

Alfano, F., Ort, M.H., Pioli, L., Self, S., Hanson, S.L., Roggensack, K., Allison, C.M., Amos, R., and Clarke, A.B., 2018, Subplinian monogenetic basaltic eruption of Sunset Crater, Arizona, USA: GSA Bulletin, <https://doi.org/10.1130/B31905.1>.

The sub-Plinian monogenetic basaltic eruption of Sunset Crater, Arizona, USA.

Supplemental Material

Fabrizio Alfano^{1*}, Michael H. Ort², Laura Pioli³, Stephen Self⁴, Sarah L. Hanson⁵, Kurt Roggensack¹, Chelsea M. Allison¹, Robert Amos⁶, and Amanda B. Clarke¹

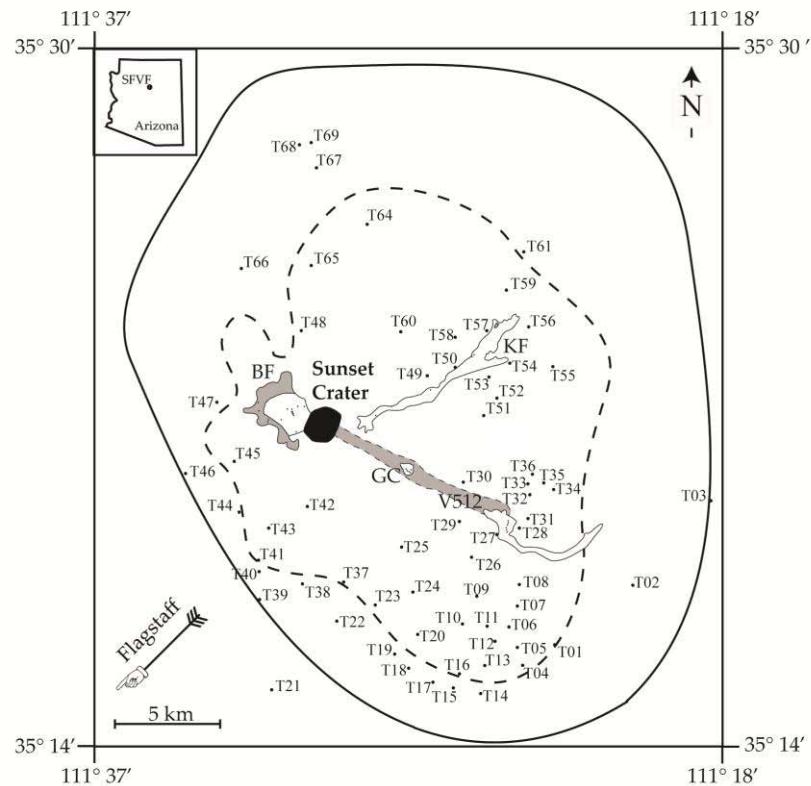
1. SESE, ASU, Tempe AZ 85287; 2. SESES, Northern Arizona University, Flagstaff, AZ 86011; 3. Dept. Mineralogy, University of Geneva, Switzerland; 4. Dept. of Earth and Planetary Science, The University of California, Berkeley CA 94720; 5. Geology Dept., Adrian College, 110 South Madison St., Adrian, MI 49221; 6. 2539 Diamond Hill Road, St. Johnsbury, VT 05819.

- SM 1. Sample Points coordinates
- SM 2. Sample point map
- SM 3. Deposit thickness and maximum clast
- SM 4. Median and sorting of tephra samples
- SM 5. Md_{ϕ} vs σ_{ϕ} diagram
- SM 6. Isopleth maps of units 2 to 5
- SM 7. Whole rock major element compositions
- SM 8. Lava flows parameters
- SM 9. Scoria cone parameters
- SM 10. Tephra power-law volumes
- SM 11. Column height determination
- SM 12. Volumes DRE of basaltic volcanoes

SM 1 - Sample point coordinates in decimal of degrees (G: Gyp Crater; V = Vent 512 flow; K = Kana'a flow; B = Bonito flow; AG = Agglutinate; T = Tephra).

