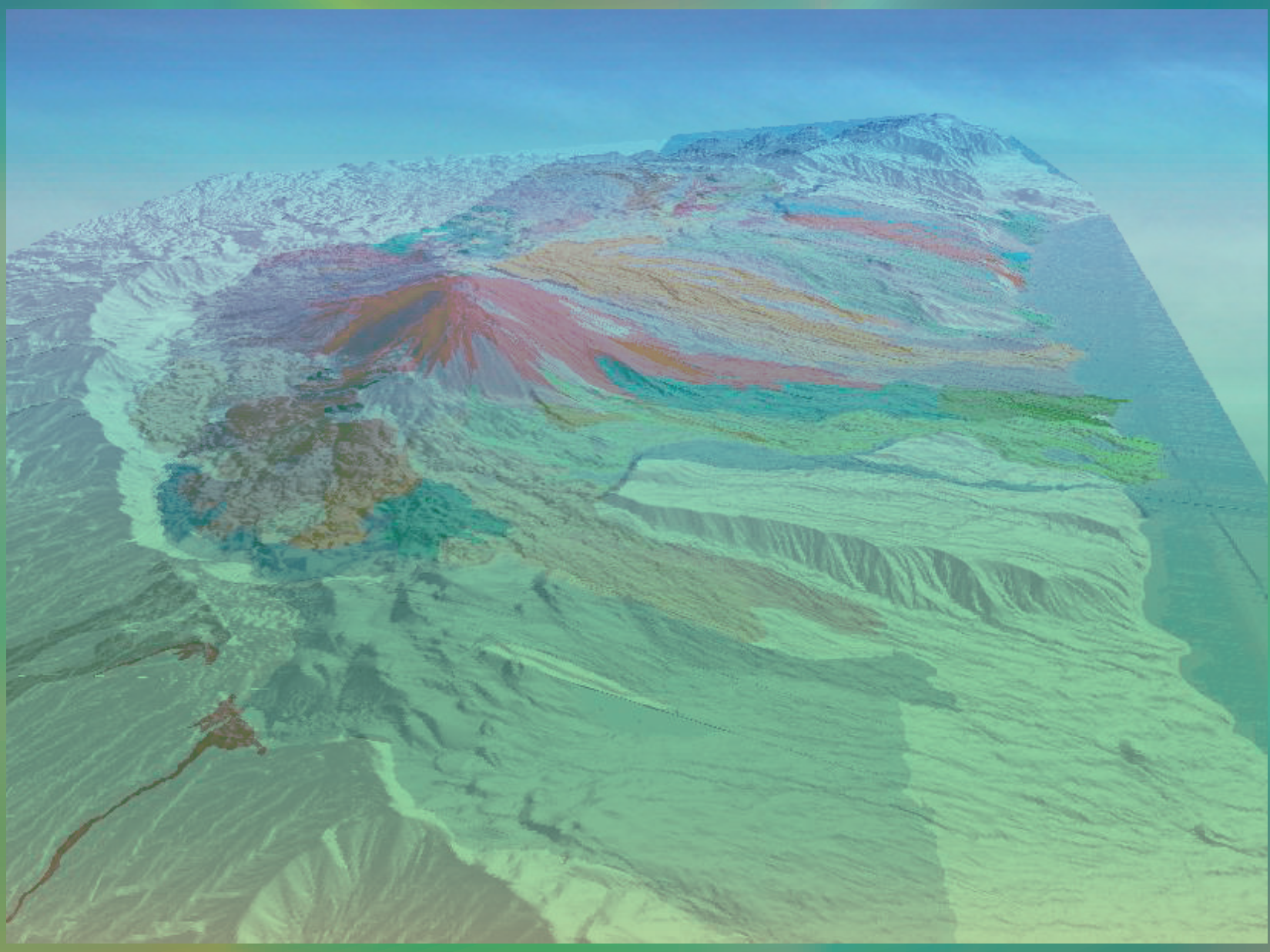
Avance de un Mapa de Peligrosidad Volcánica de Tenerife

(Escenarios previsibles para una futura erupción en la isla)



Juan Carlos Carracedo,
Hervé Guillou, Martine Paterne, Stéphane Scaillet,
Eduardo Rodríguez Badiola, Raphael Paris,
Francisco José Pérez Torrado, Alex Hansen Machín

Procesado SIG: Juan Antonio Bermejo Domínguez, SigMap (www.sigmap.com) y Gustavo Pestana Pérez, Tenerife, España

Digitalización: Juan Manuel Cabrera Peraza, Eloy Rodríguez Valdés y Alejandro García Martínez

CSIC
Estación Volcanológica
de Canarias, CSIC

Avance de un Mapa de Peligros Volcánicos de Tenerife: Escenarios previsibles para una futura erupción en la isla

Juan Carlos Carracedo, Estación Volcanológica de Canarias, CSIC, La Laguna, Tenerife, España

Hervé Guillou, Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, CEA-CNRS, Paris, Francia

Martine Paterne, Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, CEA-CNRS, Paris, Francia

Stéphane Scaillet, Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, CEA-CNRS, Paris, Francia

Eduardo Rodríguez Badiola, Dpto. Geología. Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, Madrid, España

Raphael Paris, Université Paris 1, LGP UMR 8591 CNRS, Meudon, Francia

Francisco José Pérez Torrado, Dpto. Física-Geología, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España

Alex Hansen Machín, Dpto. Geografía, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España

Juan Antonio Bermejo Domínguez, Técnico en SIG, SIGAMAP (www.sigamap.com),Tenerife, España

Gustavo Pestana Pérez, Técnico en SIG

Juan Manuel Cabrera Peraza, Estación Volcanológica de Canarias, CSIC, La Laguna, Tenerife, España

Eloy Rodríguez Valdés, Estación Volcanológica de Canarias, CSIC, La Laguna, Tenerife, España

Alejandro García Martínez, Estación Volcanológica de Canarias, CSIC, La Laguna, Tenerife, España

Alejandro García Martínez, Estación Volcanológica de Canarias, CSIC, La Laguna, Tenerife, España

CajaCanarias
OBRA SOCIAL Y CULTURAL

CSIC
Estación Volcanológica de Canarias (EVC-IPNA)
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement
CEA-CNRS, FRANCE

Copyright etc,

ÍNDICE

1. Introducción

2. ¿Qué es un mapa de Riesgo Volcánico?

3. Líneas generales de la distribución del Riesgo Volcánico en el Archipiélago Canario

4. Líneas generales de la distribución del Riesgo Volcánico en la isla de Tenerife

5. El sistema volcánico activo del Teide-Dorsal Noroeste de Tenerife

6. Zonificación de peligros volcánicos del Teide-Dorsal Noroeste de Tenerife

    6.1. Tipos de peligros volcánicos

    6.2. Principales edificios y estructuras volcánicas del Teide y la Dorsal noroeste de Tenerife

    6.3. Principales zonas de peligrosidad volcánica del teide y la dorsal Noroeste de Tenerife

7. Zonificación de peligros volcánicos de la isla de Tenerife

8. Conclusiones

9. Un estudio comparativo: Canarias-Hawaii

Bibliografía de información adicional

Planos y láminas

PRÓLOGO

La Ciencia adquiere todo su valor si además de cumplir su misión primordial –el continuo avance de nuestro conocimiento sobre todo lo que pueda conocerse– logra que esto suponga un progreso correlativo de la calidad de vida de todos los habitantes del planeta.

Si nos circunscribimos a Canarias y al ámbito del volcanismo, este deseo está hoy más cerca de ser una realidad. Tras décadas de intenso trabajo en el Archipiélago de grupos nacionales y extranjeros y el aprovechamiento de esfuerzos no menos intensos en otras islas volcánicas oceánicas similares, se ha llegado a un punto en que el conocimiento de la génesis y evolución geológica de las Canarias permite abordar con rigor científico uno de los aspectos de esta disciplina que más directamente inciden sobre la seguridad de la población de las Islas.

De la idea defendida por muchos hasta hace pocos años de que la sismicidad en el Archipiélago era de origen "tectónico", aludiendo a su vinculación con procesos asociados a los choques de placas (o microplacas) litosféricas, se ha logrado derivar hacia un origen "volcánico" de estos fenómenos naturales; los terremotos de Canarias sólo existen porque existen las islas, y éstas gracias al volcanismo. La diferencia no es sólo científica, sino que tiene implicaciones fundamentales para la calidad de la vida en el Archipiélago, ya que, si el primer modelo fuera cierto, los terremotos podrían alcanzar magnitudes catastróficas, lo que no puede ocurrir en escenarios geológicos de "energía" limitada, como son las islas volcánicas intraplaca de volumen limitado, como las Canarias.

En lo que respecta al volcanismo y al riesgo eruptivo muchos también expresan que las erupciones volcánicas pueden darse en Canarias en cualquier lugar y en cualquier momento, lo que sin duda no resuelve en absoluto el problema. La idea muy extendida de que las islas más propensas son aquellas que han tenido actividad eruptiva histórica (últimos 500 años) se ha demostrado asimismo incorrecta.

La belleza del modelo actual es que parte de la comprensión de los procesos geológicos que han generado el Archipiélago, para comprobar que han continuado controlando estrechamente la evolución de las diferentes islas y la distribución en el tiempo y el espacio de sus erupciones. Este trabajo científico, que ha costado décadas de esfuerzo conjunto de muchos investigadores, tiene su afortunado corolario en que ahora sí se puede hilar mucho más fino, precisando no sólo aquellas islas donde la actividad eruptiva futura es más probable, sino incluso acotando dentro de éstas qué zonas son las más propensas .

Se cumple así el objetivo fundamental de las evaluaciones de riesgo eruptivo, que consiste en definir las zonas de mayor probabilidad de albergar erupciones, con el propósito de concentrar en ellas el estudio, la vigilancia y la planificación de medidas preventivas. Un logro no menos importante que puede alcanzarse es proporcionar información científicamente rigurosa, que ayude a despejar la intranquilidad que genera la insuficiente comprensión de fenómenos por otra parte consubstanciales con este tipo de islas, como los pequeños terremotos y, eventualmente, alguna erupción volcánica.

El trabajo que presentamos, apenas un avance del estudio que venimos realizando desde el año 2001 sobre el volcanismo activo de Tenerife y que aún requiere algún tiempo para su culminación, intenta avanzar algunas respuestas. Para llegar aquí, sin embargo, hemos empleado algunos más de treinta años de estudio del Archipiélago, mientras que los más jóvenes se han ido incorporando con aún mayor entusiasmo. Este trabajo ha sido al mismo tiempo disfrute, porque el contacto con la belleza natural de estas islas es sobrada compensación.

Este trabajo ha servido de base para que Protección Civil elabore la planificación de medidas de prevención de riesgos volcánicos en la isla de Tenerife, lo que supone para nosotros, como científicos, la gran satisfacción de haber podido contribuir a la mejora de la seguridad y la calidad de vida de la población de Tenerife.

La Laguna, 31 de mayo de 2004

Avance de un Mapa de Peligros Volcánicos de Tenerife: Escenarios previsibles para una futura erupción en la isla

Juan Carlos Carracedo, Estación Volcanológica de Canarias, IPNA-CSIC, La Laguna, Tenerife, España
Hervé Guillou, Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, CEA-CNRS, Paris, Francia
Martine Paterne, Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, CEA-CNRS, Paris, Francia
Stéphane Scaillet, Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, CEA-CNRS, Paris, Francia
Eduardo Rodríguez Badiola, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, Madrid, España
Raphael Paris, Université Paris 1, LGP UMR 8591 CNRS, Meudon, Francia
Francisco José Pérez Torrado, Dpto. Física-Geología, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España
Alex Hansen Machín, Dpto. Geografía, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España
Juan Antonio Bermejo Domínguez, Técnico en SIG, SIGAMAP (www.sigamap.com), Tenerife, España
Gustavo Pestana Pérez, Técnico en SIG
Juan Manuel Cabrera Peraza, Estación Volcanológica de Canarias, IPNA-CSIC, La Laguna, Tenerife, España
Eloy Rodríguez Valdés, Estación Volcanológica de Canarias, IPNA-CSIC, La Laguna, Tenerife, España
Alejandro García Martínez, Estación Volcanológica de Canarias, IPNA-CSIC, La Laguna, Tenerife, España

1. INTRODUCCIÓN

La actual situación de alarma por la crisis sísmica en desarrollo (mayo, 2004) nos ha impulsado a hacer público un Avance, aún muy incompleto, de un Mapa de Peligros Volcánicos de la isla de Tenerife, proyecto en que llevamos trabajando desde el año 2001 y precisamente la zona donde esta actividad sísmica se ha localizado preferentemente. Estos datos, en su mayoría sin publicar, se divulgarán en los medios científicos de la forma habitual. En esta forma provisional esperamos que sean de utilidad para clarificar en lo posible la dimensión real de los peligros asociados a una posible erupción volcánica en la isla, contrarrestando posibles ideas alarmistas o catastrofistas sin fundamento. Otro objetivo importante es aportar información científica que pueda ser utilizada en la preparación del Mapa de Riesgo Volcánico de Canarias . En este sentido, es especialmente gratificante saber que Protección Civil está utilizando este trabajo en la planificación de medidas de prevención del riesgo eruptivo en la isla de Tenerife.

El insuficiente conocimiento hasta hace poco de la geología –y especialmente la geocronología– de las islas de más reciente formación (La Palma y El Hierro), y, más aún, del sistema formado por el volcán central Teide y la Dorsal Noroeste de Tenerife (en adelante DNO) –para los que apenas había más precisiones de edad que las erupciones históricas–, ha impedido hasta ahora abordar la elaboración de mapas de peligrosidad y riesgo de erupciones volcánicas con el necesario rigor científico. Estas condiciones se dan ahora, en que existen mapas geológicos digitalizados de La Palma y El Hierro, así como un preciso control geocronológico (radiométrico) de las erupciones ocurridas en esas islas. Conscientes de que el conjunto formado por el volcán central Teide y la DNO de Tenerife ofrecía un riesgo eruptivo muy importante, por la abundancia y frecuencia de las erupciones en esa zona, su mayor complejidad composicional y el número de personas potencialmente afectadas, se abordó en el año 2001 el estudio geocronológico del Teide –que ya había sido estudiado y cartografiado por otros autores– y prácticamente se inició el de la DNO de Tenerife, muy insuficientemente conocido geológicamente y sin control geocronológico absoluto alguno. En los nuevos estudios que estamos aún realizando se ha revisado la cartografía geológica existente, obteniéndose mapas geológicos de detalle (a escala inicial 1/10.000), digitalizados y geo-referenciados, y se han obtenido abundantes edades radiométricas (^{14}C y K/Ar) de las erupciones prehistóricas, datos que han permitido esta primera valoración de riesgos. Se ha acordado con el Observatorio Volcanológico de Hawaii (HVO) y la Universidad de Hilo, que tienen una amplia experiencia en este campo científico, una colaboración para el procesado de estos datos para la elaboración de los mapas finales de Riesgo Volcánico de esta zona de Tenerife, proceso que aún llevará alrededor de un año.

Una importante salvedad es que este trabajo es únicamente una aproximación probabilística al riesgo de erupciones volcánicas en Tenerife en función de la reconstrucción de su pasado geológico reciente, posiblemente la única forma de abordar este problema. Solamente se define aquí la zona de ubicación y la clase de erupción más probables en función de la historia volcánica reciente –los últimos 30.000 años– de esta zona de Tenerife. Sin embargo, pueden darse, y de hecho se han dado, excepciones a lo esperable. Este es el caso, en el conjunto del Archipiélago, de las erupciones de 1730 y 1824 en Lanzarote (geológicamente "anómalas" en una isla en un estadio tan avanzado de evolución, en que la anterior erupción tiene 21.000 años), o el de las erupciones de Siete Fuentes, Fasnia y Arafo (1704-1705), las únicas en más de 31.000 años en la Dorsal Noreste fuera de la caldera de Las Cañadas. Se trata, pues, de definir lo científicamente más probable, desde luego sin pretensiones de certeza. Es, pues, necesario contemplar la posibilidad de eventos de mayor magnitud y peligrosidad, aunque con menor probabilidad de que ocurran.

Aunque todo el grupo ha funcionado como un equipo multidisciplinar, Juan Carlos Carracedo realizó la cartografía geológica, el estudio estructural y dirigió el proyecto; Hervé Guillou, Martine Paterne y Stéphane Scaillet determinaron las edades de ^{14}C y K/Ar; Eduardo Rodríguez Badiola y Francisco José Pérez Torrado se encargaron fundamentalmente de la petrología y geoquímica; Raphael Paris y Alex Hansen Machín de la geomorfología y Juan

Antonio Bermejo Domínguez y Gustavo Pestana Pérez, técnicos en SIG, del procesado y tratamiento de los datos.

Agradecemos al Profesor Robert Tilling sus sugerencias y comentarios, que han ayudado a precisar conceptos y mejorado considerablemente el manuscrito inicial. La realización de estos estudios ha sido factible gracias a la ayuda de la Caja General de Ahorros de Canarias y de Francia, a través de la Comisión de Energía Atómica (CEA) y el CNRS. A estas instituciones nuestro mayor agradecimiento. Pauline Agnew repasó minuciosamente el manuscrito; Juan Manuel Cabrera Peraza, Eloy Rodríguez Valdés y Alejandro García Martínez, de la Estación Volcanológica de Canarias del CSIC, emplearon cientos de horas en la digitalización precisa de los mapas geológicos. También estamos reconocidos al Parque Nacional del Teide, por su ayuda; a D. Aquilino Hernández, de La Guancha, por facilitarnos el acceso a la galería Salto del Frontón, crucial para estudiar la estructura profunda del Teide y el norte de Tenerife; a Medio Ambiente, por la profusión de pistas forestales y su excelente mantenimiento, y a GRAFCAN, por la asombrosa calidad y precisión de los mapas topográficos y fotos aéreas. Sin la ayuda de estas personas e instituciones este trabajo habría sido imposible.

2. ¿QUÉ ES UN MAPA DE RIESGO VOLCÁNICO?

La evaluación de los peligros asociados a las erupciones volcánicas en una zona volcánicamente activa constituye un instrumento imprescindible para minimizar las pérdidas potenciales, especialmente en lo que atañe a la población. En síntesis, se trata de definir con la mayor precisión posible el cuándo, dónde y cómo de la próxima erupción volcánica, con objeto de adoptar las medidas adecuadas para la protección de la población y, en lo posible, de los bienes e infraestructuras.

Puesto que las erupciones en general y en Canarias en particular no se pueden predecir con antelación, el Cuándo y Dónde finales deben descansar en sistemas de alerta y detección tempranas, basadas en redes instrumentales adecuadas y en el conocimiento lo más amplio posible del comportamiento de los diferentes volcanes activos, lo que se puede lograr tras periodos de observación dilatados.

Los estudios de Evaluación de la Peligrosidad Volcánica (*Peligro, evento o proceso que es potencialmente destructivo. Si se evalúa además su probabilidad se valora la Vulnerabilidad*) tratan de concretar las zonas dónde sea más probable el volcanismo futuro y responder adecuadamente al tercer interrogante, el Cómo, precisando mediante el estudio geológico detallado del pasado reciente la distribución en el tiempo y en el espacio de las diferentes erupciones, sus características principales y los efectos previsibles. Una vez definidas las zonas con mayor probabilidad y los peligros previsibles, estos datos se cruzan con las concentraciones de población e infraestructuras, evaluándose así el Riesgo Volcánico (*Riesgo, magnitud de las pérdidas potenciales en vidas, propiedades y capacidad productiva*).

Para una mayor eficacia y claridad, estos datos se suelen expresar gráficamente en forma de Mapas de Peligrosidad Volcánica y de Riesgo Volcánico, digitalizados y geo-referenciados (sistemas de información geográfica, SIG). Todos estos documentos y datos se engloban en el término amplio de MAPA DE RIESGO VOLCÁNICO. Sin embargo, hay que insistir en que, independientemente de la mayor o menor "vistosidad" de estos mapas, su precisión y utilidad dependen exclusivamente de la abundancia y calidad de los datos geológicos, y no del procesado informático.

La parte más útil en escenarios geológicos como las Islas Canarias a efectos de planificación de medidas de prevención y de respuesta es la correspondiente a las evaluaciones de peligrosidad y riesgo asociados al flujo de coladas de lava, que requiere largos y laboriosos estudios para la datación de la mayor cantidad posible de las erupciones (aspecto absolutamente imprescindible), la cartografía (digital y geo-referenciada) de su extensión y recorrido, y la definición de las características composicionales de las lavas, para definir su viscosidad, explosividad, condiciones de flujo, etc. Un aspecto importante es comprobar las tasas de recubrimiento, es decir, el número y frecuencia con el que las coladas han recubierto una zona determinada, lo que permite definir las zonas de mayor peligro y las protegidas topográficamente. Para computar las tasas de recubrimiento es imprescindible haber datado las diferentes erupciones de la zona.

En el complejo escenario geológico formado por el volcán central Teide y la DNO existe una gran diversidad composicional de los magmas, que presenta además una clara distribución espacial. Esto da lugar a una amplia gama de comportamientos eruptivos (explosividad, dispersión de piroclastos, velocidad, temperatura y espesor de las coladas, etc.), que depende de su localización, y por ello, permite predecir el tipo y comportamiento de cualquier erupción futura en función de su localización geográfica.

Estos datos pueden completarse con la definición de mapas de inundación por coladas y otros similares, que se obtienen con programas informáticos adecuados.

Por último, hay que dejar claro que estos estudios nos pueden ayudar a definir, y sólo a corto plazo (en un horizonte de unos centenares o miles de años), la ubicación y tipo más probables de la próxima erupción en la isla, pero en modo alguno garantizan el acierto. Todos los mapas de riesgo volcánico se basan en principios similares, pero su eficacia a posteriori ha sido diversa. El realizado por el USGS pocos años antes de la erupción del volcán Mount St. Helens (Estado de Washington, USA, 1980) no predijo los efectos más devastadores (explosión lateral,

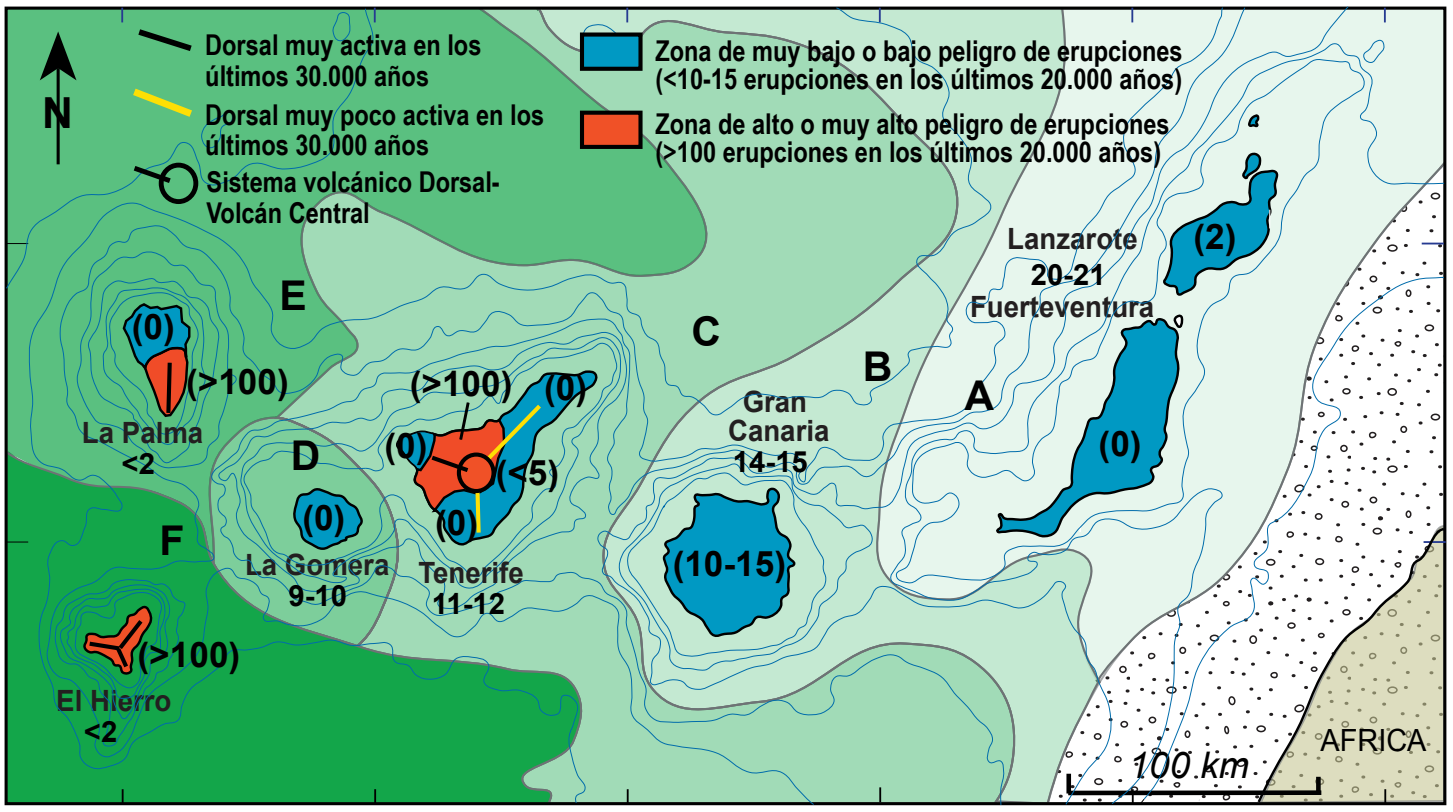


Figura 1. Distribución de la probabilidad de ocurrencia de erupciones volcánicas en las Islas Canarias en función de la historia volcánica del archipiélago en los últimos 30.000 años. Obsérvese que las islas se van imbricando progresivamente en sentido este-oeste (A-F en la figura), siendo las orientales las más antiguas y las occidentales las más jóvenes. Esta correlación se manifiesta asimismo en la frecuencia de erupciones en los últimos 20.000 años (cifra entre paréntesis). El caso de La Gomera es especial, porque aunque está en el sector occidental más joven, se encuentra desde hace varios millones de años inmersa en el periodo de reposo eruptivo. Sólo las islas de Tenerife, La Palma y El Hierro han tenido importante actividad eruptiva en los últimos 20.000 años (>100 erupciones) e incluso en estas islas no en toda su superficie, sino en estructuras volcánicas específicas denominadas dorsales activas.

colapso gravitacional), pese a lo cual, las rigurosas medidas preventivas evitaron una catástrofe segura. El caso del Nevado del Ruiz (Colombia, 1985) fue exactamente el contrario, produciéndose por interferencias de la política en el manejo científico de la crisis una de las mayores catástrofes de la historia del volcanismo (24.000 víctimas), a pesar de que el mapa de riesgo eruptivo y las medidas recomendadas resultaron totalmente acertadas.

