

Recibido: 30.05.2022 • Aceptado: 04.02.2024

Palabras clave: Tolvaneras, tormentas de arena, frentes fríos.

Tormentas de arena y tolvaneras en México

MARÍA DE JESÚS GUEVARA MACÍAS

guevara.macias@gmail.com

LILIANA MIRANDA ARAGÓN

liliana.miranda@uaslp.mx

CHRISTIAN ADRIÁN ÁLVAREZ BÁEZ

christian.alvarez813@gmail.com

INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Las tormentas de polvo y las tolvaneras son fenómenos muy frecuentes en México. Entre los meses de septiembre y mayo el avance de los frentes fríos sobre el territorio genera vientos intensos que causan estas tormentas de polvo y tolvaneras al interactuar con suelos secos y desnudos. Estos fenómenos tienen un fuerte impacto ambiental sobre distintos aspectos como la calidad del aire en áreas urbanas y el deterioro del suelo fértil. Esto ha dado lugar a la investigación por medio de percepción remota y simulación numérica, entre otros métodos, para comprender mejor las causas y consecuencias de las tormentas de polvo en nuestro país.

Las tormentas de polvo y las tormentas de arena tienen lugar en vastas extensiones de la superficie terrestre. En muchas ocasiones estos eventos llegan a alcanzar la categoría de catástrofes desencadenadas por el avance de la desertificación general en el planeta. Esta clase de fenómenos se dan a nivel mundial en las zonas desérticas del Norte de África, Medio Oriente, Asia Central y Norteamérica, siendo esta última región la más relevante para nuestro país. Norteamérica tiene enormes zonas que funcionan como fuentes de emisión de polvo. Gran parte del territorio de los Estados Unidos de América (EUA) y México pertenece a suelos desérticos como los desiertos de Mojave, de Chihuahua o de Sonora. Las tormentas de polvo son un proceso al que se le atribuyen diversos efectos negativos en nuestro entorno, los cuales serán discutidos en este artículo. La alta frecuencia y magnitud de estos eventos en México, hace especialmente necesario el hacer consciencia en la población de la existencia de estos fenómenos.

¿Qué es una tormenta de polvo?

Son la erosión eólica de las tierras secas, contribuyendo a la pérdida de fertilidad del suelo, la contaminación del aire e incluso altera la radiación atmosférica de forma local. Según el Programa de las Naciones Unidas por el Medio Ambiente (PNUMA) se reconocen tres tipos de erosión eólica: 1) En el primero se pierde la capa superficial del suelo, 2) el terreno sufre de la deformación que da lugar a la formación de dunas, y 3) se considera el transporte de las partículas en el viento, alcanzando zonas lejanas del lugar de origen. Durante una tormenta de arena, la visibilidad puede ser reducida a cero, y las partículas pueden alcanzar aproximadamente 15 metros, por lo que su efecto es más bien local y de poca duración. Una tormenta de polvo puede dispersar sus partículas por cientos o miles de kilómetros, alcanzando alturas entre los 5 000 y los 7 000 metros, reduciendo la visibilidad a menos de un kilómetro en extensas áreas.

