

- 1980b, Nd and Sr isotope geochemistry of hydrous mantle nodules and their host alkali basalts—implications for local heterogeneities in metasomatically veined mantle: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 46, p. 323–334.
- Menzies, Martin, y Wass, S., 1983, CO₂- and LREE-rich mantle below eastern Australia—a REE and isotopic study of alkaline magmas and apatite-rich mantle xenoliths from the Southern Highlands Province, Australia: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 65, p. 287–302.
- Minster, J. F., y Allegre, C. J., 1978, Systematic use of trace elements in igneous processes; part III, Invers problem of batch partial melting in volcanic suites: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 68, p. 37–52.
- Mooser, Oswaldo, 1959, La fauna "Cedazo" del Pleistoceno en Aguascalientes: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología, Anales, v. 29, p. 409–452.
- Mooser, Oswaldo, y Dalquest, W. W., 1975, A new species of camel (Genus *Camelops*) from the Pleistocene of Aguascalientes, Mexico: *The Southwestern Naturalist*, v. 19, p. 341–345.
- Muñoz-Saldúa, Rogelio, y Soto-Regalado, David, 1977, Cartografía geológica Hoja Pozas de Santa Ana, S. L. P.: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología y Metalurgia, Folleto técnico núm. 55, 15 p.
- Nimz, G. J., Cameron, K. L., Cameron, M., y Morris, S. L., 1986, Petrology of the lower crust and upper mantle beneath southeastern Chihuahua: *Geofísica Internacional (México)*, v. 25, p. 85–116.
- Pier, J. G., Luhr, J. F., Podosek, F. A., Brannon, J. C., y Aranda-Gómez, J. J., 1987, Correlated Sr-Nd isotopes and trace element abundances in a hercynite-bearing basanite suite from the southernmost Basin and Range Province, S.L.P., Mexico: San Francisco, American Geophysical Union, Annual meeting.
- Powell, M., y Gromet, P. L., 1980, Preliminary geochemical studies of selected crustal xenoliths, Xalapasco de La Joya maar, San Luis Potosí, Mexico: *EOS Transactions of the American Geophysical Union*, v. 61, p. 388.
- Raisz, Erwin, 1959, *Landforms of México* (2ª ed.): Cambridge, Mass., edición privada, mapa con texto, escala 1:3'000,000.
- Roden, M. F., y Murthy, V. R., 1985, Mantle metasomatism: *Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences*, v. 13, p. 269–296.
- Rose, H. J., Adler, Isidore, y Flanagan, F. J., 1963, X-ray fluorescence analysis of the light elements in rocks and minerals: *Applied Spectroscopy*, v. 17, p. 212–238.
- Ruiz, Joaquín, Essene, E. J., y Ortega-Gutiérrez, Fernando, 1982, Pyroxenites from La Joya Honda maar, San Luis Potosí, central Mexico: *EOS Transactions of the American Geophysical Union*, v. 64, p. 463 (resumen).
- Ruiz, Joaquín, Ortega-Gutiérrez, Fernando, y Essene, E. J., 1983, Geochemical and petrographic characteristics of inclusions in Cenozoic alkalic basalts from central Mexico: *EOS Transactions of the American Geophysical Union*, v. 64, p. 343 (resumen).
- Ruiz, Joaquín, Patchett, P. J., y Ortega-Gutiérrez, Fernando, 1986, Isotopic and petrologic characteristics of crustal xenoliths from central Mexico: *Geological Society of America Abstracts with Programs*, v. 18, p. 178, (resumen).
- Sack, R. O., Carmichael, I. S. E., Rivers, M., y Giorso, M. S., 1980, Ferric-ferrous equilibria in natural silicate liquids at 1 bar: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 75, p. 369–376.
- Sánchez-Rubio, Gerardo, 1977, Los dendrogramas y su uso en la petrografía: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, v. 1, p. 174–176.
- 1978, El volcán de La Breña, Estado de Durango: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, v. 2, p. 75–79.
- Smith, A. L., y Carmichael, I. S. E., 1969, Quaternary trachybasalts from southeastern California: *American Mineralogist*, v. 54, p. 909–923.
- Stewart, J. H., 1978, Basin and range structure in western North America—a review: *Geological Society of America Memoir* 152, p. 1–30.
- Sun, S. S., y Hanson, G. N., 1975, Origin of Ross Island basanitoids and limitations upon the heterogeneity of mantle sources for alkali basalts and nephelinites: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 52, p. 77–106.
- Tristán-González, Margarito, 1986, Estratigrafía y tectónica del graben de Villa de Reyes, en los estados de San Luis Potosí y Guanajuato, México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología y Metalurgia, Folleto técnico núm. 107, 91 p.
- Waitz, Paul, 1922, Erupciones riolíticas ligadas con fracturas tectónicas entre Aguascalientes y San Luis Potosí: *Memorias de la Sociedad Científica Antonio Alzate (México)*, v. 46, p. 201–212.
- Wass, S. Y., 1973, Oxides of low pressure origin from alkali basaltic rocks, Southern Highlands, N. S. W., and their bearing on the petrogenesis of alkali basaltic magmas: *Geological Society of Australia Journal*, v. 20, p. 427–447.
- 1980, Geochemistry and origin of xenolith-bearing and related alkali basaltic rocks from the Southern Highlands, New South Wales, Australia: *American Journal of Science*, v. 280-A, p. 639–666.
- Wass, S. Y., y Rogers, N. W., 1980, Mantle metasomatism precursor to continental alkaline volcanism: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 44, p. 1811–1823.
- Wendlandt, R. F., y Harrison, W. J., 1979, Rare earth partitioning between immiscible carbonate and silicate liquids and CO₂ vapor—results and implications for the formation of light rare earth-enriched rocks: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 69, p. 409–419.
- Wilkinson, J. F. G., y Le Maitre, R. W., 1987, Upper mantle amphiboles and micas and TiO₂, K₂O, and P₂O₅ abundances and 100 Mg/(Mg + Fe²⁺) ratios of common basalts and andesites; implications for modal mantle metasomatism and undepleted mantle compositions: *Journal of Petrology*, v. 28, p. 37–73.
- Wilshire, H. G., y Shervais, J. W., 1975, Al-augite and Cr-diopside ultramafic xenoliths in basaltic rocks from western United States; structural and textural relationships: *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 9, p. 257–272.
- Wilshire, H. G., Meyer, C. E., Nakata, J. K., Calk, L. C., Shervais, J. W., Nielson, J. E., y Schwarzman, E. C., 1985, Mafic and ultramafic xenoliths from volcanic rocks of the western United States: U. S. Geological Survey, Open File Report, p. 85–139.
- Wright, T. L., 1984, Origin of Hawaiian tholeiite—a metasomatic model: *Journal of Geophysical Research*, v. 89, p. 3233–3252.
- Yoder, H. S., Jr., y Tilley, C. E., 1962, Origin of basalt magmas—an experimental study of natural and synthetic rock systems: *Journal of Petrology*, v. 3, p. 342–532.
- Zárate-Muñoz, J. C., 1977, Cartografía geológica Hoja Villa Arista, S. L. P.: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología y Metalurgia, Folleto técnico núm. 52, 47 p.
- Ziagos, J. P., Blackwell, D. D., y Mooser, Federico, 1985, Heat flow in southern Mexico and the thermal effects of subduction: *Journal of Geophysical Research*, v. 90, p. 5410–5420.

Aranda-Gómez, J. J., Luhr, J. F., y Nieto-Samaniego, Á. F., 1993, Localidades recién descubiertas de xenolitos del manto y de la base de la corteza en el Estado de San Luis Potosí, México, in *Xenolitos del manto y de la base de la corteza en el Estado de San Luis Potosí, México*: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 106, parte 2, p. 23-36, 6 figuras, 1 tabla.

