

SEGUNDA PARTE

Comentario volcanológico

1. INTRODUCCIÓN

En fechas relativamente próximas y en volcanes asequibles, la observación y descripción del proceso eruptivo escapaba todavía a los equipos de volcanólogos, que carecían de la capacidad de desplazamiento que hoy les permite acudir a la cita, incluso con antelación, gracias a los medios de que dispone la Red Mundial de Observatorios Volcanológicos. Aunque los primeros Observatorios Volcanológicos en Italia y Japón han cumplido ya los cien años, es notorio que la mayoría de las erupciones acaecidas con anterioridad a la mitad de este siglo han quedado descritas por testigos ocasionales, que raras veces aportan los datos que necesitarían los modernos volcanólogos para reconstruir el desarrollo de la erupción y analizarla con los conocimientos de los que ya se dispone.

Entre los testimonios de erupciones volcánicas realizados por profanos en el tema, destacan tres por su valor científico. El primero concierne a la precisa narración que nos ha legado Plinio el Joven de la devastadora erupción del Vesuvio en el año 79. El segundo documento en importancia se debe a don Andrés Lorenzo Curbelo, cura de Yaiza, que nos cuenta con gran realismo las primeras fases de los volcanes de Timanfaya, que asolaron la isla de Lanzarote entre los años 1730 y 1736, constituyendo una de las mayores erupciones que ha conocido el hombre. Por último, aunque con otro carácter, está la noticia que de la erupción del Mont-Pelée dio un oficial del buque Roraima (hundido en esta catástrofe volcánica), así como la recopilación de datos sobre la misma erupción realizada poco después por Lacroix.

Existen, por supuesto, otras descripciones más o menos fragmentarias e interesantes, sobre todo en viejos documentos etneos

y en algunas referencias a erupciones especialmente calamitosas, como la del Krakatoa en 1883. Toda la documentación de esta naturaleza está siendo cuidadosamente revisada en sus menores detalles, puesto que del comportamiento que haya tenido un volcán a lo largo de sus períodos activos pueden obtenerse valiosos datos en orden a prevenir el alcance de futuras erupciones en la misma zona. En este sentido, adquiere un gran valor el minucioso documento que es objeto del presente trabajo, ya que se refiere a una erupción de escasa entidad, pero que puede considerarse como prototipo del volcanismo fisural, tan frecuente en el archipiélago canario y en otras regiones del planeta.

2. PRIMERAS INVESTIGACIONES SOBRE LAS ERUPCIONES DE 1824 EN LANZAROTE

Los primeros científicos que visitaron Lanzarote después de las erupciones de 1824 y se ocuparon de las mismas parecen desconocer el texto que estamos comentando u otros similares; así, Hartung¹ sólo hace referencia al volcán Tinguatón, mientras que Fritsch¹ se ciñe al de Tao, y Sapper¹ se confunde en la localización del Volcán Nuevo del Fuego, o Montaña Negra. Finalmente, Eduardo Hernández-Pacheco¹ identifica e interpreta tanto los materiales lávicos como los edificios de cinder, al

¹ 1857. G. HARTUNG: *Die geologischen Verhältnisse der Inseln Lanzarote und Fuerteventura*. Zurich.

1867. R. VON FRITSCH: *Reisebilder von den Canarische Inseln*. «Petermanns Geographische Mittheilungen». Gotha.

1906. KARL SAPPER: *Beiträge zur Kenntnis von Palma und Lanzarote*. «Petermanns Geogr. Mitt.». Gotha. Heft VII.

1910. E. HERNÁNDEZ-PACHECO: *Estudio geológico de Lanzarote y de las isletas Canarias*. «Memoria de la R. Soc. Esp. de Hist. Natural». Tomo VI. Madrid.

