

C U R S O S E C O N G R E S O S

ACTAS
DE LA IX REUNIÓN NACIONAL
DE GEOMORFOLOGÍA
Santiago de Compostela,
13-15 de septiembre de 2006

Geomorfología y territorio



EDICIÓN A CARGO DE
Augusto Pérez Alberti
Juan López Bedoya

UNIVERSIDADE
DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA

publicacións

LAS ÁREAS ARREICAS EN LA ORGANIZACIÓN HÍDRICA DE LAS ISLAS VOLCÁNICAS ATLÁNTICAS (AZORES, MADEIRA, CANARIAS Y CABO VERDE)

CARMEN ROMERO RUIZ*, AMALIA YANES LUQUE**
y M^a VICTORIA MARZOL JAÉN***

Departamento de Geografía. Facultad de Geografía e Historia, Campus de Guajara s/n.
Universidad de La Laguna. 38071 La Laguna. Tenerife

* mcromero@ull.es

** ayanes@ull.es

*** mmarzol@ull.es

Resumen: El objetivo de este trabajo es abordar la caracterización, origen, evolución y funcionamiento de las áreas sin drenaje organizado, o con él muy incipiente, de las islas volcánicas de Flores y San Miguel (Azores), Madeira (Madeira), Tenerife (Canarias) y Santiago (Cabo Verde). Éstas cuentan con una superficie total de 4.671 km², correspondiendo el 12% de ella a sectores sin avenamiento concentrado. En los ámbitos volcánicos, sobre todo si son recientes, el arreísmo no está siempre determinado por condiciones térmicas y de evaporación, pues la mayor o menor juventud del sustrato geológico y la porosidad y permeabilidad inicial de los materiales eruptivos inhiben en grado variable la escorrentía superficial. Estos factores estructurales explican el comportamiento de las áreas arreicas ante las precipitaciones. En estas islas, la intensidad y la concentración de las lluvias, muy acentuadas por la altitud del relieve, no suelen entrañar riesgos en dichas áreas, mientras que en el resto del territorio son susceptibles de derivar en crecidas eventualmente catastróficas. De ahí la importancia de estas áreas en el conocimiento de la distribución espacial de los impactos causados por lluvias torrenciales.

Palabras clave: Archipiélagos atlánticos (Azores, Madeira, Canarias y Cabo Verde); arreísmo; cronología; estructuras volcánicas; hidrología en islas volcánicas; modelos de organización hidrológica; morfología, precipitaciones de alta intensidad horaria; tipología de áreas arreicas.

Abstract: The aim of this work is to approach the characterization, origin, evolution and functioning of the areas without organized drainage, or with a very incipient one, of the volcanic islands of Flowers and San Miguel (Azores), Madeira (Madeira), Tenerife

(Canaries) and Santiago (Cape Verde). These possess a total surface of 4.671 km², corresponding 12 % from it to sectors without concentrated drainage. In the volcanic areas, especially if they are recent, the areism is not always determined by thermal and evaporation conditions, since the major or minor youth of the geological substratum and the porosity and initial permeability of the eruptive materials inhibit, in a variable degree, the superficial flow. These structural factors explain the behaviour of the areism areas in rainfall periods. The intensity and the concentration of the rains, very accentuated by the altitude of the relief, usually do not represent risks in the above mentioned areas, whereas in the rest of the territory they are capable of deriving in eventually catastrophic floods. This is the reason of the importance of these areas in the knowledge of the spatial distribution of the impacts caused by torrential rains.

Key words: Atlantic Archipelagos (Azores, Madeira, Canaries and Cape Verde); areism; chronology; volcanic structures; hydrology in volcanic islands; hydrological organization model; morphology, rainfalls of high hourly intensity; areism area typology.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo forma parte de un proyecto de investigación¹, cuyo propósito es la determinación del modelo climático de una isla subtropical de gran altitud como Tenerife, en la que la inversión térmica de subsidencia tiene una indudable importancia en la variación altitudinal de todos los elementos del clima. Uno de los objetivos de ese proyecto es el conocimiento de las precipitaciones de alta intensidad horaria y sus repercusiones espaciales, pues a ellas se debe la actividad esporádica de los barrancos que surcan el territorio insular. Con ese fin, se analizan la configuración y funcionamiento de las cuencas de drenaje de la isla; también el del sistema hídrico que constituyen, en el que adquiere especial relevancia el papel desempeñado por las morfoestructuras que arman Tenerife en el impacto de dichas lluvias. Para confirmar la validez general de tal resultado, el estudio se ha hecho extensivo a otros ámbitos de la región macaronésica, como Flores y San Miguel (Azores), Madeira (Madeira) y Santiago (Cabo Verde) (Figura 1). Su elección responde a la combinación de latitud, altitud, forma, superficie y disposición del relieve de cada una de ellas a los vientos húmedos; así mismo, a la edad de las manifestaciones eruptivas y rasgos de las estructuras volcánicas que las integran.

El examen conjunto de estas islas revela, por un lado, las palpables similitudes existentes en el diseño de sus redes de drenaje, cuyo análisis morfométrico y relación con las distintas estructuras morfológicas de las islas han permitido el establecimiento de diversos modelos de organización hidrológica (Romero *et al*, 2004). Y, por otro lado, la importancia que poseen en estos territorios las superficies sin drenaje organizado, o con él muy incipiente, máxime cuando su respuesta a fuertes aguaceros difiere notablemente de la de los modelos establecidos. En este trabajo se aborda la caracterización, génesis y evolución de las áreas arreicas de Flores, San Miguel, Madeira, Tenerife y Santiago. Ello permitirá poner de manifiesto que se trata de espacios poco proclives a las inundaciones y

¹ Proyecto "Modelización climática de islas montañosas subtropicales: Tenerife. CLIMAAT (INTERREG III-B) MAC 2.3/A.3 y MAC 2.3/A.5.

aluvionamientos en unas islas en las que tales fenómenos comportan riesgos no despreciables, considerando la vinculación evidente entre cuencas hídricas pequeñas pero de desniveles muy acentuados y precipitaciones torrenciales (Marzol *et al.*, 2005). De ahí la importancia de estas áreas en el conocimiento de la distribución espacial de los impactos causados por lluvias de alta intensidad horaria.