3. LÍNEAS GENERALES DE LA DISTRIBUCIÓN DEL RIESGO VOLCÁNICO EN EL ARCHIPIÉLAGO CANARIO

No todas las islas del Archipiélago Canario tienen el mismo nivel de actividad eruptiva reciente ni, en consecuencia, las mismas probabilidades de que se produzcan en ellas erupciones volcánicas en el futuro más o menos inmediato. Si así fuera, sería inviable cualquier posibilidad de definir y zonificar el riesgo volcánico.

El proceso que ha originado la alineación de islas y que aún controla su desarrollo se polariza en dirección del continente al océano, de tal forma que las más cercanas al borde continental son mucho más antiguas que las más oceánicas. Aunque no linealmente, existe una correlación: a mayor antigüedad menor probabilidad de reactivarse el volcanismo. Podría, pues, decirse que el riesgo volcánico es un factor de claro matiz provincial, al concentrarse de forma fundamental en las islas occidentales, las más jóvenes. Las orientales, en un estadio avanzado de desmantelamiento post-erosivo, sólo tienen un volcanismo residual, que se manifiesta con algunas erupciones muy espaciadas en el tiempo geológico. La isla de Lanzarote, por ejemplo, considerada como volcánicamente muy activa, sólo ha tenido dos erupciones en los últimos 20.000 años, y ninguna la de Fuerteventura. La isla de Gran Canaria ha tenido unas 10 erupciones en este periodo de 20.000 años, mientras que las islas de La Palma, El Hierro y Tenerife han experimentado más de 100 erupciones cada una en el mismo periodo.

En la provincia occidental, la isla de La Gomera está en un estadio que se conoce como de reposo eruptivo (que dura ya más de 2 millones de años), por lo que de tener actividad volcánica en el futuro será muy probablemente dentro de miles o cientos de miles de años.

Tomadas en conjunto, las islas de La Gomera, Gran Canaria, Fuerteventura y Lanzarote apenas suponen 10-15 erupciones en este periodo de 20.000 años, mientras que las restantes islas de La Palma, El Hierro y Tenerife acumulan en conjunto más de 300 episodios eruptivos.

Aunque no se puede descartar de forma absoluta la aparición de erupciones en cualquier isla del archipiélago, las probabilidades apuntan, pues, y de forma abrumadora, a estas islas de La Palma, El Hierro y Tenerife, islas que están o bien en la etapa de desarrollo juvenil más activa, o en la fase post-erosiva inicial, también muy activa en el Archipiélago Canario (Fig. 1).

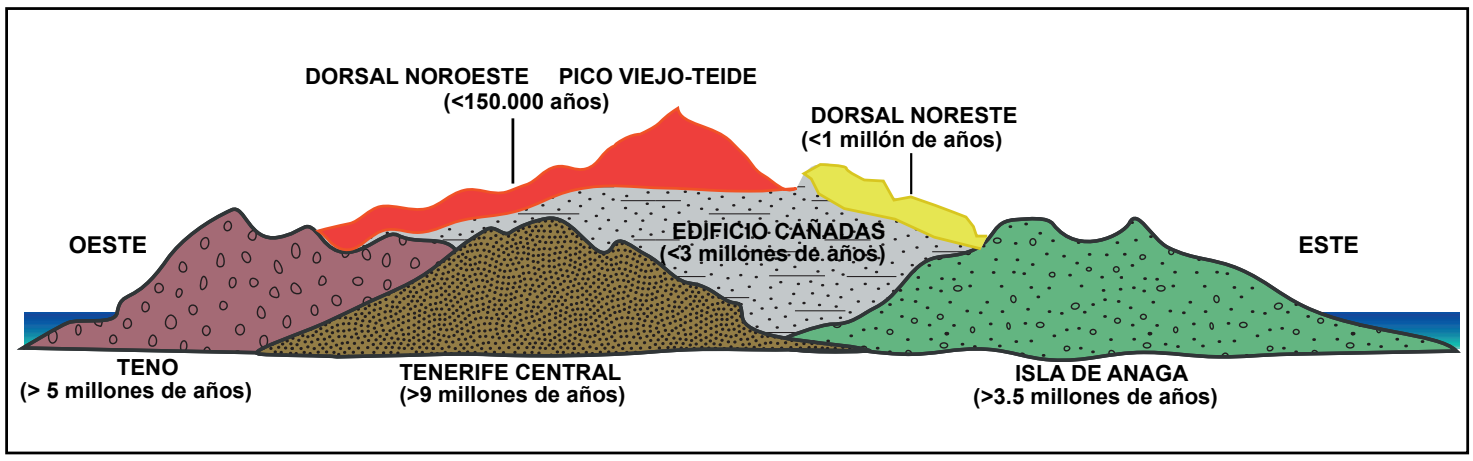


Figura 2.- La isla de Tenerife emergió hace unos 12 millones de años y se construyó por el apilamiento de tres grandes volcanes en escudo –Tenerife central, Teno y Anaga. A este periodo de intenso volcanismo le sucedió un largo periodo de reposo (similar al que ahora experimenta La Gomera), tras el cual se levantó en su centro el edificio volcánico Cañadas, que colapsó hace cientos de miles de años para formar la caldera de su nombre. La última etapa eruptiva, y la única que interesa a efectos de definir el riesgo volcánico de Tenerife son las dorsales y su consecuencia, el edificio central Teide.

Por otra parte, ni la actividad eruptiva ni el riesgo potencial es el mismo en toda la superficie de estas islas occidentales, sino que se concentra en zonas bien definidas: las dorsales activas (las "*rift zones*" en terminología volcanológica) y los edificios centrales. La Palma y El Hierro son dos claros ejemplos de actividad volcánica reciente asociada totalmente a dorsales activas, estructuras donde con toda probabilidad se localizarán las próximas erupciones. Tenerife, en cambio, es el caso más complejo, ya que la actividad volcánica está relacionada con un sistema compuesto por dorsales activas y un edificio central (El Teide).

Cualquier planificación de vigilancia y de medidas de prevención debería, sin descuidar totalmente el resto del Archipiélago, concentrar los medios principales en estas tres islas y, dentro de ellas, en sus aparatos volcánicos más activos, indicados en la figura 1.

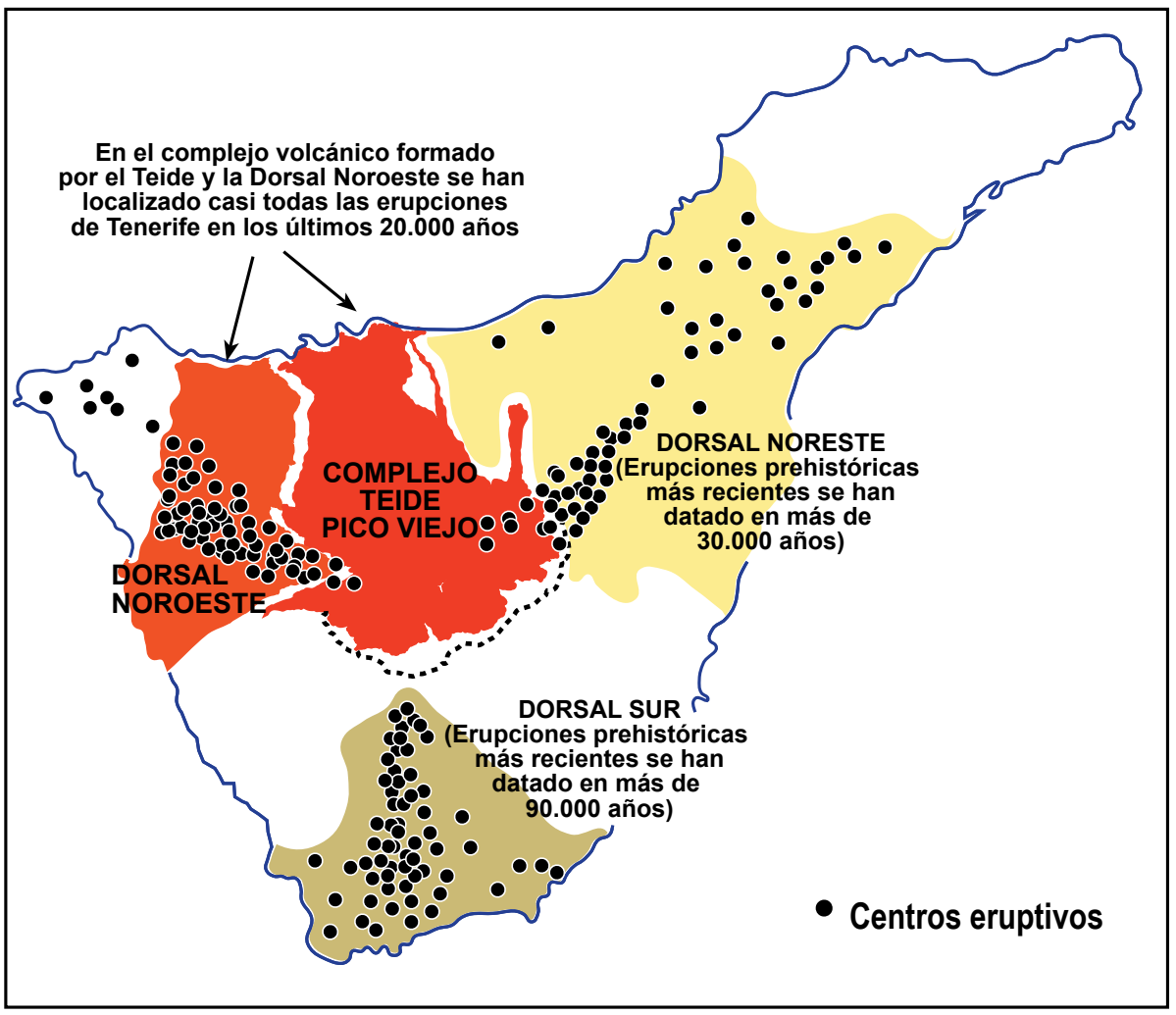


Figura 3.- Sistema de dorsales y edificio central de Tenerife. Sólo la dorsal noroeste y el edificio central han tenido actividad eruptiva importante en los últimos 30.000 años.

4. LÍNEAS GENERALES DE LA DISTRIBUCIÓN DEL RIESGO VOLCÁNICO EN LA ISLA DE TENERIFE

La isla de Tenerife se ha formado por la agregación de tres grandes volcanes en escudo –Tenerife Central, Teno y Anaga– entre los 12 y 3.5 millones de años (Fig. 2). Posteriormente, y tras un periodo de reposo eruptivo similar al que en la actualidad está inmersa la isla de La Gomera, se reactivó el volcanismo generando un enorme volcán

central –el Edificio Cañadas–, que colapsó deslizando hacia el mar un volumen de unos 200 kilómetros cúbicos, proceso en el que se vació de forma casi instantánea la cuenca que llamamos Caldera de Las Cañadas.

Sin embargo, estos procesos ocurrieron hace cientos de miles de años y no influyen en la distribución de la actividad eruptiva reciente de la isla, que se concentra en crestas topográficas o dorsales activas (Fig. 3). De estas dorsales, la del Sur es bastante antigua, ya que el volcanismo más reciente parece tener unos 90.000 años (Tabla 1). La Dorsal Noreste es más joven, pero aun así, el volcanismo, fuera de la caldera de Las Cañadas, tiene una antigüedad superior a 31.000 años (Tabla 1), excepto los pequeños volcanes históricos de Arafo-Fasnia-Siete Fuentes (1704-1705).

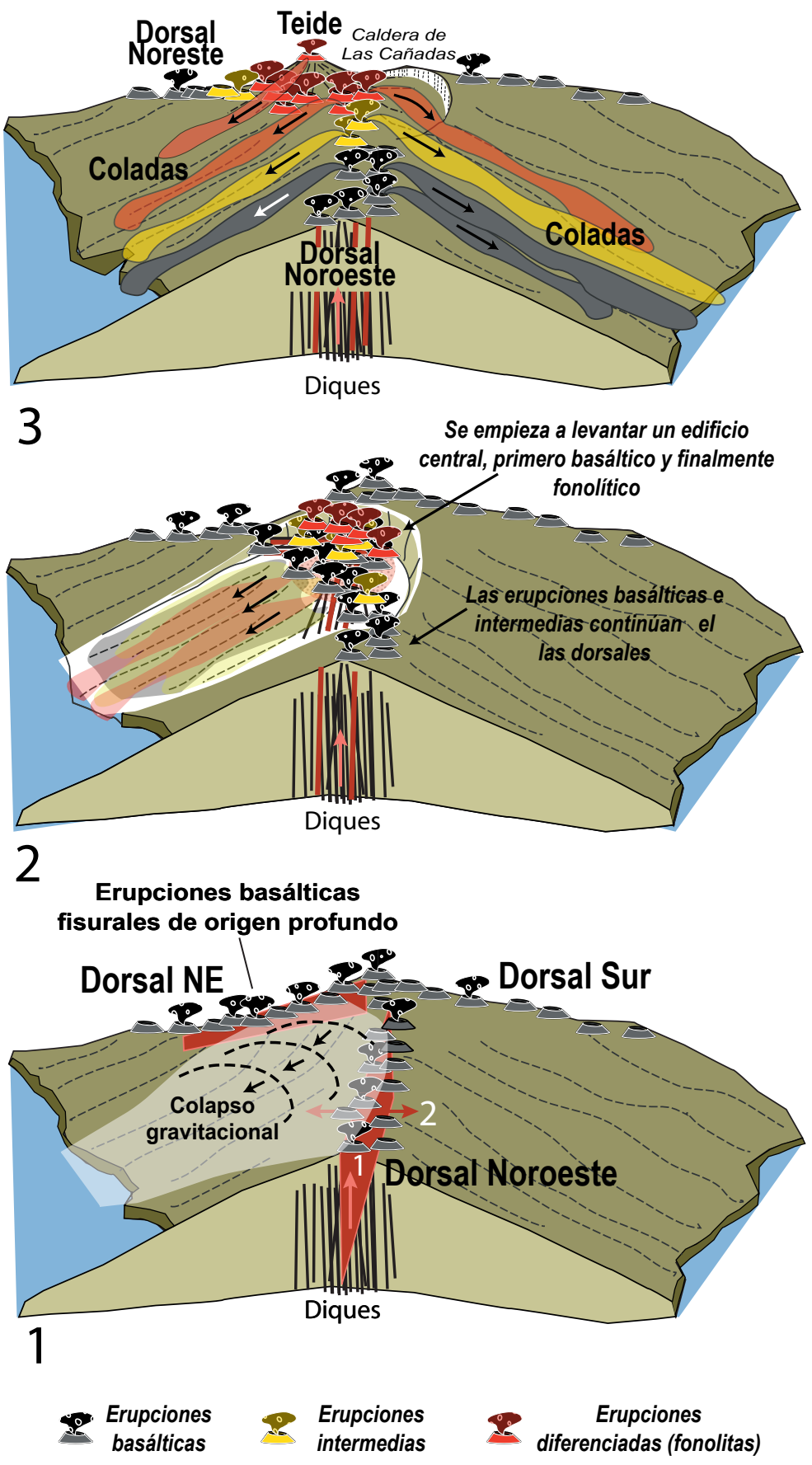


Figura 4.- Esquema que indica cómo la actividad de las dorsales acaba por generar deslizamientos gravitatorios masivos, en cuyas cuencas se levantan anidados edificios volcánicos diferenciados (fonolíticos). Explicación en el texto.

La actividad eruptiva de Tenerife se ha concentrado en los últimos 20.000 años en la DNO y el complejo volcánico del Teide-Pico Viejo, zonas donde con toda probabilidad se localizará la próxima erupción volcánica de Tenerife, al igual que lo hicieron las tres históricas de la Mña. de Garachico (1706), Chahorra (1798) y El Chinyero (1909).

Para entender la previsible evolución del volcanismo en el futuro geológico inmediato de Tenerife es preciso conocer el decisivo papel jugado por las dorsales activas (los verdaderos motores del volcanismo en este tipo de

Tabla 1. Dataciones radiométricas (^{14}C y K/Ar) de lavas del Teide-Pico Viejo y de las dorsales Noroeste, Sur y Noreste de Tenerife.

Muestra	Erupción	Edad BP (años)
Sistema volcánico Teide-Pico Viejo y Dorsal Noroeste		
TFC-369	Montaña Reventada	990
TFC-05	Última erupción del Teide (Lavas Negras)	1240
TFC-25	Roques Blancos	1790
TFC-219	Montaña Hoya de Los Ajos	1850
TFC-38	El Boquerón	2010
TFC-02	El Boquerón	2020
TFC-15	El Boquerón	2420
TFC-375	Mña Botija	2660
TFC-56	Mña. de Chío	3620
TFC-01	La Abejera Baja	4790
CITF-60	La Abejera Alta	5170
TFC-343	Cueva del Ratón, Conos superiores	5370
TFC-322	Cueva del Ratón, Conos inferiores	7400
TFC-181	Montaña Las Lajas	8000
TFC-178	Volcán del Portillo	11000
TFC-176	Montaña de las Arenas Negras	12000
TFC-378	Montaña del Banco	12810
TFC-261	Coladas de Pico Viejo hacia el Sur	14630
TFC-20	Coladas de Pico Viejo hacia el Norte	17570
TFC-139	Coladas pahoe-hoe de Pico Viejo	26000
TFC-167	Coladas del Teide antiguo (Valle de La Orotava)	31000
CITF-301	Coladas del Teide antiguo (Playa San Marcos)	32000
CITF-85	Coladas del Teide antiguo (Playa San Marcos)	86000
CITF-84	Coladas del Teide antiguo (Playa Santo Domingo)	100000
Dorsal Noreste		
CITF-15	Montaña de Enmedio	31000
CITF-18	Montaña Guamasa	33000
CITF-16	Montaña del Cerrillar	37000
CITF-23	Montaña Birmagen	790000
Dorsal Sur		
CITF-28	Volcán de La Buzanada	95000
CITF-30	Montaña Gorda	322000
CITF-29	Montaña de Guaza	926000

islas), primero en la generación y relleno de sucesivos deslizamientos gigantes, y, posteriormente, en la construcción de un gran volcán central anidado (el Teide-Pico Viejo) en esas cuencas de deslizamiento. La actividad eruptiva sigue en la actualidad, tanto en este volcán central como, principalmente, en la Dorsal Noroeste.

5. EL SISTEMA VOLCÁNICO ACTIVO DEL TEIDE-DNO DE TENERIFE

Las dorsales son el verdadero motor de todo el sistema actualmente activo, teniendo además en cuenta que en los últimos 100-150.000 años sólo han sido muy activas la del Noreste y Noroeste, y muy poco la del Sur. Como se indica en la figura 4, las dorsales son simplemente zonas preferentes de salida de magma a la superficie, lo que concentra la actividad eruptiva dando lugar a crestas topográficas (de ahí el nombre), que son al mismo tiempo las zonas de mayor actividad y riesgo volcánico. La salida del magma a la superficie en estas dorsales se realiza mediante inyecciones en fracturas, que previamente tienen que abrirse paso por fracturación hidráulica (de ahí los terremotos), siempre que la presión de volátiles en el seno del magma sea mayor que la presión litostática ejercida por las rocas que tienen que romper. El resultado es un dique de magma en progresión hacia la superficie, que puede quedar como intrusión profunda o emerger, actuando entonces como conducto de alimentación de la erupción. Después de miles de años y centenares de erupciones se forman estas dorsales, que son crestas topográficas formadas por apilamiento de conos de piroclastos (los centros eruptivos), que tienen su correlato en el subsuelo en una apretada malla de diques paralelos al eje de la dorsal (los conductos de alimentación de las diversas erupciones).

La continua inyección de diques (que actúan como cuñas) produce enormes esfuerzos de dilatación, y eventualmente provoca el desplome de una parte de la isla en dirección contraria a la dorsal menos activa, que juega el papel de contrafuerte (Fig. 4-1). Una vez producido el colapso, la violenta despresurización (este proceso ha sido también apuntado por J.M. Navarro Latorre) provoca un volcanismo muy intenso en el interior de la cuenca de deslizamiento, comenzando el relleno que dará lugar, en un tiempo geológico corto (unas decenas de miles de años), al levantamiento de un gran volcán central (Fig. 4-2). Este proceso coincide con la continuación del volcanismo en la dorsal, por lo que ambos sistemas generan frecuentes erupciones volcánicas, pero de distinto tipo.

En efecto, la mayor concentración e intensidad del volcanismo (y la mayor fracturación) en el interior de la

cuenca de deslizamiento favorece el desarrollo de una cámara magmática superficial (unos pocos kilómetros de profundidad, frente a varias decenas para las erupciones de las dorsales). Se produce entonces en esa cámara somera un proceso geológico (diferenciación magmática) que hace que el magma modifique sus parámetros físico-químicos, volviéndose cada vez más rico en sílice (más "acido"), y por ello más frío y viscoso y capaz de retener más eficazmente los gases disueltos en el magma. Esto hace que las erupciones evolucionen dando lavas cada vez más viscosas y episodios eruptivos más explosivos, lo que no sucede en los extremos distales de las dorsales, alejados de la cuenca de deslizamiento. Esta evolución post-colapso del volcanismo anidado en la cuenca de deslizamiento se ha podido comprobar en la observación de los materiales volcánicos que han rellenado la cuenca en una galería de 4.5 Km de longitud (galería Salto del Frontón, La Guancha), que atraviesa toda la formación hasta alcanzar la brecha de colapso, y donde se observa una progresiva evolución desde los términos basálticos iniciales a los fonolíticos de la última etapa.

La variación espacial de la composición de los magmas en la zona va a permitir definir el previsible comportamiento de una futura erupción en función de su localización (Fig. 4-3), una vez que se definan (zonifiquen) las erupciones en función de su edad y composición. Se puede, pues, afirmar que el volcanismo central es simplemente la consecuencia de la actividad extendida en el tiempo de las dorsales, que provocan deslizamientos y luego los rellenan. Un ejemplo muy parecido es el Volcán Bejenado, en la isla de La Palma, en el que se puede estudiar su evolución completa, al estar inactivo desde hace más de 400.000 años.

La reconstrucción de las erupciones que han ocurrido en esa zona y que la han configurado como es hoy es el elemento fundamental para predecir su comportamiento futuro, es decir, Dónde es más previsible que ocurran de nuevo y Cómo serán éstas caso de producirse. En esto constituye, en síntesis, y expresado gráficamente, un mapa de peligrosidad, escalón necesario para preparar el mapa de riesgo volcánico. Este proceso es laborioso, y requiere fundamentalmente recorrer el territorio realizando una cartografía geológica de detalle que individualice las diferentes erupciones, datarlas por medios radiométricos, ^{14}C y K/Ar o Ar^{40}/Ar^{39} (ver Tabla 1), y analizar muestras de rocas para saber su composición. Es de pura lógica pensar que si en una zona determinada se han concentrado la mayoría de las erupciones en las últimas dos o tres decenas de miles de años, sea ésta la que reúna las condiciones más favorables para albergar la próxima. La frecuencia del volcanismo hace que los conductos eruptivos mantengan una "memoria térmica" que supone un acceso más fácil del magma a la superficie por esa zona.

Un esquema del mapa geológico elaborado para esta zona se indica en el Plano 1, que puede simplificarse agrupando las erupciones en tramos de edad y litología (Planos 4 y 5). De la observación de estos mapas geológicos se desprende que hay en la zona diversos elementos volcánicos, que suponen peligros diferentes (Tabla 2), y que éstos se agrupan en zonas determinadas, lo que permite la ***zonificación de peligros volcánicos***.

6. ZONIFICACIÓN DE PELIGROS VOLCÁNICOS DEL TEIDE Y DE LA DORSAL NOROESTE DE TENERIFE

1. Tipos de peligros volcánicos

Algunos volcanes de las Islas Canarias son diferentes de la mayoría de los volcanes del planeta. Los más parecidos son los de islas volcánicas oceánicas (Hawaii, Réunion, etc.), pero en estas islas, aunque sí existen dorsales similares, no se han generado edificios centrales parecidos al Teide-Pico Viejo. El conjunto Teide-Pico Viejo-DNO es, pues, posiblemente único, ya que en esas otras islas la evolución geológica mucho más rápida no da tiempo suficiente para la formación de estos volcanes centrales anidados.

Tenemos, pues, en Tenerife un sistema volcánico propio, que tenemos que comprender, y sus peligros son también, en buena parte, particulares.