Parte 2

LOCALIDADES RECIÉN DESCUBIERTAS DE XENOLITOS DEL MANTO Y DE LA BASE DE LA CORTEZA EN EL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO

Por

José Jorge Aranda-Gómez, James F. Luhr y Ángel Francisco Nieto-Samaniego

CONTENIDO

	Página
RESUMEN	25
ABSTRACT	25
INTRODUCCIÓN	26
MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	26
Localidades nuevas	26
Grupo Ventura	26
Campo volcánico de Espíritu Santo	30
COMPOSICIÓN QUÍMICA Y PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS PORTADORAS DE XENOLITOS	30
XENOLITOS	33
SUMARIO Y CONCLUSIONES	34
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

ILUSTRACIONES

Figura 1.- Mapa geológico generalizado del Estado de San Luis Potosí	27
— 2.- Mapa geológico generalizado de la región de Ventura, Estado de San Luis Potosí	28
— 3.- Mapa geológico generalizado del área de Cerro Verde	29
— 4.- Mapa geológico generalizado del área del cerro Las Cuevas	31
— 5.- Mapa geológico generalizado del área de Villa de Ramos	32
— 6.- Diagramas que muestran la variación en el contenido de SiO ₂ vs. P ₂ O ₅ y TiO ₂ en las lavas alcalinas cuaternarias del Estado de San Luis Potosí	33
Tabla 1.- Abundancia relativa de los diferentes tipos de xenolitos en los volcanes alcalinos del Estado de San Luis Potosí	34

LOCALIDADES RECIÉN DESCUBIERTAS DE XENOLITOS DEL MANTO Y DE LA BASE DE LA CORTEZA EN EL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO

José Jorge Aranda-Gómez¹,
James F. Luhr² y
Ángel Francisco Nieto-Samaniego¹

RESUMEN

En la parte central del Estado de San Luis Potosí, hay numerosos centros volcánicos de edad cuaternaria (?). Estos aparatos monogenéticos están constituidos por rocas alcalino-básicas que, en ocasiones, son portadoras de xenolitos de granulita cuya composición varía de ultramáfica a félsica. Las principales localidades con xenolitos en el estado son siete *maars* (cráteres de explosión) o xalapascos; cerca de éstos, o separados por varias decenas de kilómetros, hay conos de ceniza y lava que también contienen inclusiones.

Con base en su distribución geográfica, en la composición química y mineralógica de sus lavas y en sus conjuntos de xenolitos, los *maars* de la región han sido divididos en dos grupos: Ventura y Santo Domingo. Además de éstos, en la porción occidental del estado, existe una región amplia con conos cineríticos, a la cual aquí se denomina "campo volcánico de Espíritu Santo".

Por las características de sus rocas y por su entorno geológico, algunas de las localidades recientemente descubiertas (*e.g.*, Cerro Verde) pertenecen al grupo Ventura. Otras (Villa de Ramos, El Tezontle y el cerro Las Cuevas) están en el campo volcánico de Espíritu Santo, en una región donde el basamento prevolcánico tiene características geológicas y estructurales distintas a las de los grupos citados arriba.

Las rocas portadoras de xenolitos en las localidades nuevas son basanita de olivino y nefelinita, con un contenido de SiO₂ del 41-44%, y de nefelina normativa hasta de 25%. Químicamente, las rocas de Espíritu Santo tienen más afinidad con las de Ventura que con las de Santo Domingo. En todas las localidades nuevas se encontró lerzolita de espinela (Ol > Opx > Cpx >> Spl), granulita feldespática y, en menor proporción, piroxenita. Además de estos xenolitos, en los conos de Villa de Ramos es muy común encontrar megacristales de clinopiroxeno y magnetita. Hasta ahora, en ninguna de las localidades de Espíritu Santo se ha encontrado kaersutita, que es una inclusión común en los volcanes de Santo Domingo.

El transporte de xenolitos a la superficie parece estar relacionado con dos factores: (1) la composición de las lavas, que invariablemente son alcalinas (*i.e.*, con Ne en la norma), y (2) las erupciones freatomagmáticas. El hallazgo de un depósito de nube rasante (*base-surge deposit*), debajo del cono cinerítico del cerro Las Cuevas, permite considerar la posibilidad de que éste sea un rasgo común en todos los conos de ceniza y lava donde se ha encontrado xenolitos.

Palabras clave: volcanes, rocas alcalinas, xenolitos, Cuaternario, San Luis Potosí, México.

ABSTRACT

There are numerous volcanic vents of Quaternary age (?) in the central part of the State of San Luis Potosí. These basic monogenetic volcanoes occasionally include xenoliths of ultramafic to felsic granulites. The most important localities with xenoliths in the state are seven *maars*, which sometimes are associated to small cinder and lava cones which also carry xenoliths.

Based on the geographic distribution, the chemical and mineralogical composition of the lavas and on the xenolith sets, the volcanoes of San Luis Potosí have been divided into the Ventura and Santo Domingo groups. In addition to these volcanoes, there is, in the western part of the state, a wide region with scattered cinder cones (Espíritu Santo volcanic field).

Some of the new xenolith localities (*e.g.*, Cerro Verde) belong to the Ventura group. Others (Villa de Ramos, El Tezontle and cerro Las Cuevas) are in the Espíritu Santo volcanic field, which is a region where the pre-volcanic basement is different from the one below the other groups of volcanoes.

The xenolith-bearing rocks in the new localities are olivine basanites and nephelinites (SiO₂ = 41-44%, Ne ≤ 25%). The chemical and mineralogical composition of Espíritu Santo's alkalic rocks bear a greater resemblance to Ventura's basanite than to Santo Domingo's alkalic basalt. The xenolith assemblages in all the new localities contain spinel lherzolite (Ol > Opx > Cpx >> Spl), feldspathic granulites and pyroxenites. In addition to these inclusions, the volcanoes in Villa de Ramos have abundant clinopyroxene and magnetite megacrysts. So far, kaersutite, which is a common inclusion in Santo Domingo's *maars*, has not been found in any of the new localities.

Xenolith's transport appears to be related to two factors: magma composition, which invariably is alkalic (*i.e.*, with normative Ne), and phreatomagmatic eruptions. The presence of a phreatic eruption related base-surge deposit beneath the cinder cone of cerro Las Cuevas suggests that this might be a common feature under all the xenolith-bearing cinder and lava cones in the region.

Key words: volcanoes, alkalic rocks, xenoliths, Quaternary, San Luis Potosí, México.

¹Estación Regional del Centro, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Guanajuato, Gto., 23000.

²Washington University, St. Louis Mo., 63130, USA.

INTRODUCCIÓN

En México se conoce un gran número de afloramientos de rocas básicas extrusivas, portadoras de xenolitos del manto, o bien de la base de la corteza (Aranda-Gómez y Ortega-Gutiérrez, 1987). Las localidades donde se ha confirmado la presencia de lerzolita de espinela, en su mayoría, se encuentran al norte del Eje Neovolcánico, en la amplia región comprendida entre la Sierra Madre Occidental y la Sierra Madre Oriental. En la parte centro-occidental del Estado de San Luis Potosí han sido descritos siete *maars*, en los que hay xenolitos de granulita cuya composición varía de ultramáfica a félsica (Labarthe-Hernández, 1978; Aranda-Gómez, 1982; Aranda-Gómez *et al.*, 1993 [este número]). Estos *maars* o xalapascos usualmente están asociados a pequeños conos cineríticos y a derrames de lava alcalino-básica, de posible edad cuaternaria (Aranda-Gómez y Labarthe-Hernández, 1977).

