

ESTRUCTURAS DE SEGREGACIÓN EN LAVAS BASÁLTICO-ANDESÍTICAS DE LA ISLA DECEPCIÓN (ANTÁRTIDA)

SEGREGATION STRUCTURES IN BASALTIC-ANDESITIC LAVAS OF DECEPCIÓN ISLAND (ANTARCTICA)

Corina Risso⁽¹⁾ y Alfredo Aparicio⁽²⁾

(1) Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires-IGEBBA, Avda. Intendente Cantilo s/n, 1428 Buenos Aires, Argentina.

E-mail: corina@gl.fcen.uba.ar o rissocorina1@gmail.com

(2) Departamento de Dinámica Terrestre. Instituto de Geociencias .CSIC-UCM

C/ José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid, Spain.

E-mail: a.aparicio.yague@csic.es

RESUMEN

En este trabajo se describen y analizan estructuras de segregación en forma de pipe vesicles, normalmente sólo descritas en la bibliografía para flujos de lava basálticos. En este caso se encuentran en lavas en almohadilla basáltico-andesíticas en la Isla Decepción, Antártida.

La génesis de las pipe vesicles en estas lavas basáltico-andesíticas implicó el amalgamamiento de muchas pequeñas vesículas de gas que escapaban hacia los bordes de las almohadillas. Estos gases modificaron las condiciones de cristalización en el borde de las vesículas, alterando ligeramente la química y la textura de la roca huésped.

Este proceso fue sincrónico o ligeramente anterior a un proceso secundario de oxidación general de la roca huésped causado por los fluidos que fueron retenidos en el interior de las vesículas antes de su escape. La mineralogía y la composición química del borde de las pipe vesicles y roca huésped sugieren que ambas derivan de un único magma. Los procesos físico-químicos durante la cristalización provocaron una concentración de fluidos que modificaron la composición química, la textura y la cristalinidad del magma original, en los bordes de las pipe vesicles.

Sugerimos que el proceso de formación de las pipe vesicles podría ser mejor explicado a partir de la circulación e interacción de fluidos, que podrían ser vapor de agua de mar/hielo-nieve y/o fluidos volcánicos.

Palabras clave: pipe vesicles, lavas basáltico-andesíticas, Isla Decepción, Antártida

ABSTRACT

Segregation structures in the form of pipe vesicles, normally described in bibliography only in basaltic lava flows occur in basaltic-andesitic pillow lavas on Deception Island, Antarctica.

The genesis of pipe vesicles in these basaltic-andesitic lavas involved the amalgamation of many small gas vesicles that escaped towards the pillows. These gases modified the conditions of crystallisation at the rim of the vesicles, slightly altering the chemistry and texture of the adjacent rock.

This process was synchronous with or slightly-earlier than a secondary process of general oxidation of the host rock caused by fluids that were retained inside the vesicles before later escaping.

Mineralogy and chemistry of the rim of the pipe vesicles and host rock suggest they both derive from a single magma. Physico-chemical processes during crystallisation caused a concentration of fluids that modified the chemistry, texture and crystallinity of the original magma at the edges of the pipe vesicles.

We suggest that the formation of pipe vesicles could be better explained from the movement and interaction of fluids, which may be sea water vapor / ice-snow and / or volcanic fluids.

Key words: pipe vesicles, basaltic-andesites, Deception Island, Antarctica

INTRODUCCIÓN

La isla Decepción pertenece al archipiélago de las Shetland del Sur y se ubica entre los $62^{\circ}43'S$ y $60^{\circ}57'O$, a unos 100 kilómetros de la Península Antártica y 950 kilómetros del extremo sur del Cabo de Hornos. La evolución geológica de la isla Decepción se relaciona con un episodio tectónico extensional que desemboca en un proceso de rifting activo, que comenzó durante el Plioceno y que dio lugar al nacimiento del rift del Estrecho de Bransfield entre las Islas Shetland del Sur y la península Antártica (Risso *et al.*, 1994, entre otros). (Figura 1A).