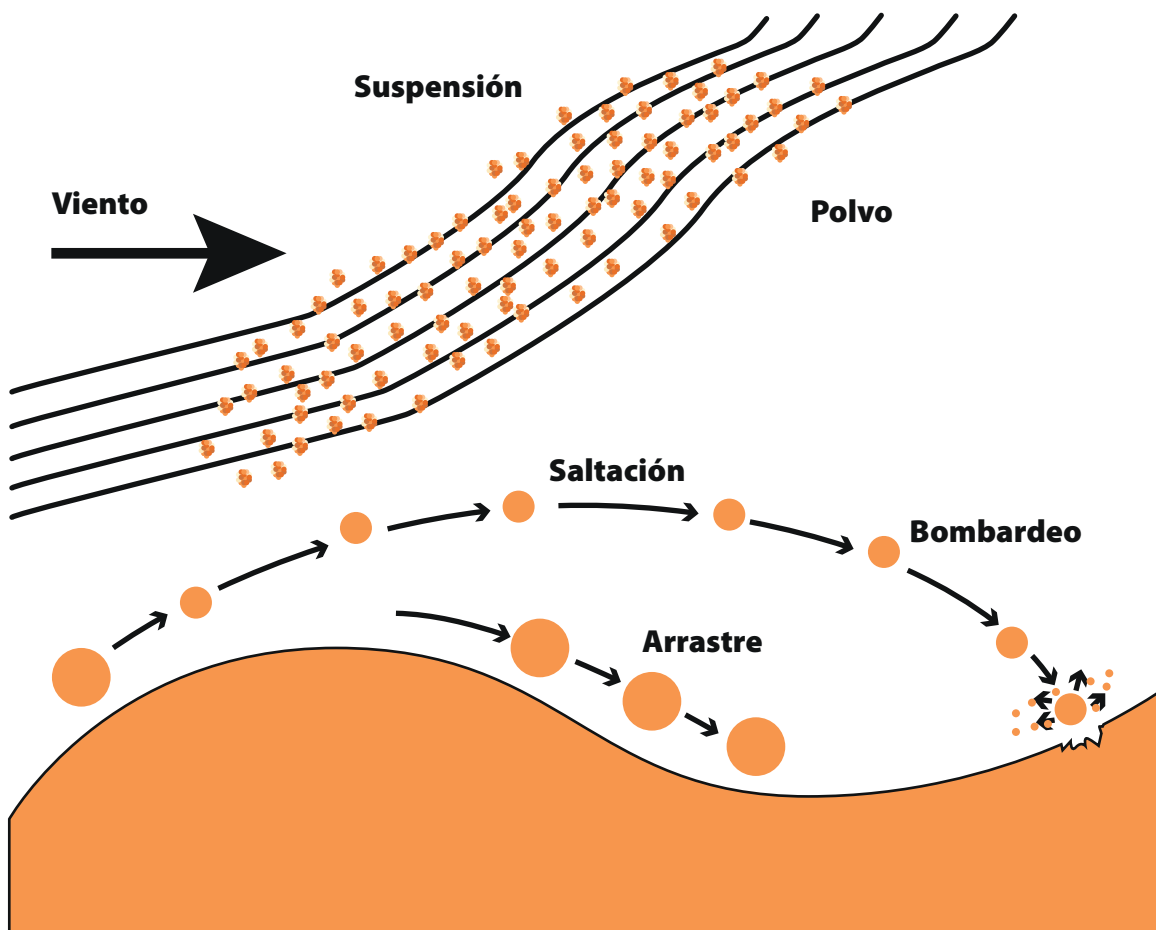


Figura 1.
Proceso de saltación.
Elaboración propia

Las tormentas de polvo y tolvaneras tienen un fuerte impacto ambiental sobre distintos aspectos como la calidad del aire en áreas urbanas y el deterioro del suelo fértil

¿Qué causa una tormenta de polvo?

Todo comienza con condiciones meteorológicas que dan lugar al incremento de la intensidad de viento sobre una región árida y vulnerable a la erosión de sus suelos. El transporte de estas partículas de polvo puede darse por dos tipos de mecanismos: *a)* saltación y *b)* suspensión (figura 1.). En la saltación las partículas son removidas de la superficie por levantamiento y son transportadas a una pequeña distancia dando saltos en el aire. En la suspensión se movilizan los granos de menor tamaño ($< 20 \mu\text{m}$) y se inyectan de forma vertical en la atmósfera.

¿Cuáles son las repercusiones de una tormenta de polvo o arena?

Dentro de los principales efectos causados por las tormentas de polvo y arena, está la reducción de la calidad del aire. La calidad del aire es un parámetro que suele ir de 0 a 500, donde un valor alto representa un aire contaminado y con efectos dañinos en la salud. Los contaminantes que se consideran en el monitoreo de calidad del aire son: ozono (O_3), dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), partículas suspendidas iguales o menores a 10 micrómetros (PM_{10}) y partículas suspendidas iguales o menores a 2.5 micrómetros ($\text{PM}_{2.5}$). Durante el desarrollo de las tormentas de polvo, las partículas PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ presentan un drástico incremento, disminuyendo la calidad del aire.