En el transcurso de un muestreo sistemático, efectuado en las rocas volcánicas del Cuaternario (?) diseminadas en las partes central del Estado de San Luis Potosí, meridional del Estado de Tamaulipas y centrooriental del Estado de Zacatecas (Figura 1), fueron encontradas varias localidades con xenolitos del manto, hasta ahora desconocidas. El propósito del presente estudio es describir, sucintamente, el entorno geológico de estos volcanes, así como las características petrográficas de las inclusiones y de las lavas portadoras. Las discusiones detalladas acerca de la petrogenesis de las rocas alcalino-básicas del altiplano potosino, de la geología de los xalapascos y de la petrología de los xenolitos provenientes de éstos, están descritas en otros artículos (Aranda-Gómez *et al.*, 1993 [este número]; Luhr *et al.*, 1989; Pier *et al.*, 1989).

Los xenolitos de San Luis Potosí han sido estudiados por diversos autores (Gaskin *et al.*, 1973; Greene, 1975; Greene y Butler, 1979; Powell y Gromet, 1980; Aranda-Gómez, 1982; Ruiz *et al.*, 1982, 1983, 1986; Gómez-Morán y Elthon, 1986; Patchett y Ruiz, 1987; Ruiz, Patchett y Arculus, 1988; Ruiz, Patchett y Ortega-Gutiérrez, 1988). La geología regional del área donde están los aparatos volcánicos es relativamente bien conocida, gracias a los estudios llevados a cabo por el Instituto de Geología y Metalurgia de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (*e.g.*, Labarthe-Hernández y Tristán-González, 1981; Labarthe-Hernández *et al.*, 1982; Labarthe-Hernández y Aguillón-Robles, 1986). Los *maars* portadores de xenolitos fueron descritos sucintamente por Labarthe-Hernández (1978), quien los dividió en dos grupos, a los cuales llamó Ventura y Santo Domingo. Información adicional acerca de la geología de los cráteres ha sido proporcionada por Aranda-Gómez y colaboradores (1993 [este número]). La composición química del magma de Ventura y Santo Domingo fue estudiada por Aranda-Gómez y Luhr (1986); Luhr y colaboradores (1989); y Pier y colaboradores (1989). La presencia del basalto Las Joyas, portador de xenolitos, en el área cubierta por las hojas Villa de Ramos y Salinas (CETENAL, 1971a, 1971b, respectivamente), fue descrita por Labarthe-Hernández y Aguillón-Robles (1986).

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

Las partes central y occidental del Estado de San Luis Potosí forman parte de una altiplanicie semiárida, conocida como la Mesa Central (Raisz, 1959). El basalto alcalino, portador de xenolitos, se presenta constituyendo volcanes monogenéticos pequeños (conos cineríticos y *maars*). Estas manifestaciones ígneas carecen de un significado volumétrico, y se cree que estén

asociadas a estructuras regionales importantes (Aranda-Gómez, 1982; Labarthe-Hernández *et al.*, 1982).

El grupo Ventura (Figura 1) se localiza en el área donde se cruzan los anticlinorios de las sierras de Álvarez y del Coro, con fallas normales postoligocénicas (Figura 2). En la zona se puede distinguir alineaciones de manifestaciones volcánicas, con rumbos NW y NE. Los anticlinorios son paralelos a la dirección de las estructuras laramídicas en la región; se considera que las alineaciones estén relacionadas con el fallamiento que produjo al *graben* de Villa de Reyes y a las estructuras asociadas (Labarthe-Hernández, 1978; Aranda-Gómez, 1982; Labarthe-Hernández *et al.*, 1982).

Los volcanes del grupo Santo Domingo están en un área en que las estructuras laramídicas cambian de rumbo de NW a NE (Figura 1); lo cual pudiera deberse a la presencia de una discontinuidad estructural importante, con un rumbo aproximado de E-W.

Poco se ha publicado acerca de la geología del campo volcánico de Espíritu Santo (Aguillón-Robles, 1983; Labarthe-Hernández y Aguillón-Robles, 1986). La región es una llanura amplia y elevada (> 2,000 m s.n.m.), en la que, ocasionalmente, hay cadenas montañosas pequeñas, constituidas por sedimentos marinos del Mesozoico, o bien remanentes de rocas volcánicas félsicas (¿Oligoceno?). En las depresiones topográficas de esta zona, es común encontrar lagos salados someros. Los volcanes alcalinos están aislados dentro de estas planicies. Los conos cineríticos y sus derrames de lava asociados forman, en apariencia, una franja ancha con un rumbo de E-W (Figura 1).

LOCALIDADES NUEVAS

En el transcurso de los trabajos de campo relacionados con el estudio petrogenético de la basanita del altiplano potosino (Aranda-Gómez y Luhr, 1986; Pier *et al.*, 1989; Aranda-Gómez *et al.*, 1993 [este número]) fue observado un gran número de afloramientos de rocas volcánicas básicas, el cual permitió confirmar la existencia de localidades nuevas con xenolitos; algunas de ellas están a poca distancia y relacionadas íntimamente con las localidades ya registradas (Figura 2); otras constituyen, por sí mismas, localidades nuevas. En este estudio únicamente se destacará aquellos volcanes del grupo Ventura y del campo volcánico de Espíritu Santo que están a una gran distancia de las localidades antes descritas y sólo se mencionará, ocasionalmente, aquellos afloramientos con xenolitos cercanos a los *maars* consignados por Labarthe-Hernández (1978) y Aranda-Gómez (1982); tal es el caso de las localidades marcadas X₁ a X₅ en la Figura 2 y del xalapasco El Banco, situado aproximadamente 3 km al NW del poblado de Santo Domingo, Estado de San Luis Potosí (Figura 1). En El Banco sólo habían sido registrados (Aranda-Gómez y Ortega-Gutiérrez, 1987) megacrístales de kaersutita, en la localidad donde actualmente se extrae grava para el mantenimiento de la carretera (22°47.9'N, 100°18.6'W). Durante el recorrido por la parte oriental del anillo de piroclastos, se pudo comprobar la presencia de xenolitos de lerzolita de espinela.

Grupo Ventura

El grupo Ventura (Figura 2) se encuentra cerca del límite entre la plataforma de Valles-San Luis Potosí y la cuenca mesozoica del centro de México (Aranda-Gómez y Labarthe-Hernández, 1977; Zárate-Muñoz, 1977). La región se caracteriza por una serie de anticlinorios y sinclinorios con un rumbo de N20°W. Yaciendo sobre las rocas sedimentarias se encuentra una secuencia de rocas volcánicas, predominantemente riolíticas

