

LAS LLUVIAS DE BARRO: ANALISIS ESTADISTICO DE UNA SERIE DE 43 AÑOS EN BARCELONA.

Dr. Javier MARTIN VIDE
M^a Carmen LLASAT
UNIVERSIDAD DE BARCELONA

RESUMEN: *En el presente trabajo se estudian las lluvias de barro, "realizándose: (1) un resumen de las principales características del fenómeno; (2) una reflexión acerca de las dificultades que plantea su observación y su estudio climatológico y (3) un análisis estadístico de una serie de frecuencia de este fenómeno, del período 1944-1986, correspondiente a Barcelona. En cuanto a las características de las lluvias de barro, se trata del aerosol sólido, su transporte (dirección, altitud y cantidad), sus tasas de deposición y la granulometría y la composición química de la fracción mineral precipitada. Sobre las dificultades en la observación del fenómeno y de su estudio climatológico, se distinguen unas intrínsecas del mismo y otras ajenas, derivadas en parte de la escasa atención y sistematismo prestado a su observación y registro. Por último el análisis estadístico de una serie de lluvias de barro de Barcelona, verdaderamente excepcional en cuanto a su longitud en el caso de España, ha permitido establecer la frecuencia media anual del fenómeno, la distribución estacional, la persistencia, el historial meteorológico de las fechas de aparición y los flujos dominantes en superficie, entre otras cosas.*

Abstract: *This work analyses the mud-rains doing: (1) an abstract of the phenomenon principal characteristics; (2) a reflection about the difficulties that its observation and climatological study brings out and, (3) an statistical analysis from the period 1944-1986, corresponding to Barcelona.*

Sumario: Introducción.- Origen y características de las lluvias de barro.- Dificultades en la observación de lluvias de barro.- Una serie de 43 años de lluvias de barro.- Conclusiones.- Bibliografía.

INTRODUCCION

Las llamadas *lluvias de barro* son en España y en otros países europeos del área mediterránea un fenómeno conocido por parte del gran público. Y ello, por ser relativamente frecuentes y porque sus efectos más inmediatos -los pequeños depósitos de "barro" de tonos ocres o marrones que quedan sobre las superficies al evaporarse el agua- resultan, muchas veces, claramente visibles. La vistosidad del fenómeno despertó la imaginación y la superstición de nuestros antepasados, que

llegaron a hablar, con respecto a ellas, de "lluvias de sangre". En el campo científico, pueden encontrarse referencias al fenómeno desde mediados del siglo XIX (Darwin, 1846; Fournet, 1864; Tarry, 1870), aunque a menudo se trata de trabajos que sólo describen y comentan un determinado episodio (Canobbio, 1841; Dufrenoy, 1842; Dupasquier, 1847; Bouis, 1863; Daubrés, 1863; Nicati, 1869; Denza, 1870; Silvestri, 1872; Lais, 1877; Coles., 1898, etc.). Afortunadamente, en el último cuarto de siglo se han llevado a cabo estudios más profundos y generales, que han puesto en evidencia la importancia climática, geológica, paleontológica e, incluso, palinológica del fenómeno.

ORIGEN Y CARACTERISTICAS DE LAS LLUVIAS DE BARRO.

La lluvia de barro puede definirse como una lluvia en sentido lato -preferentemente lluvia o chubasco- cuyas gotas "arrastran" a su paso por la atmósfera partículas finas de polvo, depositándolas en el suelo (Jansa, 1968). Si la precipitación cae en forma de nieve se producen las llamadas nieves coloradas, o manchadas, conocidas en áreas montañosas como Sierra Nevada, los Pirineos o los Alpes (Bellair y Poisson, 1962; Clement et al., 1972; Ricq-de-Bouard y Thomas, 1973), éstas deben diferenciarse de las capas de nieve que a veces son teñidas, en el suelo, por la colonización de ciertas algas, como la *Chlamydomona nivalis*, *Scotiella nivalis*, etc. (Moret, 1969). Un fenómeno distinto a las lluvias de barro, aunque similar en cuanto a su origen y a muchas de sus características y consecuencias, son las precipitaciones o caídas secas de polvo, a menudo imperceptibles en Europa, que suelen, por tanto, pasar andvertidas.

