

DÉPÔTS DE LAHAR AUX VOLCANS DE CERRO GORDO ET COLUMBA, CAMPO DE CALATRAVA (ESPAGNE)

E. GONZÁLEZ, R. GOSÁLVEZ, R. BECERRA, E. ESCOBAR*

Abstract: The Campo de Calatrava is a volcanic system located into the Meseta Meridional of Spain. For more than 8 millions years they have registered magmatic and phreatomagmatic eruptions. These eruptions are organized in four stages, separated by long periods of calm. In the last of them, dating since the Upper Pleistocene and the Holocene, has been ascertained the development of lahars, recognized at present by the basins related to the hydrovolcanic eruptions linked to the presence of crater lagoons. These deposits have been located in the volcanoes of Cerro Gordo and Columba, both in the eastern sector of the region.

Key words: lahar deposits, Campo de Calatrava

Rezumat: Campo de Calatrava este un sistem vulcanic localizat în Meseta Meridională a Spaniei. De-a lungul a 8 milioane de ani s-au produs aici erupții magmatice și freatomagmatice. Acestea au avut loc în patru etape, separate prin lungi perioade de calm. Pentru ultima dintre ele, datată pleistocen superior – holocen, a fost descoperită dezvoltarea laharelor în legătură cu erupțiile hidromagmatice și de prezența craterelor – lagune. Depozitele de lahare sunt localizate în vulcanii Cerro Gordo și Columba, ambele în sectorul estic al regiunii

1. INTRODUCTION ET ANTECEDENTS

Le Campo de Calatrava est une région naturelle située dans le milieu de la province de Ciudad Real (Plateau Méridional espagnol), où des éruptions volcaniques se sont produites le long du Pliocène et du Quaternaire, dans une temporalité entre à partir de il y a 8,6 millions d'ans (Ancochea, 1983) et jusqu'en 5200 BP (Gonzalez et al., 2007). Les éruptions sont organisées en plusieurs étapes et sont donc effusives et stromboliennes. Cependant, l'interférence du magma avec de l'eau à l'extérieur du système volcanique a favorisé le développement d'éruptions phréatiques et phréatomagmatiques.

Le paysage du Campo de Calatrava consiste en une succession d'amples dépressions encadrées par des chaînes paléozoïques, cassées par d'importants processus de fracturation. Au milieu des dépressions tout comme sur les niveaux de cimes et dans les espaces de piedmont il y a des édifices volcaniques formés de coulées de lave et cônes de cendres et scories avec cratères qui sont souvent remplis par des dernières effusions de lave. Tout près de ces édifices se situent d'amples et profonds maars entourés par des anneaux de dépôts ou murailles rocheuses élevées, cassées par la puissance des explosions. La plupart de ces maars, à conditions climatiques favorables, hébergent des lames d'eau, et donnent lieu au développement d'un des plus étendues zones humides du centre et sud de l'Espagne, où se sont développés quelques écosystèmes spécifiques qui n'ont pas éprouvé de grands changements environnementaux tout au long du temps. Les caractéristiques géoenvironnementales de l'espace de Campo de Calatrava ont été analysées par divers auteurs, qui depuis les années 70 du 20^e siècle ont mené à terme des travaux de recherche concernant cette zone. Ainsi, Monturiol (1970) signale deux niveaux de paléosols rouges, associés à des dépôts volcaniques, et García Antón (1986) définit le paysage végétal du Campo de Calatrava pendant le Holocène. L'évolution climatique de cette période et sa répercussion sur le paysage actuel est étudiée par Dorado Valiño et Ruiz Zapata (1999).

* *Dpto de Geografía y Ordenación del Territorio, Facultad de Letras, UCLM. A/ Camilo José Cela s/n, 13071, Ciudad Real. elena.gonzalez@uclm.es*

Les particularités de ces zones humides, liées aux maares de la région volcanique, sont analysées par Gosálvez Rey (1997-2006). Mais, et cela malgré les nombreuses recherches sur terrain développées concernant cette zone, c'est seulement à présent qu'on a localisé les dépôts de lahar (mud flow) associés aux volcans de Cerro Gordo et Columba (González et al., 2007 et 2008).