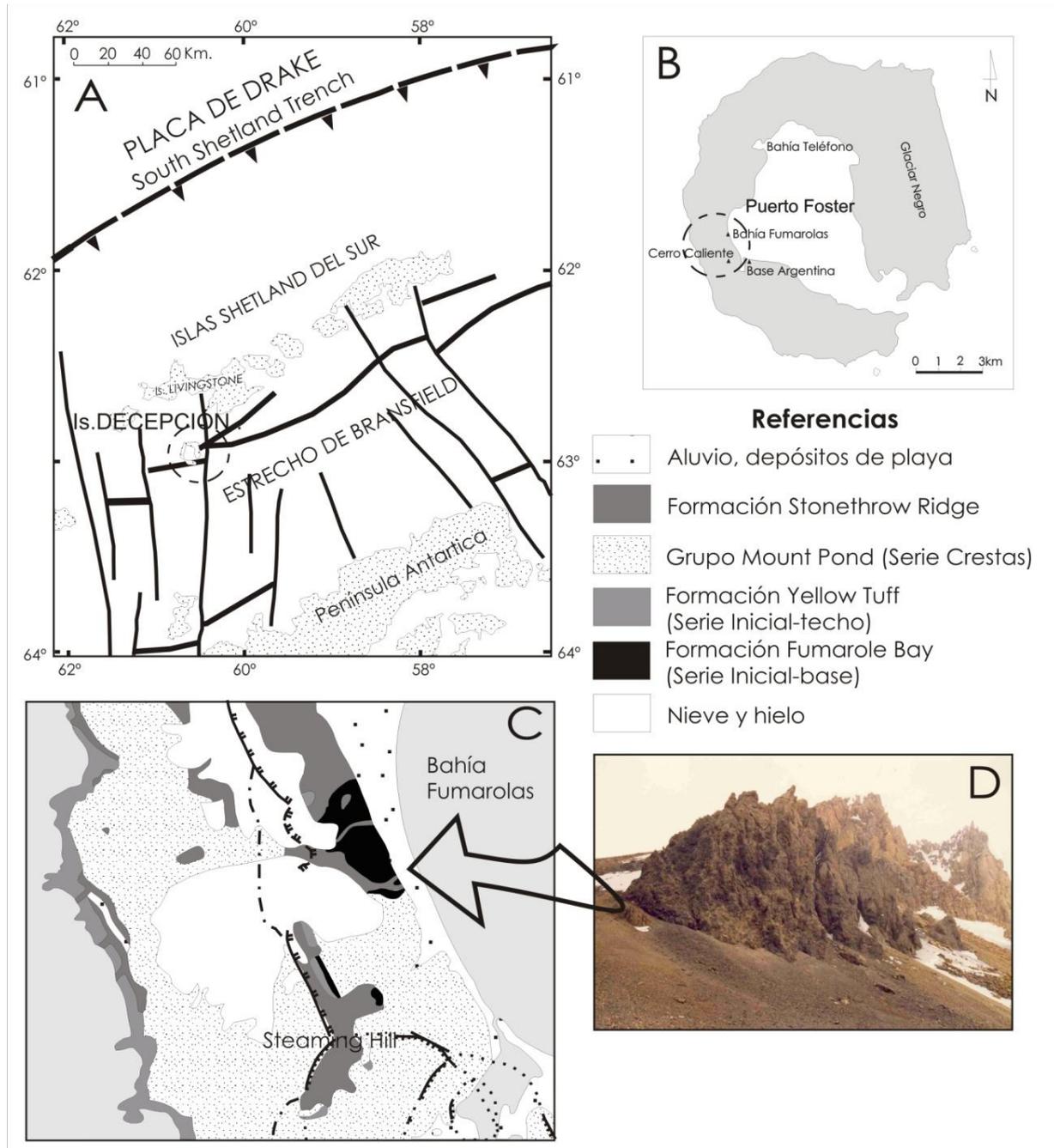


Figura 1.- A: Marco tectónico de las islas Shetland del Sur. **B:** Ubicación geográfica de los nombres comunes utilizados en este trabajo. **C:** Bosquejo geológico modificado de Smellie (2001) mostrando los afloramientos de la Formación Fumarole Bay (base de la Serie Inicial de Aparicio *et al.*, 1997). **D:** Afloramientos en Bahía Fumarolas de las hialoclastitas basáltico-andesíticas con estructuras de segregación de gases.

Figure 1.- A: Tectonic settings in South Shetland Islands. **B:** Geographical location of common names used in the paper. **C:** Geological sketch simplified from Smellie (2001) showing outcrops of the Fumarole Bay Formation (base of the Serie Inicial of Aparicio *et al.*, 1997). **D:** Hyaloclastite basaltic andesites outcrops in Fumarole Bay with segregation structures.

La isla es un gran volcán en escudo basáltico-andesítico (Smellie, 2001) cuyo contorno tiene forma de herradura y está formada por una caldera (Martí *et al.*, 2013; Smellie, 2001) de unos 14 kilómetros de diámetro, parcialmente invadida por el mar.

Es una isla volcánica activa desde hace unos 150Ka ± 50 Ka (Keller, *et al.*, 1992; Birkenmayer, 1992, etc.) hasta el presente con las erupciones históricas de 1842, 1967, 1969 y 1970.

Las lavas de la isla Decepción presentan una tendencia continua que varía entre rocas de las suites alcalinas a subalcalinas, variando su composición entre basaltos y traquiandesitas basálticas, andesitas, dacitas y riodacitas (Risso *et al.*, 1994; Aparicio *et al.*, 1997; Smellie, 2001). Son comunes los xenolitos plutónicos que muestran la composición de la corteza continental subyacente (Risso y Aparicio, 2002).

Estructuras del tipo de vesicle cylinders y pipe vesicles fueron términos utilizados para rocas basálticas y muy frecuentemente mencionados en la literatura (Kuno, 1965; Carman, 1994; Goff, 1996; Rogan *et al.*, 1996; Kontak, 2008, etc.). Cada uno de estos autores mencionan diferentes mecanismos para su formación, entre las que se incluyen la agregación de burbujas que se nuclean (Manga and Stone 1994), gas filtro-prensado (Anderson *et al.*, 1984; Rogan *et al.*, 1996), acumulación de burbujas con migración de fluidos (Goff, 1996), procesos de diferenciación con fluidos conteniendo un exceso de vapor de agua (Caroff *et al.*, 2000), o líquidos y gases residuales que escapan de áreas con magma altamente cristalizado (Costa *et al.*, 2006), etc. Vesicle cylinders son probablemente las estructuras más características de los procesos de diferenciación de vapor (Merle *et al.*, 2005). La formación de vesicle y pipe cylinders en lavas basálticas es bien conocida (Merle *et al.*, 2005), pero es prácticamente desconocida en rocas basáltico-andesíticas alcalinas como las encontradas en la isla Decepción.