1919. L. FERNÁNDEZ NAVARRO: *Las erupciones de fecha histórica en Canarias*. «Memorias de la R. Soc. Esp. de Hist. Natural». Tomo XI, número 2. Madrid.

hacerse con un extracto² de la «Noticia...» y con otro texto más conciso que existía en el archivo parroquial de Tinajo. Poco más tarde, L. Fernández Navarro¹ se limita ya a seguir las pautas marcadas por Hernández-Pacheco. El hecho de que los tres primeros naturalistas citados no pudieran reconocer en toda su amplitud los materiales volcánicos de 1824 pone de manifiesto la importancia de estos documentos, sin los cuales se habría perdido una información que hoy adquiere la máxima importancia para la evaluación del riesgo volcánico en Lanzarote y el establecimiento de la oportuna red de prevención y vigilancia de erupciones.

El trabajo de E. Hernández-Pacheco fue exhaustivo y sus conclusiones son totalmente asumidas por los investigadores que posteriormente se han ocupado del tema, reconociendo las siguientes cuatro características más significativas de estas erupciones: 1) largo período de terremotos precursores; 2) comienzo brusco de las erupciones con emisión simultánea de piroclastos y coladas, durando muy poco tiempo estas últimas; 3) escasas emanaciones de gases combustibles y nocivos; 4) emisión de agua salada en las etapas finales del paroxismo. Fue también Hernández-Pacheco el primero en reconocer la alineación ENE de los tres focos eruptivos que se sucedieron en la erupción y la coincidencia de esta alineación con la directriz tecto-volcánica dominante en la isla (ver figuras 1 y 2).

En realidad, todos los autores coinciden en considerar estas erupciones como un pobre remedo de las que acontecieron, casi en el mismo paraje, entre los años 1730-1736. El único rasgo que llama su atención es la emisión en las postrimerías del volcán Tinguatón de chorros de agua salada, que, según el manuscrito consultado por E. Hernández-Pacheco, alcanzaban las cuarenta varas (unos 35 metros) de altura.

² Se refiere el Prof. E. Hernández-Pacheco a un manuscrito original que obraba en poder de don Tomás Lubary González, de Arrecife, y que recogía el relato hecho por el testigo presencial don Baltasar Perdomo, cura de San Bartolomé, en el año de la erupción.