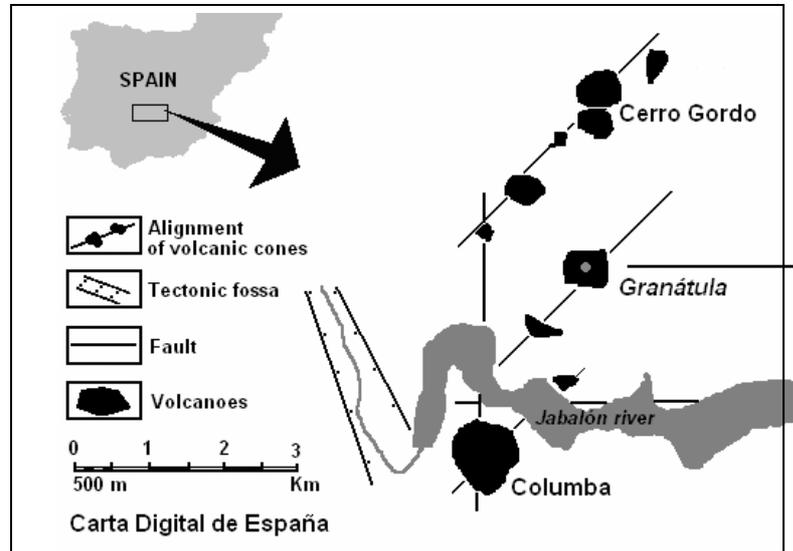


Fig.1. Zone de recherche [Alignement de cônes volcaniques ; Fosse tectonique ; Fracture ; Volcans]

2. ZONE D'ETUDE

La dénomination de Campo de Calatrava Est se réfère au territoire constitué par le Massif de Calatrava, l'anticlinal effondré de l'Almagro-Bolaños, et la complexe dépression structurale de Moral-Calzada de Calatrava. C'est ici que se situent les volcans où on a constaté la présence de dépôts de lahar.

Le Campo de Calatrava, en son secteur est, se caractérise par l'intensité des éruptions. La présence dans cet espace d'une importante rupture corticale - axe volcanique transversal, défini par Ancochea (1983) - avec orientation NE-SO, qui coupe l'axe principal du volcanisme de Calatrava, est sans doute à l'origine de l'intensité et de la prolongation dans le temps des éruptions. L'importante fracture qui limite les bords de la dépression a permis la coulée d'importants secteurs de ces volcans et a facilité la montée du magma jusqu'à la surface.

La base géologique de ce territoire est formée par les matériaux du socle ancien qui forment une ample dépression sédimentaire connue comme « Cuenca de Moral-Calzada-SantaCruz de Mudela », laquelle est installée sur une dépression structurale – Synclitorium de Mudela – qui se développe à la limite sud-est du Campo de Calatrava. Les roches qui foisonnent en surface sont les quartzites de l'Ordovicien moyen et supérieur, qui alternent avec des grès du même âge. Dans la plupart de ce synclinal les roches ordoviciennes sont cachées par des dépôts tertiaires et quaternaires (bassin de Moral-Calzada et secteur central et oriental de l'anticlinal de Santa Cruz).

Les volcans de notre zone d'étude ont tant de formes à cause de l'activité effusive ou bien parce qu'ils ont été générés à la suite d'éruptions marquées par des grandes explosions, fruit de l'interaction eau/magma.

2.1. Le complexe volcanique de Cerro Gordo-Barranco Varondillo

Il est situé (38° 49' 23" N / 3° 44' 37" O) sur la crête en quartzite qui forme le flanc de l'anticlinal érodé Almagro-Valenzuela et qui le sépare de la dépression synclinale complexe de Granátula.