UBICACIÓN GEOLÓGICA

Las estructuras de segregación se encontraron en lavas andesítico-basálticas de la Formación Fumarole Bay (Smellie, 2001; Smellie *et al.*, 2002) o mencionadas como de la Serie Inicial de Aparicio *et al.*, (1997) ubicadas en bahía Fumarolas (Figura 1B y C) de la isla Decepción. La Formación Fumarole Bay de Smellie (2001) está subdividida de base a techo en tres miembros: miembro lávico, miembro escoriáceo y miembro toba lapillítica estratificada. Las estructuras se encuentran en el miembro lávico inferior compuesto por brechas hialoclastíticas, lavas en almohadillas y flujos de lava, con menor participación de bombas y bloques. La brecha es monomítica y típicamente pobre en matriz cinérea. De color pardo-naranja posee fragmentos porfíricos, pobres a no vesiculares de lapillis vítreos irregulares y grandes bloques de texturas granosas finas de hasta 1 metro de diámetro. Contiene numerosos fragmentos lobulados ameboidales de lava porfírica gris-castaño oscuro, muchos de ellos con márgenes vítreos de enfriamiento brusco de hasta 1 cm de espesor (Smellie, 2001).

Las estructuras de segregación se encuentran en las lavas en almohadilla y en los flujos de lava (Figura 1D). La concentración de este tipo de estructuras es mayor en las lavas en almohadilla (pillow lavas) que en los flujos de lava. Las almohadillas son de color pardo claro, ovaladas a subredondeadas, con un diámetro de entre 0,50-100 cm. y con un borde muy fino (0,8 cm.) de vidrio color negro parcialmente palagonitizado. Los flujos de lava andesítico-basálticos tienen una potencia de 1-3 m., son masivos, con disyunción columnar y color castaño oscuro. Las estructuras de segregación son perpendiculares a la superficie de los lóbulos y paralelas a las grietas de la disyunción columnar (Figura 2).

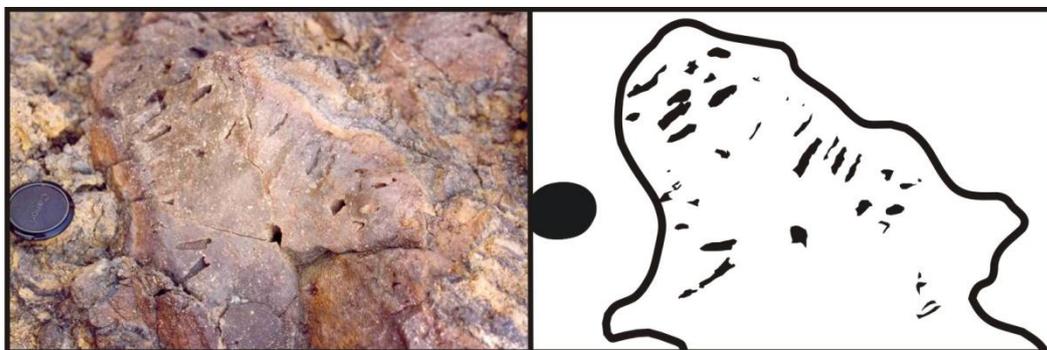


Figura 2.- Izquierda: Fotografía de un corte transversal de una pillow lava. Derecha: Esquema de la misma en la que se destacan las estructuras de pipe vesicles ubicadas en forma perpendicular a los límites de los lóbulos.

Figure 2.- Left: Photograph of a vertical cross-section of the pillow lava. Right: Sketch of the same hyaloclastite lava with pipe vesicles located perpendicular to the limits of the lobe.

ESTRUCTURAS DE SEGREGACIÓN: PIPE VESICLES

Dos tipos de estructuras de segregación se observaron en los pillows andesítico-basálticos de la isla Decepción: pipe vesicles y vesicle cylinders, pero en este trabajo nos concentramos únicamente en los primeros. También hemos observado una transición entre pipe vesicles y vesicle cylinders, observación que concuerda con trabajos realizados por Thordarson and Self (1998) donde mencionan que muchas veces observaron pipe vesicles que convergen para formar vesicle cylinders y sugieren que debieran estar genéticamente vinculadas.

De acuerdo con Philpotts and Lewis (1987) las pipe vesicles son tubos vacíos de < 1cm. de diámetro, con paredes lisas a veces cubiertas con una película de material vítreo-negro. Por otra parte, las vesicle cylinders son típicamente centimétricas de diámetro, más largas que las pipe vesicles y compuestas por basalto altamente vesicular.

Las vesicle cylinders aparentan haberse formado como diapiros elongados verticalmente dentro de un basalto vesicular de baja densidad de alrededor de 2-10 metros de espesor y que asciende a través de un basalto más denso (Goff, 1996). En contraposición, Philpotts and Lewis (1987) consideran que las pipe vesicles se formaron por la exsolución de gases magmáticos que cristalizan en burbujas entrampadas durante el avance del frente solidificado de la lava que se enfría y cuyo espesor no superaría los 2-4 metros. Los tubos resultantes, consecuentemente, se orientan normales al frente de enfriamiento. Kuritani et al., (2010) a su vez, dan a estas pipe vesicles un origen por solidificación de una colada de lava y formación de fracturas por compresión.

Las pipe vesicles en la isla Decepción fueron observadas distribuidas en los flujos de lava en forma paralela a las disyunciones columnares y tienen una distribución radial en las pillow lavas (Figura 2). Son cavidades circulares, como tubos subverticales y un diámetro medio de 1 cm (Figura 3A), aunque algunos sólo tienen unos 0.5 cm. de diámetro, y una longitud máxima de unos 13 cm. (Figura 3B). Estos tubos vacíos usualmente tienen sus paredes internas recubiertas por un material lávico vesicular color muy oscuro que contrasta fuertemente con el color pardo de la roca huésped (Figura 3C y D, ver flecha).

De todos modos, ninguna de las pipe vesicles, se extiende más allá del margen de los pillows.