El polvo de las lluvias de barro, nieves coloradas y precipitaciones secas procede de los litometoros, es decir, de meteoros consistentes en un conjunto de partículas que, en su mayor parte, son sólidas y no acuosas; estas partículas están más o menos en suspensión en la atmósfera, o son levantadas del suelo por el viento (OMN, 1956). Es conocido que esas partículas de polvo, o de arena, tienen su origen último en las desnudas áreas de los grandes desiertos, particularmente el del Sáhara. Aunque resulta difícil probar que haya una producción continuada y reciente de estos aerosoles saharianos, Mainguet (1985) indica que tal producción se efectúa por crío, termo y haloclastia, añadiendo Bücher (1986) alteraciones químicas, corrosión por el viento y cuarteamiento de arcillas. Formado el polvo, la deflación, o barrido por el viento, levanta del suelo las partículas.

Esto es particularmente efectivo en las tempestades de polvo y de arena y en las tolvaneras y polvaredas. La velocidad del viento es el parámetro principal en el levantamiento del polvo, pero también son importantes su turbulencia (Combiér et al., 1937; Dubief, 1943) y el elevado gradiente térmico en la capa límite superficial sobre el suelo (Berenger, 1963). Indudablemente, esto último contribuye a aumentar las frecuencias de los litometeoros en las horas más calurosas del día, como es el caso de la calima, o bruma seca, en la Península Ibérica.

El transporte de polvo y, eventualmente, de la arena depende, como es obvio, de la velocidad y de la dirección del viento. Respecto a las direcciones seguidas por el aerosol sahariano, son numerosos los trabajos referidos al transporte sobre el océano Atlántico hacia el oeste (Delany et al., 1967; Carlson y Prospero, 1972; Rapp, 1974; Jaenicke, 1979; Schütz, 1980; Schütz et al., 1981; Prospero, 1981, etc.). En verano, de mayo a octubre, época del año en que las condiciones meteorológicas son más favorables, los transportes se realizan por un pasillo latitudinal entre las Islas Canarias y unos 10/15 ° N. en dirección al mar Caribe. Son, en esa zona latitudinal, dominantes los vientos del este, reforzados luego, sobre el océano, por los alisios. El espesor del flujo es de algunos kilómetros, estando comprendido entre 1'5 y 5 km de altitud, aunque disminuye al alejarse del origen. Schütz (1980) estima que la cantidad media anual que sale del desierto en dirección hacia el este es de unos 260 millones de Tm/año en promedio (Schütz, 1980). Las concentraciones anuales de polvo sahariano en el mar Caribe parecen mostrar cierta correlación positiva con la sequía saheliana (Prospero y Nees, 1977).

Hacia el nordeste, en dirección a Oriente Medio, se estima que salen del desierto unos 70 millones de Tm/año (Ganor y Mamane, 1982), alcanzando Israel de 20 a 30 millones Tm/año (Yaalon y Ganor, 1979). Más difícil resulta evaluar las cantidades de polvo que el Sahara expulsa hacia Europa y hacia las latitudes sahelianas y ecuatoriales. Hacia Europa se dirigen anualmente unos 10 millones de Tm, según Bücher y Lucas (1984). El nivel atmosférico con más densidad de flujo en algunos episodios se sitúa entre 2000 y 3000 m (Clement et al. 1972). Algunos autores, no obstante, indican que el transporte principal puede realizarse a mayor altitud, por encima de los Alpes (Nalivkin, 1983).

La deposición del polvo puede ser debida a las precipitaciones, cuyas gotas de agua o cristales de hielo lo arrastran hasta el suelo (lluvias de barro y nieves coloradas o a una disminución de la

fuerza del viento (precipitaciones secas). Este último fenómeno debe clasificarse en el grupo de los litometeoros, mientras que las lluvias de barro y nieves coloradas tienen un carácter de deposición del polvo -especialmente en las caídas secas- depende, evidentemente, de la distancia al origen del litometeoro. Así, el propio desierto del Sahara, fuertemente afectado por los litometeoros, como polvaredas, tolvaneras y tempestades de polvo y de arena, es, con mucho, al tiempo que fuente, la principal área de depósito del polvo y la arena. Schütz et al. (1981) muestran que la acumulación de sedimentos saharianos en el Atlántico, para los transportes en dirección al oeste, disminuye a medida que aumenta la distancia al continente africano. En masa, el 70 % del transporte se deposita en los dos mil primeros kilómetros (Schütz, 1980), por causa de que la deposición es selectiva: primero llegan a la superficie las partículas más grandes y pesadas y, posteriormente, alejándose del lugar de origen, las más finas.