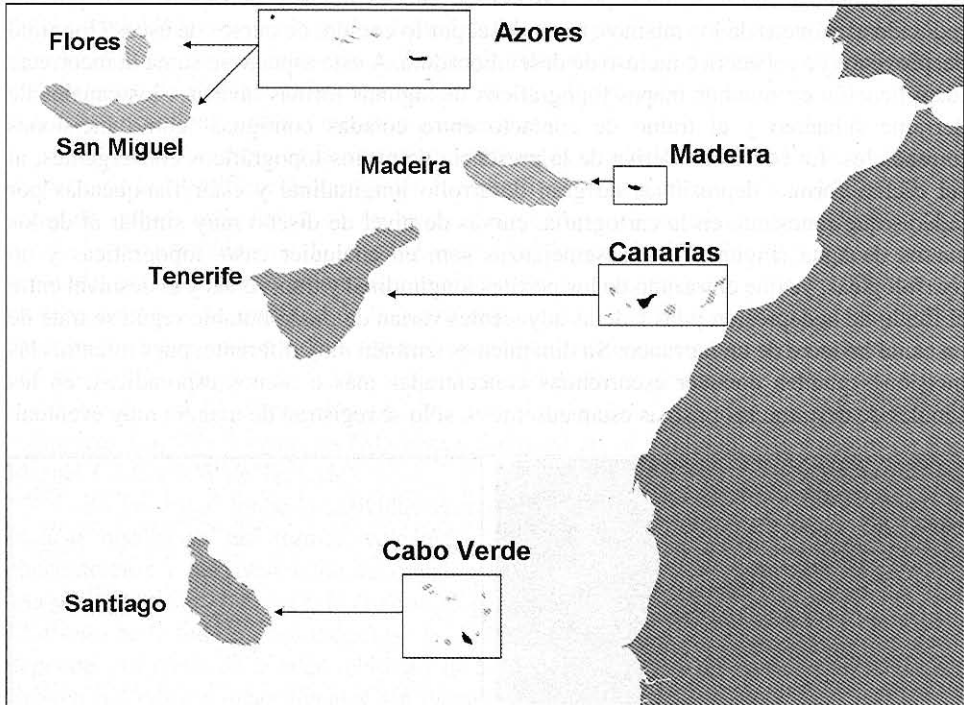


Figura 1. Localización de los archipiélagos de la región macaronésica y de las islas de estudio.

1 FUENTES Y MÉTODOS

El reconocimiento e individualización de las áreas arreicas se realiza a partir de una información topográfica variable, tanto en escala como en calidad de los datos representados según las islas. Así, en Flores, San Miguel y Madeira se emplea la cartografía digital proporcionada por la Universidad de Azores, basada en los mapas topográficos del Instituto Geográfico del Ejército Portugués (1:25.000); en Tenerife se recurre a los mapas digitales de Grafcan (Cartográfica de Canarias S.A.) (1:10.000) y en Santiago se digitaliza la Carta Hipsométrica del Centro de Estudios de Pedología de Lisboa (1:50.000).

Aunque la falta de homogeneidad de las escalas dificulta la comparación de la densidad de drenaje y del rango de las cuencas hídricas entre las islas, este hecho no influye de forma sustancial en la delimitación espacial de cuencas y áreas arreicas. Éstas se demarcan en función de parámetros estrictamente topográficos, corroborados por datos

obtenidos de fotos aéreas y ortofotos. La información resultante ha sido tratada en un entorno SIG (Arc-View 8.3).

La naturaleza volcánica de las islas imprime a la escorrentía rasgos específicos de los que se derivan otros problemas metodológicos. Entre ellos destaca la existencia de ámbitos de edad reciente o muy reciente en los que no es factible el establecimiento de redes y cuencas hídricas, bien por carecer de cauces netos y definidos, bien por ser reducido el número de los mismos, tratándose, por lo común, de cursos de escasa longitud desprovistos de cabecera e incluso de desembocadura. A este aspecto se suma la incorrecta identificación en muchos mapas topográficos de algunas formas lávicas - los canales de derrame subaéreo y el trazo de contacto entre coladas contiguas- como incisiones torrenciales. La confusión deriva de la presencia de rasgos topográficos convergentes, al ser dichas formas depresiones de gran desarrollo longitudinal y estar flanqueadas por laderas que muestran, en la cartografía, curvas de nivel de diseño muy similar al de los cursos de agua (Figura 2). Las semejanzas son, en cualquier caso, topográficas y no morfológicas, ya que el trazado de los perfiles longitudinal y transversal y el desnivel entre el fondo de la depresión y las laderas adyacentes varían de modo notable según se trate de un canal lávico o de un barranco. Su dinámica es también muy diferente, pues mientras las incisiones pueden conocer escorrentías concentradas más o menos esporádicas, en los canales de derrame las mismas están ausentes o sólo se registran de manera muy eventual.