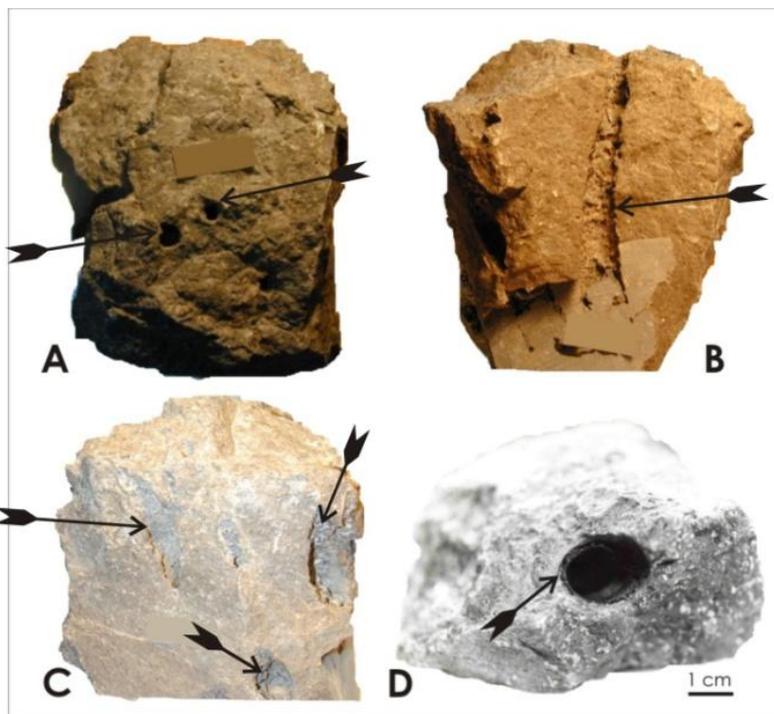


Figura 3.- Diferentes vistas de las estructuras de segregación, ver las flechas. **A)** El conducto de una pipe vesicle que forma un orificio casi perfectamente redondo en la superficie del flujo. **B)** Sección vertical de una estructura de segregación con una longitud máxima de aproximadamente 13 cm. **C)** La distancia entre pipe vesicles en la superficie de la lava varía entre 1-10 cm. Observar el revestimiento de la pared de la pipe vesicle, su color oscuro contrasta con el color más claro de la roca huésped. **D)** Vista transversal del revestimiento vítreo negro que cubre la pared de algunas pipe vesicles.

Figure 3.- Different views of the segregation structures, see arrows. **A)** The exit hole of an almost perfectly round pipe vesicle at the surface of the lava flow. **B)** Vertical section of a pipe vesicle with a maximum length about 13 cm. **C)** The distance between pipe vesicles at the lava surface varies from 1-10 cm. Notice the lining of the pipe vesicle wall, its dark colour contrasted with the lighter colour of the host rock. **D)** Transversal view of black rim glass coating the pipe vesicle.

MINERALOGÍA Y PETROLOGÍA DE LA ROCA HUÉSPED Y DE LAS ESTRUCTURAS DE SEGREGACIÓN

La roca que contiene estas estructuras y a la cual se encuentran genéticamente relacionadas es la roca huésped andesítico-basáltica que tiene una textura porfírica y está formada por fenocristales idiomorfos, maclados y zonados de plagioclasa cálcica de hasta 3 mm de largo, y de fenocristales idiomorfos de olivina, parcialmente reemplazados por clorita-serpentina con un diámetro máximo de 1 mm. Los fenocristales de clinopiroxeno (alcanzan una longitud de 0.4 mm) son menos comunes. La pasta es microcristalina con olivina, plagioclasa y opacos y no más de un 10% de vesículas. La olivina en la pasta está alterada predominantemente a clorita. Las vesículas son más comunes en las áreas oxidadas.

Cuando las pipe vesicles tienen material de reborde (rim material) (Figura 3D), este reborde tiene mayor vesiculación que la roca huésped (30%) (Figura 4A) donde las pequeñas vesículas coalescen para formar una más grande (Figura 4B). El reborde-rim de color negro (Figura 3D) está formado por una roca micro-criptocristalina-vítrea conteniendo cristales aciculares de plagioclasa y algo de olivina, algunos de los cuales están alterados a clorita. Los fenocristales dentro del rim impiden la expansión de la macro-vesícula, como se ve en la Figura 4C, donde el fenocristal de plagioclasa genera un lóbulo en la pared del pipe. Las pipe vesicles usualmente contienen zeolitas en sus márgenes. La mayoría de las veces esta roca oscura representa una zona de transición totalmente oxidizada (0.1-0.2 mm de espesor) entre la roca huésped y las pipe vesicles (Figuras 4D y 4E). Esta oxidación se ve en las grietas y venillas que invaden la roca huésped (Figura 4F). A veces esta zona de oxidación está ausente y el contacto entre la roca huésped y las pipe vesicle es abrupto, aunque la roca huésped casi siempre presenta algún grado de oxidación.