En el área de Oriente Medio, cálculos de Ganor y Mamane (1982) dan la elevada cantidad de 150 g/m^2 como promedio anual de depósito en los alrededores de Tel-Aviv, que sufre a menudo tempestades de polvo. Para El Cairo, el análisis de diversas tempestades de polvo ha dado depósitos individuales de 0.81 a 13.63 g/m^2 (Sowelim, 1983), pudiendo ocurrir más de una decena de tempestades al año. Según mediciones realizadas en Europa, particularmente en Francia, en diversas lluvias de barro no son raros aportes sólidos del orden de 0.5 g/m^2 , habiendo llegado a medirse, como valor máximo, 6 g/m^2 , también en un solo caso, el de julio de 1983 en el SW de Francia (Bücher, 1986). Sin ser frecuentes, se han llegado incluso a registrar lluvias de barro en las Islas Británicas (Stevenson, 1969; Tullet, 1978, 1984; George, 1981; Wheeler, 1986). En consecuencia, a escala geológica, los sedimentos depositados directamente en algunos sectores de la cuenca mediterránea pueden alcanzar un espesor importante. Loye-Pilot et al. (1986) estiman que en Bavella Pass ($41^\circ 50' \text{ N}$, $9^\circ 10' \text{ E}$), en la isla de Córcega, incluyendo las caídas secas, las deposiciones durante 1984 totalizaron 14 Tm/km^2 , lo que representa un espesor anual de 10 mm , con una densidad de material terrígeno de 1.25 a 1.65 . Esta tasa de deposición constituye, aproximadamente, un 10 % de la sedimentación pelágica en el Mediterráneo occidental.

Respecto a la granulometría de la fracción mineral precipitada, los resultados, para un mismo episodio, dependen, obviamente, de la distancia al área de origen del litometeoro y, para distintos episodios y un mismo lugar de recepción, de la propia fuerza del viento. De los análisis efectuados

en puntos de los Alpes y el sur de Francia, merece destacarse que en un estudio de cuatro casos en el Pic-du-Midi Bigorre (Bücher y Lucas, 1984) las medianas de los tamaños estaban comprendidas entre 3 y 12 μm .

En cuanto a la composición mineral de los aportes, Bücher (1986), resumiendo diversas observaciones en Europa, destaca, en peso, el SiO_2 , con cerca de un 50 % y, luego, el CaCO_3 y el Al_2O_3 . Es precisamente el carbonato cálcico el causante de que el Ph de las lluvias de barro sea significativamente más alto que el de las lluvias sin aportes saharianos (Löye-Pilot et al., 1986).

DIFICULTADES EN LA OBSERVACION DE LLUVIAS DE BARRO.

El estudio climático de las lluvias de barro topa, en España y en otros países, con algunas serias dificultades, que pueden explicar la relativa escasez de series largas de lluvias de barro. De estas dificultades, unas son ajenas al fenómeno y otras, intrínsecas del mismo. En cuanto a las primeras, hay que indicar, ante todo, que el fenómeno raramente se anota en los cuadernos de observaciones de las estaciones meteorológicas; y cuando se hace, lo es de una manera poco sistemática, con presumibles olvidos y lagunas, lo que impide muchas veces cualquier análisis estadístico riguroso. Con referencia a las segundas limitaciones, es evidente que el fenómeno en sí plantea al menos dos tipos de problemas en su observación. Por una parte, una lluvia de barro con poca carga sólida puede pasar inadvertida al observador, especialmente si está situado en una ciudad o en un área industrial; el discernir si hubo lluvia de barro o no, queda, en algunos casos, a criterio enteramente personal del observador. Otra limitación es la dificultad de observación que encierra una lluvia de barro seguida, sin solución o apenas sin solución de continuidad, por abundante precipitación sin barro. Es decir, una lluvia de barro ligera seguida por un fuerte chubasco sin carga sólida, o un chubasco que empiece siendo de barro -al "lavar" el polvo de la atmósfera- para luego continuar sin mezcla de tal polvo -una vez limpia aquélla-, pueden no dejar las típicas "manchas" de color ocre o marrón sobre las superficies. Incluso en el agua recogida en el pluviómetro podría no detectarse el polvo, si el aparato estaba sucio antes de la precipitación.