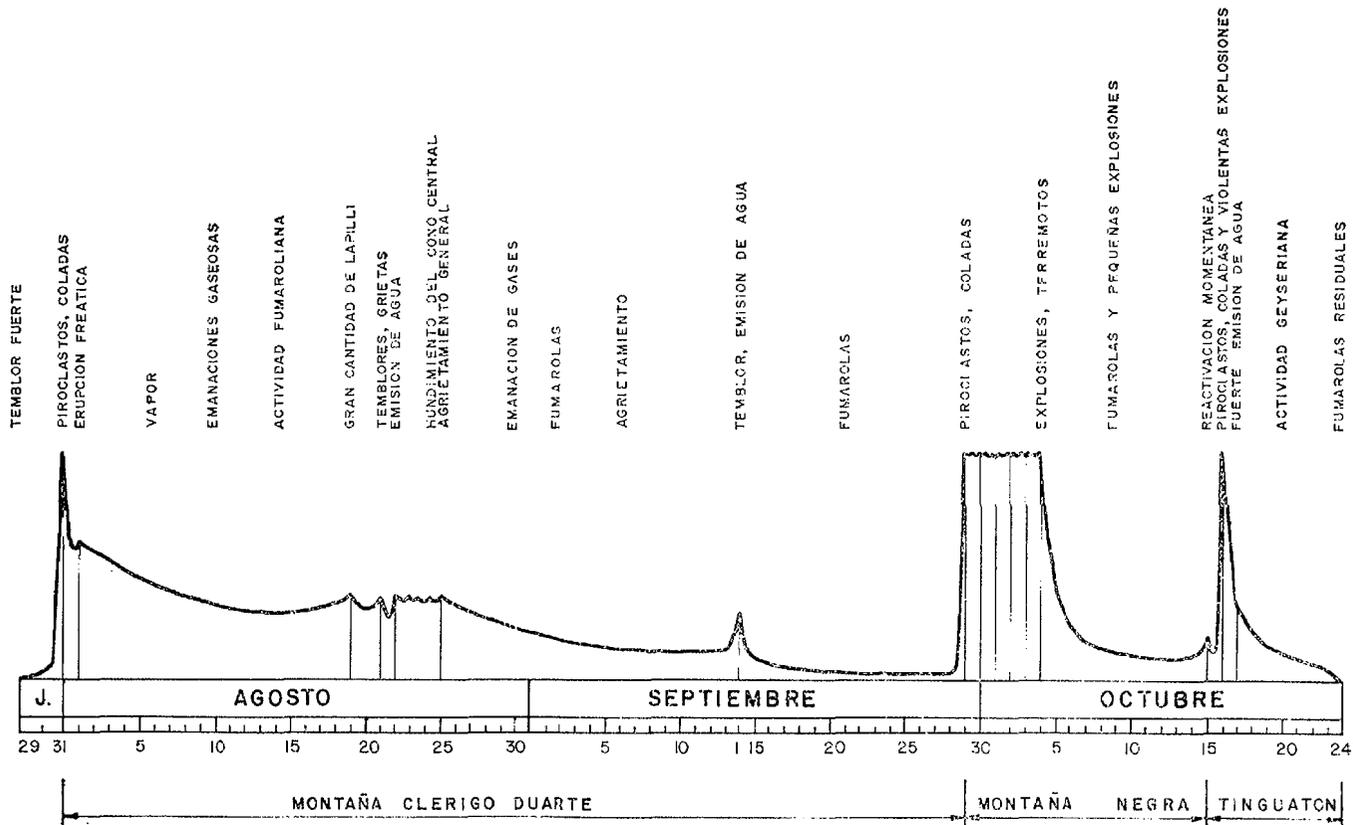


Fig. 2: Representación gráfica orientativa del ritmo y principales secuencias de la actividad eruptiva de Lanzarote durante los días indicados del año 1824