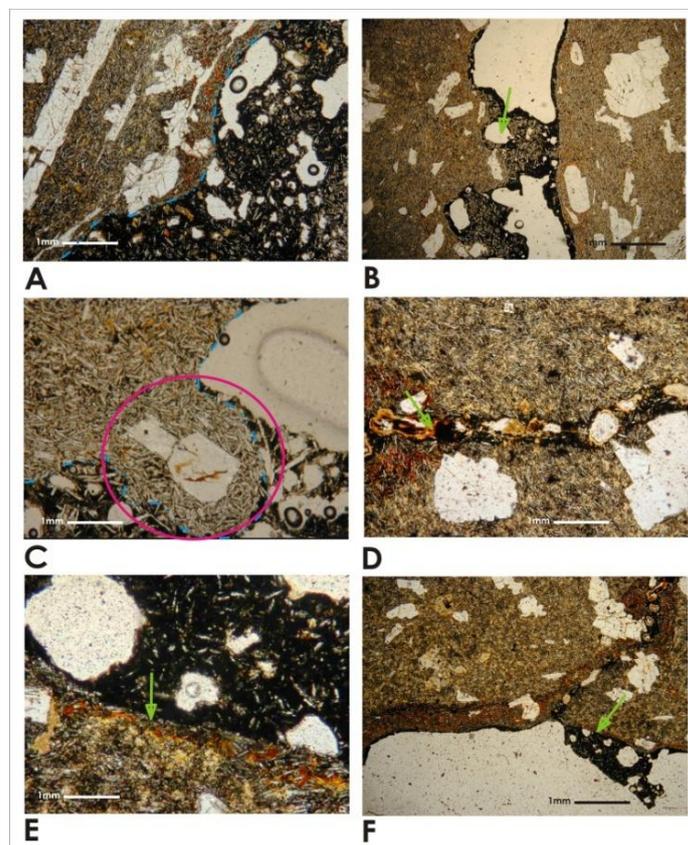


Figura 4.- Diferentes texturas de la roca huésped (microscopía óptica). **A)** Aspecto del contacto entre el borde vítreo-negro de la pipe vesicle y la roca huésped, mostrando un mayor contenido de vesículas en las estructuras (línea punteada azul). **B)** Coalescencia de vesículas para formar una vesícula mayor (flecha verde). **C)** Los fenocristales de plagioclasa impiden la expansión de las pipe vesicles (círculo rosa). **D)** Grietas en la roca huésped rellenas con óxidos (flecha verde). **E)** Zona de oxidación en la interfase entre la roca que aloja las estructuras y el borde negro-vítreo de la pipe vesicle (flecha verde). **F)** Izquierda de la fotografía: Zona de oxidación similar a D. Derecha de la fotografía: Contacto abrupto entre el borde negro-vítreo y la roca huésped (flecha verde)

Figure 4.- Different textures of the host rock (optical microscopy). **A)** Aspect of a contact black rim of pipe vesicle and host rock showing a higher content of vesicles in pipe (blue line). **B)** Vesicles coalesce to form a larger vesicle (green arrow). **C)** Plagioclase phenocryst prevents expansion of the pipe vesicle (pink circle). **D)** Cracks in host-rock filled with oxides (green arrow). **E)** The oxidation zone between host-rock and black rim of pipe vesicle (green arrow). **F)** Left: Oxidation zone similar than D. Right, abrupt contact between black wall rock and host rock (green arrow).

QUÍMICA DE LAS ROCAS Y DE LOS MINERALES

Los análisis químicos que aquí se presentan fueron realizados en los laboratorios del Instituto de Geociencias, Consejo Superior de Investigaciones Científicas - Universidad Complutense de Madrid, España. Los elementos mayoritarios fueron determinados con un Espectroscopio de Absorción Atómica Perkin-Elmer 2380. Elementos menores, trazas y REE fueron analizados con ICP-MS. La composición de los minerales fue determinada usando una microsonda electrónica automática JEOL.JXA-8900M con EPMA, usando WDS, hasta 15 Kv, y 20mA, en el Laboratorio de Microscopía de la Universidad Complutense (Madrid, España). La separación de la roca huésped/pipe vesicles para los análisis fue realizada manualmente.

Los resultados de los análisis de la roca huésped y los minerales de las pipe vesicles se muestran en la Tabla 1. Los fenocristales de plagioclasa varían su composición desde andesina a labradorita. Pero no hay diferencias en la composición de las plagioclasas de la roca huésped y la roca de las pipe vesicles. Solo pudieron analizarse con la microsonda las olivinas de la roca huésped que corresponden a la composición de crisolita (Fo₈₉). La composición del clinopiroxeno de las rocas de las pipe vesicles es augítica.

Ubicación	PV	Huésped	PV	Huésped	PV	Huésped
Mineral	Clino-piroxeno	Olivina	Plagioclasa	Plagioclasa	Plagioclasa	Plagioclasa
Clasificación	Augita	Crisolita	Bitownita	Andesina	Labradorita	Bitownita
SiO ₂	50.35	39.65	46.49	57.58	53.40	46.21
TiO ₂	0.98	0.00	0.01	0.13	0.13	0.00
Al ₂ O ₃	2.35	0.02	32.39	23.92	26.58	32.60
FeO	7.90	16.01	0.43	0.81	0.87	0.39
MnO	0.15	0.19	0.03	0.00	0.00	0.00
MgO	17.15	44.53	0.15	0.16	0.32	0.13
CaO	18.53	0.21	17.74	7.47	11.45	17.66
Na ₂ O	0.25	0.02	1.80	6.88	4.94	1.80
K ₂ O	0.02	0.02	0.03	0.34	0.17	0.02
NiO	0.02	0.14	0.00	0.01	0.00	0.01
Cr ₂ O ₃	0.37	0.05	0.00	0.00	0.04	0.00
Total	98.18	100.90	99.15	97.36	97.94	98.97
Si	1.89	0.99	8.66	10.62	9.91	8.63
Ti	0.02	0.00	0.00	0.01	0.018	0.00
Al	0.10	0.01	7.11	5.20	5.81	7.18
Fe ₂	0.24	0.33	0.07	0.12	0.13	0.06
Mg	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.74	1.66	0.04	0.04	0.08	0.03
Na	0.01	0.00	3.54	1.47	2.27	3.53
K	0.00	0.00	0.65	2.46	1.77	0.65
Cr	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00
NºOx	6	4	32	32	32	32
Ab			14.74	59.83	41.95	14.80
An			85.07	38.09	57.01	85.04
Or			0.18	2.06	1.03	0.14
Fo		89				

Tabla 1.- Composición mineral de la roca huésped y de las pipe vesicles (PV).
Table 1.- Mineral composition of the host rock and pipe vesicles (PV).