Le volcan a été généré à la suite de diverses éruptions magmatiques et hydromagmatiques desquelles a résulté un ensemble qui consiste actuellement en un cône de cendres et scories couronné par un cratère, et un maar dénommé "Barranco Varondillo" (Fig. 2). Les premières éruptions dans l'ensemble volcanique de Cerro Gordo commencent avec des explosions phréatomagmatiques qui donnent lieu à un maar ouvert au niveau de crête de la chaîne en quartzite. Ces éruptions génèrent des surgissements très humides où la présence de l'eau liquide est très abondante. Ceci induit la formation de flux de boue qui supportent et traînent d'importants volumes de fragments hétérométriques de quartzite, qui conduisent à la formation de quelques dépôts dont on remarque les faciès de lahar (González et al., 2008). Sur ce premier maar a lieu une éruption strombolienne pendant laquelle sont émises des cendres et des scories fines, noires, qui donnent forme à un édifice conique, dissymétrique. De son cratère, à ouverture SSO, sortent des laves qui permettent le développement d'une ample coulée divisée en deux branches dirigées vers l'intérieur de la dépression de Valenzuela, ayant une longueur de plus de deux kilomètres, avec un largeur maximale de 700 m. Une autre coulée dont actuellement nous pouvons seulement remarquer les morceaux initiaux, se renverse par le versant méridional. Ces coulées présentent une structure interne avec formation de boules, en passant vers la partie supérieure à des formes d'autobrechification qui portent des bombes.

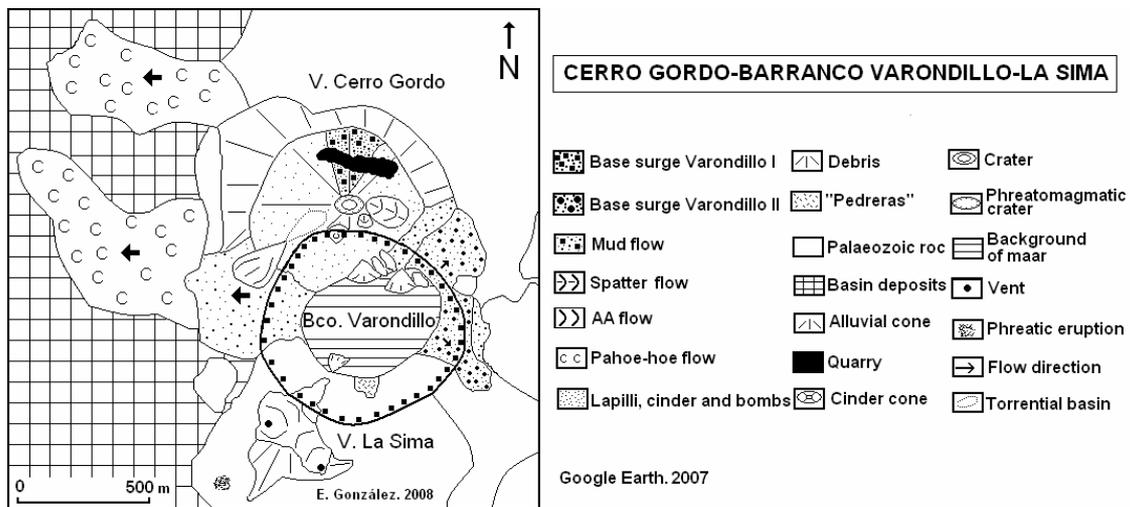


Fig.2. Morphologie de Cerro Gordo-Barranco Varondillo

Cette éruption strombolienne est suivie par une phase explosive à caractère phréatomagmatique, pendant laquelle s'ouvre le grand maar de « Barranco Varondillo » et sont générés des surgissements humides et secs, dont les dépôts forment un anneau, jusqu'à présent bien conservé, entourant la dépression explosive. Les dépôts de ces éruptions recouvrent intégralement le cône, ayant des puissances qui dépassent la vingtaine de mètres. Cette phase commence avec l'émission de matériel de projection qui contient des blocs de quartzite isolés, de jusqu'à un mètre d'axe majeur. Ensuite se produit l'emplacement de successifs ?? qui donnent lieu à des dépôts dont on remarque des formes de fond caractéristiques des flux de grande énergie. Ces explosions modifient la forme originale de l'édifice. Le cratère ouvert dans le flanc méridional est détruit, ainsi qu'une