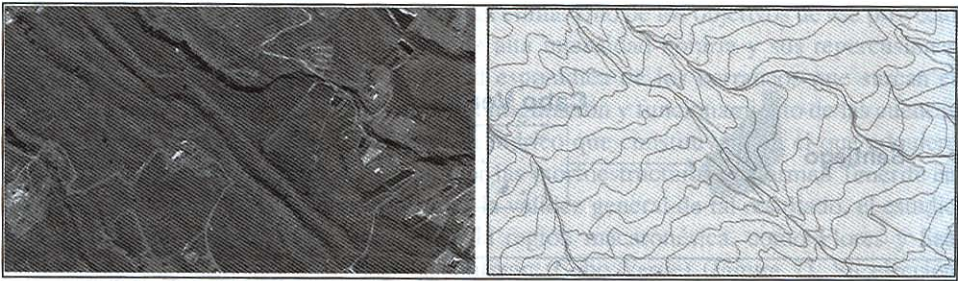


Figura 2. A la izquierda, fotografía aérea del sector sur de la dorsal de Pedro Gil (Tenerife). A la derecha, mapa topográfico correspondiente a ese sector, donde se aprecia como los canales de lava son identificados como cauces.

En los sectores geológicamente antiguos, el dibujo de redes y cuencas es mucho más preciso, por lo que su delimitación no es problemática. No obstante, en ellos se identifican también áreas sin redes hidrográficas, concernientes a ámbitos emplazados en las cercanías del litoral y ubicados entre cuencas bien marcadas. En estos sectores, la escorrentía, de producirse, será poco o nada concentrada, no vertiendo hacia las cuencas adyacentes sino al mar, como evidencia la dirección de las curvas de nivel.

2. EL ÁMBITO DE ESTUDIO

La cronología y morfología de las estructuras volcánicas, la litología y disposición de los materiales que las constituyen y la interferencia entre procesos constructivos y

erosivos están en el origen y desarrollo de la organización hidrológica de Azores, Madeira, Canarias y Cabo Verde. Estos archipiélagos corresponden a grandes construcciones volcánicas que emergen del fondo oceánico y cuya formación se prolonga en el tiempo a lo largo de los últimos 40 m.a., existiendo en todos ellos manifestaciones eruptivas históricas (San Miguel: 1718 y Tenerife: 1909). El distinto nivel de desmantelamiento de estas islas es consecuencia de la mayor o menor antigüedad, concentración y pervivencia de la eruptividad, carácter fisural o central de las construcciones volcánicas, disposición y tipo de litología predominante en cada una de ellas y sucesión de etapas morfoclimáticas contrastadas; de ahí, la coexistencia de sectores con formas volcánicas directas y espacios con abarrancamientos más o menos pronunciados.

El control que ejerce la estructura sobre estos territorios es elevado, hasta el punto de permitir la identificación de modelos específicos de organización hidrológica. En las áreas de mayor antigüedad no rejuvenecidas por aportes volcánicos posteriores (40-3 m.a.), lo característico de la organización hidrológica son las incisiones torrenciales separadas por interfluvios en cresta, con niveles de encajamiento entre 500 y 1000 metros; en ellas sobresale la amplitud de las cabeceras frente a la estrechez y escasa longitud de los tramos medios, bajos y de desembocadura. Sus cauces configuran redes arborescentes que drenan las cuencas de mayor rango de las islas. Estas últimas, de órdenes 4, 5 y en ocasiones 6, son de disposición paralela o radial, según se inserten en construcciones volcánicas fisurales o centrales (Madeira y Santiago en su totalidad, NE y centro de San Miguel y NE y NW de Tenerife).

En las áreas donde la actividad eruptiva se ha prolongado hasta fechas recientes, incluso históricas, las formas volcánicas son predominantes, sobre todo donde la concentración y pervivencia de las emisiones han sido significativas. Ahora bien, donde una y otra han sido menores, la erosión ha generado un modelado fluviotorrenciales nítido. El diseño de la red de estos espacios – y de la organización hidrológica correspondiente – depende, por tanto, de la edad relativa y de la topografía de las construcciones originales. Existen así edificaciones lineales sin cuencas hidrográficas bien definidas (dorsales de Abeque, en el NW de Tenerife, y de Los Picos, en el centro-Oeste de San Miguel); otras, por el contrario, disponen de un sistema de drenaje más o menos desarrollado (dorsal de Pedro Gil, en el NE de Tenerife), constituido por cuencas paralelas, que no suelen superar el orden 3, con cauces de escaso desnivel, separados por interfluvios planos, cuyas cabeceras son pequeñas, sus tramos medios y bajos muy estrechos y sus desembocaduras angostas. De igual manera, se reconocen estratovolcanes recientes sin apenas drenaje organizado (Teide-Pico Viejo, en las cumbres de Tenerife) y edificios centrales con redes arborescentes cuyos cauces, que pueden ser de hasta rango 5, avanan cuencas de clara disposición radial (calderas de las Cañadas del Teide, en el centro de Tenerife, y de Sete Cidades, en el Este de San Miguel, y Furnas y Serra da Água, en el Oeste de San Miguel). Por último, en el contacto entre estructuras volcánicas con importantes diferencias cronológicas conviven ámbitos drenados por redes paralelas de órdenes 3 y 4 con sectores recorridos por cauces de escasa incisión que no suelen alcanzar el mar.