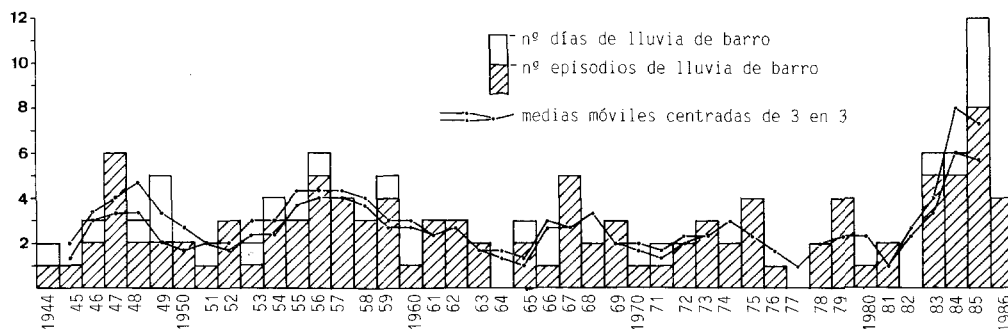
Las modestas cantidades, inapreciables o muy débiles, que, en general, pueden ser atribuidas a las lluvias de barro, tras el desglose de los historiales meteorológicos del observatorio Fabra de

Barcelona, realizado en Martín Vide y Moreno (1985), refuerzan la hipótesis anterior. Es cierto que bajo determinadas situaciones productoras de lluvias de barro en Barcelona las cantidades de precipitación no pueden ser altas, pero con otras sí que lo son, llamando, pues, la atención, las casi nulas cantidades que corresponden a ellas, registradas en muchas ocasiones, en el citado observatorio, como lloviznas. En la misma impresión, los autores han observado alguna vez contenidos apreciables de barro al comienzo de una lluvia, mientras que al final de la misma, si fue abundante, no quedan marcas claras sobre las superficies de observación habituales. Un ejemplo parecido reciente en Barcelona se dió en la tarde del 3 de diciembre de 1987, en que tras un chubasco muy débil, pero con un contenido de barro importante, se produjo otro algo intenso y limpio de aerosol.

Por todo lo anterior, planteamos la hipótesis de que puede haber un número relativamente importante de lluvias de barro que pasan más o menos inadvertidas cuando las cantidades de agua precipitadas son elevadas. Esta hipótesis debe, pues, plantearse ante cualquier análisis climático sobre las lluvias de barro.

4.- UNA SERIE DE 43 AÑOS DE LLUVIAS DE BARRO.

La serie analizada de lluvias de barro de Barcelona abarca desde 1944 hasta 1986, inclusive (fig. 1). Esta serie, que contiene las fechas en que se registró el mencionado fenómeno, está compuesta por los registros del observatorio Fabra del período 1944-1982 más los propios de uno de los autores, del período 1983-1986. Tanto el observatorio Fabra como el lugar de observación del autor se encuentran situados en el municipio de Barcelona; en el primer caso en la modesta Cordillera Litoral, que separa el núcleo urbano del interior, mientras que en el segundo, en el centro urbano, en el barrio del Ensanche derecho. Las coordenadas del observatorio Fabra son: $\phi = 41^{\circ} 24' 59''$ N, $L = 8^{\circ} 30'$ E, $z = 420$ m, a unos 7 km de distancia del mar Mediterráneo y a unos 600 m de la cumbre de la cordillera (que culmina a 512 m), y con exposición hacia el sudeste. El punto de observación del autor se sitúa a unos 25 m de altitud y a 5 km de distancia del observatorio Fabra en dirección sudeste.