Los peligros principales que pueden producirse asociados a las erupciones en el presente estadio de desarrollo geológico de la isla de Tenerife son:

1. Sismos volcánicos
2. Lluvia de piroclastos
3. Flujo de piroclastos
4. Flujo de coladas
5. Colapsos estructurales
6. Gases volcánicos

1. Sismos volcánicos

Son relativamente frecuentes, pero de baja intensidad, y están siempre asociados al propio desarrollo de las islas (si no existieran las Islas Canarias no habría sismicidad en esta zona del Atlántico). Esto limita, afortunadamente, su intensidad, por lo que no pueden esperarse en Canarias terremotos destructivos como los "tectónicos", propios de los bordes de las placas litosféricas (las Islas Canarias están en el interior de una de estas placas, la Africana).

Tabla 2.- Peligros volcánicos asociados al área Teide-Dorsal Noroeste de Tenerife.

Proceso geológico	Consecuencias en el medio	Peligros asociados	Medidas preventivas	Zonas de ocurrencia probable
SISMOS VOLCÁNICOS	Grietas en el terreno, desplome de terraplenes y zonas inestables.	Corte de carreteras por desplomes, grietas en edificios y eventual destrucción de los estructuralmente débiles.	Mejorar normas sismo-resistentes	Muy amplia en las fases previas a la erupción. Localizadas en la zona de la erupción cuando es inminente y durante el proceso.
LLUVIA DE PIROCLASTOS				
Basálticos (picón)	Recubrimiento con una capa de fragmentos gruesos (escorias, bombas) e incandescentes en un área de cientos de metros alrededor de la boca eruptiva, y fragmentos finos y fríos en una elipse en dirección contraria al viento de 1-5 kilómetros, dependiendo de la erupción y la fuerza del viento. Obstrucción más o menos importante de la red de barrancos y daños a la vegetación.	Incendios forestales en la zona próxima a la boca eruptiva, corte de carreteras, desplome de techos, taponamiento de canalizaciones abiertas.	Planificar la limpieza de carreteras y canalizaciones. Limpiar techos de edificios, zonas inestables y las obstrucciones de los barrancos antes de las siguientes lluvias.	Más probable en la zona de cumbre de la Dorsal Noroeste, desde Mña. Reventada a Mña. Bilma.
Fonolíticos (pómez)	Similares a las basálticas pero con menor temperatura de caída, menor peso de los fragmentos y área de dispersion mucho mayor. Afección grave a la vegetación en un amplio entorno.	Incendios forestales en la zona próxima a la boca eruptiva, corte de carreteras, desplome de techos, taponamiento de canalizaciones abiertas.	Planificar la limpieza de carreteras y canalizaciones. Limpiar techos de edificios, zonas inestables y las obstrucciones de los barrancos antes de las siguientes lluvias.	Más probable en la zona de la caldera de Las Cañadas y en la cara norte del Teide.
FLUJO DE COLADAS				
Basálticas e intermedias	Recubren el terreno con materiales fluidos incandescentes que se enfrían en horas-días para formar roca.	Incendios, destrucción de edificios, corte de carreteras. Velocidad de avance lento(0.5-1 Km/h), caída de bolas incandescentes muy veloces en los frentes de avance.	Evacuación preventiva. Intentar desviar las lavas a cursos menos dañinos.	Más probable en la Dorsal Noroeste, desde Mña. Reventada a Mña. Bilma, y desde San Marcos a Garachico, y del Puerto de Alcalá a Puerto Santiago en la costa.
Fonolíticos	Los mismos que las basálticas pero predomina el grosor de las coladas frente a su dispersión.	Los mismos que las basálticas pero con mayor espesor de las coladas y duración de la erupción.	Los mismos que las basálticas.	Más probable en la Dorsal Noroeste, desde Mña. Reventada a Pico Viejo, y desde San Marcos a La Guancha, al norte, y Puerto de Alcalá a Playa San Juan, en la costa.
Domo-coladas	Los mismos que las basálticas y fonolíticas, pero predomina aún más el grosor de las coladas frente a su dispersión. Pueden obviar la topografía en su curso.	Los mismos que las basálticas y fonolíticas pero con mayor espesor de las coladas y duración de la erupción.	Los mismos que las basálticas y fonolíticas.	Más probable en el interior de la caldera de Las Cañadas y en la cara norte del Teide, desde La Guancha a San Juan de La Rambla.
Flujos piroclásticos	Recubren el terreno con materiales que pueden ser desde incandescentes a fríos y de diverso tamaño, desde varios metros a polvo fino.	Incendios en algunos casos. Enorme fuerza de impacto dirigido. Devastación de la vegetación y edificios. Extraordinariamente peligrosos.	Evacuación preventiva absoluta.	Sólo en el interior del Parque Nacional, en los edificios Pico Viejo y El Teide. Muy poco probables y de relativa baja intensidad.
COLAPSOS ESTRUCTURALES	Desplome al mar de una parte importante de la isla. Formación de una gran valle de deslizamiento. Generación de tsunamis.	Devastación total.	Evacuación total de la zona y los litorales de la isla y las vecinas.	En la cara norte del Teide. PROBABILIDAD INSIGNIFICANTE.
GASES VOLCÁNICOS	Imperceptibles o de escasa importancia.	Imperceptible salvo en las inmediaciones de la erupción comenzada. Se puede acumular CO_2 en las depresiones circundantes aguas abajo de la boca eruptiva.	Controlar el acceso	Más probable en las zonas costeras al llegar las coladas.

La sismicidad volcánica, cuando se produce en enjambres de terremotos que duran semanas a años, suelen anunciar la fracturación hidráulica por el ascenso de uno de estos diques de magma. Sin embargo, en la mayoría de los casos el proceso no tiene suficiente energía y se queda como una intrusión en el subsuelo, sin alcanzar la superficie. Abundan estas "falsas alarmas" en la historia de Canarias. En la isla de El Hierro a finales del Siglo XVIII los terremotos fueron tan intnsos que se llegó a planear la evacuación de la isla, sin que llegara a producirse una erupción (o fue submarina). Algo similar ocurrió en La Palma en 1936.

La deficiente red de estaciones sísmicas y su "mala" geometría han impedido la localización precisa de los sismos de mayo de 2004, favoreciendo la ambigüedad en su interpretación y una innecesaria sensación de alarma.

Si, eventualmente, los focos son cada vez más superficiales y de intensidad creciente, preludian una erupción. En este caso pueden adquirir, muy localmente, una intensidad suficiente para derribar casas, torres de iglesias, producir desplomes en carreteras, etc.

2. Lluvias de piroclastos

Están asociadas en el volcanismo reciente de Tenerife a erupciones estrombolianas (erupciones con explosiones rítmicas de baja energía). Son fundamentalmente de dos tipos, dependiendo de que la erupción sea basáltica o diferenciada (fonolítica).

En las erupciones basálticas la boca eruptiva arroja al aire fragmentos de lava que se acumulan formando un cono volcánico típico (p. ej. el Teneguía). Los fragmentos de mayor tamaño (escorias y bombas volcánicas) pueden alcanzar unos cientos de metros de altura y, con trayectoria balística, esparcirse unos centenares de metros alrededor del volcán. Tienen el interior incandescente (1000-1200ºC) y son peligrosos. Casi con seguridad provocan incendios forestales si caen en el bosque.

Los fragmentos más finos (el lapilli o picón) se dispersan en forma de elipse en función de la dirección y fuerza del viento dominante. No son peligrosos para las personas ni pueden provocar incendios (están fríos al caer por su menor tamaño y mayor permanencia en el aire), pero pueden acumularse cortando carreteras, derrumbando techos, taponando barrancos y conducciones abiertas, etc.

El caso de las erupciones fonolíticas, la explosividad es algo mayor. Los fragmentos (escorias, bombas y pómez) forman asimismo un cono volcánico (p. ej. Mña. Blanca), pero se dispersan mucho más. La lluvia de pómez puede recubrir con capas de varios centímetros zonas amplias de la isla, también en elipses controladas en su geometría por la fuerza y dirección del viento. En contrapartida, tienen una menor temperatura de salida, aunque suficiente para provocar incendios los fragmentos mayores en las inmediaciones de la boca eruptiva. Su escaso peso hace que sean fácilmente arrastradas por el agua de lluvia, acumulándose en barrancos y crestas en forma inestable, y taponando conducciones abiertas. No son peligrosas para las personas fuera de un área muy próxima al volcán, pero sí para la vegetación en un área extensa.

Hay un caso particular en estas erupciones estrombolianas, que se produce cuando el magma entra en contacto con el agua marina, freática, de deshielo, etc., generando erupciones freato-estrombolianas. El aumento de la explosividad en este caso es enorme (aquí podríamos estar hablando de energías equiparables a pequeñas bombas atómicas), generando grandes embudos explosivos (p. ej. el cráter de Pico-Viejo) y dispersando grandes bloques de piedra a distancias de muchos cientos de metros, y fragmentos menores y polvo fino a kilómetros. Se pueden producir, asimismo, ondas de choque, es decir, explosiones dirigidas lateralmente de gran energía.

Afortunadamente estas variaciones muy peligrosas de erupciones que inicialmente eran mucho menos dañinas son casi inexistentes en la DNO de Tenerife, aunque sí ha habido algunos episodios de estas características en el Teide y Pico-Viejo, como veremos más adelante. Estos materiales salen mucho más fríos y sólo tienen efectos mecánicos (impacto) y una gran capacidad de rellenar barrancos, cortar carreteras y taponar conducciones. En la proximidad de poblaciones hay que esperar destrucción de techos, etc., por impacto balístico.

3. Flujo de piroclastos

En otros escenarios geológicos y en otras épocas de la evolución de Tenerife se ha dado con profusión un tipo mortífero y devastador de flujos, no de lava sino de fragmentos incandescentes sustentados en un medio gaseoso de alta temperatura, lo que les permite alcanzar enormes distancias a velocidades de centenares de kilómetros por hora. Estos flujos piroclásticos son uno de los mayores peligros asociados al volcanismo, pero, afortunadamente, no en el actual de la DNO de Tenerife y el Teide. Apenas se han dado en la zona en los últimos 20 ó 30.000 años, salvo tal vez en los flancos del Teide y con muy escasa entidad.

Se generan en erupciones altamente explosivas (Peleanas, Plinianas) en magmas diferenciados, por tanto viscosos y con altas concentraciones de gases retenidos en el líquido magmático. Estos gases cerca del conducto de salida se liberan bruscamente, fragmentando al magma en infinidad de partículas incandescentes de diferentes tamaños (piroclastos) que impelidas por esos gases viajarán a ras del suelo a grandes velocidades (superiores incluso a los 100 km/h) a modo de "nubes ardientes", capaces de alcanzar largas distancias y remontar obstáculos topográficos.

Otro mecanismo capaz de generar un tipo específico de flujos piroclásticos ocurre cuando el magma (sea básico

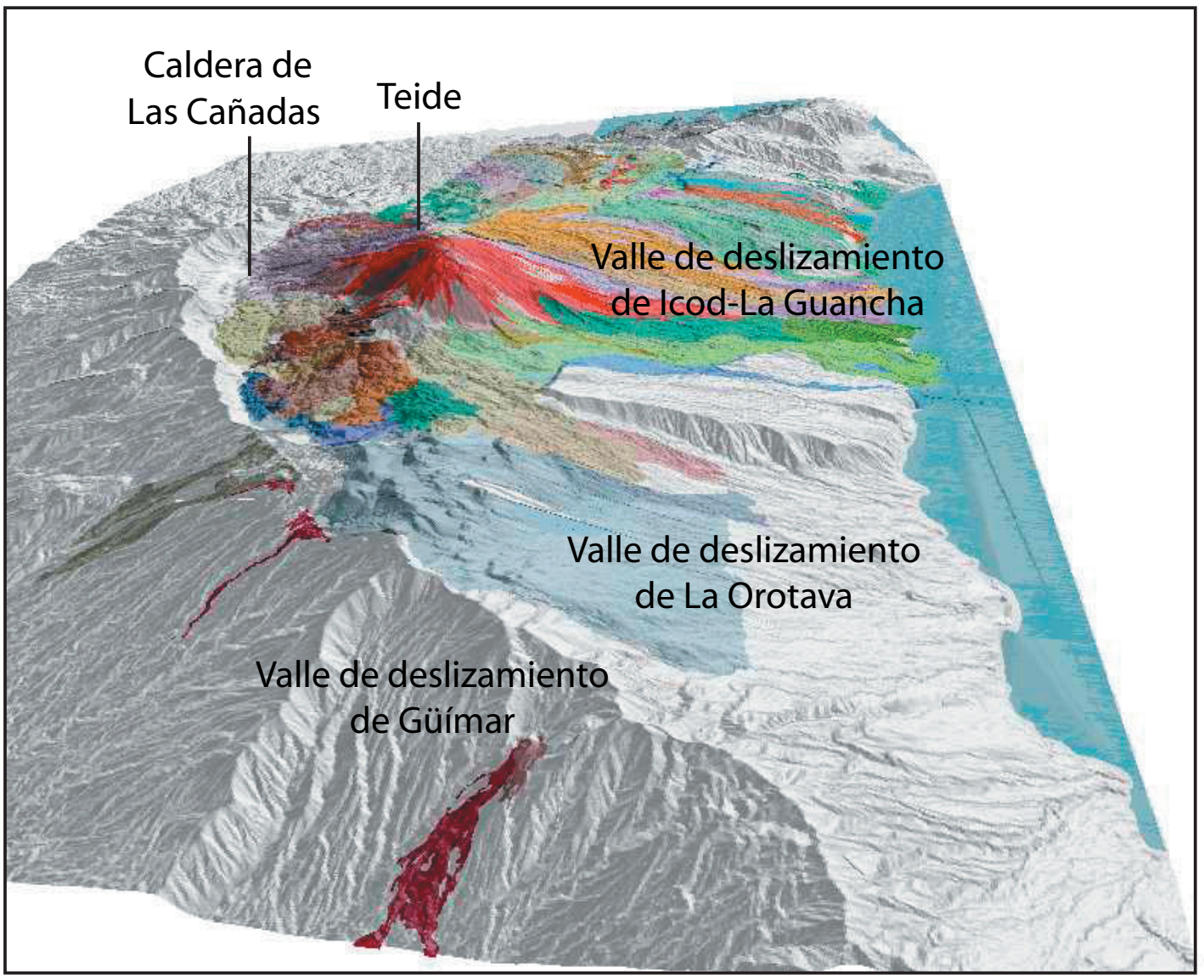


Figura 5.- Las dorsales Noreste y Noroeste han generado varios deslizamientos gravitatorios gigantescos. En las cuencas resultantes (Caldera de Las Cañadas, Valle de La Orotava, Icod-La Guancha) se fueron levantando y destruyendo edificios centrales diferenciados, siendo el último el Teide. La disposición actual concentra la actividad volcánica en este edificio volcánico y, particularmente, en la Dorsal Noroeste.

o ácido) entra en contacto con el agua marina, freática, de deshielo, etc., generando erupciones hidro-magmáticas. En ellas, la rápida vaporización del agua genera un aumento espectacular en los gases que intervienen en la erupción, provocando de este modo grandes embudos explosivos en los conductos de salida (p.ej. el cráter de Pico Viejo), dispersando grandes bloques de piedra a distancias de muchos cientos de metros y generando flujos piroclásticos que transportan fragmentos menores y polvo fino a kilómetros de distancia. Se pueden producir, asimismo, ondas de choque, es decir, explosiones de gran energía dirigidas lateralmente. Afortunadamente, el paso de erupciones estrombolianas poco explosivas a erupciones freato-estrombolianas (interacción agua-magma básico) muy explosivas y dañinas, son casi inexistentes en la Dorsal Noroeste de Tenerife, aunque sí ha habido algunos episodios de estas características en el Teide y el Pico Viejo, como veremos más adelante. Sus efectos son fundamentalmente mecánicos, ya que al salir estos materiales mucho más fríos (por la refrigeración que provoca el agua al magma en su contacto) no provocan incendios. Cabe esperar destrucción de bosques, casas, etc., por impacto (sobre todo si hay ondas de choque), taponamiento de conducciones, relleno de barrancos, cortes de carreteras, etc.

4. Flujo de coladas

Las coladas de lavas representan el peligro volcánico más común en la zona. Según el tipo de erupción y la composición de los magmas, se puede hablar de coladas basálticas y coladas fonolíticas.

Coladas basálticas.- Son las más frecuentes. Se emiten con elevadas temperaturas y se comportan como un fluido, discurriendo a favor de la pendiente topográfica. Si el caudal de emisión es bajo se suelen formar coladas numerosas y delgadas, que se apilan en las cercanías del volcán. Si el caudal es muy alto y la erupción se prolonga pueden cubrir áreas muy extensas, y ramificarse hasta alcanzar la costa. El espesor típico de estas coladas es de 1-3 m. Suelen canalizarse por los barrancos y bordear obstáculos. Su elevada temperatura provoca incendios a su paso, y el empuje puede derrumbar edificios, además de cortar todas las carreteras y conducciones en su curso y rellenar cualquier depresión.

Su velocidad de desplazamiento es generalmente muy baja –desde unos metros a pocos kilómetros por hora–,

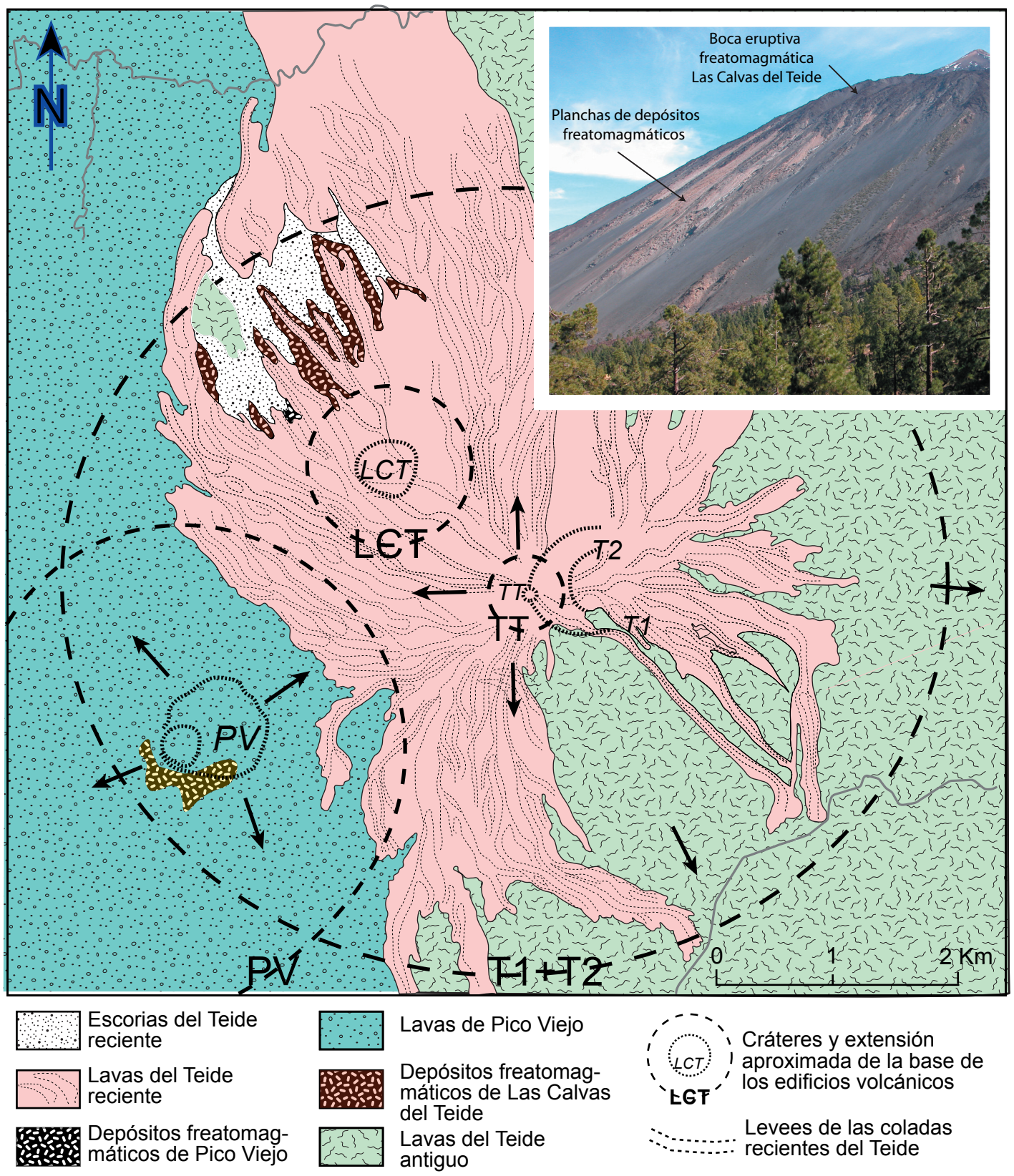


Figura 6.- En el edificio principal del Teide se reconocen varios volcanes superpuestos, siendo en realidad Pico Viejo uno de ellos. Algunos de estos aparatos volcánicos han tenido fases terminales explosivas, por la entrada de agua (de deshielo) en contacto con el magma durante la erupción. Se conocía esta fase en Pico Viejo, y ahora se ha descubierto otra erupción freatomagmática explosiva en la cara norte del Teide hace más de 30.000 años. Los materiales explosivos forman planchas blancas conocidas como Las Calvas del Teide (en el recuadro superior), nombre que le hemos dado al volcán.

en la mayoría de los casos inferior al paso de una persona, lo que las hace poco peligrosas para la población. Durante las primeras 12-15 horas, la fase de mayor tasa eruptiva de la erupción de la Mña. de Garachico en 1706, que puede considerarse típica de las erupciones basálticas de esta parte de Tenerife, las coladas discurrieron por fuertes pendientes con una velocidad que no llegó a 0.5 Km/h, muy inferior al paso descansado de una persona. En el caso de la erupción del Chinyero y a juzgar por las descripciones de testigos oculares esta velocidad fue aún menor, alrededor de 0.12 Km/h, posiblemente porque las coladas discurrían por el eje de la Dorsal, de menor pendiente. La velocidad de las corrientes de lava puede ser mucho mayor (10-30 Km/h) cuando se canalizan en barrancos, donde con frecuencia forman canales lávicos en los que la lava se aísla térmicamente y conserva gran temperatura y fluidez. El peligro puede ser mayor en los cantiles y pendientes muy fuertes, donde pueden desprenderse grandes bolas de lava incandescente, que crecen como las de nieve y alcanza velocidades muy elevadas, explotando al impactar en fragmentos incandescentes muy dañinos. Este peligro, el más habitual, es sin embargo el más manejable, ya que puede fácilmente predecirse el recorrido de las coladas y planificar con tiempo las evacuaciones. Hay que tener en cuenta que las erupciones en la DNO generan coladas que alcanzan generalmente la costa, lo que evidencia las altas tasas eruptivas de esta dorsal, y lo "vivo" de este volcanismo.

Un caso especial de estas erupciones basálticas son las coladas *pahoe-hoe* de las fases relativamente tempranas

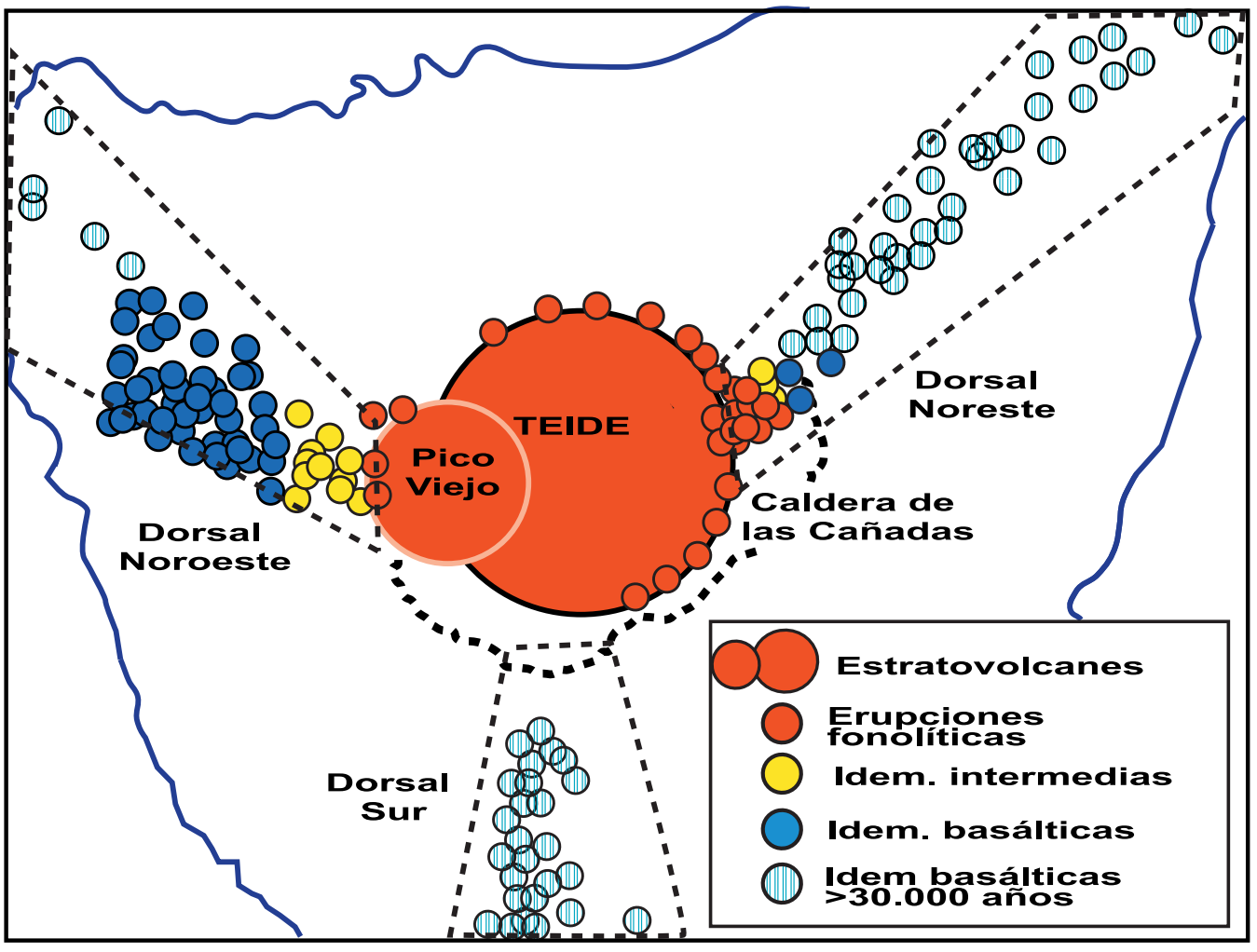


Figura 7.- Principales estructuras volcánicas activas en el periodo más reciente de la historia geológica de la isla de Tenerife. Se observa claramente la disposición de las erupciones de magmas más diferenciados (fonolíticos) en la zona central, en el área de conjunción de las dorsales.

del Pico Viejo, entre 17.000 y 25.000 años, que debieron ser de gran fluidez, caudal y constancia y llegaron a la costa por ambos flancos de la Dorsal Noroeste. Estas coladas debieron recubrir la mayor parte de esa zona de la isla, pero su antigüedad y el hecho de que no se hayan producido desde entonces las hacen poco significativas a efectos de su posible repetición.