Sample	Lat (deg)	Lon (deg)	Sample	Lat (deg)	Lon (deg)	Sample	Lat (deg)	Lon (deg)
G1	35.34	111.46	T1	35.27	111.38	T35	35.34	111.39
G2	35.35	111.46	T2	35.30	111.35	T36	35.34	111.40
G3	35.34	111.46	T3	35.33	111.31	T37	35.24	111.49
G4	35.35	111.46	T4	35.27	111.40	T38	35.30	111.51
G5	35.35	111.46	T5	35.27	111.40	T39	35.29	111.53
V1	35.32	111.41	T6	35.28	111.41	T40	35.30	111.53
V2	35.32	111.41	T7	35.29	111.40	T41	35.31	111.53
V3	35.32	111.41	T8	35.30	111.40	T42	35.33	111.51
V4	35.32	111.41	T9	35.29	111.42	T43	35.32	111.53
V5	35.32	111.41	T10	35.28	111.43	T44	35.33	111.54
V6	35.32	111.41	T11	35.28	111.42	T45	35.35	111.55
K1	35.39	111.43	T12	35.28	111.41	T46	35.34	111.57
K2	35.39	111.43	T13	35.27	111.42	T47	35.37	111.55
K3	35.37	111.47	T14	35.25	111.42	T48	35.40	111.51
K4	35.38	111.45	T15	35.26	111.44	T49	35.38	111.45
K5	35.37	111.47	T16	35.26	111.43	T50	35.39	111.43
B1-1	35.37	111.52	T17	35.26	111.45	T51	35.37	111.42
B1-2	35.37	111.51	T18	35.27	111.46	T52	35.38	111.41
B1-3	35.37	111.51	T19	35.27	111.46	T53	35.38	111.42
B2-1	35.37	111.53	T20	35.28	111.45	T54	35.39	111.41
B2-2	35.36	111.51	T21	35.26	111.53	T55	35.39	111.39
B3-1	35.37	111.53	T22	35.28	111.49	T56	35.40	111.40
B3-2	35.37	111.53	T23	35.29	111.41	T57	35.40	111.42
B3-3	35.37	111.52	T24	35.30	111.46	T58	35.40	111.43
B3-4	35.36	111.53	T25	35.31	111.46	T59	35.42	111.41
B3-5	35.37	111.52	T26	35.31	111.43	T60	35.40	111.46
B3-6	35.37	111.52	T27	35.32	111.41	T61	35.44	111.40
AG1	35.37	111.52	T28	35.32	111.40	T64	35.45	111.48
AG2	35.37	111.52	T29	35.33	111.43	T65	35.43	111.51
			T30	35.34	111.43	T66	35.43	111.54
			T31	35.32	111.40	T67	35.47	111.50
			T32	35.33	111.40	T68	35.48	111.51
			T33	35.34	111.40	T69	35.48	111.51
			T34	35.34	111.39			

SM 2 – Maps showing sample locations from Table SM1. Black circles indicate tephra samples; Black diamonds indicate lava samples; open black diamonds indicate agglutinate samples.

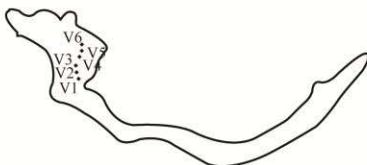


Bonito Flow (BF)

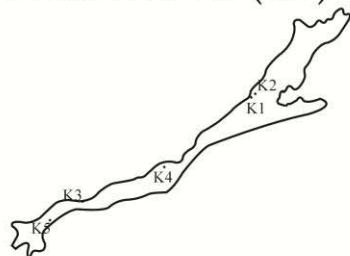
Gyp Crater (GC)



Vent 512 (V512)



Kana'a Flow (KF)



SM 3 - Thickness and maximum clast diameter for each tephra unit.

Sample	Thickness (cm)					Max Clast (mm)				
	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5
T1	4	6	20	28	--	8	6	50	--	--
T2	3	--	10	6	--	12	--	12	--	--
T3	--	2	5	--	--	--	--	12	--	--
T4	4	7	6	--	--	16	6	21	33	--
T5	5	6	7	--	--	32	6	--	34	--
T6	5	7	6	--	--	16	12	22	34	--
T7	8	--	4	--	13	16	6	19	20	34
T8	9	8	9	33	--	23	8	--	29	34
T9	10	10	--	10	--	18	11	--	--	--
T10	4	11	--	11	25	23	12	26	22	34
T11	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T12	--	6	15	--	--	16	12	26	--	--
T13	4	9	--	--	--	--	6	--	21	--
T14	--	--	--	22	--	--	6	12	20	--
T15	--	--	16	12	--	--	8	28	28	--
T16	--	--	--	--	--	--	6	--	--	--
T17	--	5	21	15	--	--	6	28	31	--
T18	--	--	29	--	--	--	--	24	--	--
T19	--	5	34	--	--	--	6	26	--	--
T20	1	10	20	--	--	--	12	28	--	--
T21	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T22	--	--	18	--	--	--	--	--	--	--
T23	1	--	20	13	--	8	--	30	43	--
T24	5	12	--	10	--	21	--	28	32	--
T25	10	25	19	23	--	24	12	37	36	39
T26	19	16	12	22	--	38	13	24	30	45
T27	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T28	10	10	--	20	33	20	6	30	26	39
T29	--	10	32	41	95	--	--	40	40	40
T30	5	10	44	14	42	16	12	34	35	34
T31	15	--	22	--	--	29	8	15	--	--
T32	--	12	10	--	--	--	--	--	--	--
T33	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T34	--	7	--	10	15	--	--	--	25	19
T35	--	7	20	--	--	--	--	28	--	--