Por otra parte la Tabla 2 muestra los resultados de los análisis químicos realizados a varias muestras de roca huésped (H) y de rocas de las pipe vesicles (PV). Los resultados fueron graficados en un diagrama TAS (Le Maitre, 1984) y se utilizó el programa SINCLAS (Verma *et al.*, 2002) para facilitar los cálculos de las relaciones Fe_2O_3 -Feo de la roca según el contenido en H_2O y que a su vez facilita la clasificación de las rocas en el diagrama TAS. Se pudo observar que ambas rocas tienen la misma composición basáltico-andesítica, a pesar de que se encontraron pequeñas diferencias. Por ejemplo, las rocas de las pipe vesicles contienen más SiO_2 , TiO_2 , Fe_2O_3 y P_2O_5 y menos Al_2O_3 , CaO y MgO que la roca huésped. Por el contrario Kuritani *et al.*, (2010) observan un enriquecimiento en MgO en las pipe vesicles que lo explican por la mezcla mecánica de olivino con el magma residual, hecho que no sucede en cambio, en la isla Decepción.

Muestra	H-1	PV-1	H-2	PV-2	H-3	PV-3	H-4	PV-4
SiO_2	51.45	52.40	54.80	55.20	53.10	53.50	53.20	52.70
TiO_2	1.35	2.08	1.26	2.70	1.36	1.98	1.31	1.78
Al_2O_3	17.75	15.79	15.49	13.60	17.66	15.37	17.52	16.53
Fe_2O_3	4.10	5.45	3.29	4.72	4.34	7.47	3.79	6.41
FeO	3.08	4.04	5.27	5.90	3.19	1.91	3.29	2.45
MnO	0.10	0.20	0.13	0.20	0.11	0.21	0.10	0.15
MgO	5.85	4.90	3.57	4.50	5.57	4.87	5.47	4.85
CaO	10.02	8.76	7.47	7.38	9.30	9.12	10.00	8.80
Na_2O	2.94	3.10	4.63	3.35	2.61	2.49	2.42	2.50
K_2O	0.17	0.25	0.50	0.49	0.18	0.22	0.13	0.17
P_2O_5	0.23	0.39	0.26	0.52	0.22	0.35	0.27	0.30
PC	2.88	2.57	2.99	1.31	2.29	2.44	2.43	3.30
Total	99.92	99.93	99.66	99.87	99.93	99.93	99.93	99.94
Ba	74	185	76	163	76	156	68	141
Co	28.7	28.8	42	29.4	29.3	32.2	27.5	29.6
Cs	0.2	0.4	0.2	0.5	0.1	0.2	0.2	0.3
Ga	18.1	20.1	18.9	20.1	18.0	21.3	19.1	20.1
Hf	2.6	7.0	3.0	6.4	2.8	7.1	2.8	5.7
Nb	5.3	12.3	5.7	12.4	4.9	11.9	5.1	10.1
Rb	3.4	10.4	3.9	10.9	3.4	5.1	3.3	4.8
Sn	1	3	1	3	1	3	1	5
Sr	489	337	476	351	487	362	488	371
Ta	0.3	0.9	0.6	0.8	0.3	0.8	0.3	0.8
Th	0.7	1.6	1.1	2.1	1	2.0	1	2.3
U	0.3	0.7	0.3	0.8	0.3	0.5	0.3	0.6
V	228	380	214	394	222	395	228	372
W	0.3	0.5	1.35	1.5	0.3	1.2	0.2	4.3
Zr	109	263	109	255	109	265	106	214
Y	23.7	49.7	23.1	59.6	23.5	52.9	23.6	46.9
La	9.2	21.8	9.3	20.8	9.3	21.4	8.9	18.7
Ce	21.1	50.4	21.4	47.2	21.2	50.5	20.8	44.0
Pr	2.93	6.97	3.01	6.77	2.95	6.96	2.93	6.08
Nd	13.7	32.2	13	33.6	13.2	33.8	13.8	28.6
Sm	3.5	8.2	3.8	7.8	3.7	8.3	3.8	7.2
Eu	1.24	2.41	1.33	2.46	1.23	2.31	1.28	2.16
Gd	4.03	8.51	3.92	8.22	4.43	8.94	4.19	7.63
Tb	0.65	1.39	0.62	1.41	0.67	1.45	0.65	1.27
Dy	4.09	8.27	4.01	8.71	3.99	8.95	3.93	7.68
Ho	0.90	1.82	0.86	1.85	0.88	1.95	0.83	1.69
Er	2.29	4.96	2.35	5.03	2.33	5.27	2.34	4.64
Tm	0.32	0.70	0.31	0.68	0.35	0.73	0.35	0.62
Yb	2.39	4.88	2.18	4.69	2.34	5.23	2.38	4.62
Lu	0.33	0.68	0.33	0.65	0.32	0.74	0.33	0.64

Tabla 2.- Composición química de la roca huésped (H) y de las pipe vesicles (PV)
Table 2.- Chemical composition of the host (H) rock and pipe vesicles (PV)

Las rocas de las pipe vesicles están relativamente enriquecidas en Ba, Ga, Hf, Nb, Rb, Sn, Th, U y REE, aunque contienen menos Sr. Rogan *et al.* (1996) encontraron resultados semejantes en rocas de las pipe vesicles con menos Mg, Ni, Cr y Ca y más Nb, Ti y REE que la roca huésped. En rocas de las estructuras de segregación, Merle *et al.* (2005) observaron un relativo enriquecimiento en elementos incompatibles (excepto Sr) y reducidos aumentos en los elementos de transición (Co, Cr and Ni) en relación con la roca huésped. Los REE de los patrones de rocas condriticas para la roca huésped y las pipe vesicles es muy semejante (Figura 5). Este patrón es idéntico al establecido para la secuencia calco-alcalina plutónica-volcánica de la isla Decepción observada por Risso y Aparicio (2002).