Coladas fonolíticas.- Las lavas fonolíticas suelen presentar una menor temperatura de salida y son más viscosas. En consecuencia, tienden a fluir con mayor dificultad, discurriendo a velocidades muy bajas, desde pocos centímetros a cientos de metros por hora. Tienden asimismo a adquirir grandes espesores –50 o más metros– y recorridos más cortos.

En las laderas de acusadas pendientes del Teide y del Pico Viejo discurren sin grandes espesores, pero cuando la pendiente disminuye la lava se acumula y avanza con frentes de 50-100 m. Aunque se canalizan en los barrancos, si éstos no son muy profundos pueden transgredir la topografía, rebasando los cauces en su curso directo hacia la costa.

Un caso particular muy común en los centros adventicios al Teide y Pico Viejo son los domos de lava, intrusiones fonolíticas que emiten lavas muy viscosas y de gran potencia (p. ej. Pico Cabras, La Abejera, Roques Blancos, etc.). Se suelen dotar de un mecanismo en "tubo invertido", rodeándose de una costra de lava solidificada de 0.5-1 m de espesor que aísla térmicamente la corriente de lava que fluye por su interior, permitiendo que la colada mantenga elevadas temperaturas y recorra distancias de decenas de kilómetros, llegando en la mayoría de los casos a la costa.

Estas coladas pueden provocar incendios forestales y, por su potencia, cortar carreteras y canalizaciones de forma duradera. Por otra parte, este tipo de erupciones tiene una duración mucho mayor que las basálticas, que pueden ser de años o decenas de años.

Su gran lentitud de desplazamiento las hace poco peligrosas para la población. Sin embargo, en pendientes acusadas pueden darse colapsos del frente de la colada, generándose pequeñas nubes ardientes de alta velocidad que se desploman ladera abajo y son mucho más dañinas (p. ej. parecidas a las ocurridas en la erupción de 1585 en La Palma).

5. Colapsos estructurales

Los colapsos de parte de los volcanes son lógicos en zonas de tan acusadas pendientes y materiales tan poco consolidados. Son especialmente comunes los producidos por acumulación inestable de lavas o materiales

piroclásticos.

Sin embargo, los más espectaculares y temibles son los deslizamientos gravitatorios gigantes, que implican colapsos casi instantáneos de masas enormes, que pueden llegar a centenares de kilómetros cúbicos. Estos deslizamientos se han dado de forma recurrente en la cara norte de la isla de Tenerife (también en las demás islas). Sin embargo, y aunque se ha mencionado esta posibilidad como probable en una próxima erupción del edificio central, afortunadamente hay indicios de que la actividad del propio estratovolcán Teide parece estar en fase de rápida regresión, ya que tuvo numerosas erupciones en su fase inicial de desarrollo, hasta hace unos 30.000 años, y sólo una erupción a partir de entonces (la de las Lavas Negras, hace 1240 años). Por otra parte, los numerosos domos que se han formado alrededor de su base en la cara norte desde hace unos 8.000 años actúan como contrafuertes, reforzando estructuralmente la estabilidad del edificio volcánico.

6. Gases volcánicos

Es normal que en estas zonas volcánicas activas exista de forma continuada una emisión más o menos difusa de gases volcánicos, como se comprueba diariamente en los trabajos en las galerías para la extracción de agua subterránea. Sin embargo, se ha comprobado hace años que las variaciones, que pueden llegar a ser significativas, dependen en gran parte de las variaciones en la presión barométrica, lo que se ha observado desde hace décadas en los trabajos de perforación y mantenimiento de las galerías para la extracción del agua subterránea, donde, dependiendo de las variaciones estacionales y cambios de la presión barométrica, los gases salen o se acumulan en el interior de las galerías, alcanzando concentraciones letales, lo que ha originado víctimas.

Los gases volcánicos, importantes como peligro en otro tipo de volcanes, apenas constituyen una amenaza para la población en los de las islas volcánicas oceánicas y, concretamente, en esta zona activa de Tenerife, incluso durante las erupciones, salvo en un entorno muy limitado en sus inmediaciones. Especial cuidado requiere el CO_2, que al ser más pesado que el aire tiende a rellenar cavidades y depresiones, desplazando el aire respirable y pudiendo ocasionar víctimas por asfixia, de forma similar a lo que ocurre en muchas galerías de la isla.

Aunque se ha estudiado en profundidad el papel de los gases volcánicos como posibles precursores de la actividad eruptiva los resultados nunca han sido concluyentes. En el caso de las islas volcánicas oceánicas esto es aún más evidente. En la isla de Hawaii se estudian los gases relacionados con la actividad eruptiva continua en los últimos 22 años del Kilauea, pero estos estudios se centran fundamentalmente en la contaminación que generan estos gases, que se conoce localmente como "vog" (por "smog" volcánico).

Se ha estudiado la tasa de emisión de gases volcánicos en las Canarias, especialmente en la isla de Tenerife, donde se viene observando instrumentalmente y de forma continua este parámetro en varias galerías de la isla desde hace varios años, una de ellas muy próxima a la dorsal NO activa. Los datos reflejan la ausencia de correlación alguna con procesos geológicos como la sismicidad. Las variaciones en la tasa de emisión difusa de gases volcánicos, a veces muy pronunciada, se modula paralelamente a las variaciones estacionales y de corto periodo de la presión barométrica. Estas observaciones fueron corroboradas recientemente en los trabajos de una tesis doctoral realizada en la Universidad de La Laguna.

Durante la crisis sísmica de mayo de 2004 **no se han apreciado variaciones significativas en la tasa de emisión de gases**, ni en observaciones directas en galerías de la zona (p. ej. en el fondo de la galería Salto del Frontón, en La Guancha, que penetra 4.350 m dentro del Valle de Icod), ni en analizadores en registro continuo colocados en la galería Saltadero de Las Cañadas, de 4.500 m, que llega hasta la misma base del Teide. Este sistema de análisis continuo de gases volcánicos, que viene operando desde enero de 2001, ha registrado en todo momento niveles estables, con algunos picos que están modulados por gradientes negativos de la presión barométrica (comunicación personal de Vicente Soler Javaloyes, de la Estación Volcanológica de Canarias). El Departamento de Edafología-Geología de la Universidad de La Laguna ha finalizado un proyecto europeo de 2 millones de Euros en cuyo marco han instalado una red de 9 estaciones para el registro continuo de gases (1 medida cada 15 minutos) en galerías y sondeos seleccionados del entorno del Teide y la Dorsal Noroeste. Esta red viene registrando desde 2001, sin que tampoco se hayan apreciado variaciones significativas durante esos años, ni asociadas a la sismicidad de abril-mayo de 2004. Los niveles de emisión de gases siempre se han mantenido estables y las variaciones puntuales observadas están en relación con cambios en la presión barométrica (comunicación personal de Candelaria Martín, Universidad de La Laguna). Por último, el Servicio Insular de Aguas de Tenerife tiene un sondeo de 500 m en la caldera de Las Cañadas (en Mña. Majúa), que controla con equipos sofisticados y en tiempo real la calidad de las aguas del acuífero insular, sin que se hayan apreciado variaciones en los parámetros registrados (temperatura del agua, contenido en gases, etc.).

Las predicciones establecidas sobre una erupción volcánica en octubre de 2004, basadas al parecer en las pretendidas variaciones en la tasa de emisión de gases, carecen totalmente de fundamento científico y son socialmente reprobables, al incrementar injustificadamente la intranquilidad de la población y dañar seriamente los intereses económicos de la isla de Tenerife.

2. Principales edificios y estructuras volcánicas del conjunto Teide-DNOT

1. El edificio central del Teide

Este edificio volcánico ha sido estudiado en profundidad, especialmente en lo que a la petrología y las unidades litológicas se refiere, por varios investigadores, pero carecía totalmente hasta el momento de dataciones radiométricas que den información sobre su evolución temporal. Por otra parte se han descubierto recientemente mecanismos eruptivos asociados a procesos explosivos (freatomagmáticos), que modifican substancialmente la valoración de peligros de este edificio volcánico, uno de los lugares más visitados de Canarias.

De forma simplificada, el estratovolcán Teide es un edificio de 3.718 m de altura, anidado en la caldera de Las Cañadas y con fuertes pendientes en su flanco norte. Está rodeado de centros adventicios, principalmente en su base y en la confluencia de las dorsales (Fig. 5).

Aunque sus coladas rellenaron la amplia cuenca de deslizamiento que forma el valle de Icod-La Guancha, sólo se han observado en afloramiento en las plataformas y cantiles costeros más importantes de la costa norte, donde se ha datado una secuencia muy continuada entre 100.000 y 30.000 años, siendo basálticas las más antiguas y fonolíticas las más recientes (Plano 1). Con posterioridad a esa fecha, la siguiente erupción del edificio principal se produce hace 1240 años (edad ^{14}C calibrada 1.287 a 1.007 BP).

El área de dispersión de estas coladas está muy controlada por la cuenca de deslizamiento, restringiéndose al interior de la caldera de Las Cañadas, a la costa norte entre la playa de San Marcos y San Juan de La Rambla, y una colada que penetró por el Portillo de la Villa y quedó colgada a medio valle (en la cota 900).

En cuanto al número y tipo de erupciones producidas por este edificio central sólo se observan las etapas finales, donde se han formado al menos 4 cráteres diferentes (Fig. 6), uno de ellos recientemente descubierto como un centro explosivo freatomagmático que generó explosiones laterales de relativa alta energía hacia el norte hace unos 30.000 años, y materiales fragmentarios que forman las planchas de color blanco que se conocen como Las Calvas del Teide ((LCT en la Fig. 6).

La última erupción (1.240 BP) formó el cono sumital y las coladas negras –de fonolitas vítreas (obsidiánicas)– que discurrieron por los flancos del edificio principal, principalmente hacia la zona de La Guancha, donde se detuvieron a la cota 615 (ver Plano 1).

2. Los edificios adventicios

El modelo anteriormente expuesto de desarrollo del edificio central anidado como respuesta a la actividad de las dorsales y al colapso gravitatorio puede explicar la disposición de los edificios adventicios del principal, entre los que puede considerarse al Pico Viejo como uno de ellos, aunque mucho más desarrollado.

La distribución de estos aparatos adventicios está claramente asociada a una orla en el perímetro basal y a conjunción de las dos dorsales (NO y NE) con el estratovolcán principal (ver esquema en la Fig. 7).

El edificio volcánico Pico Viejo, de 3.100 m de altura, se ha formado por la concentración de la actividad eruptiva en la confluencia de la dorsal noroeste con el Teide. Las lavas más antiguas del Pico Viejo corresponden a basaltos de tipo pahoe-hoe que se extienden hasta la costa por el norte (costa de San Marcos) y el sur (Puerto de Alcalá), y las hemos datado en 26.000 años. Las más recientes de este edificio volcánico, de lavas más evolucionadas, han dado edades de 17.500 a 14.600 años BP (Tabla 1).

En su fase final de actividad se produjo una violenta explosión freatomagmática que creó un amplio y profundo embudo en su cráter y extendió una capa de materiales fragmentados en una amplia zona alrededor del volcán.

Domos y domo-coladas.- El resto de los edificios adventicios son principalmente domos, en su mayoría de composición fonolítica, que a veces quedan como intrusiones en el subsuelo (criptodomos) y, más frecuentemente, emiten gruesas coladas que, en zonas llanas como el interior de la caldera recorren cortas distancias y adquieren una gran potencia, y en las zonas de mayor pendiente –como la cara norte– discurren hacia la costa, que, generalmente, alcanzan.

De forma similar a como se concentró la actividad eruptiva en la confluencia de la dorsal noroeste con el Teide dando lugar al Pico Viejo, lo ha hecho con la dorsal noreste, dando aquí lugar a un importante apilamiento de domos y criptodomos, englobados todos en el edificio volcánico de Montaña Blanca (2.750 m). A partir de este volcán, se localizan otros a lo largo de la dorsal (p. ej. Mña. Reventada, etc.), pero al igual que en la otra dorsal del noroeste, al alejarse del edificio principal van evolucionando hacia erupciones intermedias y, finalmente, basálticas. Se puede, pues, trazar un límite bastante preciso del tránsito de uno a otro tipo de erupciones, de relevancia en la predicción de la naturaleza de las que puedan ocurrir en el futuro en esta zona.

Las dataciones radiométricas efectuadas indican una gran constancia en el tiempo de estos domos adventicios. Entre los que afloran, hemos obtenido edades que van desde los 8.000 a 1.790 años BP (Tabla 1 y Plano 1).

Tabla 3.-Municipios de la isla de Tenerife protegidos topográficamente o sin relación con las principales zonas de peligrosidad asociadas al sistema volcánico Teide-Dorsal Noroeste

MUNICIPIO	Peligrosidad volcánica	Zona
Santa Cruz de Tenerife	Municipios alejados e independientes del sistema volcánico activo Teide-Dorsal Noroeste. Riesgo de erupciones muy bajo, asociado a la Dorsal Noreste, inactiva desde hace >30.000 años (salvo las erupciones de 1704-1705 de Arafo, Fasnia y Siete Fuentes, de muy poca importancia y que no llegaron al mar)	**Sin relación (riesgo muy bajo)**
La Laguna		
Tegueste		
El Rosario		
Candelaria		
Tacoronte		
El Sauzal		
La Matanza		
La Victoria		
Santa Úrsula		
Güímar		
Arafo		
Fasnia		
Arico	Protegidos topográficamente por la pared de la Caldera de las Cañadas	**Zonas de Protección topográfica (riesgo muy bajo)**
Granadilla		
San Miguel		
Arona		
Vilaflor		
Adeje		
Los Realejos	Protegidos topográficamente por La Fortaleza	
San Juan de la Rambla		
Buenavista	Protegidos por el macizo de Teno Muy bajo riesgo (erupciones >30.000 años)	
Los Silos		

3. La Dorsal Noreste

La Dorsal Noreste se extiende desde la Zona de La Laguna y penetra en la caldera de Las Cañadas (ver Fig. 7 y Plano 1). Si exceptuamos la pequeña erupción fisural de 1704-1705, el conjunto de erupciones que forman esta dorsal tienen, fuera de la caldera de Las Cañadas, edades de 31.000 años (la Mña. de Enmedio) a 790.000 años (Mña. Birmagen), aunque aún puede haber centros eruptivos más antiguos correspondientes a esta dorsal.

Dentro de la caldera de Las Cañadas los centros eruptivos siguen siendo de composición basáltica y con una edad inferior a 11.000 años (la edad de la Mña. de Arenas Negras). La Mña. Mostaza, en el límite con los centros eruptivos fonolíticos, es aún más reciente, ya que sus lavas se apoyan sobre las de la Mña. de Arenas Negras.

A partir de Mña. Mostaza las erupciones son de carácter fonolítico, en forma de criptodomos y domos con coladas de enorme potencia (hasta 100 m), que van aumentando en número y volumen al acercarse al edificio principal.

4. La Dorsal Noroeste

En la Dorsal Noroeste se aprecia una pauta similar, pero con erupciones de edad considerablemente más recientes y mayor presencia de términos intermedios entre los basaltos, que predominan totalmente en el extremo distal respecto al edificio principal del Teide, y las fonolitas, que predominan ampliamente en la zona proximal.

Las erupciones basálticas e intermedias presentan edades que van desde los 12.800 años de la Mña. del Banco, en el extremo más distal de la dorsal, a los 990 años de Mña Reventada, erupción fonolítica ya en la base de Pico Viejo. La dorsal termina en los flancos de Pico Viejo con el enjambre de centros eruptivos fonolíticos de Mña. Chío (3.600 BP), Mña. Hoya de los Ajos (1.850 BP) y el domo de Roques Blancos con potentes coladas fonolíticas (1.790 BP). En esta dorsal se han dado las erupciones históricas principales de Tenerife: La Mña. de Garachico, que destruyó parcialmente este pueblo y su puerto, el más importante de Canarias en la época, el Chahorra (1798) y el Chinyero (1909), la última erupción de la isla.

Es en esta Dorsal Noroeste, y concretamente en la zona comprendida entre Mña. Reventada y Mña. Cueva del Ratón, al este, y Mña. del Banco y Mña. Bilma, al oeste, donde más erupciones se han localizado en los últimos 10.000 años (ver mapa), por lo que, con mayores probabilidades puede localizarse una erupción de ser ésta la culminación de la actual crisis sísmica, cuyos epicentros parecen asimismo situarse preferentemente en esa zona.

Tabla 4.- Principales zonas de peligrosidad eruptiva definidas para el teide y la Dorsal Noroeste y su previsible incidencia en los municipios del norte y noroeste de Tenerife (las zonas están indicadas en el Plano 4).

ZONA DE PELIGROSIDAD	TIPO DE ERUPCIONES PROBABLES	PELIGROS ESPERABLES	NIVEL DE RIESGO	MUNICIPIO
Zona 1 Cabecera del Valle de La Orotava	Muy poco probables dentro de la zona	Llegada, poco probable, de coladas desde la zona 3 por El Portillo. Incendios forestales	Bajo: La última colada llegó hace 11.000 años y El Portillo se ha rellenado más desde entonces.	La Orotava
Zona 2 Dorsal Noreste, fuera de Las Cañadas	Basálticas estrombolianas. Muy poco probables dentro de la zona	Apertura de bocas eruptivas estrombolianas, lluvias de picón y flujo de coladas por los flancos norte y sur	Muy bajo: la última erupción en la zona, salvo la de escasa importancia de 1704-05, fue hace más de 31.000 años	La Orotava
Zona 3 Ladera sur del Teide y Pico Viejo e interior de la caldera de Las Cañadas	Muchas erupciones y relativamente frecuentes y de diverso tipo (estrombolianas basálticas y fonolíticas, freatomagmáticas, domos y domo-coladas, etc.), además de las propias del Teide	Erupciones de diversa explosividad, algunas podrían ser de considerable energía. Lluvia de picón y pómez. Flujo de coladas basálticas y fonolíticas, frecuentemente de gran potencia. Sismicidad elevada, desplomes, incendios forestales	Medio-alto. Las erupciones, una vez iniciadas, pueden tener una larga duración. La mayoría de estas erupciones presentan claros signos precursores.	La Orotava
Zona 4 Ladera norte del Teide y Pico Viejo	Muchas erupciones <10.000 años, muy recientes y de diverso tipo, con predominio claro de los domo-coladas fonolíticos.	Lluvia de pómez muy extensa. Coladas fonolíticas de flujo en fuerte pendiente. Más remoto, riesgo de explosiones laterales limitadas y flujos piroclásticos de baja intensidad. Incendios forestales	Alto. Larga duración de las erupciones una vez iniciadas. Sismicidad fuerte y prolongada, desplomes	La Orotava
Zona 5 V alle de Icod-La Guancha	Muy poco probables dentro de la zona	Lluvia de picón y flujo de coladas desde la zona 4. Incendios forestales. Sismicidad intensa. Incendios forestales.	Alto.La mayoría de estas coladas proceden de la zona 4 y son de gran espesor y muy lenta progresión. Sismicidad fuerte y prolongada, desplomes	La Guancha, Este de Icod
Zona 6 Eje de la Dorsal Noroeste	Muy frecuentes erupciones en los últimos 10.000 años, predominantemente basálticas e intermedias al oeste y fonolíticas cerca del Pico Viejo	Lluvias de picón (al oeste) y pómez (al este), sismicidad de menor intensidad. Incendios forestales	Alto-muy alto. Erupciones de corta duración (1-3 meses)	Cabeceras del oeste de Icod, Garachico, El Tanque, Santiago del Teide y Guía de Isora
Zonas 7 y 8 Laderas norte y sur de la Dorsal Noroeste	Escasa erupciones en estas zonas, predominantemente basálticas e intermedias	El riesgo fundamental es el flujo de coladas a favor de la topografía. Incendios forestales	Alto-muy alto. Mayor en las zonas altas.Erupciones de corta duración (1-3 meses)	Oeste de Icod, Garachico, El Tanque, Santiago del Teide, Guía de Isora.

3. Principales zonas de peligrosidad volcánica del conjunto DNO de Tenerife y el Teide

Desde un punto de vista rigurosamente científico no puede descartarse totalmente un escenario mucho más catastrofista. Se ha postulado en algunos artículos científicos que el edificio volcánico del Teide es ya muy inestable, situación que se vería acentuada por la existencia de una capa plástica en su subsuelo, formada por la brecha de deslizamiento alterada del anterior colapso (conocida localmente como mortalón). Por otra parte nada evidencia que el sistema de alimentación del Teide, al parecer en regresión, pueda reactivarse en el futuro.

Esto nos llevaría a un escenario verdaderamente catastrofista, al admitir como posible un nuevo deslizamiento gigantesco, similar a los ya ocurridos repetidas veces en ese mismo escenario. Las medidas de prevención ante este riesgo son imposibles, por lo que la única respuesta adecuada sería el desalojo total de la cara norte de la isla, y las costas de las islas vecinas (acarreando, por supuesto, la ruina económica del Archipiélago).

Afortunadamente ese escenario, aunque teóricamente posible, tiene una probabilidad insignificante, y más a corto plazo geológico (miles de años). Debemos pues ser constructivos y abandonar estos escenarios alarmistas y en nada realistas (que deben ser objeto, sin embargo, de una investigación científica profunda) a favor de los modelos más probables y realistas, que sean susceptibles, además, de la adopción de medidas factibles de prevención y protección.

La zonificación de peligros que se propone se basa en la información geológica expuesta, siguiendo el principio básico de la Geología de que los procesos esperables a corto plazo son similares a los ocurridos en el pasado geológico inmediato, que aquí hemos extendido hasta un límite "suficiente" de 30.000 años.

Otra salvedad necesaria es indicar que el verdadero mapa de peligrosidad para flujos de lava, que incluya la vulnerabilidad, está aún por hacer, ya que requiere analizar el recubrimiento parcial acumulativo (*cumulative fractional coverage*)

$$CFC = 1.0 - x = 1.0 - e^{-at}$$

donde t es tiempo transcurrido desde la erupción, a = -ln[1-fc]/T, y fc es el recubrimiento parcial en el periodo de tiempo T.

Sin embargo, a efectos de la evaluación preliminar de estos peligros y de las zonas de mayor probabilidad de ocurrencia puede ser útil la definición de zonas de peligrosidad en función de la historia volcánica reciente de la zona, que contemple factores como el tipo de peligro y sus efectos previsibles en relación con la ubicación de una eventual erupción en la zona.

De la observación del mapa geológico de este sector de Tenerife (Plano 1) y de los mapas de pendientes y recubrimiento (Planos 2 y 3) y los de agrupamiento de coladas y centros erupctivos por intervalos de edad (Planos 4 y 5), se pueden definir tentativamente varias zonas en función de los diversos peligros y su probabilidad de ocurrencia. Las zonas definidas para el conjunto Teide-DNO de Tenerife están indicadas en la Tabla 3 y expresadas gráficamente como zonas en el Plano 6.

Es preciso aclarar que los conceptos de peligrosidad y riesgo del volcanismo de Tenerife son relativos. Si los comparamos con los propios de volcanes como el Pinatubo, Mount St. Helens, etc., la peligrosidad del volcanismo canario sería siempre insignificante. Lo mismo ocurre en cuanto a la probabilidad de erupciones, si la comparamos con el Etna, el Kilauea, etc., que tienen erupciones muy frecuentes (ver Fig. 8). Los valores que damos, de muy bajo a muy alto son, pues, indicativos de los valores relativos de estos parámetros para la isla de Tenerife, que sólo ha tenido tres erupciones en los últimos 500 años (4 en los últimos 990 años) y de una bajísima peligrosidad.

Zona 0.

Zonas protegidas topográficamente, donde no pueden llegar las coladas, aunque sí las lluvias de picón y pómez, así como los posibles incendiuos forestales.

Zona 1. Cabecera del Valle de La Orotava

Esta zona, muy densamente poblada, presenta un riesgo muy bajo. No ha tenido más erupciones recientes que los tres pequeños conos, cuya edad, aunque no ha podido determinarse, es bastante mayor de lo que se ha supuesto, posiblemente de varios miles de años. Aparte de esto, la única actividad volcánica que ha afectado al valle en los últimos 30.000 años es el flujo de coladas provenientes del Teide (hace 31.000 años) y de centros eruptivos del interior de la caldera (el Volcán del Portillo, de hace unos 11.000 años y la Mña de Arenas Negras, de una edad similar).