Los contrastes climáticos son también un rasgo definitorio de los archipiélagos de la región macaronésica, pues a un ambiente oceánico templado húmedo como el de Azores se opone el tropical cálido y seco de Cabo Verde. En efecto, el paso frecuente de borrascas del

Oeste en invierno determina que las lluvias sean abundantes y regulares en el primero de ellos. Éstas son escasas y concentradas en verano en el segundo, al obedecer al ascenso en latitud de la zona de la convergencia intertropical (CZIT). El clima de Madeira y Canarias constituye la transición entre los anteriores, destacando en ellas el régimen unimodal de las precipitaciones, aunque trasladadas en el tiempo. En este caso, el período de lluvias se extiende desde mediados de otoño a comienzo de primavera, ya que la posición y potencia del anticiclón atlántico con respecto a estos dos conjuntos insulares condicionan el avance de los frentes perturbados que están en el origen de las precipitaciones de estas islas (Nascimento, 2000; Dorta *et al.*, 1993). A pesar de las diferencias en los totales anuales, que varían entre los 2500 mm de Azores y los menos de 300 mm de Cabo Verde, la altitud y orientación del relieve explican la mayor o menor intensidad y concentración de las lluvias en cada archipiélago.

Las implicaciones espaciales de este hecho son indudables, pues aunque las cinco islas analizadas están surcadas por cauces secos, a excepción de algunos barrancos con escorrentía permanente en Azores, la torrencialidad de las precipitaciones desencadena de forma casi inmediata el funcionamiento de las redes de drenaje. Es así considerando que las lluvias se producen siempre en cuencas pequeñas, por lo general inferiores a 100 km². Las consecuencias de lo que, en principio, es un fenómeno natural pueden ser graves atendiendo a una organización territorial poco adecuada. El importante y continuado abarrancamiento y acantilamiento de las islas determinan que los tramos bajos y de desembocadura de numerosos cauces estén ocupados por un denso poblamiento y un continuo urbano falto de planificación. Los efectos de las lluvias torrenciales deben valorarse, por ello, en función no sólo de las condiciones de inestabilidad atmosférica y de la topografía, sino también de la intervención antrópica.

3. ANÁLISIS DE LAS ÁREAS ARREICAS

3.1. Tipología

En el conjunto del sistema hidrológico de Flores, San Miguel, Madeira, Tenerife y Santiago destaca el hecho de que un territorio de casi 5000 km² esté drenado por 23.719 cauces pertenecientes a 1314 cuencas, lo que supone que sólo el 85% de la superficie total de estas islas posee escorrentía organizada. Ello significa que, al margen de las áreas endorreicas, que sólo representan el 3%, el 12% de dicho territorio carece de avenamiento concentrado. Este valor que, en principio, pudiera parecer poco relevante, adquiere su verdadero significado cuando el análisis del sistema hidrológico se efectúa por islas (Tabla 1).

Como se observa en la Tabla 1, los datos de las áreas arreicas permiten la división de las islas en dos grandes grupos. El primero está constituido por Flores, Madeira y Santiago, donde el arreísmo caracteriza del 2 al 4% de su geografía. Se trata, en líneas generales, de islas en las que las áreas sin drenaje organizado son numerosas aunque pequeñas, al oscilar su superficie entre 0,08 y 1,3 km², con una media de 0,6 km². Estos sectores se localizan entre los 200-300 m de altitud y el frente costero, alternándose entre cuencas de órdenes 1 y 2 y apareciendo, por lo común, colgadas sobre éstas y sobre el nivel marino actual. Insertas siempre en estructuras muy erosionadas, como los macizos volcánicos antiguos, la planta de las mismas es groseramente triangular, con su ángulo más agudo dispuesto siempre hacia el interior de la isla (Figura 3).

| Islas | Superficie km ² | Nº cuencas | Nº cauces | % Sup. drenada | % Sup. arreica | % Sup. endorreica |
|-----------------|-------------------------------|---------------|--------------|-------------------|-------------------|----------------------|
| Flores | 142 | 143 | 2047 | 90,4 | 3,3 | 6,3 |
| San Miguel | 746 | 283 | 4848 | 71,7 | 22,5 | 5,8 |
| Madeira | 743 | 182 | 1238 | 95,8 | 4,2 | --- |
| Tenerife | 2037 | 489 | 13498 | 71,1 | 28,2 | 0,7 |
| Santiago | 1003 | 217 | 2088 | 97,7 | 2,1 | --- |
| Valores totales | 4671 | 1314 | 23719 | 85,4 | 12,0 | 2,6 |

Tabla 1: Principales parámetros utilizados en el análisis del sistema hidrológico de las islas de Flores, San Miguel, Madeira, Tenerife y Santiago.

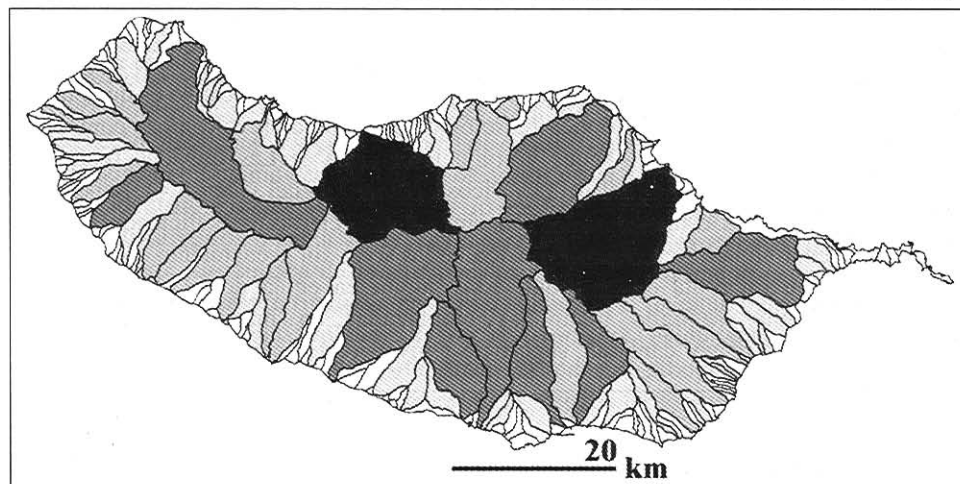


Figura 3. Sistema hídrico de Madeira. Cuencas hidrográficas de rango 1 al 5 en escala de grises. En blanco, las áreas arreicas.