En Martín Vide y Moreno (1985) se analizó estadísticamente la serie de lluvias de barro del período 1944-1974 obteniéndose, como principales resultados:

a) La frecuencia media anual de días con lluvia de barro es de 2'77 días;

b) la distribución muestral del número anual de días con lluvia de barro es ajustable mediante una distribución binomial negativa

$$f(x) = \frac{T(x+k)}{T(x+1) \cdot T(k)} \cdot \frac{p^x}{(1+p)^{x+k}}$$

con parámetros $p = -0'216$ y $k = 12'862$;

c) el fenómeno presenta una clara estacionalidad, al darse más de un 80 % de las lluvias de barro en primavera y verano;

d) la probabilidad de día con lluvia de barro después de día con lluvia de barro es de un 14 %;

e) un 22'1 % de los días con lluvia de barro registraron además actividad eléctrica, un 20'9 % viento fuerte y un 30'2 % niebla;

f) más de la mitad de las lluvias de barro ocurren con viento en superficie del ENE o del NE;

g) un 65'8 % de los casos el flujo en la topografía de 500 hPa tuvo componente sur, aumentando a un 71'5 % en la fecha anterior a la que se produjo la lluvia de barro.

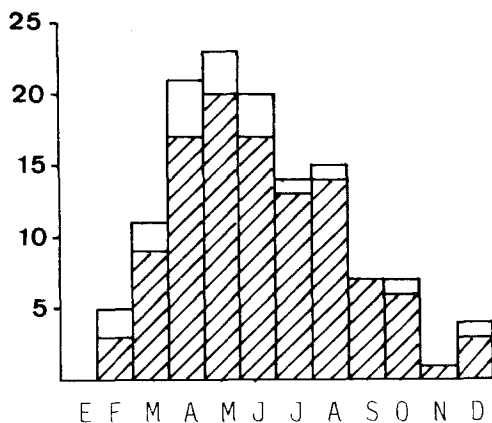
La serie de 43 años de Barcelona puede considerarse excepcional por su longitud en España. No obstante ello, debe precisarse que los dos tramos de que consta impiden asegurar que la serie sea homogénea. Los valores correspondientes al período 1983-1986 resultan apreciablemente más altos que los anteriores, tanto si se considera el número de días con lluvia de barro como si se compara el número de episodios con lluvia de barro. La presunta falta de homogeneidad nos obliga a retrotraernos a la hipótesis emitida en el apartado 2, acerca de que algunas precipitaciones acuosas de barro dejan de ser anotadas en los cuadernos de observación de los observatorios. Por este motivo el cálculo de la frecuencia absoluta anual y los valores extremos se representan para la serie completa de 43 años y para la de 39 años del observatorio Fabra, mientras que determinados porcentajes y probabilidades, en los que la presunta falta de homogeneidad no tiene influencia, se realizan sólo para la serie completa.

La frecuencia anual de días con lluvia de barro, calculada a partir de la serie del período 1944-1986, se estima en 2'98, con una desviación tipo de 2'15. Ello da un intervalo de confianza para la media, con $\alpha = 0'05$, de $2'98 \pm 0'64$. La frecuencia anual de días con lluvia de barro, calculada exclusivamente a partir de la serie del observatorio Fabra, período 1944-1982, se estima en: 2'56, con una desviación tipo de 1'53. Ello da un intervalo de confianza para la media, con $\alpha = 0'05$, de $2'56 \pm 0'48$. Si se considera el número anual de episodios con lluvia de barro, la media anual para la serie completa es de 2'56, y su intervalo de confianza, $2'56 \pm 0'51$. Y para la serie de 39 años, $2'26 \pm 0'44$.

Por lo anterior, puede afirmarse, con la hipótesis del apartado 2, que en Barcelona el promedio anual de días con lluvia de barro debe cifrarse en torno a 3 días o, incluso, superar ligeramente este valor.

Los valores extremos de las series se sitúan en 1985, con 12 días, y en 1964, 1977 y 1982 sin lluvias de barro, para la serie completa. Para la de 39 años, los mínimos, obviamente, coinciden, mientras que los máximos se sitúan en 1947 y 1956, con 6 días. La reducción de este valor máximo respecto al de la serie completa es ciertamente notable. Esta discrepancia se mitiga cuando se consideran los valores extremos del número de episodios, con mínimos nulos en los mismos años citados y máximos en 1985, con 8 episodios, para la serie completa, y con 6 episodios, en 1947, para la exclusiva del observatorio Fabra.