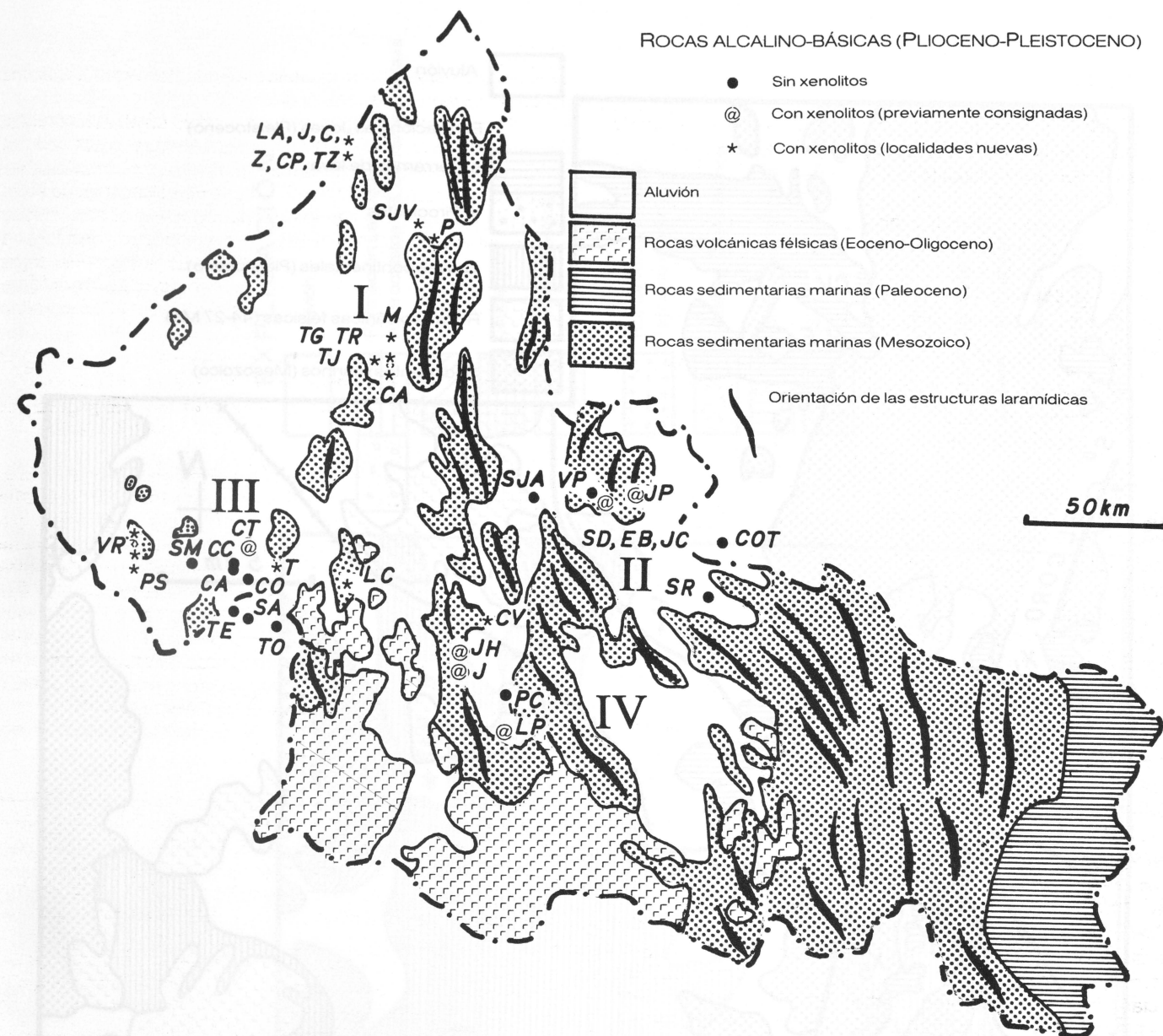


Figura 1.- Mapa geológico generalizado del Estado de San Luis Potosí. Índice de localidades: I—**Campo volcánico Los Encinos**: LA—Loma Atravesada; J—El Jabali; C—La Campana; Z—La Zorrita; CP—El Capadero; TZ—Tezontle, Estado de Zacatecas; SJV—San Juan de Vanegas; P—Potrero; M—El Mogote; TG—Tetilla El Gorrión; TR—Tetilla El Ramonal; TJ—Tetilla San José; CA—Cerro Prieto. (En los volcanes de Los Encinos, hasta la fecha no se ha encontrado lerzolita de espinela; únicamente se ha hallado megacrístales de kaersutita, magnetita, apatita, espinela y anortoclasa). II—**Grupo Santo Domingo**: SJA—San Juan sin Agua; VP—volcán de La Pólvora; SD—*maar* de Santo Domingo; EB—El Banco; JC—La Joya de los Contreras; JP—La Joya Prieta; SR—San Rafael; COT—Cerro Colorado, Estado de Tamaulipas. III—**Campo volcánico de Espíritu Santo**: VR—Villa de Ramos; PS—Pozo Seco; SM—cerro Santa María; CT—cerro El Toro; CC—cerro El Cascajo; TE—cerro El Tecamate; TO—Tolosa; T—cerro El Tezontle; LC—cerro Las Cuevas; CA—cerro San Cayetano; CO—Cerro Prieto; SA—Espíritu Santo. IV—**Grupo Ventura**: CV—Cerro Verde; JH—La Joya Honda; J—La Joyuela; PC—Pozo del Carmen; LP—laguna de Los Palau.

(32–27 Ma; Labarthe-Hernández *et al.*, 1982). Al noreste de Armadillo, las rocas volcánicas del Oligoceno descansan sobre conglomerados continentales de la Formación Cenicera (¿Paleoceno-Eoceno?). La unidad volcánica más joven en el área es la Formación Las Joyas (Labarthe-Hernández *et al.*, *op. cit.*), constituida por rocas alcalino-básicas, frecuentemente portadoras de xenolitos del manto, o bien de la base de la corteza.

Hasta 1985, sólo se conocía en esta región tres localidades con xenolitos (Labarthe-Hernández, 1978; Aranda-Gómez, 1982); en ellas, las inclusiones están en los depósitos piroclásticos heterolitológicos (caliza-basanita-xenolitos), que rodean a las estructuras freatomagmáticas, señaladas con las siglas J, JH y LP en la Figura 2. La presencia de xenolitos en lavas posteriores al *maar* sólo había sido consignada por Aranda-Gómez (*op. cit.*)

en el cerro de La Capilla, situado al norte de La Joyuela (CC, Figura 2).

Zárate-Muñoz (1977) cartografió tres conos cineríticos y derrames de lava asociados, en el flanco nororiental de la sierra El Coro, a 15 km al noreste de La Joya Honda (Figuras 2 y 3). Los aparatos volcánicos definen una alineación con un rumbo de N10°W, por lo que Zárate-Muñoz (*op. cit.*, p. 31) supuso la presencia de una "falla cubierta por los derrames". Durante la realización de este estudio, fue visitado un afloramiento (22°34.2'N y 100°41.0'W; Figura 3), ubicado en la parte distal del derrame de lava más extenso, que se originó a partir del volcán del Cerro Verde (22°32.3'N, 100°45'W); ahí se encontró una cantidad apreciable de xenolitos de lerzolita de espinela, piroxena y granulita feldespática. Posteriormente, se observó el cono