Estos rasgos parecen estar determinados por la combinación de factores climáticos y estructurales, aunque el papel de unos y otros varía según el territorio insular. Así, la abundancia de las precipitaciones puede explicar que en Flores, que posee un sustrato geológico relativamente reciente (<2 m.a.) y 53 áreas sin drenaje organizado, el arreísmo sólo suponga un 3% de su extensión; las condiciones ambientales han favorecido un dismantelamiento bastante rápido del relieve, contrarrestando la juventud de su sustrato. En una isla muy remodelada por la erosión como Madeira, debido a la mayor antigüedad de su volcanismo (>5 m.a.), y con condiciones climáticas similares, el ligero incremento de los espacios sin red hídrica organizada - un total de 58, lo que representa el 4,2% de la superficie insular - sólo puede relacionarse con la mayor envergadura de la construcción volcánica original. Por último, aunque temperatura y evaporación son más propicias para el desarrollo del arreísmo en Santiago, éste es poco significativo, dado que la torrencialidad de las precipitaciones suele derivar en una escorrentía casi inmediata, a lo que se suma un

sustrato geológico antiguo muy meteorizado. Sus 16 áreas arreicas se localizan en los sectores de volcanismo más reciente, limitándose al 2,1% de su extensión total.

El segundo grupo está integrado por San Miguel y Tenerife, cuyas áreas arreicas no sólo gozan de mayor relevancia espacial, ya que representan del 20 al 30% de sus superficies, sino que cuentan con una mayor diversidad genética, al inscribirse en estructuras volcánicas de muy diverso estilo como macizos antiguos, estratovolcanes, calderas o dorsales volcánicas. Ello hace que los sectores arreicos posean dimensiones, plantas y emplazamientos variables. En el primer caso, porque su tamaño oscila entre las pocas decenas de metros cuadrados de las situadas en macizos antiguos hasta los más de 100 km² que pueden tener las de los estratovolcanes, calderas y dorsales. En el segundo, porque sus formas son desde triangulares y rectangulares a muy irregulares; y, por último, porque a las ubicadas en las inmediaciones de la frente litoral se añaden las que se prolongan desde la línea de cumbres, o desde altitudes en torno a los 1500-800 m, hasta el mar.

Aunque el elevado número de áreas arreicas de estas dos islas sea un rasgo muy marcado, ya que en ambas se supera el centenar, lo realmente significativo es que pueden llegar a caracterizar, desde una óptica hidrológica, a estructuras volcánicas completas, como sucede en la dorsal de Abeque y conjunto Caldera de Las Cañadas-Teide-Pico Viejo, en Tenerife, y en la dorsal de Los Picos, en San Miguel (Figura 4). A pesar de poseer rasgos comunes, estas islas muestran, sin embargo, ciertas especificidades. En San Miguel, al menor número relativo y extensión de las áreas sin avenamiento concentrado, se suma la gran impronta espacial que éstas adquieren en la dorsal de Los Picos, quedando en muy segundo plano las emplazadas en macizos volcánicos y estratovolcanes. La mayor cantidad, superficie y diversidad genética de dichas áreas en

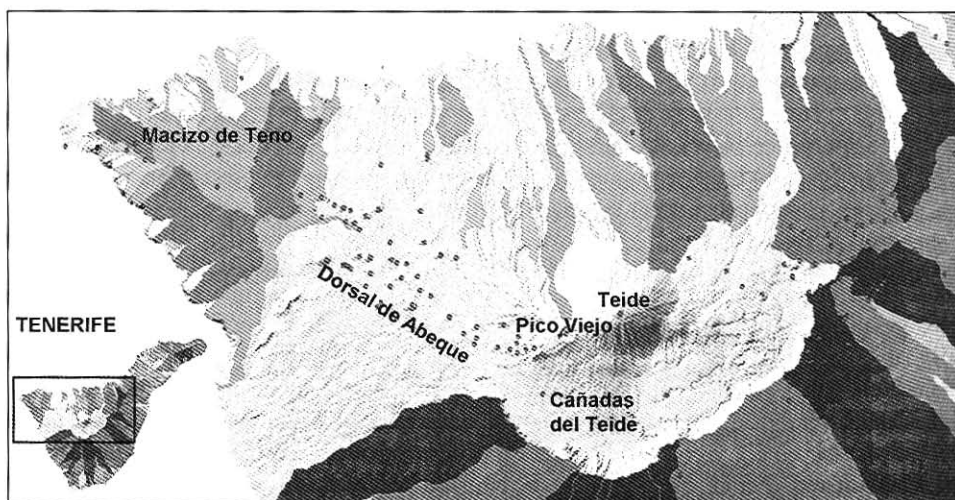


Figura 4. El área arreica de la dorsal de Abeque, Caldera de Las Cañadas y estratovolcán Teide-Pico Viejo constituye la superficie sin avenamiento concentrado de mayor desarrollo de las islas analizadas. Los círculos negros corresponden a conos volcánicos recientes.