La distribución mensual (fig. 2) y estacional de días con lluvia de barro y de los correspondientes episodios para la serie de 43 años muestra una marcada estacionalidad, siendo, además, de reseñar la regularidad de la distribución, lo que refuerza la "bondad" de la serie. Por meses, mayo registra el máximo con el 18'0 % de los días con lluvia de barro y el 18'2 % de los episodios, mientras que en enero nunca se dio una precipitación acuosa de barro. Estacionalmente, la primavera, con un 43'0 %, y el verano, con un 38'2 %, para los días de lluvia de barro, y las mismas estaciones, con un 41'9 % y un 40'0 %, respectivamente, para los episodios, agrupan más de un 81 % de los días o de los episodios. Por el contrario, el invierno sólo contiene un 7'0 % de los días y un 5'4 % de los episodios, y, englobando noviembre, no alcanza ni el 8 % ni el 6'5 %, respectivamente. Debe hacerse notar, finalmente, que aunque en el verano el fenómeno es ligeramente menos frecuente que en primavera, si tenemos en cuenta que en la estación cálida el número de días de lluvia disminuye apreciablemente con respecto al de primavera, dicho fenómeno, con relación a la frecuencia de la precipitación, presenta en la estación estival una magnitud superior a la de la primavera.



La persistencia diaria del fenómeno de las lluvias de barro en Barcelona es manifiesta, aunque no elevada. La serie completa abarca 128 días con lluvia de barro agrupados en 110 episodios o secuencias. De donde, la probabilidad de que aparezca un día con lluvia de barro tras otro del mismo tipo es de 14'1 %. Nótese la similitud de este valor con el obtenido por Martín Vide y Moreno (1985), a partir de los datos del período 1944-1974. El episodio de mayor longitud fue el que abarcó los cuatro días del 22 al 25 de abril de 1949.

Del análisis de los historiales meteorológicos del observatorio Fabra y de los autores, de las fechas en que se produjeron lluvias de barro se desprende que en un 19 % hubo actividad eléctrica durante la fecha, aunque no necesariamente acompañando a la precipitación de barro. El marcado predominio de situaciones depresionarias, entre las situaciones sinópticas típicas que dan lluvia de barro, explicaría este relativamente alto porcentaje para el lugar. Un porcentaje similar (19 %) de los días con lluvia de barro registraron también viento fuerte, para lo que habría que atribuir una causa semejante a la anterior, reforzada por el establecimiento en superficie de vientos con una dirección bien determinada y persistente del primer cuadrante. Así, destaca de manera muy sobresaliente la elevada frecuencia de vientos del ENE en los registros del observatorio Fabra (1944-1982), un 41'3 %, lo que no deja ninguna duda acerca del marcado predominio de esta dirección durante las lluvias de barro, seguidos por los del NE, con un 10'7 %. En conjunto, más de la mitad de las lluvias de barro ocurren con viento del ENE o del NE. Nótese que estos flujos no contradicen el origen sahariano o próximo a él del polvo de las lluvias de barro, porque el aerosol se desplaza a una cierta altura y, en otros casos, aunque los vientos en superficie sean en origen del sur, la situación sinóptica y la propia disposición de la cordillera en la que se enclava el observatorio Fabra incurvan los flujos meridionales.

5.- CONCLUSIONES.

Aparte de las características de las lluvias de barro resumidas en el apartado 1, debe, como primera conclusión, plantearse, en general, ante un análisis de la frecuencia de las lluvias de barro, la hipótesis de una subestimación de la misma, por no ser un fenómeno registrado sistemáticamente y porque algunos sucesos acompañados de cantidades de precipitación copiosas pueden pasar inadvertidos. Los resultados del análisis estadístico de una serie de 43 años de Barcelona son los siguientes:

- la frecuencia media anual de días con lluvia de barro es de $2'98 \pm 0'64$, con $\sigma = 0'05$;
- el número medio anual de episodios (uno o más días seguidos) de lluvias de barro es de $2'56 \pm 0'51$;
- el número máximo de episodios fue de 8, en 1985, y el mínimo de 0, en 1964, 1977 y 1982;