SM 3 - Continued

Sample	Thickness (cm)					Max Clast (mm)				
	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5
T36	--	5	24	10	--	--	--	25	27	25
T37	3	21	50	--	--	8	12	30	--	--
T38	4	13	31	12	--	8	6	25	31	--
T39	2	5	11	3	--	4	6	--	32	--
T40	--	--	10	6	--	--	--	--	--	--
T41	10	13	13	12	--	--	6	--	--	--
T42	--	20	133	80	30	--	--	48	42	--
T43	--	--	--	--	--	--	--	27	37	--
T44	--	5	17	27	18	--	12	--	28	36
T45	22	2	8	32	11	--	6	--	--	16
T46	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T49	--	--	--	--	45	--	--	--	--	34
T50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T51	--	--	25	--	--	--	--	20	--	--
T52	--	--	22	23	--	--	--	25	22	--
T53	--	--	15	25	--	--	--	25	31	--
T54	--	--	--	15	--	--	--	25	30	--
T55	--	--	158	--	15	--	--	20	21	29
T56	--	--	7	14	18	--	--	15	23	23
T57	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T58	--	--	20	--	41	--	--	42	40	38
T59	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T60	--	--	--	--	50	--	--	--	40	39
T61	--	--	--	14	--	--	--	33	--	29
T64	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T65	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T66	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T67	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T68	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T69	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

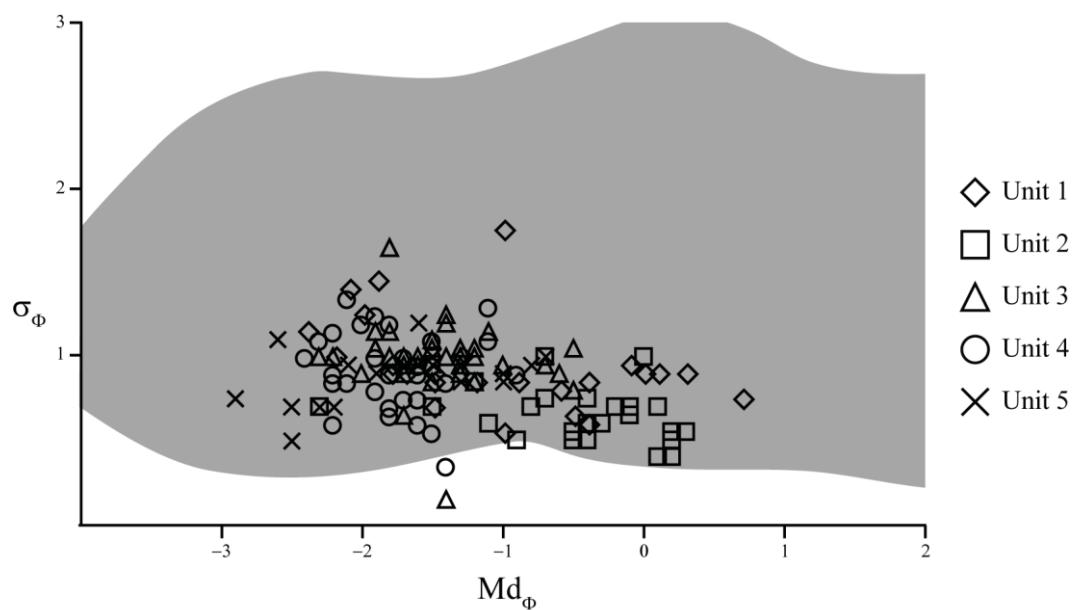
SM 4 – Median (Md_ϕ) and sorting (σ_ϕ) for the tephra units.