Tenerife hacen de ella una "isla prototipo", al reconocerse todas las modalidades de ámbitos arreicos establecidos: desde los numerosos, pero de muy reducido tamaño, asociados a los macizos de Teno y Anaga, hasta las que caracterizan a la totalidad de las estructuras volcánicas recientes.

En estas islas, la juventud y pervivencia de las manifestaciones eruptivas así como el elevado grado de interferencia entre los procesos volcánicos y erosivos explican la gran extensión de las áreas arreicas. En ellas, el factor climático pierde importancia ante la acentuada juventud de las estructuras y la relativamente escasa transformación de las formas volcánicas originales.

3.2. Origen y evolución

La mayor parte de la superficie de las áreas arreicas de Flores, San Miguel, Madeira, Tenerife y Santiago se relaciona, desde un punto de vista genético, con territorios de reciente creación, pertenecientes a estructuras volcánicas poligénicas construidas en los últimos 200.000 años o a pequeños conjuntos volcánicos monogénicos del pleistoceno superior, holoceno y edad histórica. Se trata de relieves caracterizados por la superposición, imbricación y yuxtaposición de conos y de coladas de lava, que configuran espacios donde el dominio de las formas volcánicas es, en la práctica, absoluto.

La identificación de áreas arreicas no implica, sin embargo la ausencia total de cauces. Estos ámbitos pueden aparecer recorridos de modo esporádico por pequeños cauces aislados, sin cuenca de recepción, con canales de desagüe estrechos y poco encajados que no siempre finalizan en el mar. Además, al instalarse, por lo común, en lugares donde las formas volcánicas son aún directas, estos cauces no presentan límites hidrográficos netos; no se organizan en redes ni dibujan cuencas de drenaje definidas. Por otro lado, se circunscriben a los flancos de los volcanes monogénicos más antiguos o a los canales de derrame lávico propios del interior y de la periferia de las coladas de lava, desapareciendo bajo ellas o allí donde los canales pierden entidad. Estos cauces pueden terminar, así mismo, en pequeñas áreas arreicas de inundación esporádica y de colmatación poco persistente, a veces funcionales a partir de chubascos concentrados.

En los sectores e islas de mayor antigüedad relativa, las áreas arreicas son retazos que aún subsisten del desmantelamiento de las laderas volcánicas originales; aparecen siempre como auténticos relieves invertidos. Son, en realidad, restos de planezes colgadas en altura por encajamiento progresivo de redes hídricas contiguas y por retroceso del perímetro costero ante una prolongada y continua erosión fluvial y marina. Resultado de una evolución geomorfológica precisa, tales restos se sitúan en el espacio que media entre las cuencas de drenaje que cortan en la actualidad dichos macizos, por lo que tienden a disponerse en las proximidades de la costa, donde están limitados por cantiles marinos de cierta envergadura (Figura 5).

No obstante, en ocasiones la reanudación posterior del volcanismo en estas estructuras, -con instalación de conos en el interior de cuencas previas y emisión de caudales lávicos a través de vías de drenaje antiguas-, genera la aparición de deltas lávicos dispuestos al pie de los acantilados que bordean su litoral. Estas coladas forman sectores arreicos costeros, no dispuestos en altura, cuyo origen se vincula a la edad más reciente

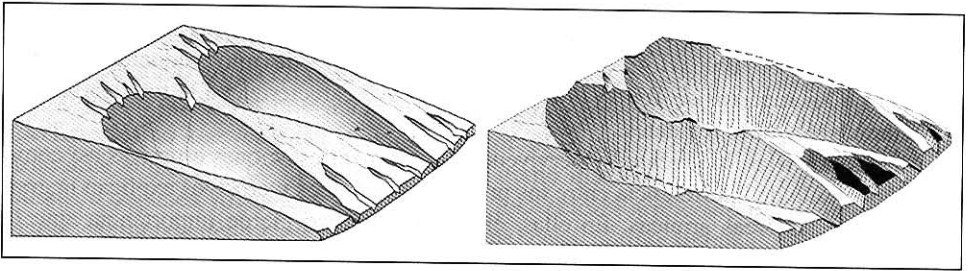


Figura 5. Génesis de las áreas arreicas (en color negro) de los sectores más dismantelados por la erosión.

del sustrato. Este tipo de áreas arreicas, fruto de una evolución geomorfológica específica, puede aparecer asociado a estructuras volcánicas antiguas y recientes, siempre que el mar haya tenido tiempo suficiente para generar cantiles de cierta entidad en ellas y se produzcan nuevos episodios eruptivos (Figura 6).

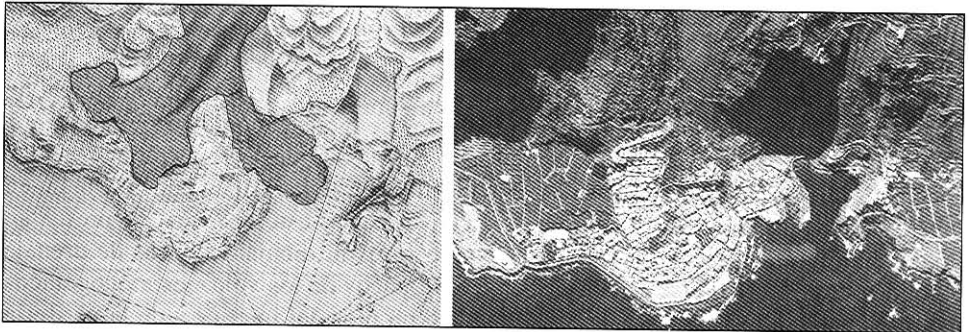


Figura 6. Plataforma lávica de Garachico. Obsérvese en la imagen de la izquierda -mapa de Riviere (1741) - el cantil prelitoral antiguo, hoy no funcional, y como las coladas de la erupción de 1706 caen y se abren al llegar a la costa. La imagen de la derecha refleja la ocupación antrópica actual de esa plataforma.