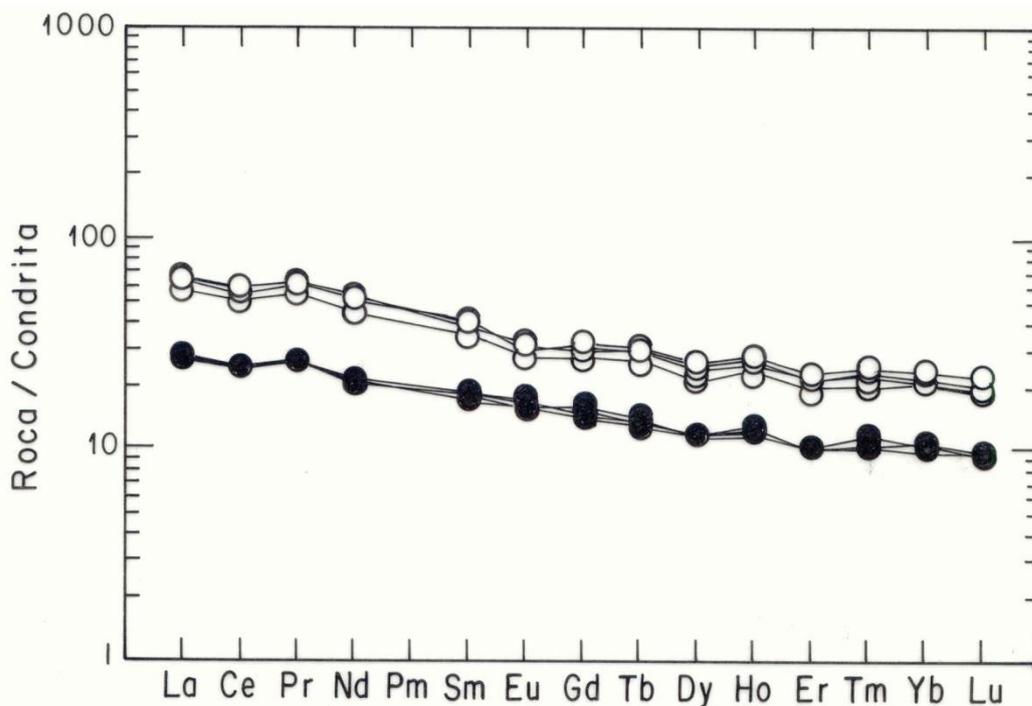


Figura 5.- Diagrama de elementos de las tierras raras normalizado a condrito (valores de normalización de Nakamura, 1974). La distribución de REE en la roca huésped y las pipe vesicles muestra una tendencia muy semejante con un contenido ligeramente más empobrecido en los REE de la roca huésped. ○ roca de las pipe vesicles ● roca huésped
Figure 5.- REE chondrite-rock model of the host and pipe vesicles rock showing a similar trend and the slightly lower REE content of the host rock. ○ pipe vesicles rock ● host rock

DISCUSIÓN

No hay un simple mecanismo que podamos presentar para explicar la formación de estas estructuras de segregación en rocas de composición basáltico-andesíticas. No obstante, ciertas características de la ubicación donde fueron encontradas y de la mineralogía y química de las rocas de las pipe vesicles y de la roca huésped sugieren que un solo magma estuvo involucrado en este proceso, en el cual procesos físico-químicos causaron la concentración de fluidos que modificaron la química, textura y cristalinidad del magma original en los bordes de las zonas vesiculadas. La pequeña diferencia química entre la roca huésped y los bordes vítreos de las pipe vesicles puede ser una evidencia de un proceso secundario que también modificó la cristalinidad y textura del magma original.

Philpotts and Lewis (1987) creen que la interrupción de las pipe vesicles para extenderse fuera de los pillows es una fuerte evidencia de que el gas que las generó se formó por exsolución de los gases contenidos en el basalto in-situ y que no provino de una fuente externa.

Esta es una presunción muy lógica, pero considerando el alto grado de oxidación de la roca huésped, sugerimos que el proceso de formación de estas pipe vesicles podría ser mejor explicado a partir de la circulación de fluidos, como vapor de agua de mar/hielo-nieve además de gases volcánicos. La sobrepresión generada por estos gases explicaría porque la oxidación es mayor en el contacto entre la roca huésped y las pipe vesicles. Además la vesicularidad en la lava/roca huésped es de alrededor de un 10% pero puede llegar a un 30% en el borde vítreo de las estructuras de segregación.

En aquellos lugares donde el flujo de lava se detuvo -por ejemplo, por un obstáculo en el relieve del terreno-, los fluidos que siguen emanando del fundido se acumularían generando una sobrepresión en la pared de

las pipe vesicles. Al mismo tiempo, su temperatura relativamente baja, comparada con la de la roca huésped, podría haber causado un enfriamiento rápido del magma en el borde de la pipe vesicle. Esto conduciría a cambios significativos en la textura de las estructuras de segregación, reflejadas en una falta de fenocristales y la presencia de una pasta vítrea en el reborde de las mismas.