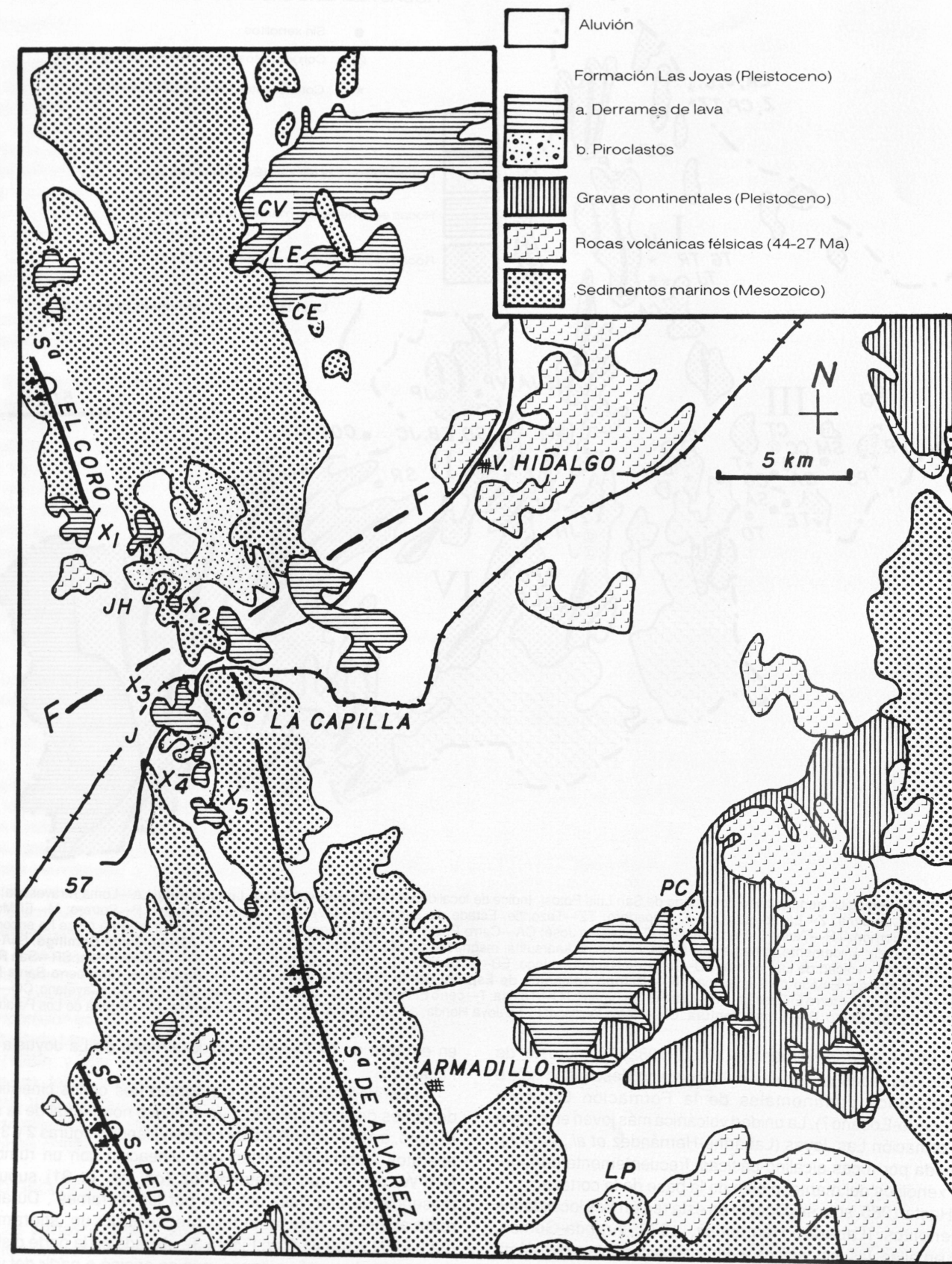


Figura 2.- Mapa geológico generalizado de la región de Ventura, Estado de San Luis Potosí (modificado de Labarthe-Hernández *et al.*, 1982). En el área eran conocidos tres *maars* con xenolitos (JH—La Joya Honda, J—La Joyuela, y LP—laguna de Los Palau). En el extremo septentrional del área, están localizados los volcanes con xenolitos Cerro Verde (CV), Los Encinos (LE) y La Estacada (CE). Cerca de Las Joyas, se confirmó la presencia de xenolitos en varios afloramientos de escoria o lava (marcados X₁ a X₅). En el área también existe otro *maar*, llamado Pozo del Carmen (PC) donde, hasta la fecha, no se ha encontrado xenolitos.

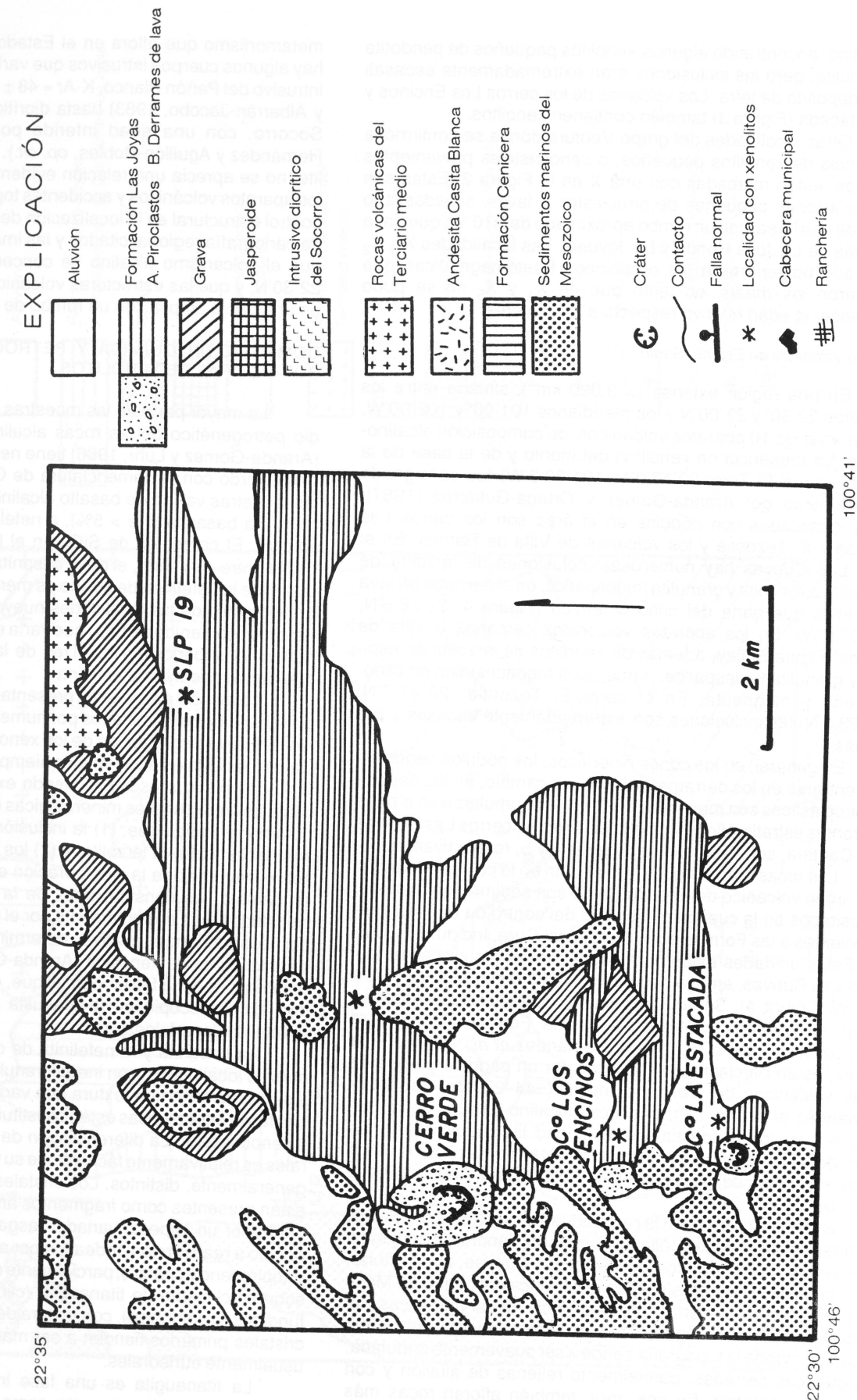


Figura 3.- Mapa geológico generalizado del área de Cerro Verde (modificado de Zárate-Muñoz, 1977), localidad con xenolitos recientemente descubierta.

cinerítico, encontrando algunos xenolitos pequeños de peridotita y granulita, pero las inclusiones eran extremadamente escasas en el depósito de tefra. Los volcanes de los cerros Los Encinos y La Estacada (Figura 3) también contienen xenolitos.

Otras localidades del grupo Ventura donde se confirmó la presencia de xenolitos pequeños, o xenocristales provenientes de ellos, están marcadas con una X en la Figura 2. Éstas son acumulaciones pequeñas de piroclastos o lavas, situadas a lo largo de una línea, con un rumbo aproximado de N10°W, que pasa a través de La Joya Honda y La Joyuela. Las localidades X₁, X₂ y X₃ son posteriores a las erupciones freatomagmáticas que originaron los *maars*, en tanto que en X₄ y X₅ no se pudo establecer la edad relativa respecto a los cráteres.