Sea cual sea la edad específica de los conjuntos volcánicos y la mayor o menor rapidez con que se ha llevado a cabo su dismantelamiento, estas áreas están siempre ligadas a la particular evolución geomorfológica de estas estructuras y a los ámbitos de mayor juventud geológica de cada isla.

3.3. Funcionamiento frente a la precipitación

En principio, parece evidente que la falta de escorrentía concentrada de las áreas arreicas, pero sobre todo la ausencia de cauces organizados en redes que converjan en un curso principal, hace que aquéllas se consideren ámbitos en los que las precipitaciones torrenciales no puedan causar daños sobre bienes y vidas humanas. Hay que tener en cuenta que en los territorios volcánicos las aguas de lluvia caen, con frecuencia, sobre materiales susceptibles de una rápida infiltración, en respuesta a su elevada porosidad y permeabilidad. Sin embargo, y a pesar de que ambas son inicialmente altas, varían de forma más o menos

significativas en función de la naturaleza litológica, estructura y edad del volcanismo. De este modo, la menor porosidad y permeabilidad de traquitas y fonolitas es contrarrestada por las de los basaltos y, en especial, por las de los piroclastos asociados, ya que una y otra pueden llegar a ser de hasta el 60%, cuando corresponden a formaciones recientes; es más, con frecuencia su permeabilidad fluctúa entre 0,2 y 500 m/día, siendo, no obstante, el valor más habitual de 5m/día. Pero si se trata de basaltos antiguos, la porosidad y permeabilidad oscilan entre 0,5 y 1%, aunque localmente pueden alcanzar hasta el 20%, siendo los registros diarios de entre 0,05 y 0,5 metros (Custodio y Cabrera, 2002).

La morfología superficial de las coladas lávicas (aa, pahoehoe o en bloques), la existencia o ausencia de niveles escoriáceos basales o superficiales, la mayor o menor profusión del diaclasamiento del roquedo (fisuras de contracción), así como la superposición de coladas y la intercalación entre ellas de acumulaciones de piroclastos, suelos y niveles sedimentarios intervienen también en las variaciones de porosidad y permeabilidad de las distintas formaciones volcánicas. La combinación de todos estos factores determina la existencia de espacios, no siempre alejados, con capacidades de infiltración sensiblemente diferentes, pudiendo registrarse, entonces, grados variables de escorrentía.

En los sectores de mayor antigüedad, la disminución de la porosidad y permeabilidad iniciales del roquedo, por colmatación y compactación de huecos y fisuras internos, podría comportar una escorrentía más o menos destacada; con todo, el reducido tamaño de sus áreas arreicas no posibilita la concentración de la arroyada, por lo que en estos espacios los daños a esperar por lluvias de alta intensidad horaria son reducidos o nulos. En los ámbitos geológicamente recientes, los rasgos texturales y estructurales del roquedo determinan la existencia de una infiltración elevada, lo que inhibe en buena medida la escorrentía asociada a las precipitaciones, dado el bajo nivel de saturación de los materiales. Ahora bien, la ocurrencia de precipitaciones intensas, junto a factores tales como la interstratificación de productos eruptivos de diferente porosidad y permeabilidad, el sentido del buzamiento e inclinación de las capas desde la línea de cumbres al mar, los cambios litológicos y topográficos bruscos, así como la presencia de depresiones lávicas e interlávicas pueden llegar a ocasionar el afloramiento y la circulación superficial del agua, propiciando escorrentías de cierta entidad y la posibilidad de que éstas produzcan daños. En este sentido, se dispone de información documental acerca de impactos históricos en áreas caracterizadas por la amplitud de las coladas volcánicas recientes. Así en 1645, el embalsamiento de aguas entre unidades de lava y la rotura de los diques lávicos que hacían de contención generaron un proceso torrencial en la ciudad de Garachico, en Tenerife, que dio lugar a unas 80 víctimas. Existe también constancia morfológica de fenómenos de desbordamiento similares producidos en el volcán de Siete Fuentes (erupción de 1704), en el dorso de la Caldera de Las Cañadas, así mismo en Tenerife. En este malpaís existe un abanico aluvial de reducidas dimensiones desarrollado directamente sobre las coladas históricas, procedente de un pequeño cauce cerrado por la instalación de las mismas.

Es presumible, por todo ello, que una precipitación intensa y concentrada, susceptible de derivar en la región macaronésica en crecidas eventualmente catastróficas, no afecte en la práctica a sus áreas arreicas. Si bien es cierto que 50 mm/24 h – menos

incluso en núcleos urbanos (Brum, 1989, Marzol 1988 y 2002, Marzol *et al.*, 2005)-ocasionan problemas en el territorio, las repercusiones de los aguaceros en los ámbitos sin drenaje organizado, en caso de producirse, resultarían, por un lado, de condiciones estructurales de carácter local, como las ya comentadas; y, por otro, de la mayor o menor duración de situaciones de inestabilidad atmosférica, considerando que los episodios tormentosos pueden prolongarse durante dos o más días, registrándose con intervalos de tiempo muy reducidos, a veces de sólo algunas horas (Marzol *et al.*, 2005). Por último, los cambios de uso de suelo de origen antrópico pueden alterar la infiltración y generar procesos de escorrentía no habituales en estos sectores arreicos, en relación con la impermeabilización del sustrato provocada por la construcción de núcleos de población e infraestructuras de diverso tipo.