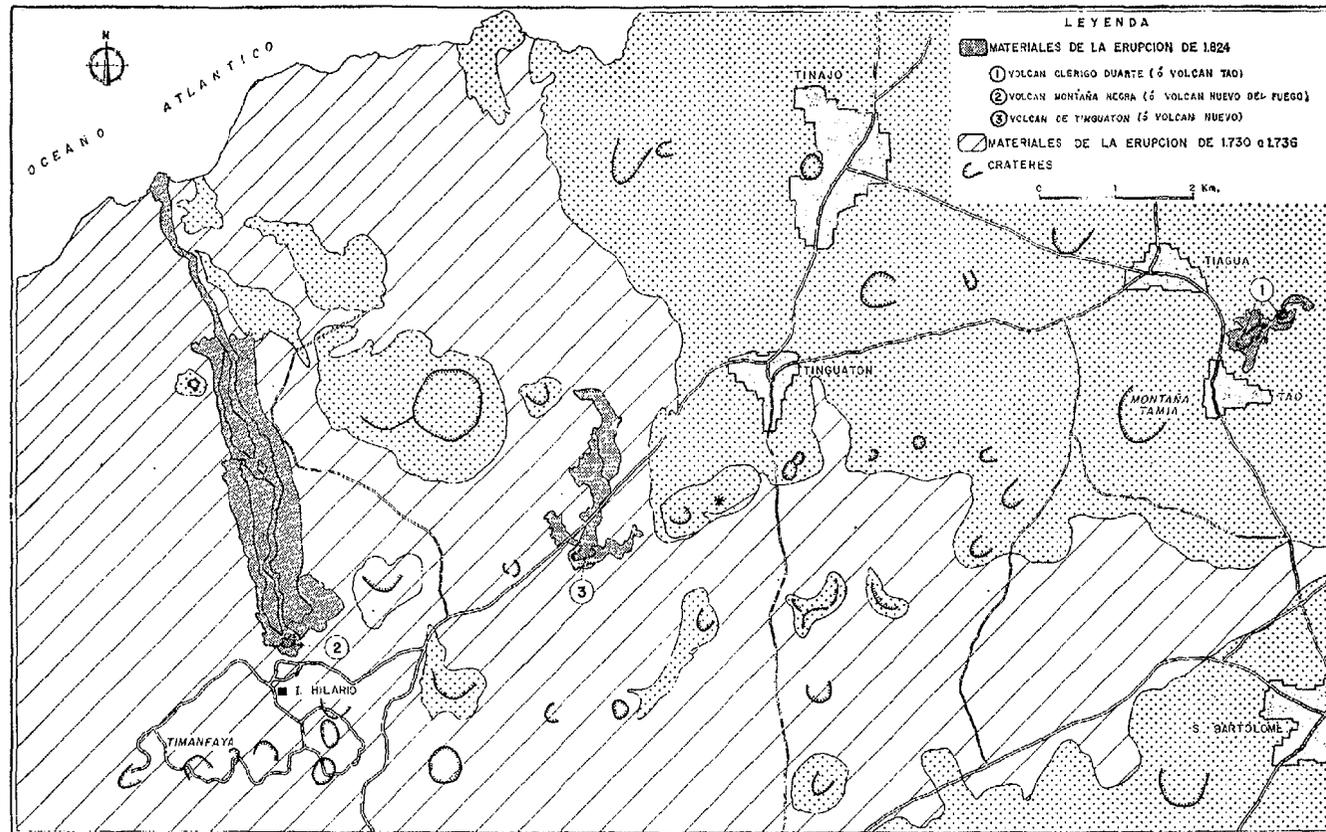


Fig. 1.: Localización de los tres focos (1, 2, 3) que formaron conos de cinder y emitieron lavas en las erupciones de 1824. (Interpretación fotogeológica de L. García Cacho, Instituto de Geología, C. S. I. C.)

3. MEDIDAS DE PROTECCIÓN CIVIL QUE SE TOMARON EN LAS ERUPCIONES DE 1824

En la transcripción resumida que hace E. Hernández-Pacheco de la relación manuscrita no figuran algunos párrafos que, siendo aparentemente los más literarios y anecdóticos, proporcionan una información de la mayor actualidad, pues de su lectura se deduce que en Lanzarote ya existía una cierta programación de la protección civil para afrontar erupciones volcánicas.

«... (el Alcalde Mayor ordenó que) se tocaran las campanas de la Parroquia y se disparasen del Castillo de Santa Bárbara los tres cañonazos de señal de alarma general para que se reuniesen todos los naturales al socorro de los lugares inmediatos al volcán...»

«... (el Alcalde Mayor ordenó que) se tomase razón de todos los camellos y se enuncie a sus vecinos para que a la primera señal de alarma concurran a los pueblos amenazados llevando toda clase de herramientas para trabajar en tierra, arenas y piedras; costales y demás necesarios de cargar camellos...»

Aparte de una singular evacuación a lomos de camello —caso único en la historia de la volcanología—, es curioso que las señales de alarma citadas sean muy similares a las que hoy rigen oficialmente para la población que habita las faldas del terrible Merapi, en Java, tal como hemos podido constatar en una reciente visita a esa isla, que cuenta con una dolorosa experiencia de catástrofes de origen volcánico, por lo que conceden una gran importancia a su prevención. Esta buena costumbre de prevenir las erupciones volcánicas parece perdida en Canarias, pese a que en otras épocas se extendía a todas las islas del archipiélago, pues incluso en El Hierro, donde no se conocen erupciones históricas, consta documentalmente³ la existencia de planes de evacuación ante la posibilidad de una erupción en el año 1793.

³ Correspondencia y expediente formado con motivo de unos terremotos en la isla del Hierro. En *Consejos*, legajo 1.466, exp. 30 (Archivo Histórico Nacional).

El último párrafo transcrito más arriba nos indica que estaba prevista una «defensa activa» en el sentido de intentar desviar el curso de las coladas, tal como ha comenzado a realizarse recientemente en varias erupciones, utilizando bulldozers, palas mecánicas, etc. En cualquier caso, todas las disposiciones tomadas traslucen un decidido empeño en afrontar la erupción, poniendo todos los medios —incluida la protección divina— para reducir los daños del volcán, al que ponen guardias «para que vigilasen si el volcán hacía otro movimiento, o descubría por otra parte».

Por su inquietante actualidad, dados los hábitos de nuestro marco socio-político, no queremos pasar por alto el protagonismo que en el relato de la erupción adquiere el Alcalde Mayor, máxima autoridad en la isla. Este hecho se refleja claramente en los siguientes párrafos, que tampoco incluyó en su transcripción el profesor Hernández-Pacheco, quizá porque a principios de siglo no eran tan acuciantes los problemas de protección civil que hoy plantearía una erupción en Canarias.