bonne partie de sa coulée. Les versants et la cime du cône restent recouverts de fragments de quartzite de taille variée. Les roches pyroclastiques ont maintenant une couleur claire qui diffère par rapport à celle des roches émises aux éruptions stromboliennes préalables. De puissants lahars se développent sur le versant septentrional en donnant lieu à des dépôts d'environ 4 mètres d'épaisseur (González et al., 2008). Les dernières éruptions de Cerro Gordo sont effusives avec développement de sources de lave qui sont émises depuis le petit cratère central reconnaissable actuellement. Des dépôts de spatter recouvrent la cime et le versant oriental du volcan.

2.2. Le Volcan Columba

Le volcan Columba se situe sur le cours moyen de la rivière Jabalón (38°-45'-30" N / 3°-47'-00" O) dans la marge gauche du barrage de Vega du Jabalón. Aux alentours et formant des clairs alignements, il y a jusqu'à une douzaine d'édifices volcaniques générés à la suite d'éruptions magmatiques et phréatomagmatiques (Fig. 3).

C'est un volcan bâti à la suite de diverses éruptions qui est formé d'un cône de cendres et scories, basaltiques, avec vésicules, et de taille grosse, couronné par un double cratère allongé orienté NE/SO. Depuis ce cratère se sont renversées des coulées très fluides vers le N, NE et O, ainsi qu'une coulée épaisse de court parcours. Columba fait partie d'un complexe volcanique qui a eu des éruptions en diverses étapes séparées par des longues périodes de repos, en donnant lieu à une séquence commencée dans le Miocène supérieur avec les événements phréatomagmatiques du maar de Vegas de Castellanos (Poblete et Ruiz, 2002), et continuée en Columba avec des processus effusives dans le Pléistocène moyen et supérieur, lesquels coupent en deux le cours de la rivière Jabalón. Tout au long du Pléistocène supérieur le volcan se voit soumis à un processus d'érosion qui se caractérise par la météorisation des matériels qui le constituent, et par la formation de petits vaux en position radiale, dont les plus importants se localisent aux versants nord-ouest et sud-est.