Campo volcánico de Espíritu Santo

En una región extensa (> 3,000 km²), situada entre los paralelos 22°30' y 23°00'N y los meridianos 101°00' y 102°00'W, existen más de 10 aparatos volcánicos, de composición alcalino-básica. La presencia de xenolitos del manto y de la base de la corteza (cerro El Toro, 22°57.0'N, 101°30.3'W) fue consignada primeramente por Aranda-Gómez y Ortega-Gutiérrez (1987). Otras localidades con nódulos en el área son los cerros Las Cuevas y El Tezontle y los volcanes de Villa de Ramos. En el cerro Las Cuevas hay numerosas inclusiones de lerzolita de espinela, piroxenita y granulita feldespática, en el derrame de lava basanítica que parte del cono cinerítico (Figura 4; 22°36.6'N, 101°07.9'W). En los aparatos volcánicos cercanos a Villa de Ramos (Figura 5) hay, además de xenolitos de lerzolita de espinela y granulita feldespática, numerosos megacristales de clinopiroxeno y magnetita. En el cerro El Tezontle (22°47.7'N, 101°23.3'N) las inclusiones son extremadamente escasas y pequeñas.

En general, en los conos cineríticos, los nódulos tienden a concentrarse en los derrames de lava; en cambio, en los depósitos piroclásticos son muy raros o tienden a acumularse en ciertos horizontes estratigráficos, como sucede en los cerros Las Cuevas y La Cantera, señalados en las Figuras 4 y 5, respectivamente.

Las rocas más antiguas que afloran en la parte sudoriental del campo volcánico de Espíritu Santo son sedimentos marinos, depositados en la cuenca mesozoica del centro de México, pertenecientes a las Formaciones Cuesta del Cura, Indidura y Caracol. Estas unidades están bien expuestas en las cercanías del cerro Las Cuevas, en una serie de pliegues con rumbo de N-S a N10°W (Figura 4). Sobre estas rocas, descansan discordantemente sedimentos continentales de la Formación Cenicera (¿Paleoceno-Eoceno?; Labarthe-Hernández *et al.*, 1982) que, a su vez, están parcialmente cubiertos por un paquete grueso de rocas volcánicas del Terciario medio (~44–27 Ma; Labarthe-Hernández *et al.*, *op. cit.*). Las rocas alcalino-básicas de la Formación Las Joyas constituyen la unidad litoestratigráfica más joven de la región y sus afloramientos están concentrados cerca de las márgenes del *graben* de Villa Arista (Labarthe-Hernández *et al.*, *op. cit.*).

Hacia el poniente, en la región que incluye a Espíritu Santo, Salinas, Peñón Blanco y Villa de Ramos, el panorama geológico es parecido al de la región del cerro Las Cuevas, pues afloran rocas sedimentarias de la cuenca mesozoica del centro de México, parcialmente cubiertas por restos de rocas volcánicas del Terciario medio. Esta región difiere de la parte oriental del campo volcánico, donde la topografía tiende a ser suavemente ondulada, con cuencas cerradas, parcialmente rellenas de aluvión y con lagos-playa salados. En esa área, también afloran rocas más antiguas, que Aguillón-Robles (1983) y Labarthe-Hernández y Aguillón-Robles (1986) correlacionaron con la secuencia con

metamorfismo que aflora en el Estado de Zacatecas. También hay algunos cuerpos intrusivos que varían desde graníticos (*e.g.*, intrusivo del Peñón Blanco, K-Ar = 48 ± 4 Ma; Mugica-Mondragón y Albarrán-Jacobo, 1983) hasta dioríticos (intrusivo diorítico del Socorro, con una edad inferida postoligocénica; Labarthe-Hernández y Aguillón-Robles, *op. cit.*). En las imágenes de satélite, no se aprecia una relación evidente entre la distribución de los aparatos volcánicos y accidentes topográficos, que sugiera un control estructural en la localización del volcanismo. Los trabajos de cartografía regional citados y las imágenes de satélite indican que el volcanismo alcalino se concentra al norte del paralelo 22°30'N, y que las estructuras volcánicas más conspicuas están en una franja amplia con un rumbo de E-W.

COMPOSICIÓN QUÍMICA Y PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS PORTADORAS DE XENOLITOS

La mayor parte de las muestras recolectadas para el estudio petrogenético de las rocas alcalinas del altiplano potosino (Aranda-Gómez y Luhr, 1986) tiene nefelina en la norma (CIPW). De acuerdo con la nomenclatura de Green y Ringwood (1967), las muestras varían de basalto alcalino de olivino (Ne normativa < 5%), a basanita (Ne > 5%), a nefelinita de olivino (nefelina + leucita). El contenido de SiO₂ en el basalto alcalino de olivino oscila entre 47 y 48%, el de la basanita entre 42 y 47%, mientras que el de la nefelinita de olivino es menor que 42%. Las muestras provenientes de las localidades nuevas con xenolitos (Figura 6) tienen un contenido de SiO₂ que varía entre 41 y 42% y de nefelina normativa superior a 17%. Tres de las muestras tienen leucita normativa, además de nefelina.

Todos los ejemplares presentan evidencias petrográficas de haber sido contaminados por numerosos xenocristales, provenientes de la disgregación de los xenolitos. El orden de abundancia de los cristales accidentales siempre es olivino > ortopiroxeno > clinopiroxeno > espinela, siendo excepcional encontrar xenocristales de otras fases mineralógicas (*e.g.*, cuarzo o plagioclasa). Lo anterior indica que: (1) la inclusión más abundantes es, casi invariablemente, la lerzolita; y (2) los minerales más refractarios sobreviven mejor a la incorporación en el magma transportador; en cambio, los constituyentes de la granulita feldespática son asimilados más eficientemente por el magma, lo cual se confirma por la abundancia relativa, determinada en el campo, de los distintos tipos de xenolitos (Aranda-Gómez, 1982) y por las características de la fusión parcial que, comúnmente, son observadas al microscopio en la granulita de dos piroxenos y en la granulita cuarzofeldespática.

La basanita y la nefelinita de olivino, provenientes de las nuevas localidades, son inequigranulares (porfídicas o seriadas) y su matriz tiene una textura que varía de mero- a holocristalina. Las fases intratelúricas están constituidas por minerales primarios y xenocristales. La diferenciación de estos dos grupos de minerales es relativamente fácil, ya que su tamaño y su morfología son, generalmente, distintos. Los cristales accidentales casi siempre están presentes como fragmentos angulares, cuyos bordes pueden tener un aspecto variado: rasgados (olivino), posiblemente debido a reabsorción; rodeados por anillos de reacción (espinela, ortopiroxeno y cuarzo); parcialmente reabsorbidos y rodeados por sobrecrecimiento de titanaugita (clinopiroxeno); o parcialmente fundidos (plagioclasa), con textura de cedazo (*sieve texture*). Los cristales primarios tienden a ser más pequeños (< 1 mm) y son usualmente euhedrales.