Sample	Md_ϕ					σ_ϕ				
	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5
T1	0.0	0.1	-1.2	-0.9	--	0.9	0.7	0.9	0.9	--
T2	-0.9	--	-0.5	-1.6	--	0.9	--	0.8	0.8	--
T3	--	-0.8	-0.6	--	--	--	0.7	0.9	--	--
T4	-1.2	0.1	-1.4	-1.1	--	0.9	0.4	1.2	1.3	--
T5	-1.3	-0.1	-1.8	--	--	1.0	0.7	1.2	--	--
T6	-1.5	-0.4	--	--	--	0.9	0.6	--	--	--
T7	-1.2	-0.4	-0.7	-1.7	--	0.9	0.5	1.0	0.8	--
T8	-1.5	-0.5	-0.5	-1.4	--	0.9	0.6	1.1	0.9	--
T9	-1.7	-0.5	--	--	--	0.9	0.7	--	--	--
T10	-2.2	-0.3	-1.1	-1.8	--	1.0	0.6	1.2	1.2	--
T11	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T12	-1.5	-0.1	-1.8	--	--	0.7	1.0	1.7	--	--
T13	--	0.1	-1.7	--	--	--	0.7	0.9	--	--
T14	--	0.3	-1.5	-1.5	--	--	0.6	0.9	0.6	--
T15	--	0.2	-1.2	-1.6	--	--	0.6	1.1	0.6	--
T16	--	0.2	--	--	--	--	0.4	--	--	--
T17	--	0.2	-1.7	-1.8	--	--	0.5	0.9	0.7	--
T18	--	--	-0.5	--	--	--	--	1.1	--	--
T19	--	-0.4	-1.4	--	--	--	0.6	0.2	--	--
T20	--	-0.2	-1.5	--	--	--	0.7	1.1	--	--
T21	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T22	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T23	-0.6	--	-1.0	-2.2	--	0.8	--	1.0	0.6	--
T24	-1.0	-0.7	-1.7	-2.2	--	1.8	0.8	0.7	0.9	--
T25	-2.0	-1.5	-1.8	-2.2	-2.3	1.3	0.7	1.0	1.2	0.7
T26	-1.9	-0.9	-1.2	-1.8	-2.5	1.5	0.5	1.1	0.9	0.5
T27	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T28	-1.8	-1.1	-1.2	-1.5	-1.3	1.0	0.6	1.0	1.1	0.9
T29	--	--	-1.5	-1.7	-0.8	--	--	1.1	1.0	1.0
T30	-2.1	-2.3	-1.7	-2.0	-1.7	1.4	0.7	1.0	1.2	1.0
T31	-1.8	1.0	--	--	--	0.9	0.6	--	--	--
T32	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T33	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T34	--	--	--	-1.6	-1.0	--	--	--	0.9	0.9
T35	--	--	-1.3	--	--	--	--	1.1	--	--