Los principales efectos en la salud debido a partículas de tamaño mayores a 10 micrómetros (μm) son superficiales, causando daño de forma externa como irritación en la piel y en los ojos, en estos puede incrementar la susceptibilidad a padecer infecciones o conjuntivitis. Inhalar polvo atmosférico fino puede causar o empeorar enfermedades respiratorias como el asma, traqueítis, neumonía, rinitis alérgica, silicosis, bronquitis, enfisema, entre otras, debido a que el tamaño de las partículas puede estar por debajo de los $10 \mu\text{m}$ o incluso menor a los $2.5 \mu\text{m}$; mientras el PM_{10} puede quedar alojado en la nariz, la boca y el tracto respiratorio superior, el $\text{PM}_{2.5}$ puede penetrar profundamente en el tejido pulmonar. Todo esto sin descartar que algunas enfermedades infecciosas pueden ser transmitidas por el polvo; por ejemplo, en el suroeste de EUA y el norte de México el polvo actúa como agente transportador de esporas de hongos *Coccidioides*, que se encuentra principalmente en los suelos de las regiones áridas y semiáridas, son

resistentes a la poca precipitación, soportan temperaturas extremas y la alta salinidad de los suelos. Su principal mecanismo de dispersión es a través de las arthroconidias en el suelo y su primordial vía de entrada es la respiratoria. Los principales síntomas que pueden presentarse son fiebre, tos y cansancio.

Otra cuestión ambiental de las tormentas de polvo y arena es la pérdida de suelo, la cual es resultado del proceso de intensa erosión eólica. Este proceso es particularmente perjudicial en el caso de los suelos comúnmente utilizados para las prácticas agrícolas, ya que estos quedan desprovistos de vegetación durante la temporada seca y, al presentarse vientos con intensidad suficiente para erosionar, las partículas más finas son transportadas, dando lugar a la pérdida y degradación del suelo. Son numerosos los países a nivel mundial que presentan un gran impacto ambiental por la pérdida de suelo derivado del cambio masivo de su uso. Un ejemplo histórico se dio en EUA en el periodo denominado Dust Bowl entre 1932 y 1941. Obtuvo ese nombre debido a las grandes tormentas de arena que se presentaron como consecuencia de la creación de amplias zonas de cultivo y la presencia de sequías en la zona. Las tormentas de arena afectaron la salud de la población y la causa principal fue la eliminación de la cobertura vegetal y los surcos en dirección del viento. Por otro lado, China

con la extensión de las actividades agropecuarias en las zonas cercanas al desierto de Gobi, han incrementado el aumento en la cantidad de polvo transportado durante las tormentas de arena. En Mongolia la erosión eólica y el pastoreo son las principales causas del desarrollo de suelos arenosos, lo que lleva a la pérdida de la estructura del suelo y su deterioro. Otro aspecto importante relacionado a la erosión del suelo es considerar la deposición de las partículas, muchas veces este proceso tiene lugar fuera de la zona donde se originó la tormenta de polvo o arena. En ocasiones el polvo termina mezclándose con contaminantes propios de las zonas urbanas y se deposita sobre viviendas y comercios.

Tormentas de polvo en México

En el caso del norte de México, las tormentas de polvo y las tolvaneras suelen ser causadas por frentes fríos. Estos representan la interacción entre dos masas de aire con diferente temperatura, condiciones muy frecuentes durante los meses de invierno. La región de contacto entre estas dos masas de aire, donde el contraste de temperatura es más fuerte, presenta vientos de alta intensidad, que pueden comenzar a perturbar el suelo de las regiones áridas del país hasta dar lugar a la emisión de polvo en estas zonas. Estas condiciones son encontradas principalmente en la región del desierto de Chihuahua.