La zona de El Portillo se ha rellenado de lavas de un centro eruptivo emplazado justo en la salida de la caldera (el Volcán del Portillo, de 11.000 años de antigüedad), que obstaculizan la salida hacia el valle de cualquier erupción que ocurra en el interior de la caldera de Las Cañadas, por lo que la probabilidad de que discurran de nuevo lavas hacia esta zona de La Orotava y el Puerto de la Cruz son remotas. Hay que tener en cuenta que las coladas que

provienen de centros situados dentro de la caldera no tienen un flujo directo hacia el Valle, sino que previamente han de rellenar y "rebosar" esta salida natural, proceso que ahora es más difícil por la construcción del mencionado Volcán del Portillo.

En la remota posibilidad de que esto ocurriera, las coladas fluirían muy lentamente, siendo el riesgo principal los inevitables incendios forestales.

Peligro: Muy bajo (flujo de coladas lentas, lluvia de pómez)

Probabilidad: Muy baja.

Zona 2. Cumbre de la Dorsal Noreste

Comprende el sector de la Dorsal Noreste próxima a la caldera de Las Cañadas, pero fuera de ella. Aparte de la pequeña erupción de 1704-05, los episodios de esta zona tienen más de 31.000 años, por lo que las probabilidades de que ocurran nuevas erupciones en esta parte de la isla son remotas. En todo caso serían similares (basálticas), y el mayor riesgo sería el flujo de coladas, lentas, hacia uno u otro flanco, y los inevitables incendios forestales.

Peligro: Muy bajo (caída de picón, flujo de coladas)

Probabilidad: Muy baja.

Zona 3. Ladera sur del Teide y Pico Viejo e interior de la caldera de Las Cañadas

Esta zona ha tenido erupciones relativamente recientes, como las fonolitas de la última erupción del Teide (hace 1240 años), y la erupción relativamente explosiva de Mña. Blanca (hace unos 2.000 años). Entre esa fecha y los 10.000 años ha tenido una docena de erupciones, algunas bastante explosivas, que han generado coladas de gran espesor. Algo más antiguas son las erupciones basálticas de Mña. de Las Arenas Negras y Mña. Mostaza (hace unos 11.000 años). El Pico Viejo ha aportado asimismo coladas basálticas (hace unos 26.000 años) y fonolíticas (de 17.000 a unos 14.000 años). Finalmente, todo el conjunto se apoya sobre las coladas fonolíticas del Teide "antiguo", de unos 30.000 años de antigüedad. Todas estas coladas han rellenado el fondo de la caldera, donde han quedado atrapadas. Por ello, las zonas turísticas del sur de Tenerife están totalmente protegidas topográficamente por la pared de la caldera de cualquier erupción que ocurra en el sistema volcánico del Teide y la Dorsal Noroeste.

El Pico Viejo tuvo en sus fases finales episodios explosivos de muy alta energía (freatomagmáticos), que debieron ocurrir hace unos 14.000 años y cuya repetición es muy poco probable.

La relativa frecuencia de erupciones, su gran diversidad, y la ocurrencia de erupciones de mayor índice de explosividad hacen que esta zona tenga una peligrosidad relativamente alta y una probabilidad moderada-alta, con la salvedad de que el peligro queda circunscrito al interior de la caldera de Las Cañadas y de que, en general, este tipo de erupciones suelen dar inequívocas señales de aviso. En contrapartida, suelen acompañarse de fuerte sismicidad y su duración puede ser de años.

Peligro: Moderado-alto (muy diverso, flujo de coladas y erupciones más explosivas)

Probabilidad: **Moderada-alta.**

Zona 4. Cima y ladera norte del Teide y Pico Viejo

En la ladera norte de ambos estratovolcanes y, especialmente, en el perímetro basal del Teidel se han producido entre hace 10.000 y 1.790 años numerosas intrusiones de grandes domos, algunos de los cuales emitieron gruesas coladas que fluyeron hasta la costa, como Mña. de Las Lajas (8.000 años), Pico Cabras, Las Abejeras (de 5.200 a 4.800 años), El Boquerón (2.400 a 2.010 años) y Roques Blancos (1.790 años).

Recubriendo todo el conjunto están las lavas de fonolitas obsidiánicas de la última erupción del Teide (hace 1.240 años), que se quedaron a media ladera del valle de Icod-La Guancha.

El riesgo principal es la intrusión de algún domo similar, acompañado de fuerte sismicidad y posibles desplomes ladera abajo, y el flujo de coladas similares hacia la costa, con los inevitables incendios forestales. Escenario algo más peligroso pero menos probable es que, de formarse algún domo, se desplome su cara norte, lo que precipitaría ladera abajo fragmentos de lava incandescente y nubes ardientes a gran velocidad, pero de escaso alcance (similares a las de la erupción de Jedey, 1585, en La Palma). Aún menos probable es la ocurrencia de explosiones freatomagmáticas asociadas a alguna erupción en las laderas del edificio principal del Teide. Hubo una erupción explosiva (freatomagmática) importante en la ladera norte del Teide, que produjo explosiones laterales dirigidas hacia el valle, y flujos piroclásticos que formaron las planchas de color blanco conocidas como Las Calvas del Teide (ver Fig. 6). Este episodio, sin embargo, ocurrió hace más de 30.000 años, y es muy remota su posible repetición.

Las coladas más probables son de flujo muy lento, y por consiguiente exentas de peligro para la población, que podría ser evacuada sin problemas. En cambio afectarían gravemente a la red viaria y de conducciones, con una duración previsible de años.

Otro peligro de baja incidencia sería la lluvia de pómez, que podría formar mantos de cierto espesor.

Peligro: Alto (flujo de coladas muy lentas, lluvia de pómez, pequeñas nubes ardientes de escaso

recorrido)

Probabilidad: Moderada-alta.

Zona 5. Valle de Icod-La Guancha

Comprende todo el valle de Icod-La Guancha, desde la base del Teide hasta la costa entre San Juan de La Rambla y la Playa de San Marcos.

Los cantiles costeros de las playas de San Marcos y Santo Domingo están formados por lavas de entre 100.000 y 80.000 años. Sobre ellas discurrieron las coladas fonolíticas del Teide antiguo (30.000 años), los basaltos muy fluidos (pahoe-hoe) de Pico Viejo (26.000 años) y las fonolitas de Pico Viejo (unos 17.000 años).

Hay un "incesante" flujo de coladas dentro de este valle, procedentes de los domos descritos en la Zona 4, que en su mayoría alcanzan la costa. Asimismo, los posibles, pero menos probables, desplomes de domos y explosiones freatomagmáticas en las laderas del Teide descritas en la Zona 4 podrían afectar la zona alta del valle. Este valle aparece recubierto por numerosos mantos de pómez de proyección aérea, lo que indica que ha debido cubrirse frecuentemente con una abundante lluvia de pómez.

La frecuencia y tipo de coladas hacen que esta zona tenga un peligro moderado y una probabilidad de moderada a alta.

Peligro: Moderado (flujo de coladas lentas, lluvia de pómez)

Probabilidad: Moderada-alta.

Zona 6. Cumbre de la Dorsal Noroeste

Zona que incluye la cumbre noroeste de la isla, desde la ladera oeste de Pico Viejo hasta el macizo de Teno.

En esta zona han ocurrido numerosas erupciones muy recientes, desde las históricas del Chinyero (1.909), el Chahorra (1.798) y la Mña. de Garachico (1.706), siguiendo las de Mña. Reventada (hace 990 años), la Hoya de los Ajos (hace 1.850 años), la Mña. Botija (hace 2.660 años), la Mña. de Chío (hace 3.620 años), la Mña. Cuevas del Ratón (grupo de volcanes formado entre 7.400 y 5.370 años) y la Mña. del Banco, ya en el extremo oeste de la dorsal, que ocurrió hace 12.800 años. Intercaladas entre estas erupciones datadas, hay otras muchas, como Mña. Samara, Cascajo, Boca Cangrejo, Bilma, etc., todas ocurridas en el periodo que va desde hace unos 13.000 años hasta hace 990 años, esta última al parecer la anterior erupción en Tenerife a las históricas. No hemos encontrado evidencia de campo de ninguna erupción anterior a Mña. Reventada, que ha dado una edad de radiocarbono de 990 ± 70 BP, calibrada en el periodo 1.050 a 750 BP, siendo el "presente" el año 1950 AD. Esto supone que la erupción anterior a la de la Mña. de Garachico y las de 1.704-05, no podría en ningún caso ser posterior al año 1.200 AD lo que, aparte de constreñir las interpretaciones de los diversos relatos de erupciones prehistóricas en Tenerife, pone de manifiesto la inutilidad de intentar establecer predicciones, ya que como puede observarse el periodo entre erupciones en Tenerife puede ser desde 1 a más de 505 años.

Dada la frecuencia de erupciones muy recientes, la probabilidad de ocurrencia es alta-muy alta y, por el tipo de erupción previsible, el peligro es bajo ya que en estas erupciones puede esperarse, fundamentalmente, la apertura de bocas eruptivas estrombolianas (como el Teneguía), y lluvias de picón formando mantos a favor del viento de un espesor de pocos centímetros a varios metros, así como el flujo de coladas de velocidad inferior a 0.5-1 Km/h, sismicidad moderada y los inevitables incendios forestales.

La duración típica de estas erupciones es de 1 a 3 meses.

Peligro: Bajo (apertura de bocas estrombolianas, lluvia de picón, flujo de coladas)

Probabilidad: Alta-muy alta.

Zona 7. Flanco Sur de la Dorsal Noroeste

Comprende todo el flanco sur de la Dorsal Noroeste. desde el Bco. de Guía al este al Macizo de Teno por el oeste. En esta zona apenas hay centros de emisión, predominando totalmente el flujo de coladas, fundamentalmente basálticas e intermedias, que provienen de la alineación de centros eruptivos de la dorsal.

Muchas de estas coladas, que van desde más de 26.000 años a los 990 años de las lavas de Mña. Reventada, alcanzan la costa, rebasando un paleoacantilado existente por la zona de La Tablada-Gambueza, y formando una plataforma costera intensamente utilizada para cultivos y promociones turísticas.

El flujo de coladas y las lluvias de picón en la parte alta de la zona son los peligros más evidentes, ambos de muy poca entidad. La lentitud de curso de las lavas hace que no presenten amenaza seria para la población de la costa, en el caso de que la volvieran a alcanzar. Con toda probabilidad se producirían incendios forestales importantes provocados por las coladas.

Peligro: Muy bajo (flujo de coladas lentas, lluvia de picón)

Probabilidad: Alta-muy alta en la parte cercana a la dorsal; Moderada-alta en las zonas bajas y costeras.

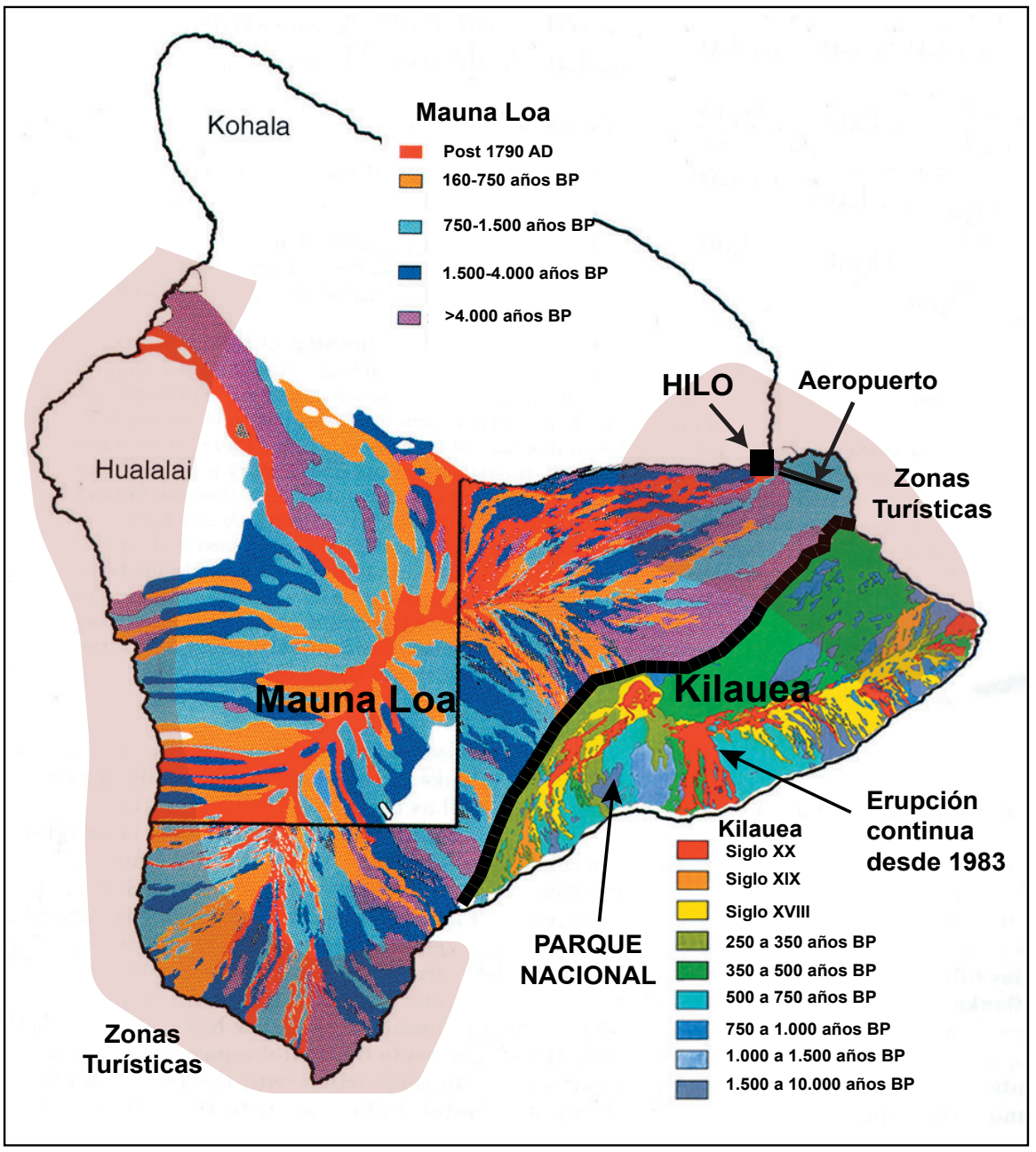


Figura 8.- Las erupciones volcánicas son mucho más frecuentes en Hawaii, una isla muy parecida a Tenerife, aunque mucho mayor y menos poblada. Los dos volcanes activos, el Mauna Loa y el Kilauea, han recubierto completamente gran parte de la isla. El Mauna Loa, que tiene al oeste y suroeste la zona turística de Kona, ha tenido en el periodo histórico (desde 1843) 33 erupciones, la última en 1984. El Kilauea, con numerosas erupciones en los últimos años, tiene una en marcha de forma continua desde 1983, un atractivo muy importante del Parque Nacional de Los Volcanes de Hawaii (Mapa de Frank Trusdell, HVO, USGS).

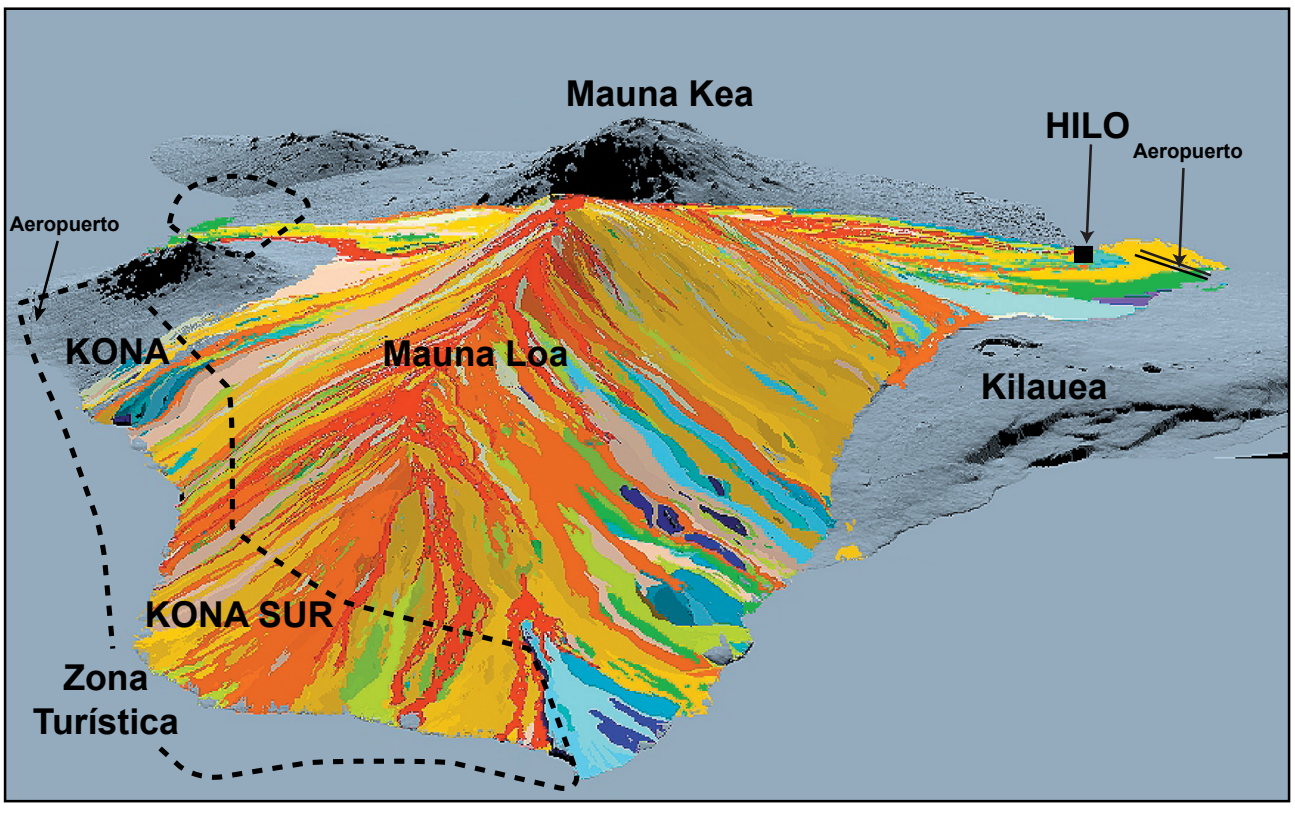


Figura 9.- Si comparamos el riesgo eruptivo en Tenerife y en Hawaii vemos que en la primera están en zonas de bajísima probabilidad de ocurrencia o protegidas topográficamente las principales zonas pobladas, las zonas turísticas y las infraestructuras esenciales (puertos, aeropuertos, hospitales, etc.). En Hawaii en cambio, están directamente amenazadas tanto la capital y las zonas turísticas, como los aeropuertos y otras infraestructuras vitales (imagen de Frank Trusdell, HVO, USGS).

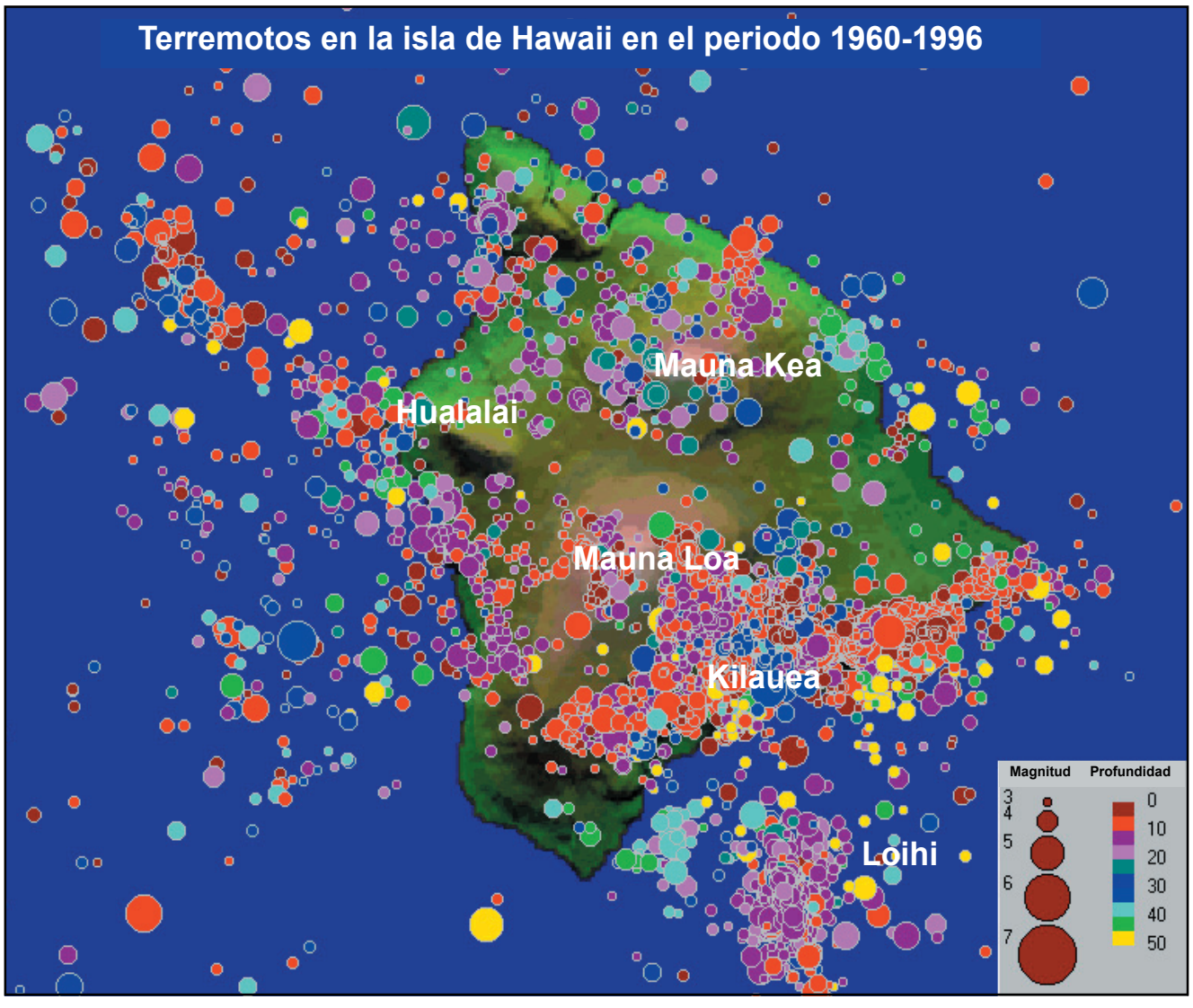


Figura 10.- Terremotos de magnitud >3 registrados en la isla de Hawaii en el periodo 1960-1996. La mayoría son de 5-6 grados de magnitud, pero se han superado los 7. Como puede observarse son todos volcánicos, relacionados con los volcanes activos, incluyendo los de los flancos submarinos, como el volcán submarino Loihi, la próxima isla a punto de emerger (Imagen tomada de Earthquakes and Eruptions, de la Smithsonian Institution Global Volcanism Program, www.volcano.si.edu/gvp/).

Zona 8. Flanco Norte de la Dorsal Noroeste

Esta zona comprende la ladera norte de la DNOT, entre la Mña. Cuevas del Ratón y la Mña. del Banco en la parte alta, y la Playa de San Marcos y La Caleta, en la costa.

Al igual que en la ladera sur, hay pocos centros de emisión, que se concentran en la dorsal. Las coladas son numerosas y están en su mayoría comprendidas entre la erupción de Mña. del Banco (de hace casi 13.000 años) y la histórica de la Mña. de Garachico (1.706). Destacan las erupciones de la Mña. Cuevas del Ratón (un grupo formado entre 5.370 y 7.400 años BP), cuyas lavas rodean el Cerro Gordo y recubren casi toda la parte oriental de la zona, entre Garachico y la playa de San Marcos.

Esta zona es la que presenta mayores probabilidades de albergar la próxima erupción, de características posiblemente parecidas a la de la Mña. de Garachico, aunque esto es sólo una predicción basada en el análisis de la historia volcánica reciente de esta parte de Tenerife, que pudiera no cumplirse.

Si bien la probabilidad es muy elevada, el peligro es bajo, consistente en el flujo de coladas a baja velocidad (menos de 0.5 Km/h en la erupción de la Mña. de Garachico), y algunas lluvias de piroclastos. La velocidad de las coladas puede ser bastante mayor en los cantiles costeros, donde pueden desprenderse "bolas" de lava incandescente, muy peligrosas.

Peligro: Muy bajo (flujo de coladas lentas, lluvia de picón)

Probabilidad: Muy alta.

7. ZONIFICACIÓN DE PELIGROS VOLCÁNICOS DE LA ISLA DE TENERIFE

Una vez realizada la zonificación de peligros volcánicos del Teide y la Dorsal Noroeste, precisamente la zona donde se concentra la mayor parte de estos peligros en la isla de Tenerife, es relativamente sencillo definir el mapa de peligros de la isla entera.

Si tenemos en cuenta que se trata de una isla geológicamente muy antigua (en estado post-erosivo) es lógico que la mayor parte de ella esté completamente inactiva desde un tiempo suficientemente largo, incluso a escala geológica, como para considerar esas zonas más antiguas como exentas de riesgo volcánico significativo.

La zonificación de peligros volcanicos de Tenerife se expresa gráficamente en el Plano 7, donde se indican las diferentes zonas con una peligrosidad y probabilidad decrecientes. A partir de la Zona 7 la peligrosidad es práticamente despreciable, aunque no pueda descartarse totalmente la posibilidad de alguna erupción.