- el fenómeno presenta una marcada estacionalidad, habiéndose registrado un 43'0 % de los días con lluvias de barro en primavera y un 38'2 % en verano;
- por meses, mayo acapara el 18'0 % de los días, mientras que en enero nunca se registró el fenómeno;
- la probabilidad de ocurrencia de un día con lluvia de barro tras otro del mismo tipo es de 14'1 %, siendo el episodio de mayor duración el de los días 22 al 25 de abril de 1949;
- el 52'0 % de los días con lluvia de barro el viento en superficie es del ENE o del NE; y
- en un 19 % de los días con lluvia de barro hubo actividad eléctrica y en un porcentaje similar sopló viento fuerte.

6.- BIBLIOGRAFIA.

- BELLAIR, P. y POISSON, A. (1962): "La chute de neige colorée du 16 avril 1962". *C.R.A.S.*, 255, pp. 2626-2628.
- BERENGER, M. (1963): "Contribution à l'étude des lithométéores". *La Météorologie*, 72, pp. 347-374.
- BOUIS, J. (1863): "Relation d'une pluie de terre tombée dans le midi de la France et en Espagne". *C.R.A.S.*, 56, pp. 972-974.
- BÜCHER, A. (1986): *Recherches sur les poussières minérales d'origine saharienne*. Université de Reims-Champagne-Ardenne, Thèse de Doctorat d'Etat.
- BÜCHER, A. y LUCAS, C. (1984): "Sédimentation éolienne intercontinentale, poussières sahariennes et géologie". *Bull. Centres Rech. Explor-Prod. Elf-Aquitaine*, 8, 1, pp. 151-165.
- CANOBBIO, M. (1841): "Description et analyse d'une eau de pluie rouge tombée à Genes en février 1841". *C.R.A.S.*, 13, pp. 215-220.
- CARLSON, T.N. y PROSPERO, J.M. (1972): "The large-scale movement of Saharan Air Outbreaks over the northern equatorial Atlantic". *J. Appl. Meteorol.*, 11, pp. 283-297.
- CLEMENT, R., RICQ, de COUARD, M. y THOMNAS, A. (1972): "Neige colorée sur les Alpes français le 9 mars 1972". *La Météorologie*, 24, pp. 65-83.
- COLES, A. (1898): "A dust Shower". *Nature*, 57, p.463.
- COMBIER, Ch., GAUBERT, S.J.P. y PETITJEAN, L. (1937): *Vents de sable et pluies de boue*. Mem. Off, Nat. Met. de France, 27.
- DARWIN, C. (1846): "An account of the fine dust which often falls on vessels in the Atlantic Ocean". *Quart. Journ. Geol. Soc.* 11, pp. 26-30.