CONCLUSIONES

Desde un punto de vista genético, el arreísmo suele vincularse a condiciones climáticas caracterizadas por la escasez de precipitación y una importante evaporación. Ahora bien, en el caso de los territorios volcánicos recientes el arreísmo no tiene por que aparecer siempre asociado a unas condiciones climáticas determinadas, pues son la edad, la naturaleza reciente de los materiales y su elevado grado de porosidad lo que impide el desarrollo de redes de drenaje organizadas. Se trata, por ello, de un arreísmo que bien puede calificarse de “estructural”. Las áreas arreicas de Flores, San Miguel, Madeira, Tenerife y Santiago resultan, como se ha visto, de la particular evolución geológica y geomorfológica de las islas y tienen su razón de ser, en última instancia, en la variabilidad temporal y espacial de la actividad volcánica.

Aunque en principio, y por definición, las áreas arreicas constituyen espacios sin riesgos derivados de fenómenos torrenciales, las condiciones morfológicas, hidrológicas y de ocupación humana del territorio pueden introducir matices en el grado de infiltración e incrementar la vulnerabilidad del territorio ante lluvias de gran intensidad horaria.

BIBLIOGRAFÍA

- Brum, D. 1989. Le climat de l'Atlantique orientale des Açores aux îles du Cap Vert. París, tesis no publicada, Universidad de La Sorbonne, Francia.
- Custodio, E., Cabrera, M.C. 2002. ¿Cómo convivir con la escasez de agua?. El caso de las Islas Canarias. *Boletín Geológico y Minero* 113 (3), 243-258.
- Direcção-Geral de Minas e Serviços Geológicos, 1958-1959. Carta Geológica da San Miguel, E: 1:50.000, Lisboa, Portugal.
- Direcção-Geral de Minas e Serviços Geológicos, 1968. Carta Geológica da Flores, E: 1:50.000, Lisboa, Portugal.
- Direcção-Geral de Minas e Serviços Geológicos, 1975. Carta Geológica da Madeira, E: 1:50.000, Lisboa, Portugal.
- Dorta, Marzol, M^a.V., Valladares, P. 1993. Localisation et fréquence des cellules de presión dans l'Atlantique Nord, l'Europe Occidentale et le nord de l'Afrique (1983-1992). Thessaloniki (Grecia). Ed. Association Internationale de Climatologie. Vol. 6, 452-466.

- Feraud, G., Schmincke, H., Lietz, J., Gastaud, J., Pritchard, G., Bleil, U. 1981. Neu K/Ar ages, chemical analyses and magnetic data of rocks from the islands of Santa María (Azores), Porto Santo and Madeira (Madeira Archipelago) and Gran Canaria (Canary Islands). *Bull. Volcanol.*, 44-3, 359-375.
- Franca, Z., Cruz, J., Nunes, J., Forjaz, V. 2005. *Geologia dos Açores: uma perspectiva actual*. Ponta Delgada: Observatório Vulcanológico e Geotérmico de Açores, Vulmac y Direcção Regional da Ciencia e Tecnologia, 140 p.
- França J.A., Almedia, A.B. s/a. *Plano regional de água da Madeira. Síntese do diagnóstico e dos objectivos*. Procedente de 6º Silusba, Lisboa, Portugal, pp. 751-760.
- Marzol, M^a. V. 1988. *La lluvia un recurso natural para Canarias*. Santa Cruz de Tenerife: Servicio de Publicaciones de la Caja General de Ahorros, 220 p.
- Marzol, M^a. V. 2002. *Lluvias e inundaciones en la ciudad de Santa Cruz de Tenerife*. En: Guijarro *et al.* (eds). *El agua y el clima*. Palma de Mallorca. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología 3 (1-2), 47-74.
- Marzol, M^a. V., Yanes, A., Romero, C. 2005. *Las precipitaciones torrenciales en la isla de Tenerife (Islas Canarias)*. Procedente de IV Simposio de Meteorología e Geofísica da APMG, Sesimbra, Portugal, p. 229-2346.
- Matos, C., Macedo, J., Celestino, L, Serralheiro, A., Peixoto, A., 1979. *Estudio geológico, petrológico e vulcanológico da ilha de Santiago (Cabo Verde)*. Lisboa, Sp. García Orta, Serv. Geol., 3 (1-2), 47-74.
- Nascimento, S. 2000. *Geología y recursos hidricos subterranos da ilha da Madeira*. Tesis no publicada, Universidade da Madeira, Ponta Delgada, Madeira, 351 p.
- Romero, C. 1986. *Aproximación a la sistemática de las estructuras volcánicas complejas de las Islas Canarias*. *Ería* 11, 211-223.
- Romero, C., (ed), 1990. *Jornadas de campo de geomorfología volcánica*. Zaragoza: Monografía 5, S.E.G., 346 p.
- Romero, C., Yanes, A., Beltrán, E., Díaz, C. 1999. *Incidencia de los factores morfoestructurales en la configuración del sistema de drenaje de Tenerife*. Procedente de XVI Congreso de Geógrafos Españoles, Málaga, pp. 263-271.
- Romero, C., Yanes, A., Marzol, M^a. V., 2004. *Caracterización y clasificación de las cuencas y redes hidrográficas en islas volcánicas atlánticas (Azores, Madeira, Canarias y Cabo Verde)*. Procedente de Libro de Actas del IV Congreso Ibérico de Gestión y planificación d l'agua. Tortosa, España, 10 p.
- Strahler, A. 1964. *Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks* In: Chow, V. T., (ed). *Handbook of applied hydrology*. McCraw-Hill Book Company, New York, 4.40-4.74.