La titanaugita es una fase intratelúrica, particularmente abundante, que se presenta como microlitos pequeños en la matriz, o bien como fenocristales con zonación de "vidrio de reloj"

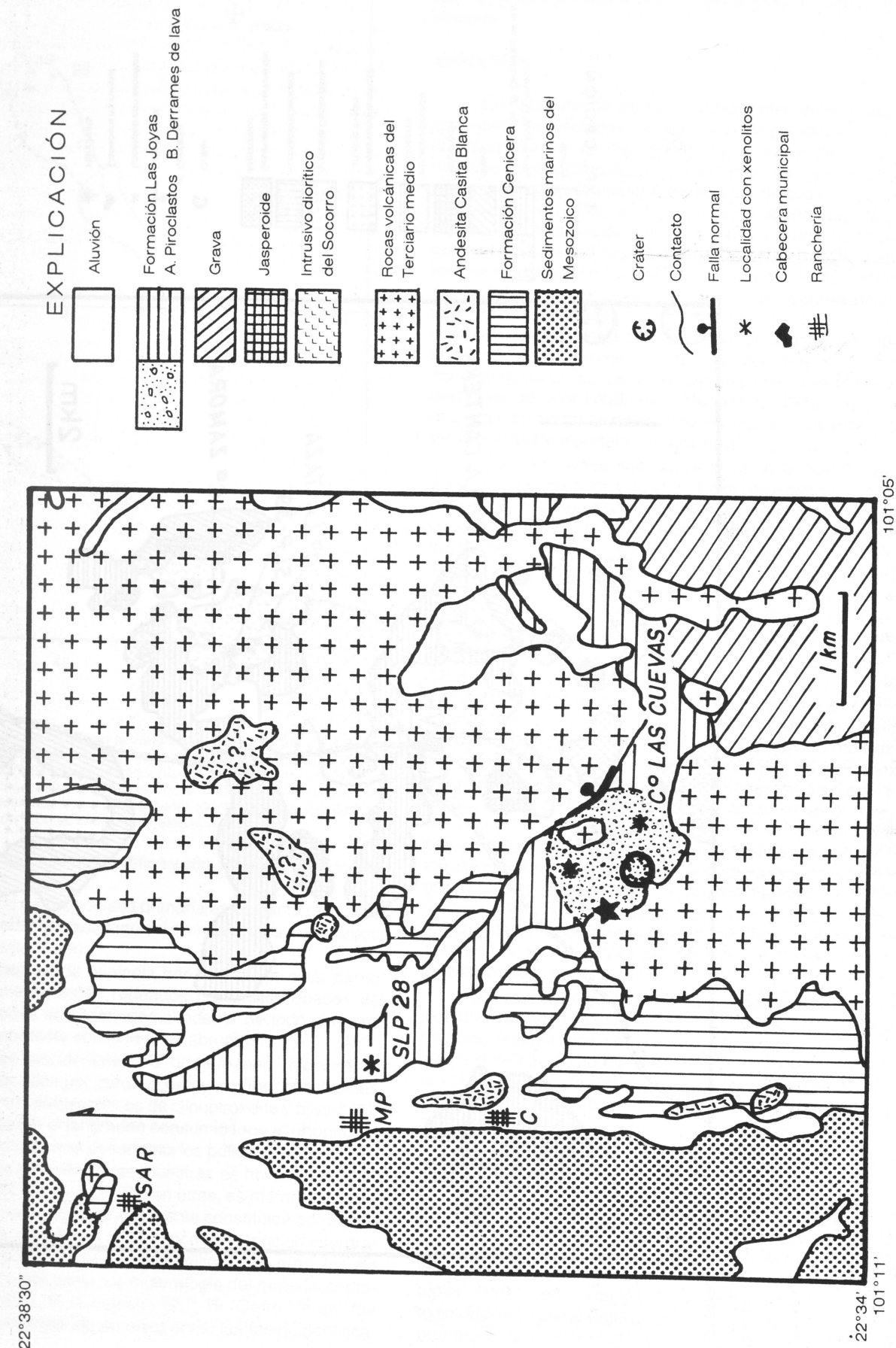


Figura 4.- Mapa geológico generalizado del área del cerro Las Cuevas (modificado de Labarthe-Hernández y Tristán-González, 1981), localidad con xenolitos recientemente descubierta. Localidades: SAR—San Antonio del Rul; MP—Malpaso; y C—Cucamo.

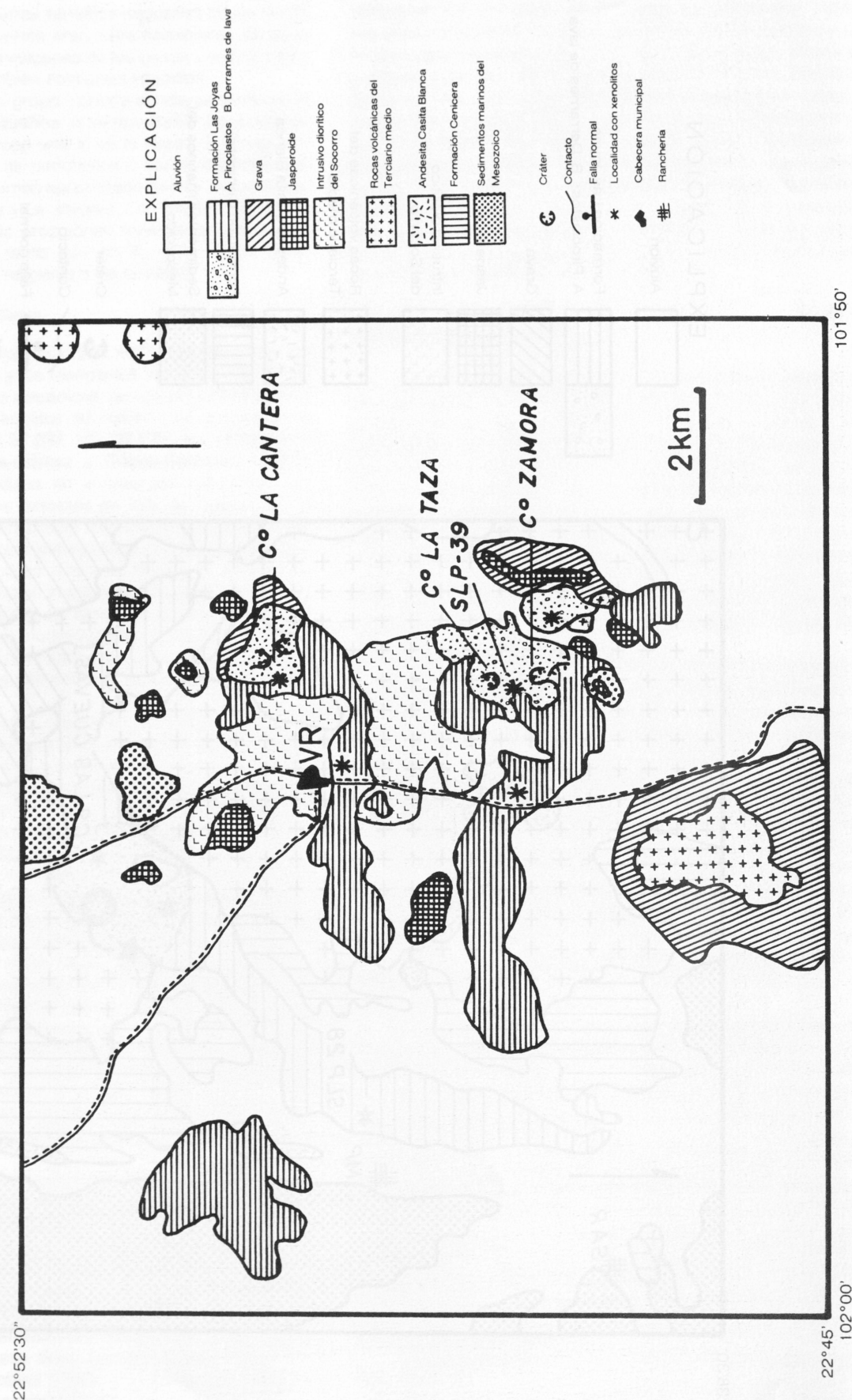


Figura 5.- Mapa geológico generalizado del área de Villa de Ramos (modificado de Labarthe-Hernández y Aguillón-Robles, 1986), localidad con xenolitos recientemente descubierta. VR—Villa de Ramos.