«... sin que por eso (dar las órdenes oportunas para la seguridad ciudadana: rescatar bienes, evitar el pillaje, etc.) el Alcalde perdiese de vista aquel terrible espectáculo para observarlo; en efecto, no se acistó ni descansó en toda la noche, teniendo la vista continuamente sobre el volcán.»

«... allí se apeó (el Alcalde Mayor) porque el tránsito por la noche no era fácil por sus quebradas y desigualdad, en donde permaneció observando tan terrible espectáculo, sufriendo terribles bramidos que resonaban en las montañas, encima de una peña, sentado, solo y sin oír más viviente que el resuello del Alguacil, que dormía, y el caballo que tenía a su lado, hasta que el alba se presentó.»

Al margen del indudable interés del escriba en destacar los méritos de su Alcalde Mayor, hoy día este protagonismo solitario sería, cuando menos, objeto de crítica, pues la vigilancia y control de erupciones es competencia de los científicos adscritos al correspondiente Observatorio o Estación Volcanológica, que asesoran a la autoridad competente para que ésta ponga en marcha las medidas de protección civil previamente establecidas, también

con el concurso de los especialistas. Para evitar esa soledad del Alcalde en una situación límite, que hoy sería inadmisible, las autoridades procuran que los citados centros volcanológicos existan y estén dotados adecuadamente, antes de que se presente una erupción, pues corresponde a los miembros de estos centros proporcionar la información cualificada del fenómeno eruptivo y de su posible evolución. La carencia de volcanólogos con experiencia en la región afectada, o su desconexión con la autoridad civil, puede llevar a esta última a asumir papeles que no le conciernen y a cometer errores tal vez irreparables.

Por nuestra parte, tenemos que considerar como un factor muy positivo el protagonismo del Alcalde Mayor en la narración, ya que gracias a ello se pormenorizan las medidas de seguridad ciudadana que se tomaron, hecho poco frecuente en la descripción de otras erupciones.

4. LOS ELEMENTOS DE PREDICCIÓN EN LAS ERUPCIONES DE 1824

En el relato que nos ocupa hay varios párrafos indicativos de que se aventuraron algunas predicciones acerca de la evolución del paroxismo eruptivo. Vale la pena señalar estos párrafos, porque sin duda reflejan creencias generalizadas entre los habitantes de una región volcánica activa como la nuestra.

«... si dicho volcán (la primera grieta o hendidura que vomitaba lava) continuaba con la rapidez y dirección que llevaba a la citada montaña de Tamia, y ésta se inflama y vomita lava a proporción que las nuevas, se perderían los preciosos terrenos de esta isla, y los lugares de Tao, Tiagua, Incós, Veguetas y algunos otros, irremediablemente.»

«... amaneció el humo en tan poca cantidad, que apenas salía de la boca del cráter, y luego desapareció totalmente hasta el sol, puesto que se dejaba ver muy poco en el mismo cráter y aun en el otro del Poniente, pero en reducida cantidad, cuya novedad repentina tiene a cuantos le observan en continua agitación y sobresalto porque tememos un fatal resultado.»

«... con manifestarse en toda la montaña cráteres y hen-

dijas el fuego o la inflamación, da en que sospechar que alguna erupción ha de haber, máxime cuando por esta parte no ha salido lava líquida...»

«... el Comisionado de Tao observó un gran ruido, y cesó el humo, y habiendo ido a las montañas, encontró que la peña ... en uno de los islotitos, humeaba en mayor porción ... el Alcalde pasó a examinarla (la peña) ... regresando a la villa con el disgusto que se presumía una nueva erupción...»

«... el último volcán (Mña. Negra) sólo echa algún humo; pero el que reventó el Treinta y Uno de Julio (volcán Duarte) echa hoy mayor cantidad de humo por todas partes que el que echó nuevo, y se está temiendo que haya nueva erupción, pero en la incertidumbre del paraje por donde pueda ser.»