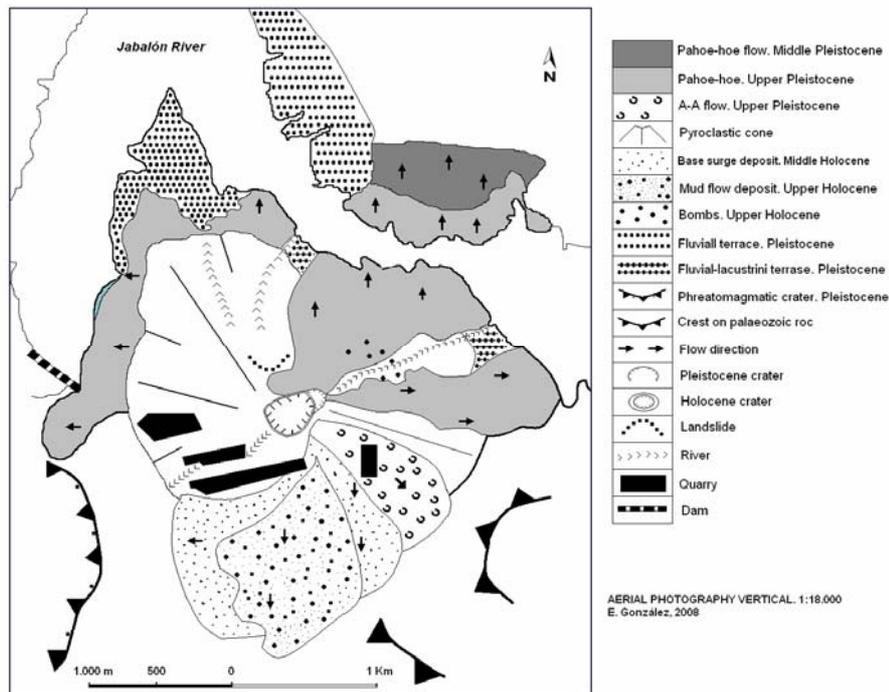


Fig.3. Morphologie du volcan de Columba

3. METHODOLOGIE

La recherche complète a compris la révision de la bibliographie existante sur les caractéristiques environnementales de Campo de Calatrava, l'exploration du terrain en prenant des données et échantillons, et l'analyse de laboratoire des derniers. On a mené à terme de nouvelles études sur terrain des dépôts de surgissements humides générés pendant les phases explosives qui ont ouvert les maars de Cerro Gordo, on a mesuré les paramètres des affleurements, en effectuant les analyses sédimentaires des matériels mobilisés par l'eau liquide au sein des surgissements et des dépôts de lahar, et on a construit des descriptions détaillées des dépôts là où la présence de bons cours a facilité la réalisation d'une étude correcte. On a réalisé aussi une cartographie de la morphologie correspondante (Fig. 2 et 3).

4. RESULTATS

Les résultats de la recherche sont les suivants :

4.1. Dépôts de faciès lahar en Cerro Gordo-Barranco Varondillo

Les dépôts surgissement générés pendant le premier événement phréatomagmatique, celui que nous dénommons "Varondillo I", ont un fort caractère humide avec une supériorité des formes de fond massif. La relation eau/magma est la plus forte au début de la séquence explosive, favorisant une intense fragmentation du magma et de la roche de casse, créant des dépôts formés d'un matériel extrêmement fin, fortement lithifié, avec des formes de fond massif. Selon qu'elle devance le processus éruptif, la relation eau/magma change, en permettant la formation de flux où il y a de l'eau liquide, qui s'arrêtent et se déposent. Ceci se traduit par la présence de séquences basales de 15 centimètres de puissance moyenne que se caractérisent par une concentration de lapilli et de fragments de quartzite arrondis et avec facettes, de taille réduite (gravier), supportés par une matrice sablonneuse.

Échantillon	Gravier %		Sable %	
	Grosse	Fine	Grosse	Fine
Varondillo I a	28'8	20'6	34'0	18'3
Varondillo I b	9'9	24'6	51'3	14'0

Tableau 1. Granulométrie du matériel des canaux

Pendant ces phases, marquées par la présence d'eau liquide, a lieu fréquemment la formation de petits canaux (Fig. 4) et de clairs niveaux de circulation de l'eau avec de traînes et dépôts de matériels de moindre taille contenus dans le flux (Fig. 4), dont l'analyse de la granulométrie se reflète dans le tableau n° 1.