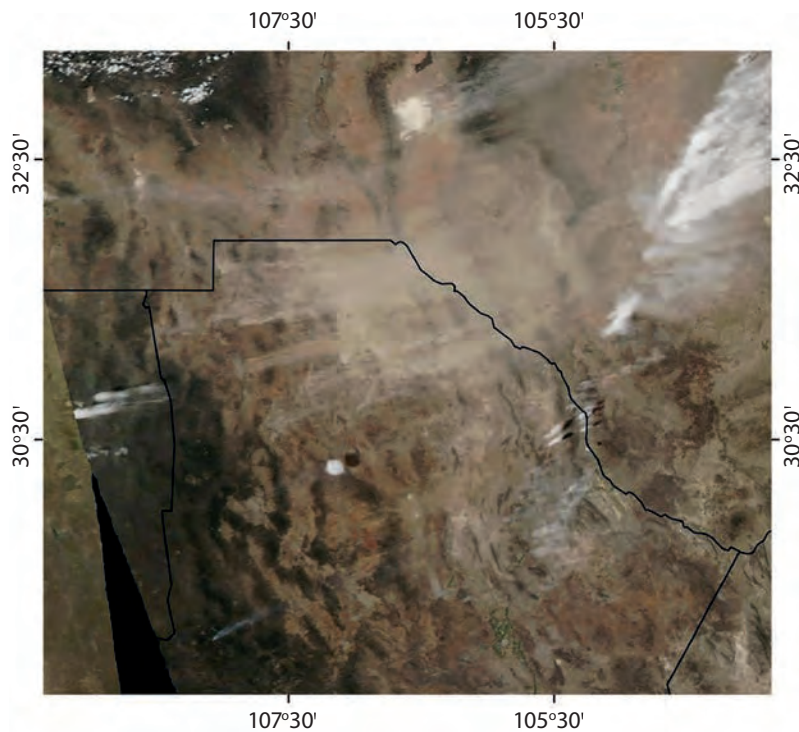


Figura 2.
Tormenta de polvo en el estado de Chihuahua captada por el satélite MODIS el 10 de abril de 2019. Se aprecian las estelas de polvo y la trayectoria que siguen sobre zona de desierto de Chihuahua. Imagen MODIS en color natural. Disponible en <https://wordview.eathdata.nasa.gov/>

Diferentes aspectos sobre las tormentas de polvo en México se han investigado principalmente sobre la región del desierto de Chihuahua. En la zona de la frontera entre las ciudades de El Paso y Ciudad Juárez se han identificado los flujos y las trayectorias de las partículas de polvo durante dos eventos de viento en el año 2003. La velocidad de viento durante los eventos con polvo es mayor a 10 m/s, la velocidad de viento registrada durante los periodos sin presencia de polvo fue en promedio de 4 m/s, estos eventos de polvo extremo se asociaron con sistemas de baja presión y sistemas frontales. Dentro de esta misma zona fronteriza, también se han identificado zonas potenciales de emisión de polvo usando una clasificación geomorfológica e imágenes satelitales (figura 2). Se determinó que los lagos intermitentes son donde se origina la mayor cantidad de las plumas de polvo en la zona fronteriza aunque, estos lagos secos representan menos del cuatro por ciento de la superficie, seguidas por los sistemas aluviales.

Otro evento investigado es el que tuvo lugar entre el 17 y 18 de marzo de 2008, ya que la tormenta de polvo se desarrolló en la parte central del estado de Zacatecas. Durante este evento se registró un incremento en los niveles

de PM_{10} y una disminución en los niveles de radiación durante el desarrollo de la tormenta de polvo. En ese caso, la intensidad máxima de viento presentó una duración de ocho horas, alcanzando la mayor cantidad de concentración de PM_{10} al finalizar. Durante el desarrollo de este evento el polvo recorrió una distancia aproximada de 400 km afectando la calidad del aire de la zona urbana de la ciudad de Monterrey.

En Zacatecas se ha evidenciado que el incremento en la emisión de polvo se encuentra asociado principalmente a los cambios de uso de suelo que se han presentado, esto debido a que grandes extensiones de terreno fueron desmontadas para la introducción de prácticas agrícolas, mayormente para agricultura de temporal. Durante los meses de invierno, estos suelos quedan sin ningún tipo de cobertura, lo que los expone a la acción continua de los vientos generados por desplazamiento de los frentes fríos. Esto a su vez ocasiona que año tras año los suelos destinados a la agricultura de temporal en Zacatecas pierdan material fino importante de forma continua, llevando a la degradación y pérdida de grandes extensiones de tierra acelerando los procesos de desertificación. En una estimación realizada