En el primer párrafo de los transcritos más arriba se utiliza un razonamiento erróneo, aunque lógico hasta cierto punto, pues se imaginaba que la montaña de Tamia —un cono volcánico antiguo de gran envergadura— podía reactivarse «al correrse el fuego subterráneo a dicha montaña», y que al tratarse de un volcán más grande, también sería proporcionalmente mayor su actividad al inflamarse o «prenderse». Esta predicción conecta con la creencia generalizada entre los canarios de adjudicar al Teide toda la posible actividad volcánica, o al menos la única peligrosa, del archipiélago.

De los otros cuatro párrafos parece, en cambio, deducirse cierto conocimiento empírico del proceso volcánico, pues de hecho se confirmaron las predicciones, al iniciarse la actividad en Montaña Negra y Tinguatón poco después de observarse en el volcán Duarte una súbita reactivación de las emanaciones gaseosas, tras unos períodos de aparente calma. Como ya no quedarían en la isla testigos de las erupciones acaecidas casi un siglo antes, hay que suponer una tradición oral o una especial intuición para estos pronósticos que, en cualquier caso, puede sernos de gran utilidad en el seguimiento de futuras erupciones.

En otro orden de cosas, el relato de la erupción nos confirma

que los terremotos precursores no son definitorios como elementos fiables de predicción en el volcanismo canario, pues tales terremotos se venían produciendo en Lanzarote desde una decena de años antes de la erupción de 1824. Este largo plazo de incertidumbre física, así como la inexistencia de terremotos previos en otros casos, obliga a introducir en la Red de Vigilancia Volcánica del archipiélago otras técnicas más resolutivas, y así se lo está planteando la Estación Volcanológica de Canarias.

Tampoco existen pautas definidas en la sismicidad asociada al propio proceso efusivo; así, la erupción inicial del 31 de julio fue precedida de un terremoto relativamente fuerte, y otros menores, que sacudieron la isla en los dos días anteriores; sin embargo, la erupción del 29 de septiembre «se presentó sin haber precedido terremoto, temblor ni otra señal».

Sorprende en el relato que no se aluda más expresamente a la posible evolución de las anomalías geotérmicas en las vecinas Montañas del Fuego, pese a que el segundo foco eruptivo (Montaña Negra) surgió en un «islote» con anomalías geotérmicas similares —«por algunas aberturas entraban palos y salían quemados»— a las que todavía se mantienen en el islote de Hilario y otros puntos asociados al proceso eruptivo de 1730-1736. No deja de ser paradójica la desaparición de cualquier tipo de anomalía térmica en la Montaña Negra después de su erupción en 1824, mientras que apenas a 200 metros de distancia se alcanzan los 582° a doce metros de profundidad, según las últimas medidas registradas por la E. V. C.

Otro factor decisivo para predecir la evolución del paroxismo es el seguimiento de la apertura de grietas y hendiduras, para lo que hoy se cuenta con aparatos de la máxima precisión. También los habitantes de Lanzarote en el siglo pasado acudieron a estas técnicas de geodimetría, pues no se conformaron con apreciar el efecto de las deformaciones del suelo, incluso en zonas alejadas del volcán (hundimientos o filtraciones en aljibes), sino que su preocupación les llevó a cuantificar al máximo el progreso de las grietas que se formaban, por lo que «habiéndose observado que las grietas... se abrían un poco más, se marcaron para conocerlo mejor al día siguiente».

5. EL PROCESO ERUPTIVO DE 1824 Y LOS MATERIALES EMITIDOS

La minuciosidad del relato permite reconstruir todo el proceso eruptivo, cuyas facetas más importantes recogemos en la figura 2. En cuanto a la localización precisa de los centros de emisión y a la distribución de sus coladas, el paso del tiempo hace cada vez más difícil reconocer las coladas del Tinguatón y Montaña Negra, que se confunden con las de 1730-1736; este reconocimiento era todavía factible cuando E. Hernández-Pacheco visitó Lanzarote, por lo que ateniéndonos a sus indicaciones, y con el apoyo de foto aérea, se han cartografiado (fig. 1) los materiales lávicos emitidos, así como los conos de cinder⁴.