CONCLUSIONES

La génesis de las pipe vesicles en estas lavas basáltico-andesíticas podría implicar la amalgamación de pequeñas vesículas a medida que escapaban hacia las almohadillas. Estos gases habrían modificado las condiciones de cristalización de la lava basáltico-andesítica en el borde de las vesículas, alterando levemente la química y textura de la roca huésped.

Este proceso fue sincrónico o un poco anterior que el proceso secundario general de oxidación de la roca huésped que fue causada por los fluidos que fueron retenidos en las almohadillas previo al escape tardío.

Agradecimientos: Los autores quieren agradecer al Instituto Antártico Argentino a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, al Plan Antártico Español y muy especialmente a Buque Oceanográfico Español "Hesperides" por el apoyo en el terreno. A los revisores y editores de esta revista, cuyas sugerencias mejoraron significativamente la calidad de nuestro trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, A.T., G.H., Swihart, G. Artioli and C.A., Geiger, 1984. Segregation vesicles, gas filter-pressing, and igneous differentiation. *Journal of Geology*, 92: 55-72.
- Aparicio, A., C., Risso, J.G., Viramonte, N., Menegatti, e I., Pertrinovic, 1997. El volcanismo de Isla Decepción (Península Antártica). *Boletín Geológico Minero*, 108: 235-258.
- Birkenmayer, K., 1992. Volcanic succession at Deception island, West Antarctic: a revised lithostratigraphic standard. *Studia Geologica Polonica*, 101: 27-82.
- Carman, M.F., 1994. Mechanisms of differentiation in shallow mafic alkaline intrusions, as illustrated in the Big Bend area, western Texas. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 61: 1-44.
- Caroff, M., R.C., Maury, J., Cotten, and J.P. Clément, 2000. Segregation structures in vapor-differentiated basaltic flows. *Bulletin of Volcanology*, 62: 171-187.
- Costa, A., S., Blake, and S., Self, 2006. Segregation processes in vesiculating crystallizing magmas. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 153: 287-300.
- Goff, F., 1996. Vesicle cylinders in vapor-differentiated basalt flows. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 71: 167-185.
- Keller, R.A., M.R., Fisk, W.M., White, and K., Birkenmayer, 1992. Isotopic and trace element constraints on mixing and melting models of marginal basin volcanism, Bransfield Strait, Antarctic. *Earth and Planetary Science Letters*, 111: 287-303.
- Kontak, D.J., 2008. On the edge of CAMP: Geology and volcanology of the Jurassic North Mountain Basalt, Nova Scotia. *Lithos*, 101: 74-101.
- Kuno, H., 1965. Fractionation trends of basalt magmas in lava flows. *Journal of Petrology*, 6: 302-321.
- Kuritani, T., Y. Takeyoshi and N. Yoshitaka, 2010. Internal differentiation of Kutsugata lava flow from Rishiri Volcano, Japan: Processes and timescales of segregation structures' formation. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 195:57-68.
- Le Maitre, R.W., 1984. A proposal by the IUGS subcommission on the systematic of igneous rocks for a chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali silica (TAS) diagram. ". *Australian Journal of Earth Science*, Melbourne, Vol. 31 : 243-255.
- Manga, M. and H.A., Stone, 1994. Interactions between bubbles in magmas and lavas: effects of bubble deformation. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 63: 267-279.
- Martí, J., Greyer, A. and Aguirre-Díaz, G. 2013. Origin and evolution of the Deception Island caldera (South Shetland Islands, Antarctica). *Bulletin of Volcanology* 75:732.
- DOI 10.1007/s00445-013-0732-3
- Merle, R., M., Caroff, J., Girardeau, J. Cotten, and C., Guivel, 2005. Segregation vesicles, cylinders, and sheets in vapour-differentiated pillow lavas: Examples from Tore-Madeira Rise and Chile Triple Junction. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 141: 109-122.
- Nakamura, N., 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 38:757-775.
- Philpotts A. and C., Lewis, 1987. "Pipe vesicles: An alternate model of their origin". *Geology*, Vol.15: 971-974.
- Risso, C. and A. Aparicio, 2002 . Plutonic xenoliths in Deception Island (Antarctica). *Terra Antarctica* , 9: 95-99.

- Risso, C., A., Aparicio, A. Caselli, y R., Ortiz, 1994. Nuevos aspectos petrológicos de la Isla Decepción, Antártica. Publicaciones Cabildo Insular de Lanzarote. Serie Casa de Los Volcanes, 3: 201-215.
- Rogan, W., S., Blake, and I., Smith, 1996. In situ chemical fractionation in thin basaltic lava flows: examples from the Auckland volcanic field, New Zealand, and a general physical model. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 74:89-99.
- Smellie, J.L., 2001. Lithostratigraphy and volcanic evolution of Deception Island. South Shetland Island. *Antartic Science*, Vol. 13 N°2:188-209.
- Smellie JL, López-Martínez J et al. (2002). Text and geological and geomorphological maps. BAS GEOMAP series, Sheets 6-A and 6-B, Scale 1:25 000. In: Smellie JL L-MJ, Thomson JW, Thomson MRA (eds) *Geology and geomorphology of Deception Island*. British Antarctic Survey, Cambridge, 77p. + 3 folded maps.
- Thordarson, T., and Self, S., 1998. The Roza Member, Columbia River Basalt Group: a gigantic pahoehoe lava flow field formed by endogenous processes. *J. Geophys. Res.* 103:27411-27445.
- Verma, S.P., I.S., Torres-Alvarado, and Z.T., Sotelo-Rodriguez, 2002. SINCLAS: standard igneous norm and volcanic rock classification system. *Computers & Geosciences*, 28: 711-715

Recibido: 22-06-2014
Aceptado: 06-11-2014