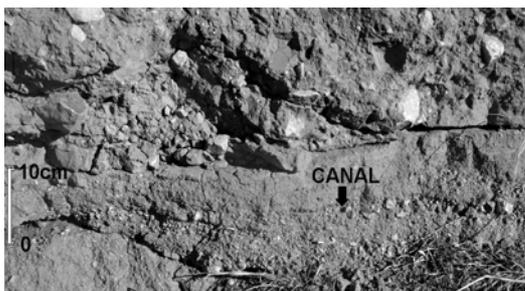


Fig.4. Canaux en U dans les dépôts de faciès lahar



Fig.5. Faciès de lahar et canaux

4.3. Séquence de dépôts au volcan Columba

La séquence de matériels aux dépôts de Columba est formée du mur au toit par les unités suivantes: a) Surface avec bréchification d'une coulée de lave ; b) Paléosol, rouge, peu évolué, avec un grand contenu d'argiles et fragments basaltiques avec grande hétérométrie (blocs) avec abondantes vésicules de sortie de gaz. Dans ce paléosol il y a plusieurs restes de végétation, fossilisés par du matériel provenant d'une éruption phréatomagmatique. Sa puissance moyenne est de 40 cm ; c) Dépôts de base surge humides évoluant en un faciès avec un contenu mineur d'humidité. Ils ont lieu à un dépôt de plus de 2 mètres de puissance moyenne ; d) Dépôt originaire d'un mud flow identifié avec un dépôt de lahar associé à un événement phréatique. Au toit de la séquence se trouve la zone d'altération de ce dépôt, et un sol actuel peu puissant avec la formation de « caliches » (couches de sable ou glaise qui contiennent des minéraux).

4.4. Dépôts de lahar

La partie finale des dépôts décrits est intégrée par un dépôt constitué de fragments basaltiques très différents comme taille dans une matrice argilo-sablonneuse, avec boue où la présence de carbonate et d'oxydations est très abondante. Ce dépôt a dans ses tronçons proximaux une puissance moyenne d'environ deux mètres. Dans son mouvement, le lahar effleure le début du dépôt phréatomagmatique, en formant des canaux et en englobant des fragments de celui-ci. Le flux suit un trajet analogue à celui des surgissements, bien qu'il occupe un espace moindre, sa ligne d'arrêt étant bien marquée, à quelques 100 m de la route de la prise du barrage de Vega du Jabalón, où il donne naissance à une petite colline arrondie qui forme un lobe élevé de 10 mètres sur la surface du flux. Nous l'interprétons comme le résultat de l'émission d'un flux de matériel très humide et dense qui s'est comporté pendant son mouvement et emplacement comme un lahar, donnant lieu à un dépôt massif avec une grande hétérométrie, avec plusieurs fragments de lave ancienne, quelques-uns de la taille des blocs, orientés dans la direction du flux. Entre les dépôts phréatomagmatique et le lahar se trouve une petite formation édaphique en partie brassée par l'avancée du flux de boue, dont la taille ou le processus d'emplacement subi est difficile à préciser. Aux points d'accumulation maximale, elle présente une épaisseur de 12 centimètres. Au versant nord du cône sont localisées des bombes, d'un matériel analogue à celui du dépôt que nous sommes en train de décrire, lesquelles, au choque avec la surface du terrain, l'ouvrent de manière que les fragments basaltiques et les restes de matrice restent séparés. Elles donnent lieu à la formation de cratères d'impact avec des tailles qui oscillent entre 80 et 200 cm d'axe.

Fracción	%
Blocs	18,63
Cailloux	38,95
Gravier	17,44
Sable	24,18
	Grosse 78,35
	Moyen 14,92
	Fine 6,7
Boue	0,22
Argile	0,58

Tableau 2. Granulométrie du dépôt de lahar

Vu les traces d'altération des roches clastiques et la matrice de ce dépôt, analogues à celles qui se remarquent aux bombes de la zone moyenne du versant nord de Columba, nous pourrions interpréter qu'une bonne partie de ce dépôt s'est formée par le remplissage du cratère et, après la première explosion phréatomagmatique, la formation d'une lagune. La production de variations périodiques du niveau de la lame d'eau et même son évaporation justifierait le degré d'altération des fragments et de la matrice, ainsi que la

présence de carbonates. L'existence de lagunes au Campo de Calatrava qui occupent le fond des cratères d'explosion est un fait d'actualité, constaté par González et al. (2000) et que Poblete et Ruiz (2002) ont vérifié comme se produisant depuis le Pléistocène moyen jusqu'au supérieur pour l'environnement de Columba. La formation de cette lagune serait responsable du deuxième événement hydrovolcanique, généré par un échauffement de son eau, ce qui aurait donné lieu à une éruption phréatique. Lors de cette éruption se serait produit la projection balistique des bombes localisées au versant nord. Ainsi se serait formé le lahar développé à cause d'un rapide refroidissement des vapeurs générés à la suite de l'éruption. Le courant se serait comporté comme un mudflow depuis son début.