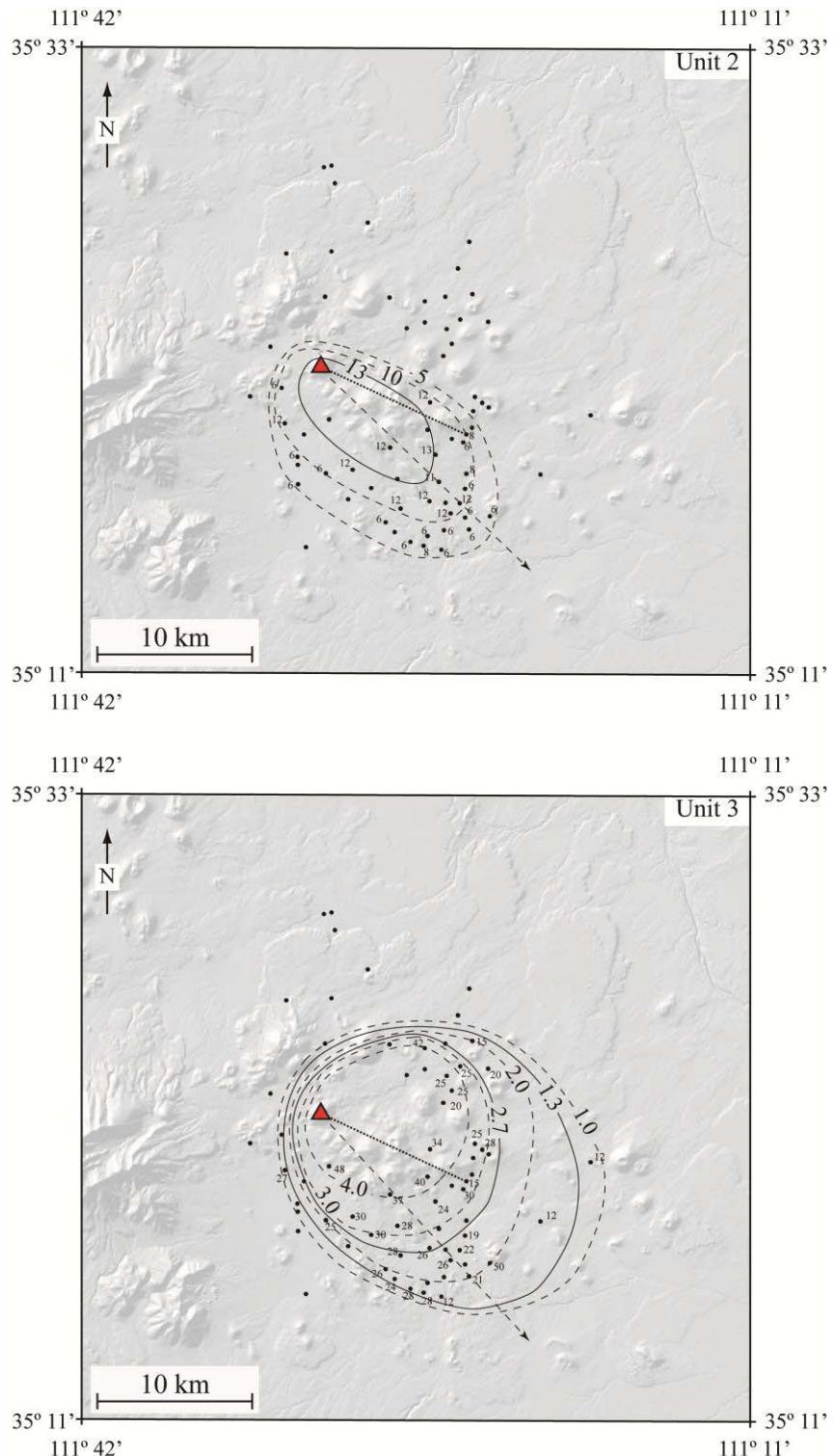
SM 4 - Continued

Sample	Md_ϕ					σ_ϕ				
	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5
T36	--	--	-1.3	-1.9	-1.9	--	--	0.9	1.0	0.9
T37	-0.4	-1.2	-1.7	--	--	0.9	0.9	0.9	--	--
T38	0.1	-0.4	-1.4	-1.8	--	0.9	0.8	1.0	0.7	--
T39	0.7	-0.1	--	-1.1	--	0.8	0.7	--	1.1	--
T40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T41	-0.9	--	-1.3	-1.4	--	0.0	--	1.0	0.4	--
T42	--	--	-1.9	-1.9	-2.2	--	--	1.2	0.8	0.7
T43	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T44	--	-0.7	-1.4	-2.1	-0.7	--	1.0	1.3	1.4	1.0
T45	-2.4	0.0	--	-2.1	-2.5	1.2	1.0	--	0.9	0.7
T46	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T49	--	--	--	--	-2.9	--	--	--	--	0.8
T50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T51	--	--	-1.7	--	--	--	--	1.0	--	--
T52	--	--	-1.6	-2.2	--	--	--	1.0	0.9	--
T53	--	--	-2.2	-2.2	--	--	--	1.0	0.9	--
T54	--	--	-2.0	-1.6	--	--	--	0.9	1.0	--
T55	--	--	-1.6	-1.9	-1.5	--	--	1.0	1.3	1.0
T56	--	--	-1.3	-1.5	-1.0	--	--	1.0	1.0	0.9
T57	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T58	--	--	-1.2	--	-1.6	--	--	0.0	--	1.0
T59	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T60	--	--	--	-2.4	-2.6	--	--	--	1.0	1.1
T61	--	--	-1.9	--	--	--	--	1.1	--	--
T64	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T65	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T66	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T67	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T68	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
T69	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

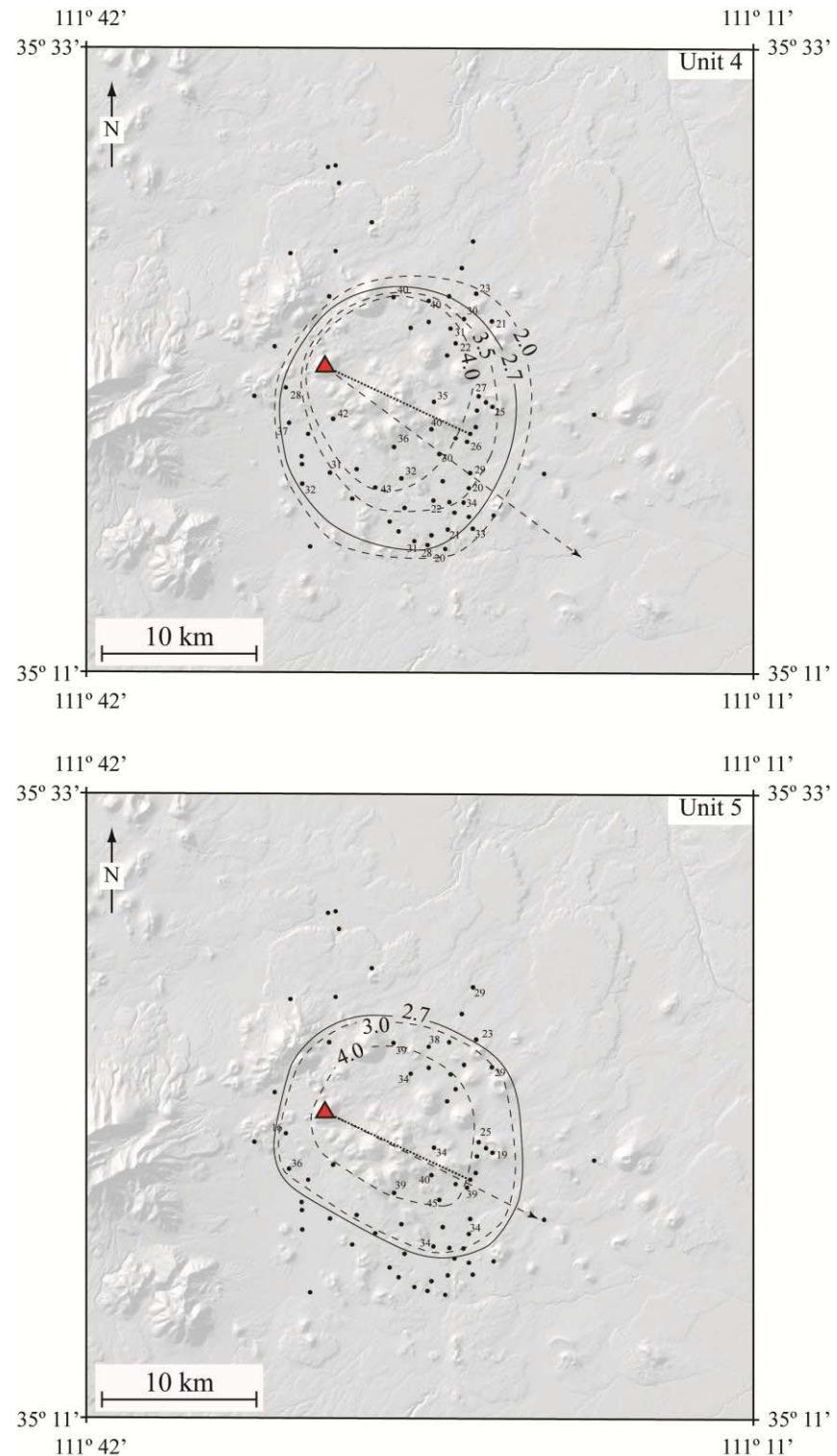
SM 5 – Median grain size vs. sorting diagram for the tephra samples analyzed (modified after Walker, 1971). The gray area indicates the range of values that characterize fallout deposits.