El conocimiento directo de otras erupciones fisurales, como fue también en principio la del Teneguía, en la isla de La Palma, nos facilita la interpretación de muchos pasajes del texto. Por ejemplo, las dieciocho bocas que se citan el 31 de julio deben corresponder a la típica «cortina de fuego» que se eleva inicialmente a lo largo de una fractura, para concentrarse al poco tiempo en puntos localizados, sobre los que se formarán los conos de cinder. En el volcán Duarte se formaron tres conos que alcanzaron una altura de 25 metros, tras dieciocho horas de actividad, aunque días después esta altura se vio reducida a la mitad por el desmoronamiento parcial del edificio.

Las repetidas referencias del texto al humo, como única manifestación eruptiva en determinadas fechas, indican, a nuestro entender, fases de actividad fumaroliana incrementadas ocasionalmente por emisiones de vapor (columnas de humo blanco). Realmente, las explosiones acompañadas de piroclastos fueron relativamente escasas, y de hecho no se ha reconocido ningún depósito importante de lapilli o escorias correspondiente a estas erupcio-

⁴ Un extraño maleficio parece haber caído sobre estos edificios volcánicos, ya que en el volcán Duarte se han levantado edificaciones que desfiguran totalmente el cono del poniente; la Montaña Negra se utilizó como cantera y vertedero, instalándose cocheras y establos; finalmente, en la falda del Tinguatón hay un gran basurero, aunque estaba en estudio rescatar el entorno de los volcanes Tinguatón-Pico Partido como Reserva Ecológica Educativa.

nes, salvo los propios conos de cinder, que, como indica el relato, tardaron muy pocas horas en formarse.

La brevedad (un solo día) de las emisiones lávicas en los volcanes Duarte y Tinguatón no dio ocasión a que variase el aspecto de sus escasas coladas, que forman actualmente pequeños malpaisés. Por el contrario, entre las coladas de la Montaña Negra sí existen diferencias sustanciales, ya que se inician con una colada que se ha roto en bloques, mientras que las siguientes corrientes lávicas, que se dirigieron al Norte y alcanzaron el mar, fueron mucho más flúidas en los primeros tramos, donde presentan las típicas superficies lisas y cordadas, configurando un cauce con conatos de tubo volcánico en cuyas márgenes hay grandes bloques y algunos hornitos. Todas las coladas son bastante porosas, destacando en este aspecto la primera de Montaña Negra, que corresponde al tipo que en Canarias denominamos «moliner», porque sus rocas son las más adecuadas para elaborar las piedras de molino.

De la narración se deduce que todas las corrientes lávicas fueron rápidas, lo cual concuerda con el elevado contenido en gases que indica su actual porosidad; no obstante, el escaso volumen emitido por las bocas de Duarte y Tinguatón justifica también su escaso recorrido. La narración pone un especial énfasis en destacar la mayor fluidez de las coladas de Montaña Negra, que se dirigían hacia el Norte «con mucha violencia, como si fuese breá o plomo derretido», símil muy parecido al que utilizara un siglo antes el cura de Yaiza para describir una «lava que se extendió al principio con tanta rapidez como el agua, pero bien pronto su velocidad aminoró y no corría más que como miel». Este cambio en la velocidad se debe al aumento de viscosidad por la desgaseificación y progresivo enfriamiento del frente de colada, que para alcanzar la costa necesita no sólo más tiempo, sino el empuje que proporciona la salida continua de lava durante varios días, como ocurrió en el volcán de Montaña Negra.

Las citadas diferencias entre malpaisés y coladas de superficie lisa no tienen su origen en un cambio en la composición del magma, ya que el estudio petrográfico y geoquímico (tabla 1) de las lavas no refleja diferencias significativas entre el material emiti-

do por los distintos centros eruptivos; se trata de basaltos alcalinos, cuya única peculiaridad mineralógica es la presencia de un ortopiroxeno en fase de desmezcla y la elevada proporción de enclaves duníticos y sedimentarios en las coladas del Tinguatón.