5. CONSTATS

Le développement de flux de boue n'est pas rare dans les régions volcaniques avec présence d'eau dans les cratères. La réactivation du volcan peut générer une expulsion violente de cette eau et des sédiments qui occupent une partie de ces cratères, donnant lieu à la formation de lahars de dimensions en concordance avec les volumes de cette eau et des dépôts mobilisés.

Au Campo de Calatrava on n'a jamais constaté des événements de ce type, en envisageant que ces dépôts appartenaient, vu la supposée antiquité des édifices volcaniques, à la météorisation des roches pyroclastiques qui forment les cônes et des coulées. L'analyse sédimentologique de ces dépôts nous conduit aux observations suivantes:

5.1. Cerro Gordo-Barranco Varondillo.

La recherche menée à terme dans le complexe volcanique de Cerro Gordo-Barranco Varondillo, nous a conduit aux résultats suivants :

a) Les éruptions s'entament avec des événements phréatomagmatiques où la présence de l'eau liquide permet le développement de faciès de lahar aux dépôts phréatomagmatiques, en donnant lieu à formation de canaux.

b) Cette situation arrive plutôt pendant qu'avant le processus éruptif, en favorisant une circulation de l'eau au sein des dépôts qui brasse, traîne et sédimente à l'intérieur le matériel fin contenu dans le flux pyroclastique.

c) Pendant l'étape éruptive suivante se développent à la fois des événements magmatiques et phréatomagmatiques avec des dépôts intercalés dans le cône de Cerro Gordo.

d) En coïncidant avec la fin des éruptions magmatiques, se développe un lahar puissant bien que de court parcours qui ordonne son dépôt sur le versant nord du cône de Cerro Gordo, en le raccordant avec le piedmont de chaînes paléozoïques.

e) On confirme la formation de petits lahars aux volcans du Campo de Calatrava, chose que nous avons déjà constatée pour cette zone de la région volcanique (González et al., 2007).

5.2. Columba

Les travaux réalisés en Columba impliquent:

a) Au volcan Columba on constate la présence d'une lagune à l'intérieur du cratère avec une dynamique et quelques caractéristiques environnementales similaires à celles connues actuellement, bien que les variables climatiques diffèrent ponctuellement au sujet des valeurs de température et de la présence d'eau, cette situation étant valable pour l'ensemble du Campo de Calatrava Est.

b) Les caractéristiques morphologiques d'autres dépressions explosives situées à l'Est de Columba nous conduisent à présenter l'hypothèse d'une phase d'éruptions tardives, éminemment hydromagmatique pour cette zone de la région volcanique, associée à une présence assez importante d'eau dans le sous-sol et dans le sol.

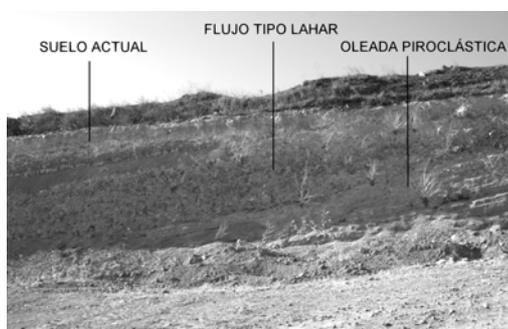


Fig. 8. Séquence de dépôts en Columba



Fig. 9. Dépôt de lahar

c) Dans le lahar sont contenus des restes organiques d'âge Holocène que nous associons aux sédiments qui formaient le fond de la lagune avant l'événement explosif qui a déchaîné le surgissement et a conservé le sol. Les roches et la végétation arrachée ont été incorporées dans la colonne éruptive et sont tombées partiellement à l'intérieur du cratère, demeurant là jusqu'à ce que l'événement phréatique les ait évacuées violemment comme des bombes ou les ait incorporées dans le flux de lahar.

d) En Columba l'existence de ce matériel de projection aérienne identique à celui qui forme le dépôt de boue soutient l'hypothèse de la présence d'une lagune dans le cratère dont l'existence a déterminé l'éruption phréatique responsable de la formation du petit lahar.