SM 6 – Isopleth maps (mm) showing the distribution of the maximum clast for units 2 to 5. Solid black lines represent the isopleths used to determine the column height (i.e., 1.3 and 2.7 cm with average density of 1500 km/m^3 , equivalent to 0.8 and 1.6 cm with 2500 kg/m^3 density; Carey and Sparks, 1986); dashed lines represent generic isopleths maps.



SM 6 – continued



SM 7 - XRF analyses of whole rock major element for the Sunset Crater lava tephra and lava samples. For details of analytical procedures, please contact the corresponding author.

	V1	V2	V3	V4	V5	V7	G1	G2	G3	G4	G5	K1	K2	K3	K4	K5
SiO ₂	46.23	45.69	46.28	46.76	46.17	46.25	45.43	45.92	46.15	45.74	47.02	46.67	47.04	47.08	46.93	
TiO ₂	1.99	1.97	2.01	1.99	1.99	1.96	1.98	1.99	2.01	1.97	1.80	1.84	1.83	1.79	1.83	
Al ₂ O ₃	15.46	15.31	15.30	15.73	15.41	15.54	15.02	14.92	15.18	15.08	16.01	15.83	15.72	16.07	16.02	
FeO	10.93	10.88	10.95	11.00	10.91	10.91	10.72	10.86	10.86	10.91	10.89	10.88	11.24	10.82	10.84	
MnO	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	
MgO	8.27	8.30	8.52	8.31	8.38	8.23	8.46	8.76	8.47	8.53	8.46	8.42	8.35	8.81	8.16	
CaO	9.95	9.89	9.80	10.11	9.98	10.03	10.23	10.02	10.16	10.17	10.09	10.12	10.14	9.92	10.25	
Na ₂ O	3.06	3.07	2.97	3.17	3.06	3.05	3.14	3.03	3.09	3.35	3.07	3.26	3.29	3.10	3.25	
K ₂ O	0.90	0.93	0.90	0.94	0.91	0.94	0.91	0.90	0.92	0.92	0.91	0.80	0.82	0.80	0.81	
P ₂ O ₅	0.47	0.47	0.48	0.49	0.47	0.48	0.49	0.49	0.50	0.50	0.50	0.45	0.46	0.37	0.47	
LOI	1.15	1.90	1.23	0.00	1.12	1.00	2.05	1.94	1.32	0.68	1.79	0.00	0.13	0.00	0.00	
Sum	99.58	99.57	99.57	99.70	99.57	99.58	99.55	99.57	99.56	99.57	99.93	99.57	100.03	99.96	99.58	
	B1-1	B1-2	B1-3	B2-1	B2-2	B3-1	B3-2	B3-3	B3-4	B3-5	B3-6	AG1	AG2	U1-1	U2b	U3bt
SiO ₂	46.87	46.56	46.82	46.52	47.13	46.75	46.96	46.44	47.78	47.04	46.51	46.61	46.46	47.10	47.12	47.17
TiO ₂	1.76	1.78	1.77	1.77	1.70	1.73	1.74	1.79	1.77	1.79	1.78	1.79	1.78	1.76	1.77	1.79
Al ₂ O ₃	15.83	15.62	15.59	15.50	15.98	15.68	15.90	15.59	16.13	15.74	15.63	15.96	15.52	15.98	16.12	16.33
FeO	10.72	10.72	10.64	10.79	10.42	10.73	10.67	10.82	10.77	10.82	10.69	10.91	10.81	10.82	10.92	10.94
MnO	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
MgO	8.04	8.30	8.15	8.56	7.79	8.26	8.09	8.33	8.05	8.17	8.33	8.12	8.39	8.57	8.52	8.56
CaO	9.88	10.03	10.01	10.01	9.91	9.87	9.88	9.92	9.89	9.86	9.97	9.80	9.93	10.20	10.31	10.07
Na ₂ O	3.22	3.10	3.11	3.02	3.20	3.16	3.20	3.06	3.24	3.18	3.14	3.30	3.05	2.31	2.82	2.84
K ₂ O	0.82	0.77	0.79	0.77	0.85	0.79	0.82	0.78	0.83	0.80	0.79	0.78	0.80	0.73	0.76	0.78
P ₂ O ₅	0.47	0.45	0.45	0.45	0.48	0.46	0.47	0.46	0.48	0.47	0.45	0.43	0.47	0.42	0.39	0.40
LOI	0.83	1.11	1.11	1.03	1.01	1.01	0.7	1.22	0	0.55	1.13	0.72	1.23	0.53	0.25	0.45
Sum	98.61	98.61	98.61	98.59	98.64	98.61	98.60	98.58	99.11	98.59	98.59	98.59	98.81	99.01	99.41	99.51