Finalmente, en lo concerniente a las emisiones de agua salada nos inclinamos a interpretarlas como fases de actividad geysérica, aunque en las paredes del Tinguatón existen niveles piroclásticos con vidrio esferulítico en su matriz que podría corresponder a fases freatomagmáticas. Es posible que la propia fractura asociada al proceso eruptivo facilitase el acceso de agua de mar hasta zonas internas (volcán Duarte y Tinguatón) y relativamente profundas de la isla, donde un volumen considerable de agua puede calentarse en contacto con el magma ascendente, pese a la existencia de acuíferos cerrados en la zona y a su escasa transmisividad. En cualquier caso, el efecto principal de las emisiones acuosas en el Tinguatón fue la limpieza y conservación de las chimeneas que hoy se conocen como Cuevas del Diablo y constituyen un ejemplo singular en el volcanismo mundial.

TABLA 1

QUIMISMO DE LAS LAVAS EMITIDAS EN LAS ERUPCIONES DE 1824

| | 557 | 558 | 560 | 562 | 563 | 564 |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 43,7 | 43,8 | 44,0 | 43,8 | 44,1 | 44,0 |
| TiO ₂ | 2,38 | 2,56 | 2,52 | 2,36 | 2,30 | 2,44 |
| Al ₂ O ₃ | 11,80 | 12,15 | 12,40 | 11,85 | 11,85 | 11,80 |
| Fe ₂ O ₃ | 4,48 | 4,02 | 4,41 | 4,76 | 4,16 | 4,63 |
| FeO | 7,32 | 7,80 | 7,19 | 6,57 | 7,39 | 6,67 |
| MnO | 0,17 | 0,17 | 0,17 | 0,18 | 0,17 | 0,17 |
| MgO | 13,55 | 12,30 | 11,75 | 11,85 | 12,40 | 12,10 |
| CaO | 11,50 | 11,35 | 11,70 | 12,30 | 11,95 | 11,85 |
| Na ₂ O | 2,60 | 2,65 | 2,84 | 2,91 | 3,01 | 2,87 |
| K ₂ O | 1,10 | 1,24 | 1,12 | 1,16 | 1,08 | 1,12 |
| P ₂ O ₅ | 0,80 | 0,89 | 0,84 | 0,85 | 0,85 | 0,82 |
| p. f. | 0,28 | 0,91 | 0,83 | 1,39 | 0,68 | 1,35 |
| | 99,68 | 99,84 | 99,77 | 99,78 | 99,94 | 99,82 |

- I. G. 557.—Coladas iniciales (ramal Este) de Montaña Negra.
Basalto muy poroso con enclaves duniticos (agregados de olivino). Fenocristales de olivino, pasta hipovítrea con microlitos de olivino, augita y plagioclasa. Posible presencia de ortopiroxeno (enstatita-broncita) con zonas de transformación en olivino.
- I. G. 558.—Coladas finales (primer tramo del ramal Norte) de Montaña Negra.
Basalto pahoehoe.
Fenocristales de olivino y augita, pasta hipovítrea con criptocristales de olivino y piroxenos.
- I. G. 560.—Colada del volcán Tinguatón.
Basalto escoriáceo con enclaves duniticos y sedimentarios.
Fenocristales de olivino, pasta hipovítrea con microlitos de augita y plagioclasa.
- I. G. 562.—Colada en la salida del volcán Tinguatón.
Basalto con patina por circulación de agua.
Fenocristales de olivino, pasta hipovítrea con microlitos de augita, olivino y plagioclasa. Ortopiroxeno transformándose en clinopiroxeno.
- I. G. 563.—Coladas finales del volcán Duarte.
Basalto escoriáceo con enclaves duniticos.
Fenocristales de olivino, pasta hipovítrea con microlitos de augita, olivino y plagioclasa.
- I. G. 564.—Coladas iniciales (ramal Norte) del volcán Duarte.
Basalto escoriáceo.
Fenocristales de olivino, pasta hipovítrea con microlitos de augita, olivino, plagioclasa y numerosos minerales opacos.

(Análisis químicos: R. Vaquer. Departamento Petrología. Universidad de Barcelona.

Estudio microscópico: A. Aparicio. Instituto de Geología, C. S. I. C.)