RECONNAISSANCES

Cette recherche a été financée par la Junta de Comunidades de Castilla-la Mancha, et la Universidad de Castilla-La Mancha dans le cadre des projets intitulés: *Caracterización y evolución geomorfológica et paleoambiental de los volcanes monogénicos del Campo de Calatrava* et "*Análisis y datación de los paleosuelos de origen volcánico del Campo de Calatrava (España)*". Nous remercions Dr José Luis Macías (Instituto de Geofísica de la UNAM), José Juan Zamorano (Instituto de Geografía de la UNAM) et Anselmo Acosta (IRICA-UCLM) pour leurs contributions au résultat de cette recherche.

RÉFÉRENCES

- Ancochea E., (1983), *Evolución espacial y temporal del volcanismo reciente de España central*. UCM, Madrid, 675 p.
- Dorado M., Valdelomillos A., Ruiz M. B., Gil, M. J., Bustamante I., (1999), *Evolución climática durante el holoceno en la cuenca alta del Guadiana (Submeseta Sur Ibérica)*, Cuaternario y Geomorfología, V.13, Números 1 – 2, p. 19-32
- González E., Gosálvez R., Becerra R., Escobar E., Redondo M., (2008), Condiciones medioambientales en el Holoceno medio del Campo de Calatrava oriental (Ciudad Real, España): Resultados preliminares, En *Contribuciones recientes en Biogeografía*, Ministerio de Educación y Ciencia. Ávila

- González E., Gosálvez R., Becerra R., Escobar E., (2007), *Actividad eruptiva holocena en el Campo de Calatrava (volcán Columba. Ciudad Real, España)*, En: Contribuciones al estudio del periodo Cuaternario. AEQUA, Ávila, 143 – 144
- González E., Gosálvez R. U., (2004), *Nuevas aportaciones al conocimiento del hidrovulcanismo en el Campo de Calatrava*, Contribuciones recientes sobre Geomorfología. SEG, CSIC. Madrid. p. 71-81
- González E., et.all., (2000), *Los geosistemas lagunares de origen volcánico del Campo de Calatrava: funcionamiento y dinámica reciente*, Geomorfología para el Tercer Milenio y Sociedad. SEG, UCM
- González E., (1997), *Secuencias eruptivas y formas de relieve en los volcanes del sector oriental del Campo de Calatrava (Macizo de Calatrava y flanco suroriental del domo de Almagro)*, Ciudad Real, En: Elementos del Medio Natural en la provincia de Ciudad Real. Cuenca, 161-200
- Gosálvez R. U., (2000), *Los humedales del Campo de Calatrava (Ciudad Real) como espacios receptores de Biodiversidad*, En: Actas del I Congreso Español de Biogeografía. Girona, UB-UG-AGE
- Gosálvez R. U., (2003), *Las lagunas de la región volcánica del Campo de Calatrava: Delimitación, Inventario y Tipología*, Proyecto de investigación financiado por la Consejería de Ciencia y Tecnología de la JCCM, (inédito)
- Monturiol F., et.all., (1970), *Los paleosuelos rojos en las formaciones cuaternarias del Campo de Calatrava (Ciudad Real)*, Anales de Edafología y Agrobiología, vol. 7-8, p.548 – 573
- Poblete M. A., Ruiz J., (2002), *Morfología volcánica y dinámica fluvial en el valle medio del Jabalón (Campo de Calatrava Oriental)*, En: Estudios recientes en Geomorfología: patrimonio, montaña, dinámica territorial SEG, Universidad de Valladolid, p. 465 – 475
- Vegas J., García - Cortés A., Galán L., Pérez - González A., Martín - Serrano A., (2006), *El registro sedimentario lacustre del maar de Fuentillejo (Ciudad Real)*, Boletín Geológico y Minero, 117 (3): 339 – 349