V: Vent512 flow;

G: Gyp Crater;

K: Kana'a flow;

B: Bonito flow (B1, B2 and B3);

AG: agglutinate material rafted by Bonito flow;

U: Tephra units (1 to 5), with U2b and U2r indicating analyses carried out on black and red scoria of unit 2, and U3 bt and top indicating analyses carried out on scoria samples collected at the bottom and the top of unit 3.

SM 8 – Lava flow parameters. Bulk volumes are calculated based on the areal extent and average thickness of the flows, and converted into DRE (dense rock equivalent) values based on a lava density of 2400 kg/m³ (corresponding to a vesicularity of 14%) and a dense rock density of 2800 kg/m³.

	Length (km)	Area (km ²)	Thickness (m)	Volume DRE (km ³)	
Vent512	5.5	2.1	5	0.01	
Kana'a	11	4.3	10	0.03	
Bonito	2.5-3	4.6	20	0.08	
<i>Cumulative</i>				0.12	

SM 9 – Scoria cone parameters. Bulk volume is estimated based on elevation and morphology of the edifice, and converted into DRE assuming a bulk density of 1500 kg/m³ (corresponding to a deposit vesicularity of 46%) and a dense rock density of 2800 kg/m³.

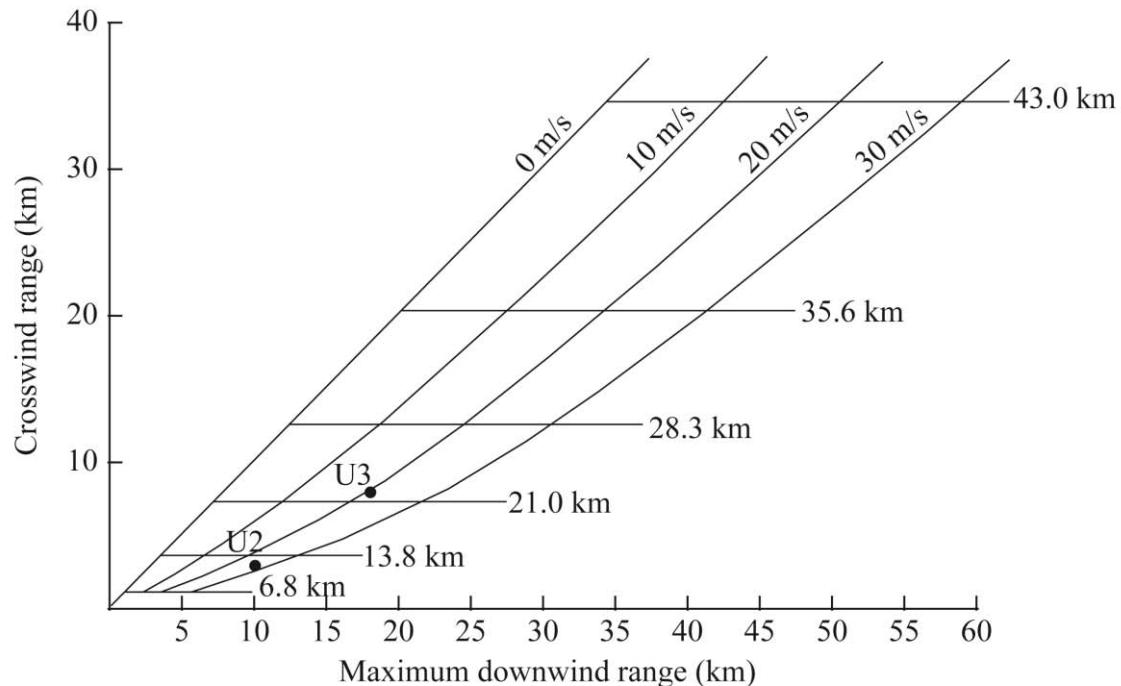
W _{CO} (km)	1.6
W _{CR} (m)	500
H _{CO} (m)	300
H _{CO} /W _{CO}	1.2
W _{CR} /W _{CO}	0.3
Volume DRE (km ³)	0.16