- DAUBREE, M. (1863): "Pluie de sable qui est tombée sur une partie de l'archipel des Iles Canaries". *C.R.A.S.*, 57, pp. 1098-1101.
- DELANY, A.C., PARKIN, D.W., GRIFFIN, J.J., GOLDBERG, T. y RAIMANN, B.E.F. (1967): "Airbone dust collected at Barbados". *Geochim. and Cosmochim. Acta.*, 31, pp. 885-909.
- DENZA, P. (1870): "Pluie de sable arrivée en Italie du 13 au 14 février 1870". *C.R.A.S.*, 70, pp. 534-537.
- DUBIEF, J. (1943): "Les vents de sable dans le Sahara français". *Inst. de Rech. Sahariennes.* 2, pp. 11-35.
- DUFRENOY, M. (1842): "Examen chimique et microscopique d'une poudre recueillie à Amphissa, en Grèce, après une pluie lente et douce". *C.R.A.S.*, 15, pp. 62-63.
- DUPASQUIER, A. (1874): "Notice sur une pluie de terre, tombée dans les départements de la Drome, de l'Isère, du Rhone et de l'Ain, les 16 et 17 octobre 1846". *C.R.A.S.* 24, pp. 625-626.
- FOURNET, J. (1864): "Sur les pluies de terre observées depuis quelques années dans le bassin du Thone". *Ann. de la Soc. Met. de France.*, 25, pp. 67-104.
- GANOR, E. y MAMANE, Y. (1982): "Transport of Saharan dust across the Eastern Mediterranean". *Atmospheric Environment*, 16, 3, pp. 581-587.
- GEORGE, D.J. (1981): "Dust fall and instability rain over Northern Ireland on the night of 28-29 January 1981". *Weather*, 36, pp. 216-217.
- JAENICKE, R. (1979): "Monitoring and Critical review of the estimate source strength of mineral dust from the Sahara". en *Saharan Dust*. Morales ed., Chichester, Wiley, pp. 233-242.
- JANSA, J.M. (1968): *Manual del Observador de Meteorología*. Madrid, S.M.N.
- LAIS, J. (1987): "Shower of sand at Rome". *Nature*, 16, pp. 197-198.
- MAINGUET, M. (1985): *Conséquences géomorphologiques de l'action du vent dans les régions de dunes en zones arides et semi-arides*. O.M.N., W.C.P., p. 97.
- MARTIN VIDE, J. y MORENO, M.C. (1985): "Les pluges de fand a Barcelona". *Revista Catalana de Geografia*, 1, pp. 60-70.
- MORET, L. (1969): "La neige de nos montagnes est-elle toujours blanche?". *Cahiers de l'Alpe*, 45 pp. 77-80.
- NALIVKIN, D.V. (1983): *Hurricanes, storms and tornadoes*. Rotterdam, A.A. Balkema.
- NICATI, C. (1869): "Notice sur la neige rouge tombée dans les Grisons, le 15 janvier 1867 et analyse de la poussiere de sirocco recueillie en Algerie en novembre 1867". *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat.*, 10, 62, pp. 284-292.
- O.M.N. (1956): *Atlas Internacional de Nubes*. Ginebra.

- PROSPERO, J.M. (1981): "Arid regions as sources of mineral aerosols in the marine atmosphere". *Geol. Soc. Amer. Special Paper*. 186, pp. 71-86.
- PROSPERO, J.M. y NEES, R.T. (1977): "Dust concentrations in the atmosphere of the equatorial North Atlantic: possible relationship to the Sahelian drought". *Science*, 196, pp. 1196-1198.
- RAPP, A. (1974): *A review of desertization in Africa. Water, vegetation and man*. Stockolm, Secr. Int. Ecology, Rep. 1.
- RICQ-de BOUARD, M. y THOMAS, A. (1973): "La neige rouge". *Neige et avalanche*. 3, pp. 14-21.
- SCHÜTZ, L. (1980): "Aerosols: Antropogenic and Natural Sources and transport". *Ann. of the N.Y. Acad. of Sc.*, V, 338, pp. 87-100.
- SCHÜTZ, L., JAENICKE, R. y PIETRECK, H. (1981): "Saharan dust transport over the North Atlantic Ocean". *Geol. Soc. Amer. Spetial Paper*. 186, pp. 87-100.
- SILVESTRI, M.D. (1872): "analyse chimique et microscopique de la pluie de sable météorique tombée en Sicilie les 9, 10 et 11 mars 1872" *C.R.A.S.* 74, pp. 991-993.
- SOWELIM, M.A. (1983): "Characteristics of storn deposited dust at Cairo". *Atmospheric Enviroment*, 17, 1, pp. 145-149.
- STEVENSON, C.M. (1969): "The dust fall and severe storms au July 1968". *Weather*, 24, pp. 126-132.
- TARRY, H. (1870): "Sur les pluies de poussière et les pluies de sang". *C.R.A.S.*, 70, pp. 1043-1046.
- TULLET, M.T. (1978): "A dust fall on 6 march 1977". *Weather*, 33, pp. 48-52.
- TULLET, M.T. (1978): "A dust-fall in Northern Ireland". *Weather*, 39, pp. 151-152.
- WHEELER, D.A. (1986): "The meteorological background to the fall of Saharan dust, November 1984". *The Meteorological Magazine*, 115, pp. 1-9.
- YAALON, D.H. y GANOR, E. (1979): "East Mediterranean trajectories of dust carrying storms from the Sahara and Sinai". en *Sahan Dust*, Morales (Ed.), Chichester, Wiley, pp. 1987-193.