Esta disposición del volcanismo y la existencia de la caldera de Las Cañadas, que proteje topográficamente las zonas turísticas del sur y el aeropuerto, indican que, a grandes rasgos, la distribución de la población y las principales infraestructuras se ha acomodado de forma acorde con el riesgo volcánico de la isla.

El Plano 8 es un intento preliminar (muy simplificado) de evaluar el riesgo volcánico del complejo Teide-Pico Viejo y Dorsal Noroeste, teniendo en cuenta el peligro (expresado de forma decreciente por los valores crecientes de la escala) y los principales núcleos de población e infraestructuras potencialmente afectadas.

8. CONCLUSIONES

1. Aunque no hay razones científicas para que la "crisis· de abril-mayo de 2004 culmine en una erupción volcánica, se debería considerar como un "ensayo" general, en que se ha evidenciado una clara falta de medios y preparación frente a este tipo de peligro, consubstancial por otra parte con la naturaleza del Archipiélago. Esta situación es particularmente preocupante en una isla tan densamente poblada como Tenerife, con un sistema volcánico activo en periodo de descanso ya dilatado (desde 1909). Las enormes deficiencias que aún existen en la protección de la seguridad de la población frente al riesgo eruptivo son impropias del desarrollo tecnológico y económico de Canarias, de su principal actividad económica y no teniendo justificación deberían ser corregidas de forma inmediata.

2. En la crisis de abril-mayo de 2004 no ha habido manifestación volcánica alguna, sino una serie de terremotos de muy baja magnitud y alguno percibido por la población del norte de Tenerife, muy posiblemente en relación con una intrusión relativamente profunda. No ha habido incremento de la temperatura del suelo o del agua subterránea, ni deformaciones del terreno. Los pretendidos incrementos en la tasa de emisión difusa de gases volcánicos no ha sido demostrada y grupos científicos del CSIC y la Universidad de La Laguna han negado, con pruebas, su existencia. La predicción de una erupción con meses de antelación y a plazo fijo (octubre de 2004) es, pues, totalmente ajena al campo de la ciencia y reprobable socialmente, por causar intranquilidad en la población e importantes perjuicios económicos para la isla de Tenerife.

3. Si nos atenemos al único enfoque científicamente aplicable, la predicción en el corto plazo geológico (unos cientos o miles de años) de una posible erupción volcánica en Tenerife ha de basarse en el estudio lo más profundo posible del comportamiento geológico pasado de la isla, en un horizonte de, al menos, 10.000-30.000 años. Esta predicción nunca podrá, posiblemente, anticipar con precisión la fecha de ocurrencia, sino su tipo y características una vez se produzca. La fecha precisa de la erupción sólo se podrá conocer una vez iniciado el proceso, en realidad una detección temprana mediante técnicas instrumentales adecuadas –principalmente sísmicas y de deformación del terreno–, y un estudio profundo del volcanismo reciente. Estas técnicas instrumentales están aún muy deficientemente desarrolladas en Tenerife, lo que explica la imposibilidad de una localización precisa de la actividad sísmica de estos meses y su correcta interpretación, circunstancia dificilmente justificable en una isla tan poblada y con una economía basada fundamentalmente en el turismo.

4. De la fase preliminar de este estudio, iniciado en 2001, se desprende que la zona más probable es precisamente donde se está ahora localizando la actividad sísmica de Tenerife. La interpretación habitual en este tipo de escenarios es que suele tratarse de una inyección de magma profundo hacia la superficie, por medio de un "dique" de magma que fractura hidráulicamente el terreno en su avance hacia la superficie, generando la sismicidad. El que la erupción se produzca o no depende de la capacidad de esta intrusión de avanzar hasta la superficie, lo que no siempre ocurre ya que con frecuencia se enfrían y quedan como diques de lava en el subsuelo (donde hay muchos más diques que erupciones). Hay numerosos casos conocidos de crisis sísmicas mucho mas intensas que esta de mayo de 2004 que no llegaron a culminar en una erupción volcánica, al menos en la parte emergida de las islas. Especialmente conocidas son las de la zona de Pájara, en Fuerteventura, entre 1914 y 1917, y la de El Hierro en 1793, tan intensa que se llegó a programar la evacuación total de la isla.

5. Otra conclusión que se desprende de estos estudios es que la mayoría de las erupciones ocurridas recientemente, y por consiguiente las más probable, son de naturaleza comparativamente poco peligrosa para la población, con baja explosividad en la mayoría de los casos y muy bajas velocidades de avance de las coladas de lava. No deberían, en consecuencia, producir víctimas a pesar de la mayor densidad demográfica, especialmente si se adoptan medidas eficaces basadas en la información científica rigurosa y contrastada. Este hecho queda corroborado por la ausencia de víctimas en las erupciones históricas (últimos 500 años) habidas en el Archipiélago. Todas las erupciones de Tenerife han sido de la misma naturaleza estromboliana (de muy baja energía y lavas basálticas o intermedias) hasta hace 1790 años (erupción de Roques Blancos).

6. La sismicidad, aunque pueda ser espectacular en ocasiones, no debería causar alarma ya que la intensidad de estos terremotos de origen volcánico no debe alcanzar niveles peligrosos para la población, si se adoptan unas medidas de protección sencillas.

En síntesis, a juzgar por la historia volcánica reciente de Tenerife, las erupciones volcánicas más previsibles en esta isla es muy posible que sean menos peligrosas para la población que los incendios forestales que generen, aunque pueden ser mucho más dañinas para las infraestructuras y edificios.

9. UN ESTUDIO COMPARATIVO: EL RIESGO VOLCÁNICO EN LAS ISLAS DE TENERIFE Y HAWAII

Tal vez ayude a enfocar correctamente el nivel de peligrosidad real de las erupciones volcánicas previsibles en Tenerife si lo comparamos con otro escenario muy similar, la isla de Hawaii (USA). De mayor tamaño pero menor demografía (unos 200.000 habitantes), es asimismo una isla volcánica oceánica con volcanismo activo y fundamenta su economía en el turismo, de gran importancia y muy alto nivel. Esta isla ha tenido muchísimas más erupciones que Tenerife en los últimos 10.000 años (Fig. 8) en sus dos volcanes principales –el Mauna Loa y el Kilauea–, este último con una erupción en marcha desde hace 22 años (indicada con una flecha en la Fig. 8). Una costumbre de los cientos de miles de visitantes del Parque Nacional de Hawaii es contemplar el frente de avance de la colada (de muy lento progreso, al igual que las de este tipo en Canarias), generalmente en excursiones nocturnas de centenares de personas con sus hijos pequeños. La zona turística del suroeste de la isla (Kona), mundialmente renombrada, está situada en una zona donde han sido frecuentes las erupciones del Mauna Loa (Fig. 9).

El mayor peso del edificio insular de Hawaii, la mayor energía del punto caliente (chorro de magma continuo procedente de gran profundidad en el manto terrestre) que alimenta su volcanismo, y la presencia de fallas activas de enorme envergadura (p. ej. el complejo de fallas del Kilauea) originan frecuentes terremotos, algunos de magnitudes impensables en Canarias, a veces >7 en la escala de Richter (Fig. 10). En comparación con los pocos cientos, que como mucho se dan al año en Tenerife –la mayoría imperceptibles (magnitud <1.5)– en la isla de Hawaii se registran más de 10.000 al año, de ellos más de 2.000 de magnitud >1.5. En el periodo 1960-1996 se registraron en la isla de Hawaii 7.241 terremotos de magnitud >3 (Fig. 10), lo que supone unos 200 al año superiores a lo que aquí se considera un gran terremoto, como el ocurrido en el valle de Icod el 11-5-2004, que apenas alcanzó esa magnitud.

Estos terremotos y otros fenómenos en las islas y su entorno han generado grandes tsunamis, que han arrasado poblaciones costeras, como los que en 1946 y 1960 arrasaron parte de la capital (Hilo), produciendo más de 150 víctimas. Su situación geográfica la hace vulnerable a los tifones, que en algunos casos –p. ej. el tifón Hugo– ha devastado partes importantes de la isla.

En comparación Canarias es un auténtico paraíso en cuanto a riesgos naturales se refiere. Y esto en relación con una isla que se promociona, precisamente y con justicia y gran éxito, como un paraíso tropical ¿Cuál es pues la explicación de que aquí se genere alarma social por terremotos apenas perceptibles? Esta explicación posiblemente radique en la absoluta falta de información, que magnifica los hechos, a lo que contribuye en no poco la amplificación de los medios de comunicación. Es incompatible, por ejemplo, la presentación en una página de Internet de los sismos de Canarias, incluso con magnitudes <1, con el nivel actual de desinformación. Esto es contraproducente para la tranquilidad y calidad de vida de la población y para los intereses económicos del Archipiélago.

Esta diferencia de percepción del riesgo eruptivo se debe, precisamente, a la baja frecuencia de las erupciones en Canarias, que hace que este fenómeno, consustancial de las islas, se olvide de generación a generación y se perciba como extraño y desconocido, lo que aumenta la percepción de riesgo. Obviamente esto no ocurre en Hawaii, donde incluso tienen una erupción permanente desde 1983. En Tenerife la capital y las principales zonas pobladas y turísticas, así como los puertos, aeropuertos y demás infraestructuras esenciales está, en zonas con muy baja probabilidad de verse afectadas por erupciones volcánicas o protegidas topográficamente. En cambio en Hawaii, están directamente amenazadas tanto la capital y las zonas turísticas, como los aeropuertos y otras infraestructuras vitales. Algo similar ocurre en las islas de La Palma y El Hierro.

En la erupción del Chinyero, en 1909, no hubo una alarma equiparable (Fig. 11), a pesar de que los medios tecnológicos y científicos eran prácticamente inexistentes. ¿Están la tecnología y la ciencia actuales bien dirigidas y encaminadas, o, más que ayudar, contribuyen a la desinformación y la intranquilidad innecesarias? Son cuestiones que tal vez deberíamos intentar aclarar después de este "ensayo general" del 2004.

En contra de algunas opiniones, la información científicamente correcta es la clave. La población de Hawaii está informada, no asustada. Y esto porque sus autoridades están asimismo informadas por instituciones científicas de gran solvencia (el Observatorio Volcanológico de Hawaii, HVO; La Universidad de Hilo, etc.), que tienen científicos de primera fila internacional y están adecuadamente dotados de medios (el HVO alcanzó el *nivel óptimo* en medios instrumentales en 1984, básicamente una red de 51 estaciones sísmicas, localizadas sobre los volcanes activos Mauna Loa y Kilauea, ver http:// www. wovo.org).

La Asociación Internacional de Volcanología recomienda que los geocientíficos "colaboren en actividades públicas y educativas para concienciar a las autoridades y al público en general sobre los volcanes y sus peligros potenciales". Con ese espíritu y ese propósito se ha preparado este libro.

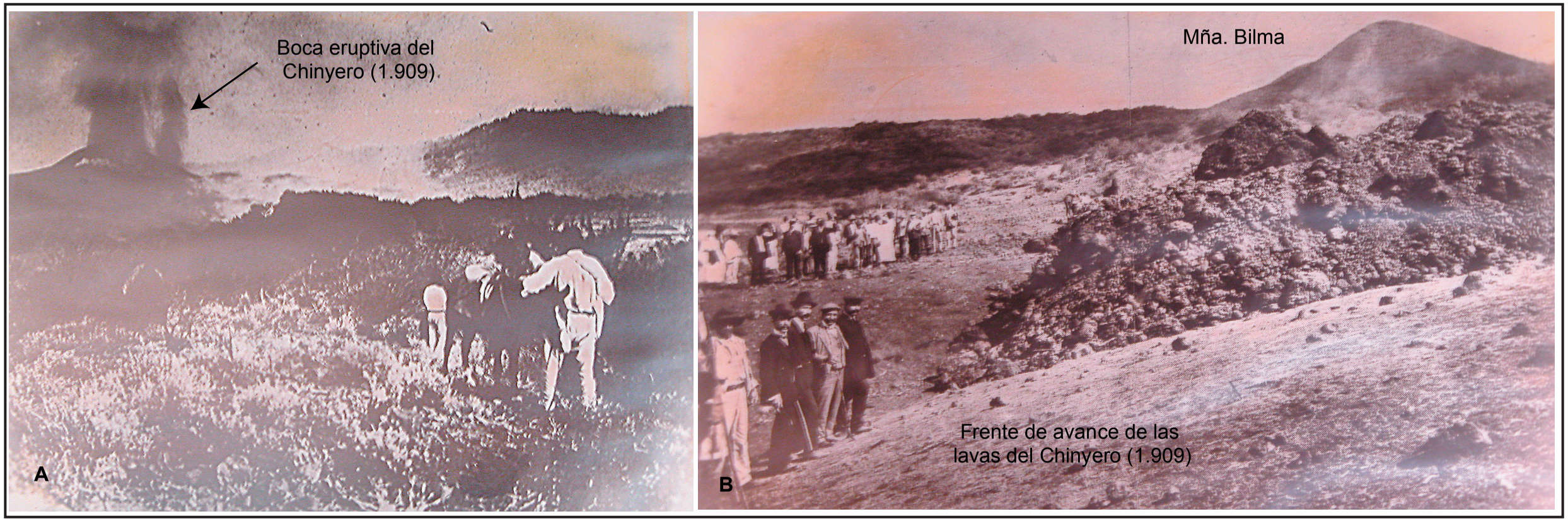


Figura 11.- Fotografías de la erupción del Chinyero. En la fotografía A se aprecia la columna eruptiva y la lluvia de piroclastos (picón), así como el flujo de lavas y los incendios forestales. En la B se ve uno de los frentes de colada que se enfrió y detuvo al oeste de la Mña. de Bilma, cerca de Santiago del Teide.
En ambas imágenes se aprecia el escaso peligro asociado a estas erupciones, como refleja la actitud de los campesinos (A) y espectadores (B).
(Fotografías del Centro de Fotografía Isla de Tenerife, Sta. Cruz de Tenerife).

Bibliografía seleccionada

(Consultar la dirección **ipna.csic.es**)

–Los Peligros Volcánicos, Robert I. Tilling, Organización Mundial de Observatorios Volcanológicos (WOVO), 1993, 125 pgs.

–Geología y volcanología de la islas volcánicas oceánicas: Canarias-Hawaii, Juan Carlos Carracedo y Robert I. Tilling, Servicio de Publicaciones de la Caja General de Ahorros de Canarias (Pub.nº 293), 2003, 73 pgs.

–Dataciones radiométricas (Carbono 14 y K/Ar) del Teide y el Rift Noroeste de Tenerife, Islas Canarias, Juan Carlos Carracedo y otros, Estudios Geológicos, 59, 2003, pgs. 15 a 29.

–Geología y Volcanología de La Palma y El Hierro, Canarias Occidentales, Juan Carlos Carracedo y otros, Estudios Geológicos, 57, 2001, pgs. 175 a 273.

–Geología de España: capítulo de la Geología de Canarias, Juan Carlos Carracedo y otros, Pub. The Geological Society (London), 2002, 649 pgs.

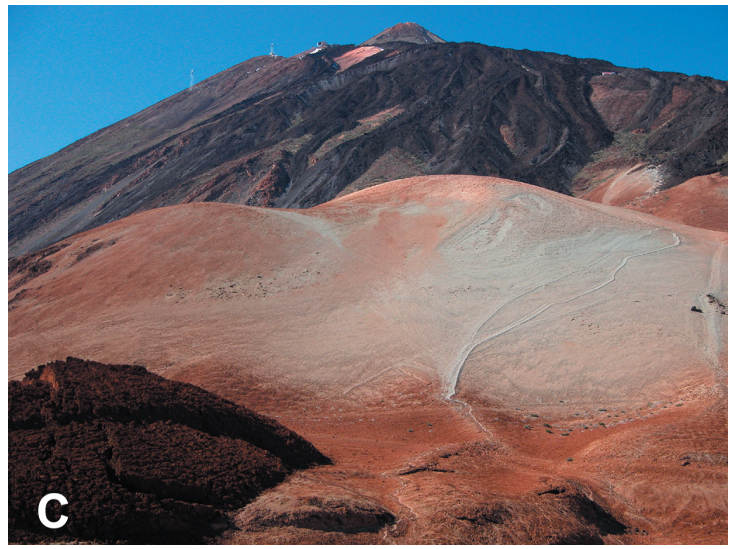
–Origen y evolución del volcanismo de las Islas Canarias, Juan Carlos Carracedo y otros, En: Ciencia y Cultura en Canarias, Pub. Museo de la Ciencia y El Cosmos, Cabildo de Tenerife, 1998. pgs. 67 a 89.

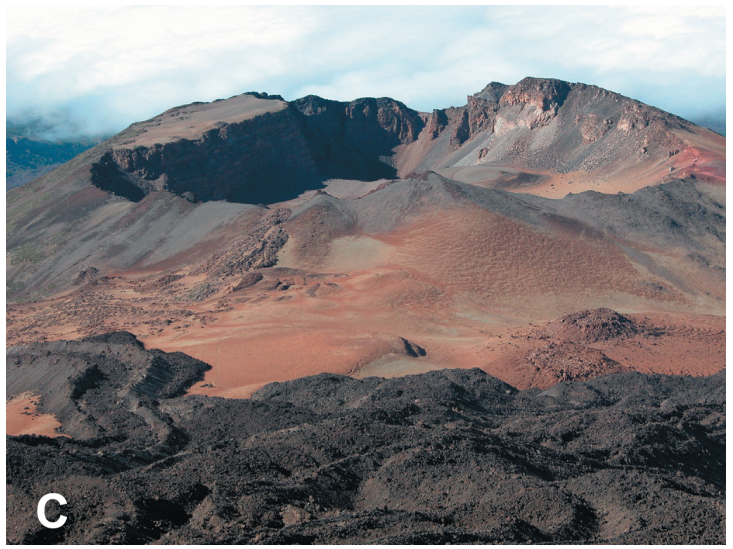
–Volcanismo reciente y riesgo volcánico, Juan Carlos Carracedo y otros. En: Naturaleza de las Islas Canarias, Turquesa ediciones, 2001, pgs. 65-75.

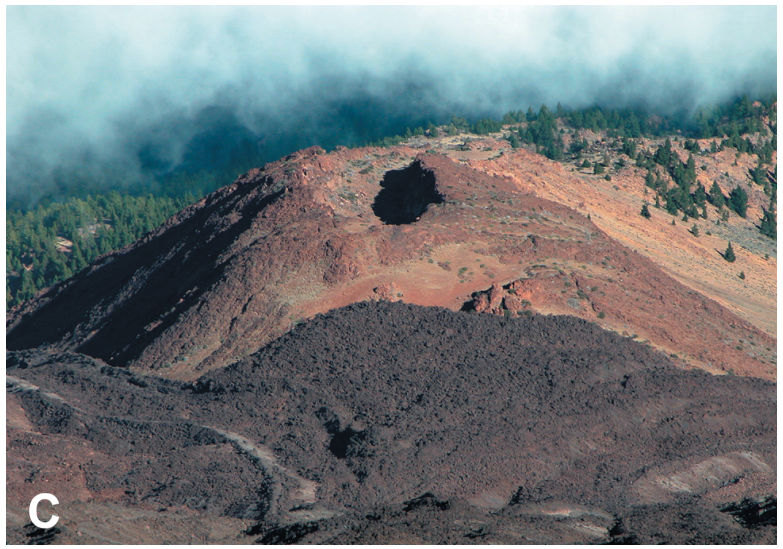
–Riesgo volcánico, Juan Carlos Carracedo, Investigación y Ciencia, Temas 8: Volcanes, 1997, pgs. 100-112.

– Erupción del Chinyero a través de la prensa. Marcos Brito, Llanoazur ediciones, 2003, 110 pgs.

LÁMINAS







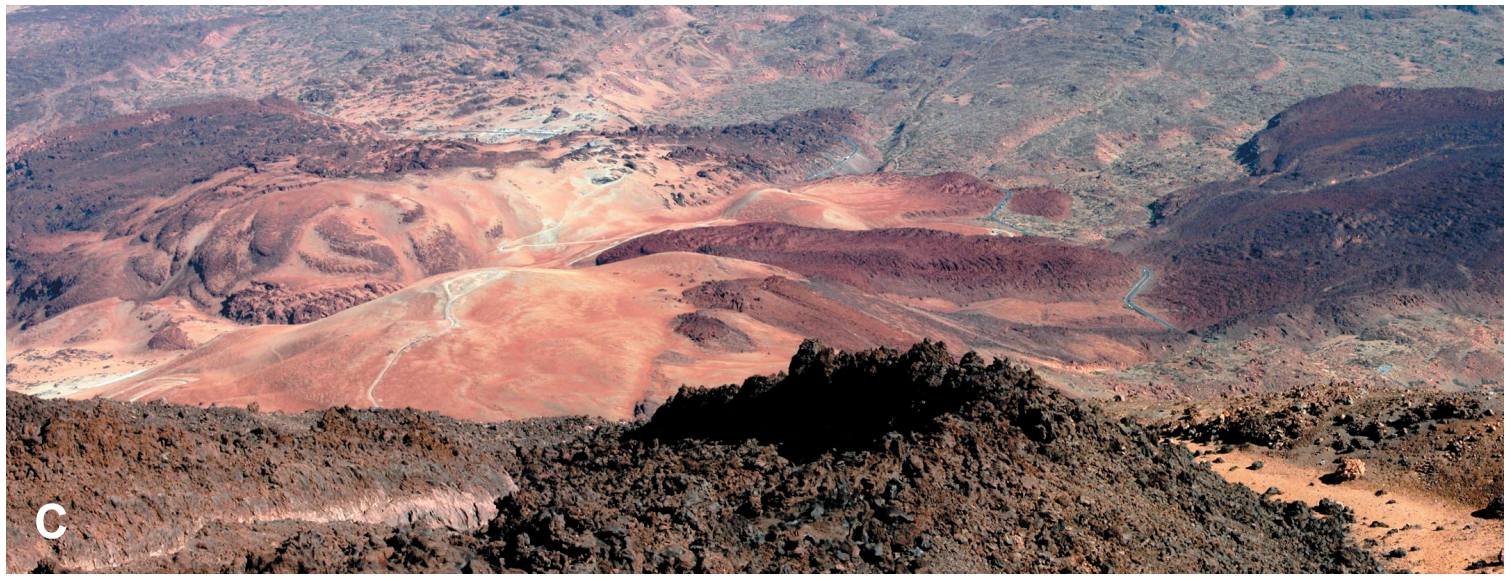


LÁMINA 1.- Diferentes tipos de centros eruptivos típicos de la zona del Teide y la Dorsal Noroeste de Tenerife.
A. Estratovolcán principal del Teide, con el perfil del cráter antiguo y, en la cúspide, el cono volcánico de la erupción de 1.240 BP (Siglo VIII), del que se ven las coladas negras de fonolitas obsidiánicas. En primer plano se ve el cono fonolítico estromboliano de Mña. Blanca, formado por acumulación de pómez y escorias fonolíticas esponjosas y ligeras (Foto J.C. Carracedo). B. Cráter explosivo (freatomagmático) del Pico Viejo. En primer plano se ven las coladas negras del Siglo VIII del Teide, con los típicos canales lávicos (Foto J.C. Carracedo). C. Domo-colada fonolítico de Pico Cabras, rodeado por las coladas negras del Siglo VIII del Teide. Las coladas de Pico Cabras, de gran potencia, alcanzaron la costa por la Punta de Juan Centellas (Foto J.C. Carracedo). D. Cono volcánico de la Mña. de Garachico, formado en la erupción de 1.706 y cuyas lavas cegaron el puerto de Garachico. Típico cono basáltico estromboliano, formado por lapilli (picón) y escorias y bombas basálticas (Foto J.C. Carracedo). E. Domo y coladas de Mña. Blanca y Mña. Rajada, con coladas muy viscosas, de escaso recorrido y gran espesor. La explosividad algo mayor de estas erupciones extiende mantos de pómez por los alrededores, a veces en una elipse con un radio de varios kilómetros, a favor del viento (Foto J.C. Carracedo).