SM 10 – Tephra power-law volumes. Bulk volumes are calculated using the power-law (Bonadonna and Houghton 2005) methods for individual fallout units (1 to 5) and total deposit using the isopach maps in Fig. 4. The volumes, determined considering different values for the distal limit of the deposit, were used to build the diagram of Fig.5b.

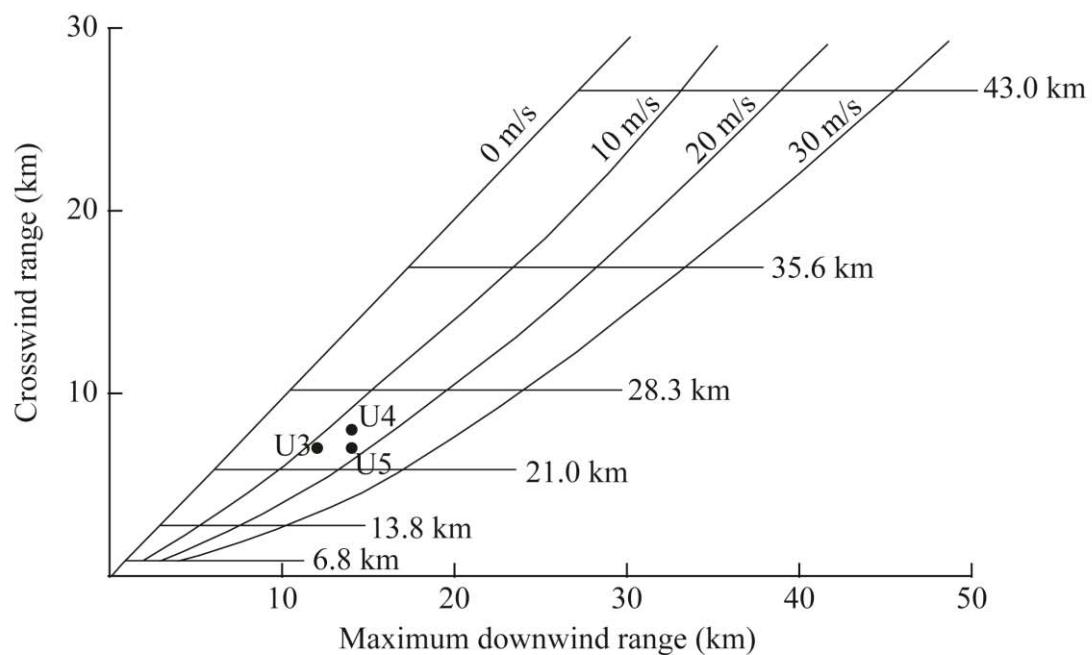
	PL volumes (km ³)					
	V ₆₀	V ₁₀₀	V ₂₀₀	V ₃₀₀	V ₄₀₀	V ₅₀₀
Unit 1	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05
Unit 2	0.06	0.08	0.12	0.15	0.17	0.19
Unit 3	0.21	0.28	0.40	0.50	0.57	0.64
Unit 4	0.26	0.40	0.69	0.95	1.18	1.41
Unit 5	0.17	0.21	0.28	0.32	0.36	0.39
<i>Cumulative</i>	0.74	1.01	1.54	1.97	2.33	2.68
Total deposit	0.82	1.15	1.56	1.85	2.08	2.27

SM 11 – Column height determination

Equivalent Particle Diameter = 1.3 cm



Equivalent Particle Diameter = 2.7 cm



SM 12 - Volumes DRE of selected basaltic volcanoes. For sources of information, see references indicated in Fig.8.

	Cone	Tephra	Lava		Total
Sunset Crater	0.16	0.24	0.12		0.52
Paricutin	0.07	0.41	0.70		1.18
El Jorullo	0.09	0.20	0.31		0.60
Puy de la Vache	0.02	0.03	0.45		0.50
Tolbachik 2	0.10	0.10	0.24		0.44
Cerro Negro	0.08	0.13	0.04		0.26
Tolbachik 1	0.09	0.12	0.03		0.24
Heimaey	0.02	0.01	0.18		0.21
Marcath	0.04	0.02	0.10		0.16
Lathrop Wells	0.02	0.07	0.03		0.12
Serra Gorda	0.03	0.04	0.02		0.09
Croscat	0.01	0.01	0.01		0.03
Chinyero	0.001	0.01	0.01		0.03
Red Cones	0.004	0.001	0.01		0.01