	121.3	105.0
Índice Total de Totales	38.3	39.0	39.4	38.5	36.9	35.5	35.7	36.5	37.1	37.0
Presión (mb) y altura (m) del NCA	981.3	948.3	976.2	947.0	951.1	941.5	966.3	944.7	975.8	945.2
	214.4	444.0	247.7	470.3	470.2	544.4	361.9	508.9	283.7	497.1
Agua precipitable (mm)	13.9	13.8	14.4	15.1	15.4	15.1	14.6	14.6	14.6	14.3
Índice de elevación (LI)	5	-1	3	1	4	6	7	4	6	2
CAPE (J/Kg)	368.9	741.8	451.2	634.7	248.1	175.8	81.0	211.0	150.7	363.9
CIN (J/Kg)	126.2	144.9	146.7	94.3	41.5	41.8	39.1	74.9	69.2	103.0

Para el caso de predicción de chubascos y tormentas no convectivas se sugiere utilizar el índice K (Peppier, 1988). Los valores de este índice entre 15 y 20 muestran una probabilidad de que se registren tormentas del 20 % (DeRubertis, 2006). De acuerdo a los perfiles promedio, la mayor probabilidad de tormentas es 1 día antes o 2 días después. Para el índice SWEAT, Peppier (1988) menciona que para que exista probabilidad de tormentas intensas este debe alcanzar valores superiores a 200, por lo que este índice calculado para *Nortes* sugiere que no ocurren tormentas intensas. Con lo que respecta al índice total de totales, que se refiere a actividad convectiva, la posibilidad de tormentas se registra con valores superiores a 45 (Chourio 2009), por lo que al igual que el índice SWEAT, el índice total de totales indica que no existe probabilidad de tormentas durante días con *Norte*. Los valores del índice de elevación (LI), determina la posibilidad de chubascos hasta la formación de tornados. Según Peppier (1988), para valores entre 0 y 3, como sucede 1 día previo y para la tarde de 2 días posteriores al *Norte* se pueden presentar chubascos y para valores entre 0 y -3 como pasa para durante la tarde de 2 días previo al evento de *Norte*, es posible que se presenten tormentas.

Por último el CAPE, que se refiere a la energía potencial disponible para la convección, según Chourio (2009) valores entre 0 y 1000 indican una atmósfera

ligeramente inestable. Los valores máximos de este índice se obtuvieron para los días previos al *Norte*, donde también se observa que el CIN no tiende a incrementar su valor proporcionalmente al CAPE, por lo que el aire en ascenso con posibilidad de condensarse convectivamente, no tendrá la inhibición que evite la formación de estratos.

Clasificación de eventos de *Nortes* según su intensidad y cuantificación según su aporte de lluvia.

En la tabla 5 se muestran la cantidad de *Nortes* según su intensidad dada por la racha máxima del viento. De los 629 casos de *Norte* que se identificaron, la mayoría fueron de tipo moderado (vientos entre 39 - 61 km/h) y no se detectó ninguno de tipo severo.

Tabla 5. *Nortes* clasificados según la racha máxima de viento.

	Sin clasificar (viento < 20)	Norte débil	Norte moderado	Norte fuerte	Norte intenso	Norte severo
Cantidad	8	113	262	182	36	0

Para el caso de la precipitación acumulada diaria es evidente que para la fecha principal de norte la precipitación es en su mayoría inapreciable, sin embargo se presentaron 3 casos en que se acumularon entre 70 y 150 mm (tormentas fuertes a intensas) como se observa en la tabla 6.

Tabla 6. Cuantificación de *Nortes* según su aporte de precipitación acumulada para la fecha principal.

Clasificación	Cantidad
Inapreciable	586
Lluvia moderada con chubascos aislados (5 a 20 mm)	29
Intervalos de chubascos con tormentas fuertes (20 a 50 mm)	9
Intervalos de chubascos con tormentas muy fuertes (50 a 70 mm)	2
Tormentas muy fuertes a intensas (70 a 150 mm)	3
Tormentas de intensas a torrenciales (>150 mm)	0

Conclusiones

Para los días previos al evento de *Norte* se observa el paso del frente, concentración de humedad cerca de la superficie y hasta los 850 mb.

Durante el evento la capa de húmeda es más profunda pero con menor contenido de humedad, se observa una capa de vientos intensos de componente norte lo cuales

alcanzan los 850 mb, además de un debilitamiento de los vientos hacia los 700 mb, además se presenta advección fría.

Después del evento se observa una atmósfera con una menor cantidad de humedad y el viento es del noreste y noroeste para niveles cercanos a la superficie, por las mañanas se presenta una inversión térmica cercana a la superficie.

Los parámetros de estabilidad calculados sugieren que la mayor probabilidad de ocurrencia de lluvias es durante los días previos al evento de *Norte*, y la tendencia es a disminuir se reduce para los siguientes días.

En su mayoría los *Nortes* durante la fecha principal presentan rachas máximas entre 39 y 61 km/h y presentan poca precipitación.

Bibliografía

Air weather service, 1990. *The use of the skew T, log P diagram in analysis and forecasting*. Scott Air Force Base, Illinois.

Chourio, M. C., 2009. *Aplicación de índices de estabilidad atmosférica al pronóstico meteorológico de la región centro norte costera de Venezuela*. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.

DeRubertis, D., 2006. *Recent trends in four common stability indices derived from U.S. Radiosonde Observations*. Journal of climate, 19. 309-323.

Imke Durre, Russell S. Vose y David B. Wuertz, 2006. *Overview of the Integrated Global Radiosonde Archive*. Journal of Climate. 19: 1, 68.

Lackmann, G., 2011. *Midlatitude synoptic meteorology dynamics, analysis and forecasting*. American Meteorological Society. PP 345.

Peppier, R., 1988. *A review of static stability indices and related thermodynamic parameters*. Illinois State Water Survey Division. Climate and meteorology section. 104.: 1-16.

Schultz, D.M., Bracken, W.E. y Bosart, L.F., 1998. *Planetary and Synoptic Scale Signatures Associated with Central American Cold Surges*. Monthly Weather Review. 126: 5-27.

Vázquez, J. L., 2000. *Caracterización objetiva de los nortes del golfo de México y su variabilidad interanual*. Tesis que para acreditar la experiencia educativa Experiencia Recepcional en la Licenciatura en Ciencias Atmosféricas. Facultad de Instrumentación Electrónica y Ciencias Atmosféricas. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. PP. 62.

<http://smn.conagua.gob.mx>