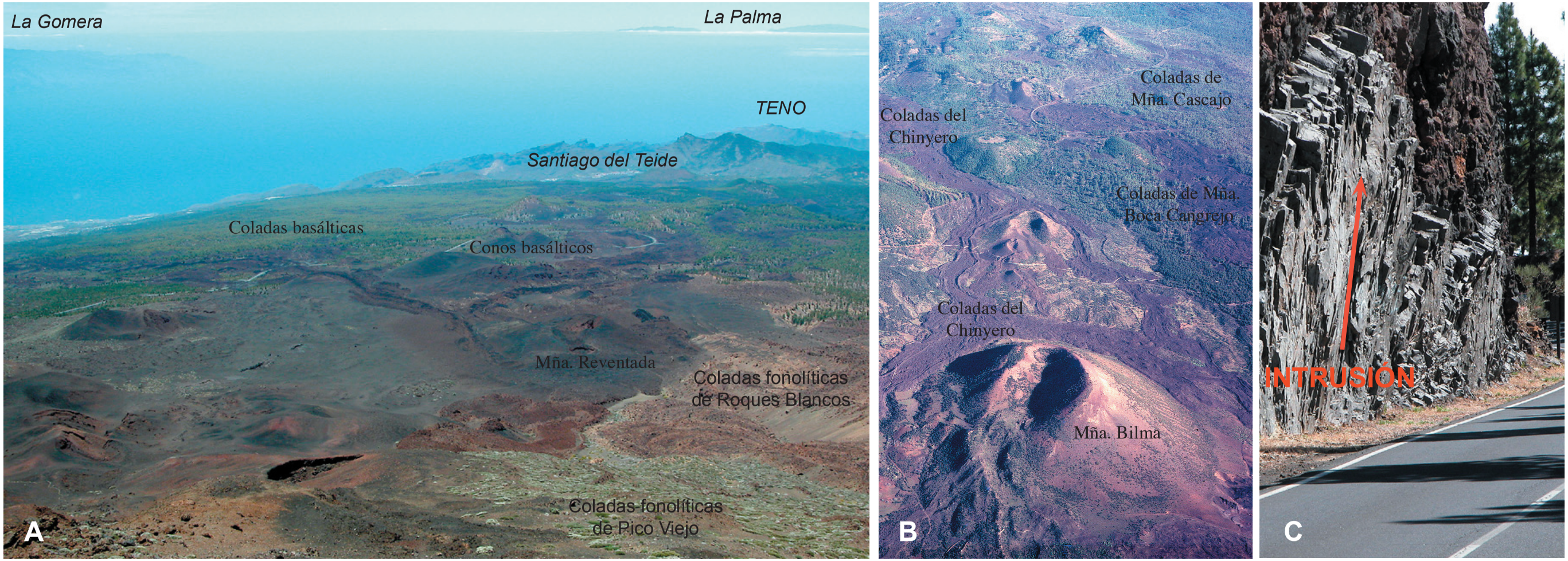


LÁMINA 2.- La Dorsal Noroeste, una "zona de rift" activa, típica de las islas volcánicas oceánicas.
A. Vista panorámica de la Dorsal Noroeste, con el macizo antiguo (Mioceno) de Teno al fondo. Se observa claramente el límite de las coladas fonolíticas (en primer plano), que se reducen a un entorno muy restringido alrededor del Teide y el Pico Viejo. Las coladas basálticas pueden verse recubriendo totalmente los flancos norte y sur de la Dorsal (Foto J.C. Carracedo).
B. Vista de la Dorsal Noroeste desde su extremo occidental, con la Mña. de Bilma en primer plano, y detrás, las coladas del Chinyero, Boca Cangrejo y Mña. Cascajo (Foto Alex Hansen).
C. Este tipo de dorsales se forma por agrupación de las erupciones a lo largo de una fractura muy profunda. El resultado es la acumulación de conos volcánicos, que forman la "dorsal". En el subsuelo existe el correlativo enjambre de conductos de alimentación de las diversas erupciones, que al salir por fracturas forma planos o diques, como el de la fotografía. Estos diques, cuando están activos, pueden tener suficiente energía y salir a la superficie generando una erupción volcánica. En muchas ocasiones, sin embargo, pueden detenerse y enfriarse en el subsuelo, generando terremotos y una "falsa alarma" (Foto J.C. Carracedo).

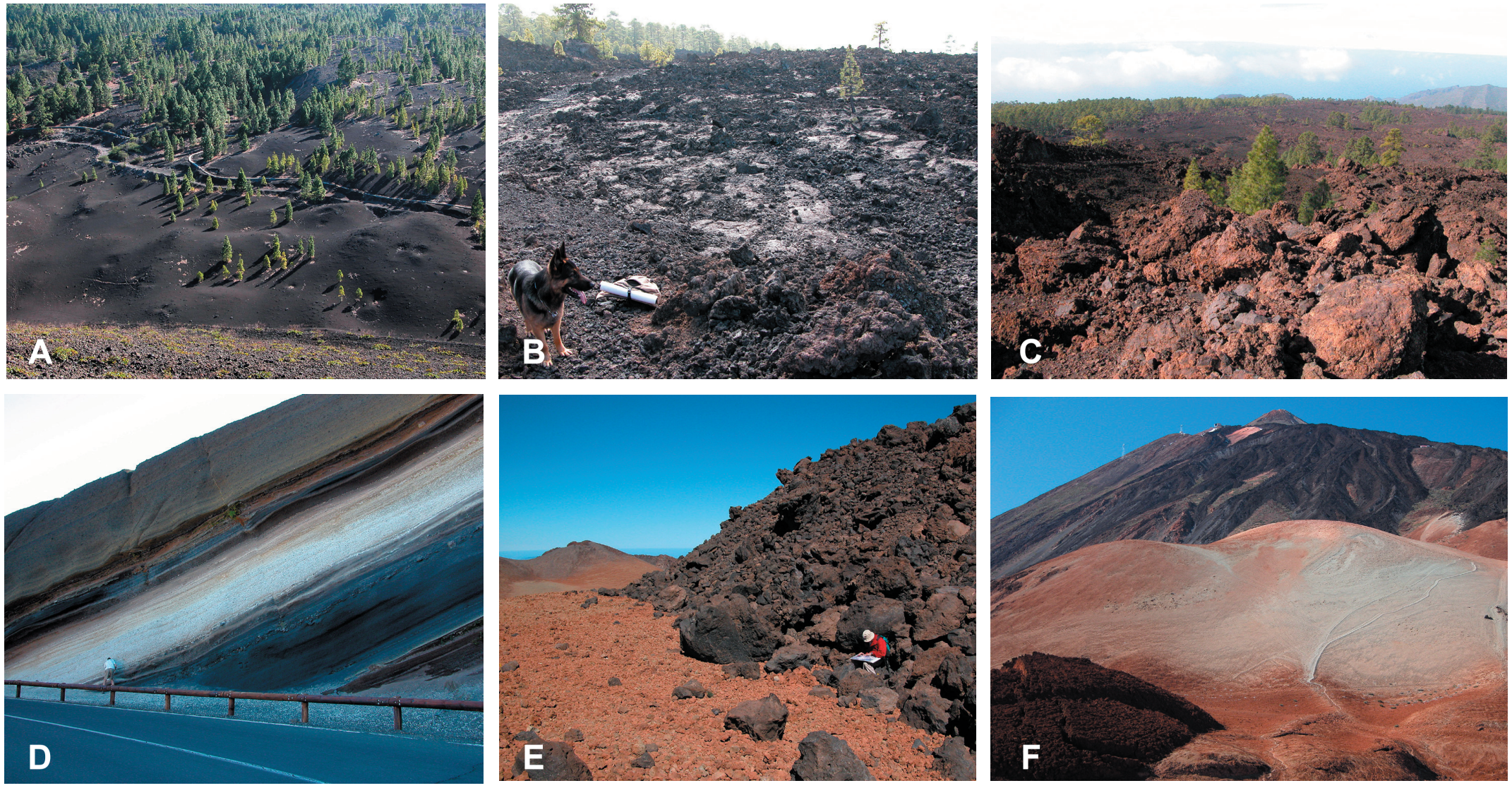


LÁMINA 3.- La isla de Tenerife presenta una gama de tipos de erupciones mucho más variada que en las islas volcánicas oceánicas típicas, por la presencia muy peculiar de magmas diferenciados (fonolíticos) en la zona central, mientras que en la Dorsal Noroeste predominan las típicos magmas basálticos. Por eso, tanto las erupciones como sus productos presentan una distribución polarizada a lo largo de la dorsal, aspecto de primordial importancia al definir los riesgos eruptivos. A. Manto de lapilli (picón) de la erupción de la Mña. de Garachico (1.706). De escaso peligro, pueden provocar incendios forestales en las cercanías del cono (Foto J.C. Carracedo). B. Típica colada basáltica-intermedia (Mña. Boca Cangrejo), con la superficie formando un malpaís (Foto J.C. Carracedo). C. Colada similar a la B (Mña. Boca Cangrejo), pero que ya ha recorrido más distancia, formando bolas de acreción. Estas lavas pueden recubrir extensas superficies y provocar incendios forestales a su paso (Foto J.C. Carracedo). D. Coladas fonolíticas de Roques Blancos (laderas del Pico Viejo). La formación de canales las aísla térmicamente y pueden así alcanzar mayores distancias, llegando con frecuencia a la costa (Foto J.A. Pérez Giralda). E. Colada fonolítica (de Los Gemelos) fluyendo por terreno de escasa pendiente. En este caso se forma un frente de gran espesor y avance muy lento, que suele detenerse a corta distancia (Foto J.C. Carracedo). F. La presencia de estos dos magmas tan diferentes (basálticos y fonolíticos) es excepcional, e indica la coexistencia de erupciones muy diferentes. En la foto se aprecia un manto de pómez fonolítico intercalado entre capas de picón de erupciones basálticas estrombolianas próximas (Foto J.C. Carracedo). (Fotos J.C. Carracedo)

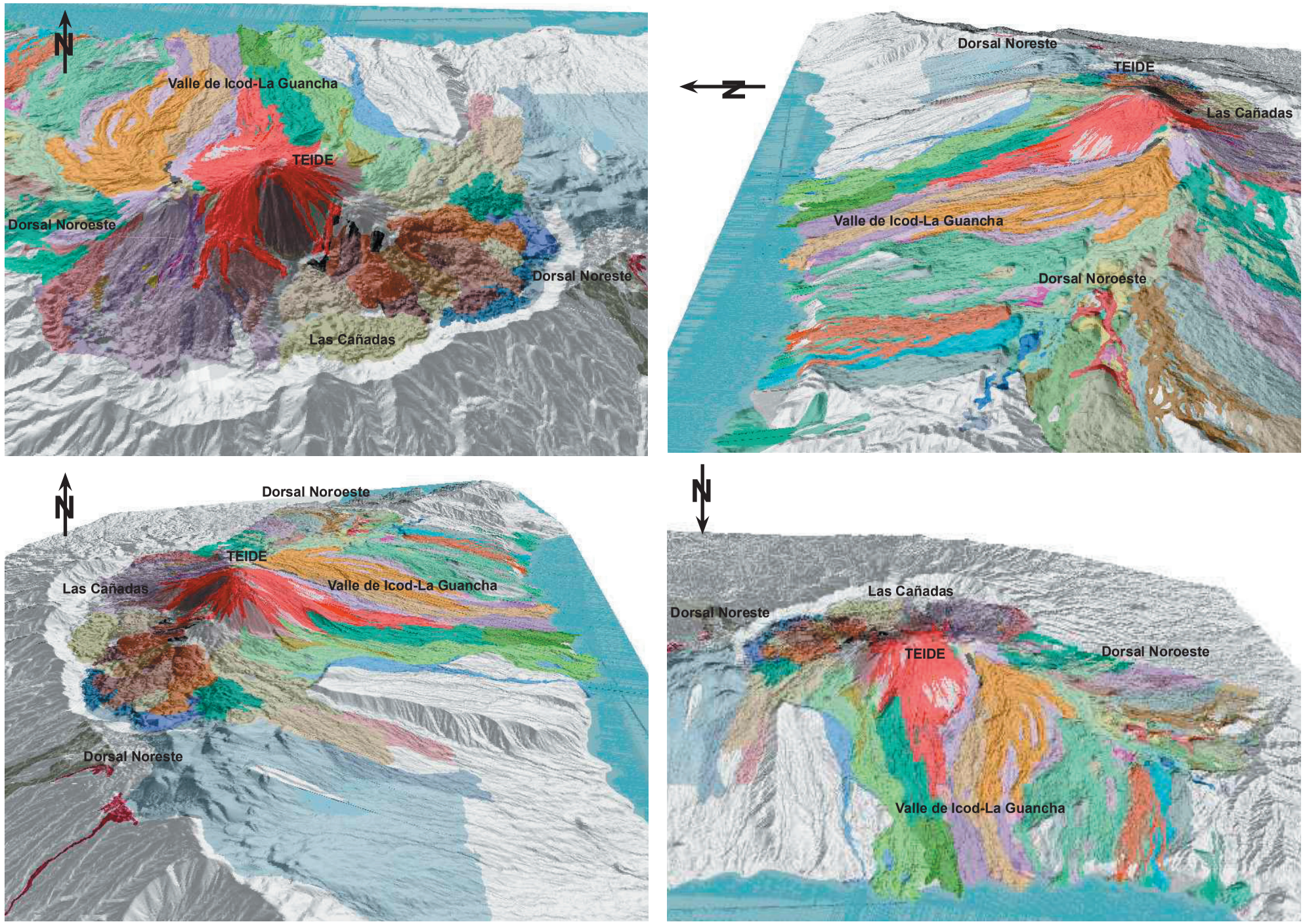
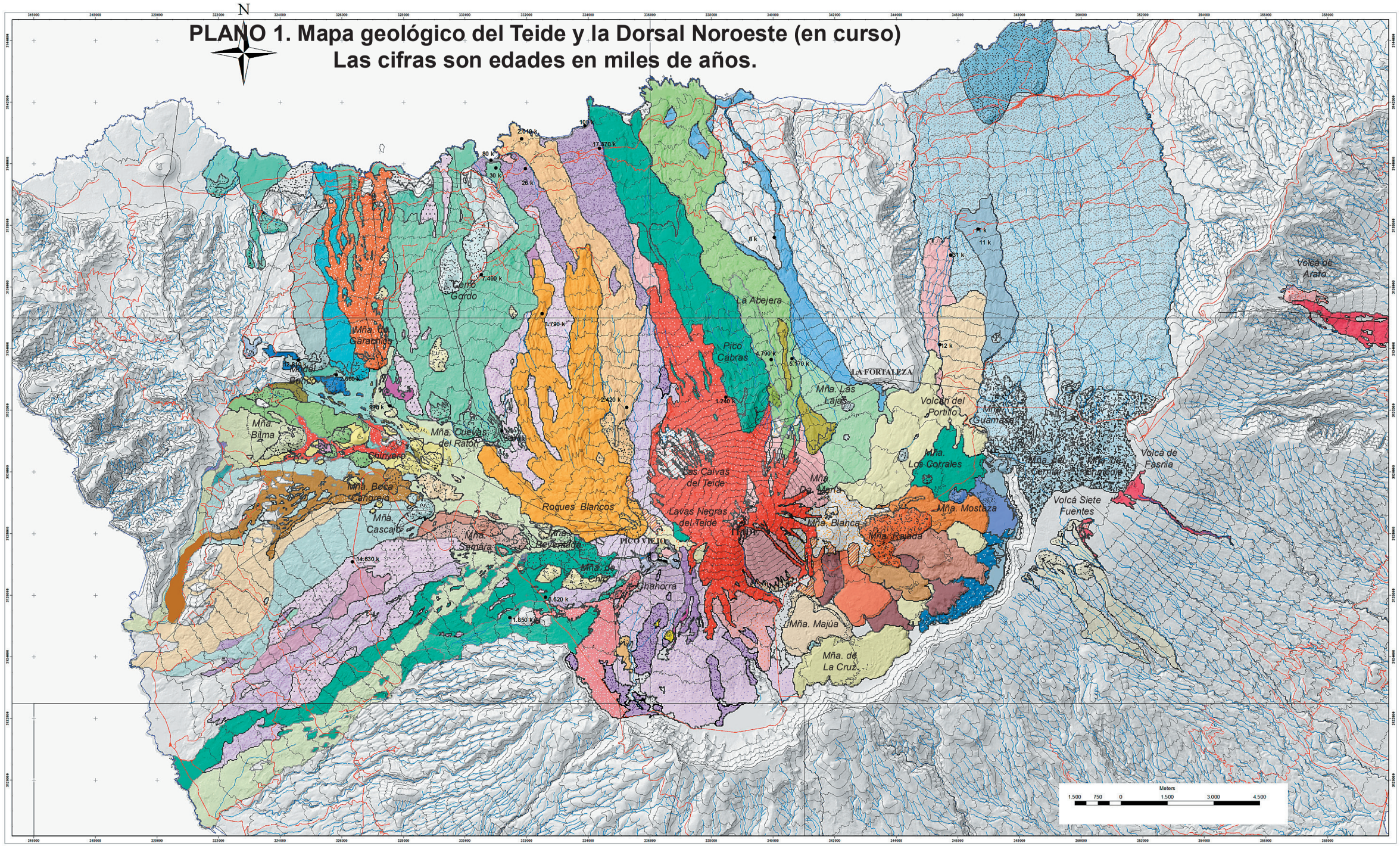


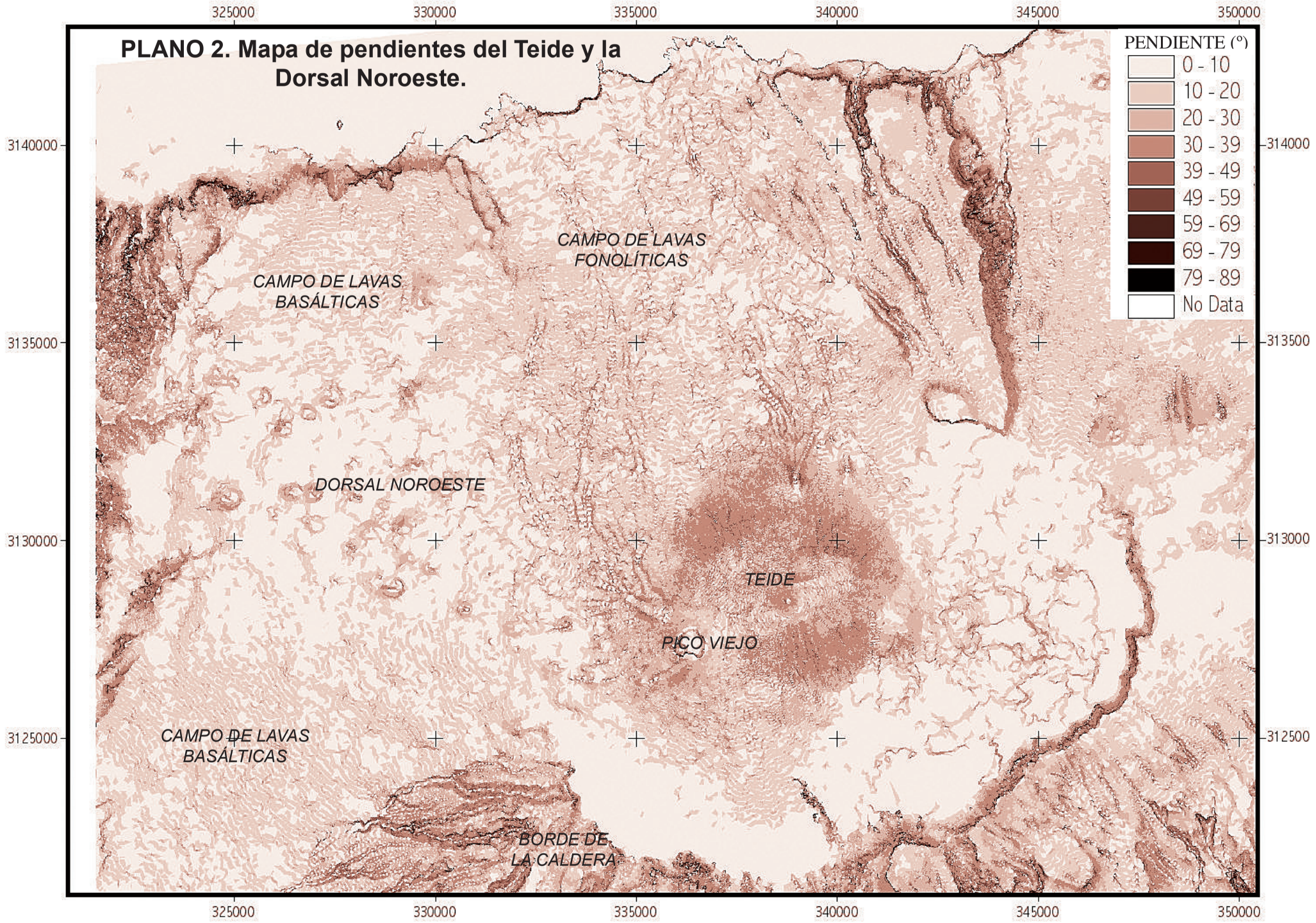
LÁMINA 4.- Imágenes en relieve de los centros de emisión y el flujo de coladas de las erupciones del Teide y la Dorsal Noroeste, vistas desde los cuatro puntos cardinales.

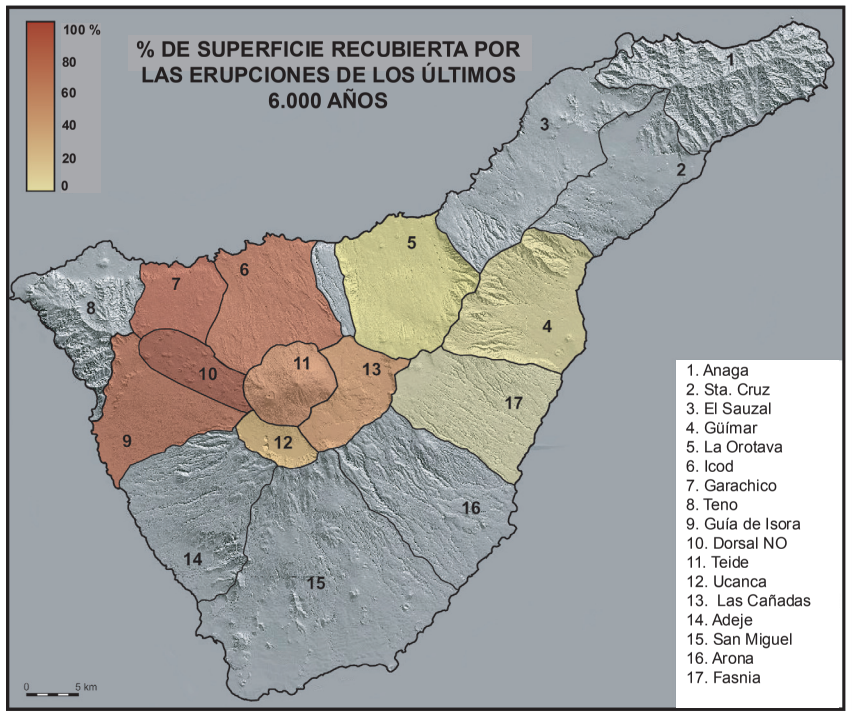
PLANOS

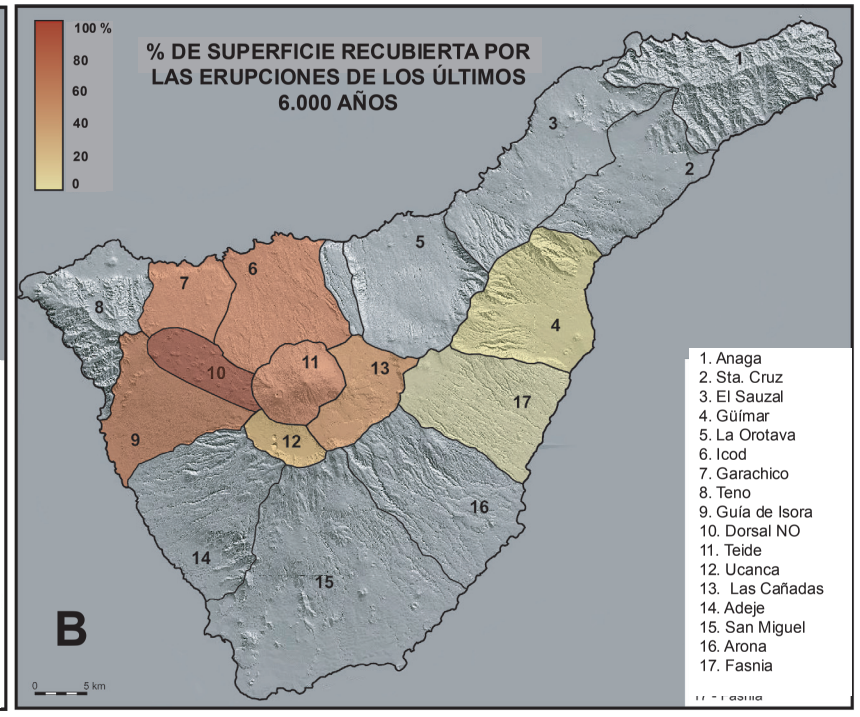
PLANO 1. Mapa geológico del Teide y la Dorsal Noroeste (en curso)
Las cifras son edades en miles de años.

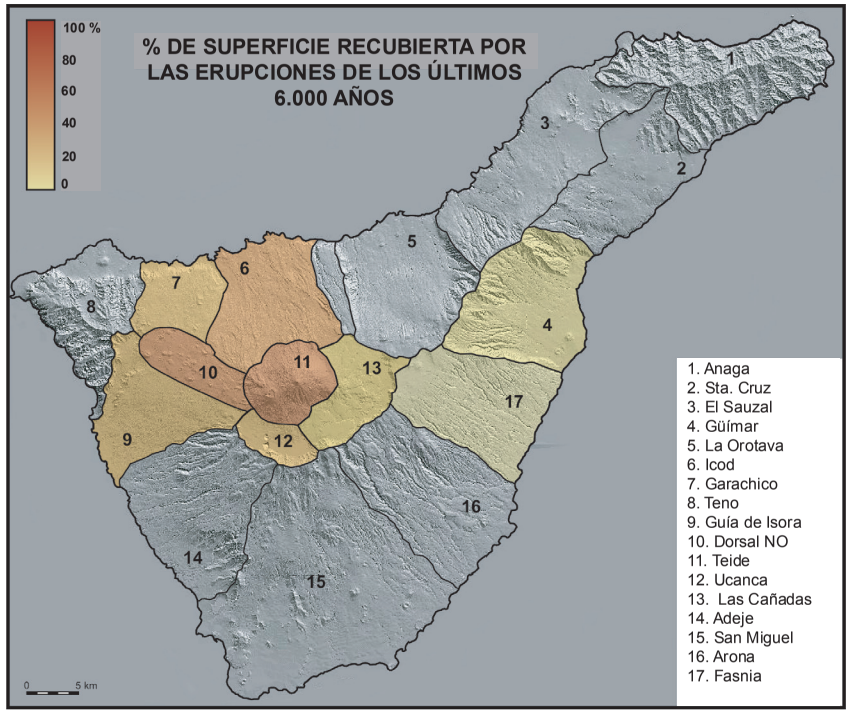


PLANO 2. Mapa de pendientes del Teide y la Dorsal Noroeste.