Figura 3.
Suelos deteriorados en la parte central del estado de Zacatecas.
Fotografías de autoría propia



MARÍA DE JESÚS GUEVARA MACÍAS

Doctora en Geociencias Aplicadas por el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, es consultora en A.C. Geoconsultores y trabaja en la aplicación de soluciones basada en la naturaleza en áreas urbanas inundables.


entre los años de 1996 y 2016 sobre el deterioro presentado en los suelos en la parte central del estado de Zacatecas en una clasificación de suelo muy deteriorado se estimó 6.4 km² en 1996 con un cambio de 422.2 km² en el 2016. En una segunda categoría de suelo deteriorado pasó de 60.82 a 1718.6 km², en la categoría en proceso de deterioro paso de 2477.49 a 3019.89 km² en un periodo de 20 años para un área total de 7361.2 km² en la parte central del estado de Zacatecas (figura 3) (Guevara *et al.*, 2020).

En el noroeste de México las tormentas de polvo se encuentran asociadas a la circulación local del viento, específicamente a los vientos de Santa Ana. Cuando son intensos, logran transportar toneladas de polvo a grandes distancias. Mediante observación *in situ* y simulación numérica, se ha confirmado el alcance de los efectos de las tormentas de polvo, que van desde las zonas desérticas del estado de Nevada en Estados Unidos, hasta la costa oeste de la península de Baja California e incluso las regiones costeras del estado de Sinaloa. Los eventos de esta magnitud afectan severamente la calidad del aire de las zonas densamente pobladas como Tijuana o Mexicali. Simulaciones han indicado valores de concentración de PM₁₀ cercanos a los 3000 microgramos/metro cúbico (ug/m³) deteriorando gravemente la calidad de aire de áreas urbanas en la región durante episodios intensos como el de octubre del 2007 o más recientemente como el de noviembre de 2018, además se dejó en manifiesto la importante pérdida de suelo del orden de millones de toneladas de polvo (Álvarez y Carbajal, 2019, 2022).

Conclusiones

En la mayoría de los eventos presentados, se destaca la interacción entre la presencia de vientos fuertes o extremos, sumados a la presencia de suelos desprovistos de vegetación, los cambios de uso de suelo y los periodos de sequía. En el caso del norte de México, como las regiones

desérticas de Chihuahua y Zacatecas, los vientos fuertes son asociados al desplazamiento de frentes fríos durante el invierno. Las regiones desérticas del noroeste de México son mayormente afectadas por la circulación local del viento. La investigación de las tormentas de polvo dentro del país, ha demostrado el fuerte impacto que tiene este fenómeno en la reducción de la calidad del aire en zonas densamente pobladas que son alcanzadas. Además, se ha comprobado que las prácticas agrícolas inadecuadas pueden llevar al aumento de recurrencia en eventos de este tipo, lo cual se traduce en el deterioro de suelo fértil y afectación en las actividades agropecuarias.

En la actualidad el Servicio Meteorológico Nacional en los boletines meteorológicos presenta los pronósticos de tolvaneras, por lo que se conocen las condiciones meteorológicas que las están generando. Sin embargo, debe intensificarse la investigación de las tormentas de polvo para promover el desarrollo de programas eficaces que permitan lidiar con la desertificación a través de todas las zonas áridas y semiáridas del país. Esto deberá incluir la gestión de prácticas de agricultura más responsables y sostenibles que puedan reducir la susceptibilidad de los suelos fértiles a la erosión eólica durante determinadas temporadas. 

Referencias bibliográficas:

- Álvarez, C. A., & Carbajal, N. (2019). Regions of influence and environmental effects of Santa Ana wind event. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 12(9), 1019–1034. <https://doi.org/10.1007/s11869-019-00719-3>
- Álvarez, C. A., Carbajal, N., & Pineda-Martínez, L. F. (2022). Dust pollution caused by an extreme Santa Ana wind event. *Natural Hazards*, 110(3), 1427–1442. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04996-z>
- Guevara Macías, M. de J., Carbajal, N., & Tuxpan Vargas, J. (2020). Soil deterioration in the southern Chihuahuan Desert caused by agricultural practices and meteorological events. *Journal of Arid Environments*, 176 (2020) 104097. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2019.104097>