PLANO 3. Porcentaje del area cubierta por las erupciones de los últimos 12.000 (A), 6.000 (B) y 2.000 (C) años.

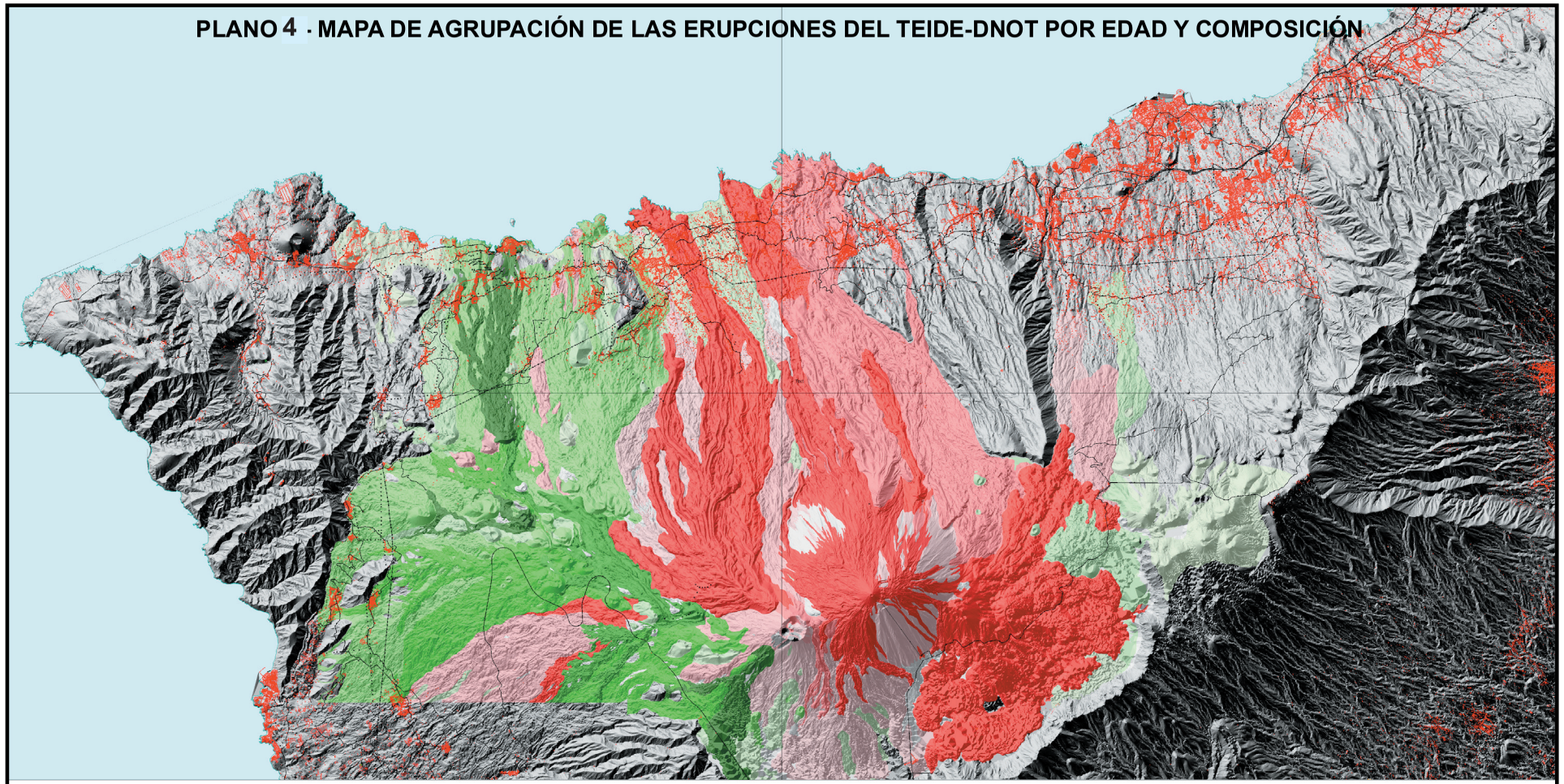
Mapas que indican el porcentaje del área cubierta por las erupciones de los últimos 12.000 (A), 6.000 (B) y 2.000 (C) años. Las superficies han sido definidas a partir de la cartografía numérica de las lavas en un SIG. Las 17 zonas han sido delimitadas por la topografía, el curso de las coladas y las unidades geológicas principales.

Se puede observar que la actividad eruptiva se ha concentrado en este periodo en el complejo central (Teide-Pico Viejo y sus centros adventicios) y en la parte noroeste de la isla, excepto el macizo mioceno de Teno (8). La Dorsal Noroeste (7,9,10) ha sido siempre la más activa, con el 95% de su superficie recubierta por lavas en los últimos 12.000 años. La Dorsal Noreste (4, 5, 17), a pesar de una erupción histórica (1.704-1.705) de escasa importancia, parece tener un volcanismo en retroceso (<10% de superficie recubierta).

Las erupciones fonolíticas de los centros periféricos del Teide se han localizado en la intersección de las dorsales (Mña. Blanca, Mña. Rajada, Roques Blancos) y en el perímetro basal del edificio principal (Pico Cabras, Abejera, Mña. Las Lajas).

Las zonas en gris en el mapa A (8, 14-16) no han tenido erupciones ni han sido invadidas por lavas en los útimos 12.000 años.

PLANO 4 · MAPA DE AGRUPACIÓN DE LAS ERUPCIONES DEL TEIDE-DNOT POR EDAD Y COMPOSICIÓN

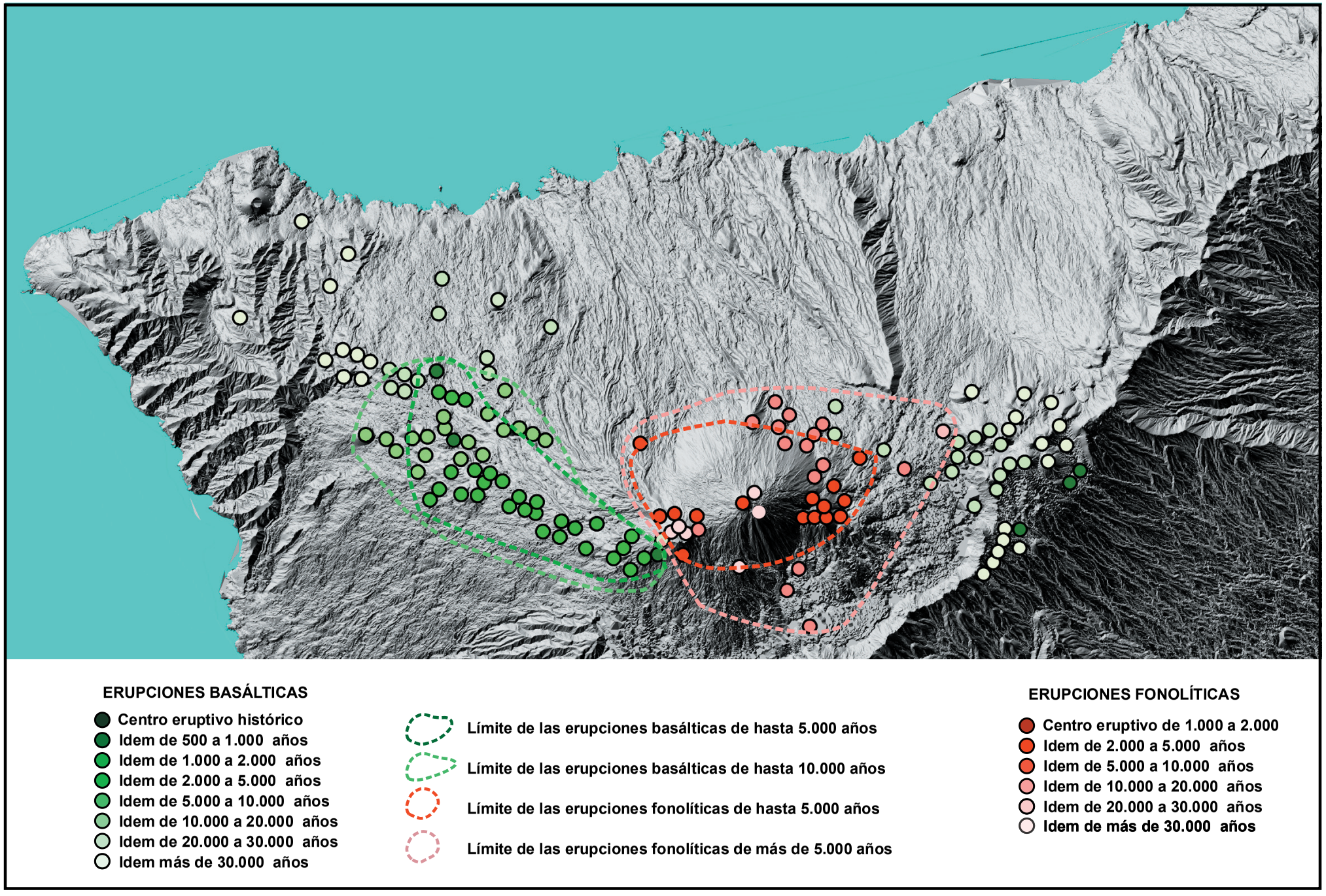


COLADAS BASÁLTICAS E INTERMEDIAS

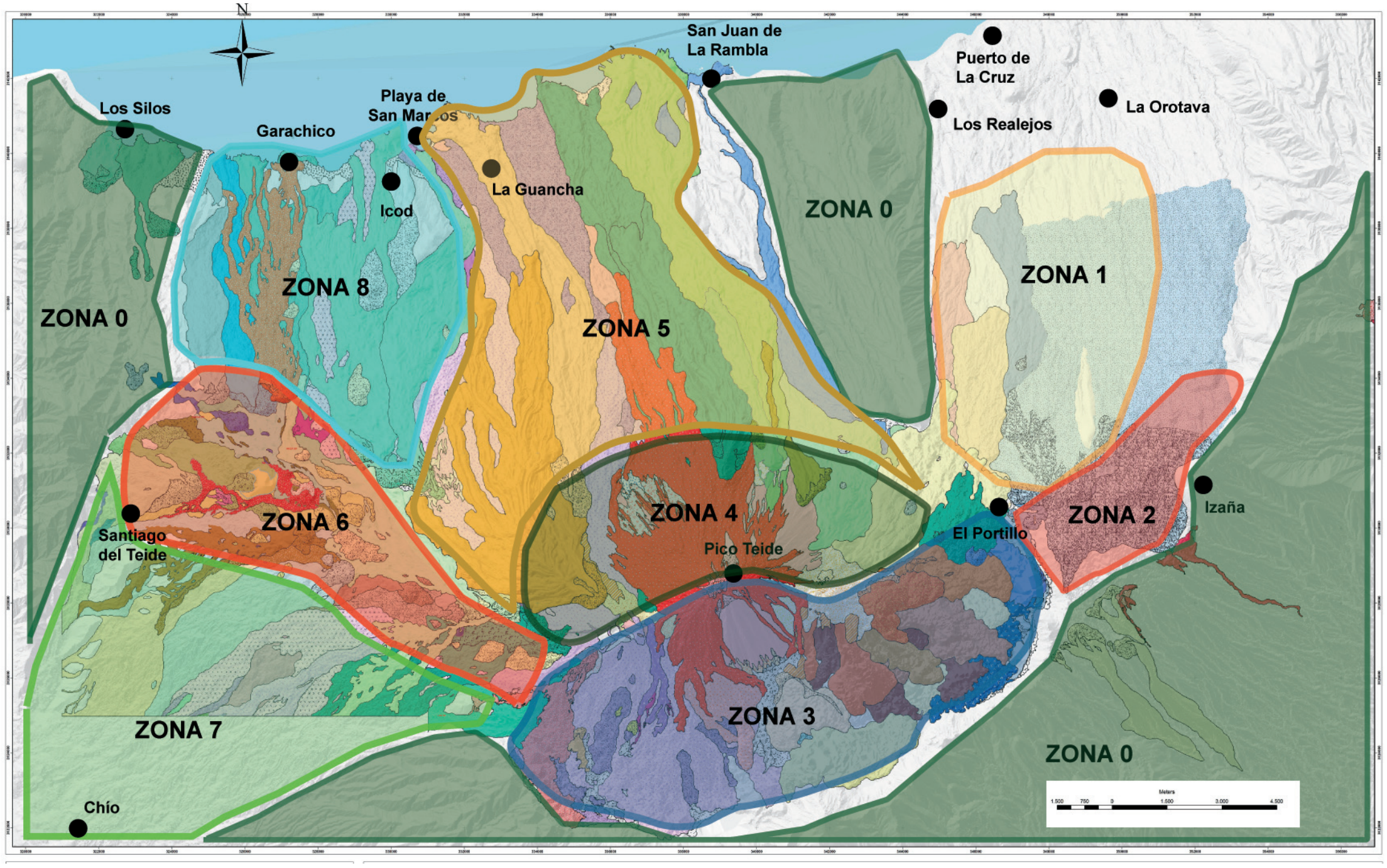
- Erupciones históricas
- Erupciones de 500 a 1.000 años
- Erupciones de 1.000 a 2.000 años
- Erupciones de 2.000 a 5.000 años
- Erupciones de 5.000 a 10.000 años
- Erupciones de 10.000 a 20.000 años
- Erupciones de 20.000 a 30.000 años
- Erupciones de más de 30.000 años

COLADAS FONOLÍTICAS

- Erupciones de 1.000 a 2.000 años
- Erupciones de 2.000 a 5.000 años
- Erupciones de 5.000 a 10.000 años
- Erupciones de 10.000 a 20.000 años
- Erupciones de 20.000 a 30.000 años
- Erupciones de >30.000 años

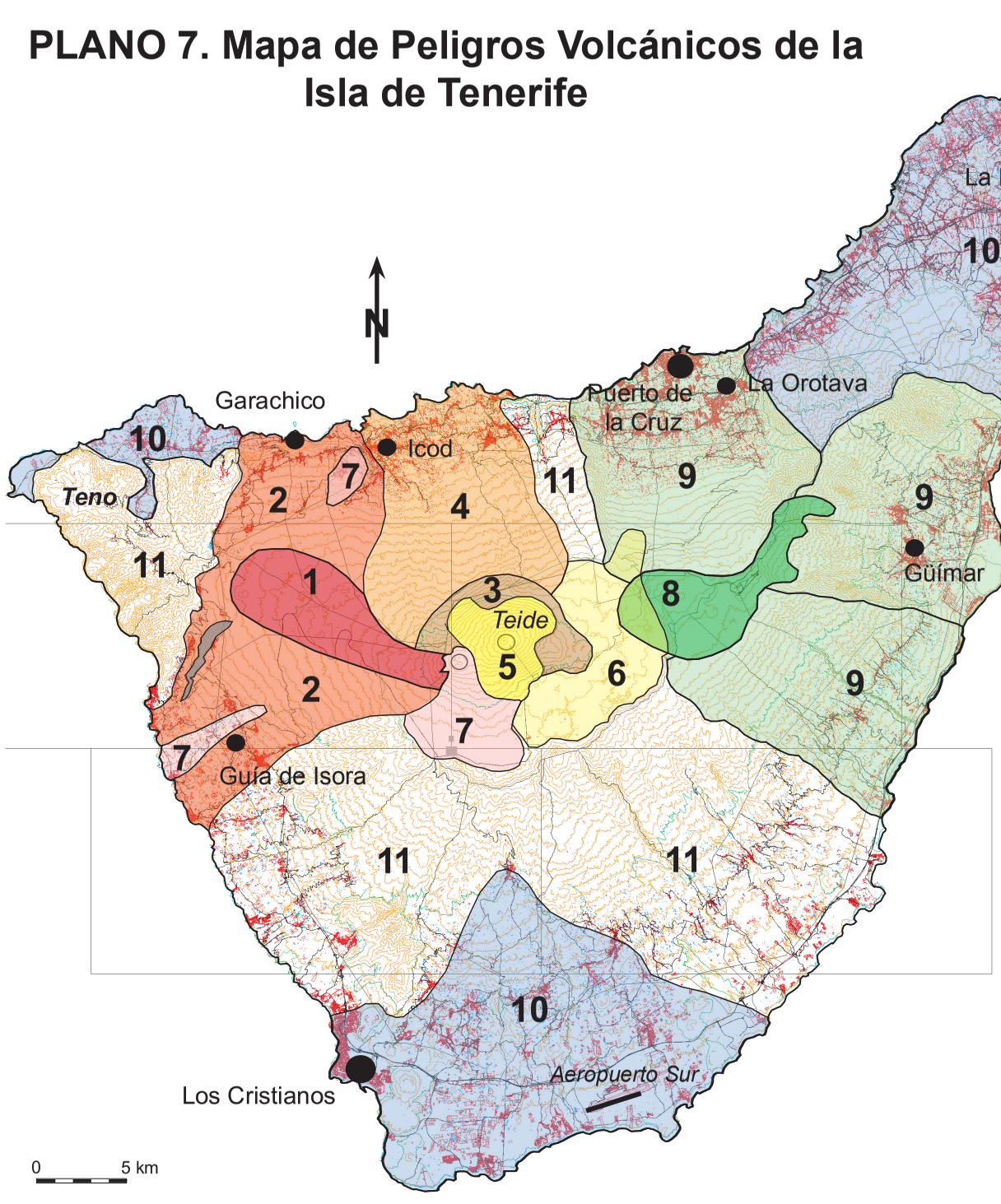


PLANO 5.- Distribución de los centros de emisión del Teide y las Dorsales por su edad y composición. Observar la progresiva reducción de la cámara magmática fonolítica del Teide (líneas de trazos en rojo) y la concentración de las basálticas e intermedias en la Dorsal Noroeste.



PLANO6. Zonificación de peligros volcánicos (inundación por flujo de coladas) del Teide y la Dorsal Noroeste en función de su relación con los principales edificios y estructuras volcánicas activas.

PLANO 7. Mapa de Peligros Volcánicos de la Isla de Tenerife



LEYENDA

(A mayor valor, menor probabilidad y peligro)

1. 1. Dorsal Noroeste: la parte más activa de la isla en los últimos 20.000 años. Al menos 5 erupciones en los últimos 2.000 años. Erupciones estrombolianas generando conos y coladas basálticas. Lluvia de picón y escorias e incendios forestales. Emisiones de gas con posible contaminación de galerías. última erupción: El Chinyero, año 1.909.

2. 2. Flancos de la Dorsal Noroeste: áreas invadidas por coladas que provienen de la Dorsal y alcanzan frecuentemente la costa. Destrucción asociada al paso de coladas y a incendios forestales. Lluvia de cenizas finas, según la fuerza y dirección del viento. Explosiones freáticas y colapsos del frente de coladas al llegar estas al mar.

3. 3. Domos periféricos del Teide: domos y domo-coladas fonolíticos. Erupciones de larga duración, asociadas con lluvias de pómez y, eventualmente, pequeños flujos piroclásticos en relación con colapsos de domo. Sismicidad frecuente y relativamente intensa (M<5).Última erupción: Roqques Blancos, 1.790 BP.

4. 4. Laderas del norte del Teide: coladas fonolíticas de gran potencia emitidas por domos (3) y que alcanzan la costa norte. Destrucción asociada a enormes pero muy lentas coladas. Incendios forestales y lluvias de pómez deescasa importancia. Al menos 5 erupciones en los últimos 6.000 años.

5. 5. Estratovolcán del Teide (edificio principal): potentes coladas fonolíticas muy ramificadas. Sólo una erupción en los últimos 30.000 años (las lavas negras de fonolitas obsidianicas de 1.240 BP). Probabilidad muy baja de explosiones freatomagmáticas (última explosión freatomagmática >17.500 años).

6. 6. Parte oriental de la caldera de Las Cañadas: domos y domo-coladas fonolíticos de Montaña Blanca y Montaña Rajada. Peligros similares a los de las zonas 3 y 4, pero con menor actividad en los últimos 6.000 años. Última erupción: erupción moderadamente explosiva de Montaña Blanca (2.020 BP).

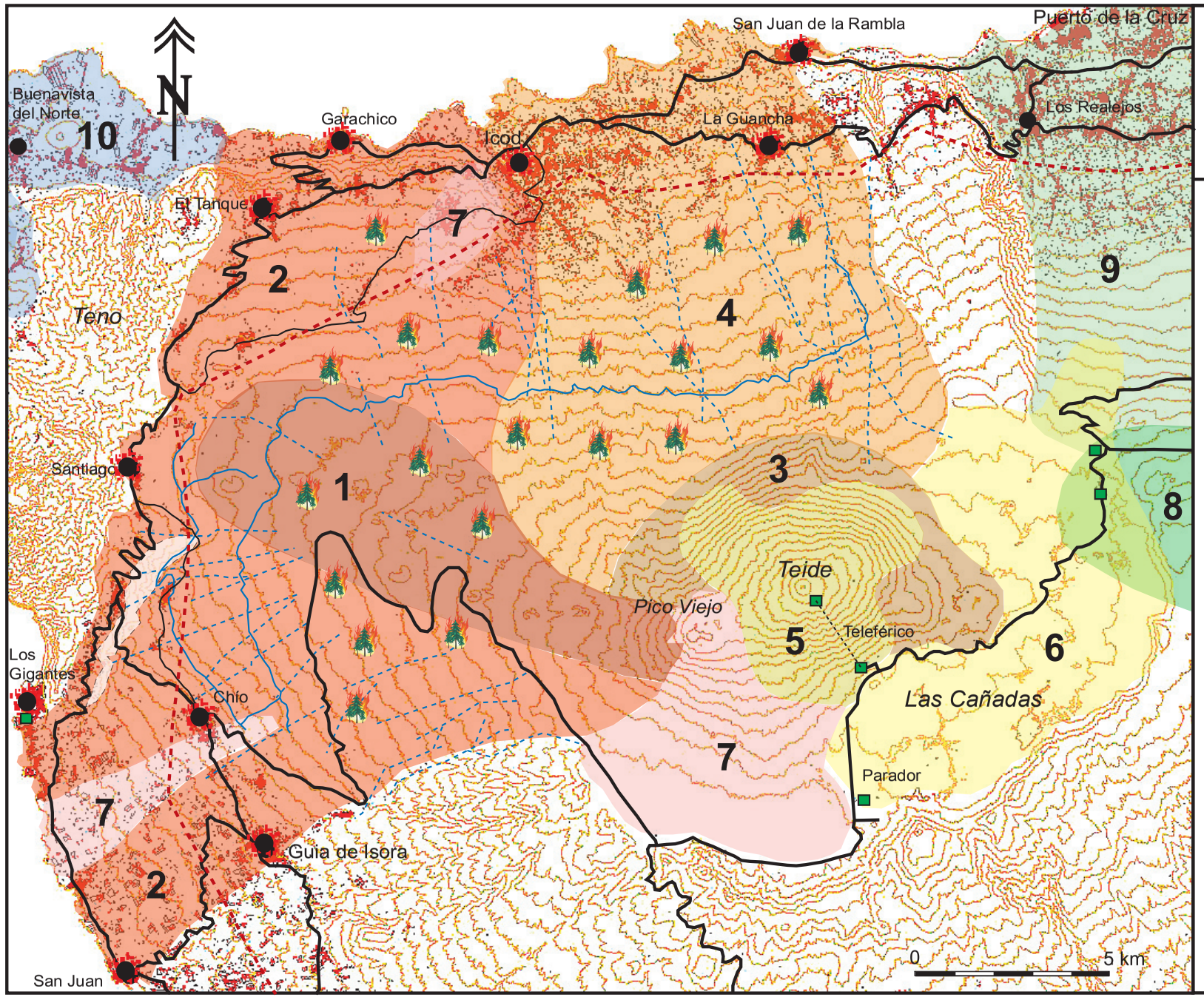
7. 7. Parte occidental de la caldera de Las Cañadas (Ucanca): coladas basaníticas a fonolíticas emitidas por el Teide y Pico Viejo. Sin actividad eruptiva en los últimos 15.000 años, excepto la erupción histórica (1.798) del Chahorra. Se incluyen en esta zona 7 las partes no recubiertas por lavas en los últimos 15.000 años.

8. 8. Dorsal Noreste: erupciones estrombolianas que han generado coladas y conos basálticos. Peligros similares a los de la zona 1. Sin actividad eruptiva en los últimos 30.000 años, excepto las erupciones históricas de escasa relevancia de 1.704-1,705 (Fasnia y Siete Fuentes).

9. 9. Fasniay Valles de La Orotava y Güímar: coladas basálticas emitidas en la Dorsal Noreste. últimas erupciones: 11.000 años en el valle de La Orotava, 1.704-1.705 en Fasnia y 1.705 en el Valle de Güímar.

10. 10. Partes distales de la dorsales más antiguas, sin actividad eruptiva reciente (>30.000 ños).

11. 11. Escudos miocenos de Teno y Anaga (6-4 millones de años) y laderas norte (La Fortaleza) y sur del Edificio Cañadas (sin actividad en los últimos 170.000 años), con zonas protegidas topográficamente por la pared de la caldera de Las Cañadas.



PLANO 8

Mapa preliminar de Riesgo Volcánico del Teide-Pico Viejo y la Dorsal Noroeste de Tenerife

Leyenda

Ciudades, pueblos, puertos, edificios, casas.
destruidos o aislados por coladas.

Carreteras principales
Cortadas por coladas.

Galerías y canales de agua principales
destruidos por inyecciones de magma y/o contaminadas por gases volcánicos.

Líneas eléctricas principales
destruidos por coladas o por el deficiente aislamiento por caida de piroclastos.

Masa forestal
incendios forestales provocados por coladas y caida de piroclastos

Zonas turísticas y sus infraestructuras
destruidos por coladas

1	6
2	7
3	8
4	9
5	10

Zonificación de peligros (como en el Plano