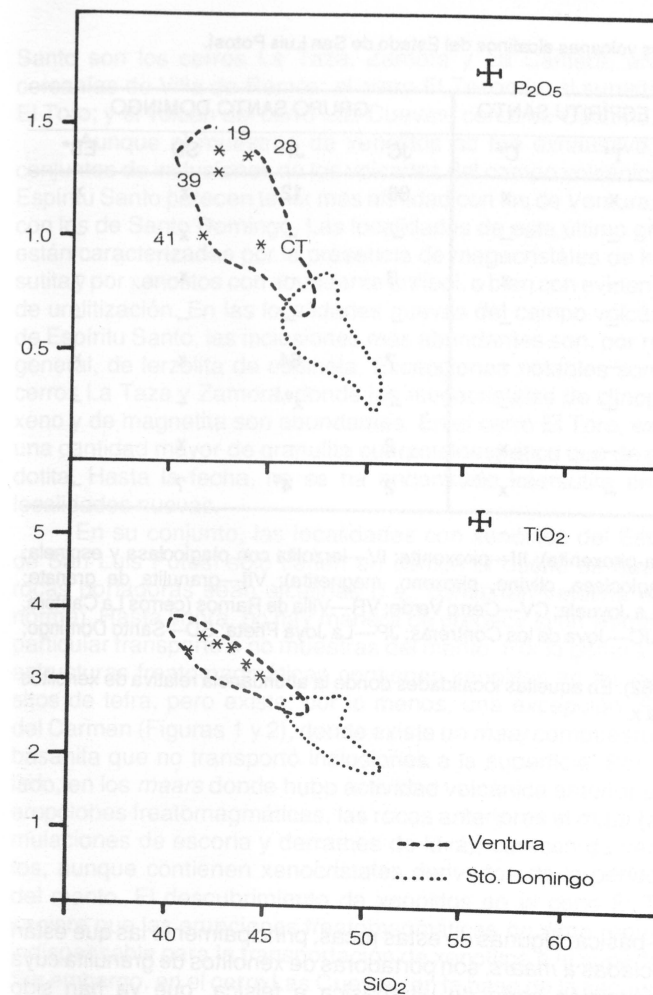


Figura 6.- Diagramas que muestran la variación en el contenido de SiO_2 vs. P_2O_5 y TiO_2 en las lavas alcalinas cuaternarias del Estado de San Luis Potosí. Las muestras recolectadas en Ventura tienen un contenido menor en SiO_2 que las de Santo Domingo. Los ejemplares recolectados en las localidades recientemente descubiertas son prácticamente idénticos a los de Ventura (modificado de Aranda-Gómez *et al.*, 1993 [este número]).

(hourglass), con maclado polisintético y con colores anómalos de extinción.

El fenocristal de plagioclasa primaria es bastante raro en la basanita y en la nefelinita de olivino del grupo Ventura y del campo volcánico de Espíritu Santo.

Los xenocristales de espinela translúcida, de color pardo rojizo, invariablemente están rodeados por anillos opacos de reacción, las coronas son continuas alrededor de todo el cristal de espinela y su contacto con la lava es abrupto.

Los cristales accidentales de ortopiroxeno (hiperstena) siempre están rodeados por coronas de grano fino, constituidas por intercrecimientos simplectíticos de clinopiroxeno y olivino. En algunos xenocristales, el fenómeno consumió todo el ortopiroxeno y los únicos testigos son pseudomorfos policristalinos.

La matriz de algunas de las muestras es holohialina, altamente vesicular (SLP-24 y SLP-34); en otras, es merocrystalina a holocrystalina. La pasta está generalmente constituida por microilitos de titanaugita, orientados al azar, con los espacios intergranulares rellenos por material criptocrystalino, por gránulos de minerales opacos o por vidrio. La mineralogía del material criptocrystalino en la matriz de la muestra SLP-19 (Cerro Verde) fue determinada con microsonda de electrones; las fases identifica-

das fueron plagioclasa sódica, nefelina, leucita, titanomagnetita e ilmenita.

XENOLITOS

En cada una de las localidades recientemente descubiertas, fueron recolectados xenolitos, a fin de establecer con certeza la naturaleza de las inclusiones. En el mejor de los casos, el muestreo debe considerarse preliminar, ya que se obtuvo un número reducido de ejemplares. A pesar de que en casi todos los volcanes los xenolitos son relativamente abundantes, la recolección en los derrames de lava es muy difícil, pues en comparación con la roca-huésped, las inclusiones son muy frágiles. Las muestras recolectadas en los derrames usualmente consisten en un "molde" del xenolito, cuya superficie es de algunas decenas de centímetros cuadrados y su espesor es de sólo unos cuantos milímetros, dificultando la preparación de láminas delgadas. Por otro lado, existe la evidencia de que algunas inclusiones o fases mineralógicas en los xenolitos rara vez sobreviven dentro de los derrames de lava (Williams y Mc Birney, 1979), por lo cual el muestreo en las lavas pudiera no ser representativo del conjunto de xenolitos transportados por el magma.

Las inclusiones son bastante raras en los depósitos de escoria cercanos a los volcanes. En el cono del cerro La Cantera (Figura 5), existen evidencias de que las inclusiones tienden a concentrarse en algunos horizontes estratigráficos de los depósitos de tefra. Excepciones notables son los cerros Zamora y La Taza (Figura 5), donde las inclusiones de megacristales de clinopiroxeno y magnetita son relativamente comunes en los piroclastos.

La Tabla 1 muestra los conjuntos de xenolitos registrados para los volcanes alcalinos del Estado de San Luis Potosí (Aranda-Gómez y Ortega-Gutiérrez, 1987), así como las inclusiones hasta ahora identificadas en las localidades nuevas. En estas últimas, los xenolitos más comunes son de lerzolita de espinela, excepto en los cerros Zamora y La Taza, señalados con las siglas VR en la Figura 1, donde los megacristales de clinopiroxeno y magnetita son las inclusiones más comunes; sin embargo, existen dudas acerca de que éstos pertenezcan al conjunto de xenolitos del manto o de la base de la corteza, ya que el basamento prevolcánico en esta zona (Figura 5) está constituido por el intrusivo diorítico del Socorro, que pudiera tener "hacia sus márgenes facies de piroxenita" (Labarthe-Hernández y Aguillón-Robles, 1986, p. 32). Cabe destacar que, a diferencia de otros megacristales recolectados en el grupo Ventura (Aranda-Gómez, 1982), el piroxeno de Villa de Ramos no contiene exsoluciones de plagioclasa o de ilmenita (?).

Las muestras de lerzolita de espinela recolectadas en las localidades nuevas tienen una textura protogranular primaria, de mosaico equigranular-secundario y porfidoclástica, de acuerdo con la clasificación de Mercier y Nicolas (1975). Todas ellas son lerzolita en el sentido estricto, pues su contenido de olivino excede el 60% y la proporción modal es $\text{ol} > \text{opx} > \text{cpx} > \text{sp}$. En las muestras con textura protogranular, el olivino se presenta como cristales xenoblásticos, relativamente grandes (2–4 mm). En las inclusiones con textura de mosaico, el tamaño promedio del olivino es considerablemente menor, siendo su diámetro promedio menor que 1 mm. Las inclusiones porfidoclásticas contienen porfidoclastos maclados de olivino, en una matriz recristalizada con arreglo de mosaico. En todas las muestras, los contactos intergranulares son rectos o suavemente curvos y las juntas triples (120°) son comunes. El piroxeno se presenta libre de exsoluciones y como regla general la hiperstena tiene un tamaño promedio mayor que el del diópsido. La espinela forma cristales

Tabla 1.- Abundancia relativa de los diferentes tipos de xenolitos en los volcanes alcalinos del Estado de San Luis Potosí.

COMP.	GRUPO VENTURA				CAMPO VOLCÁNICO ESPÍRITU SANTO				GRUPO SANTO DOMINGO			
	LP	JH	J	CV*	VR*	CT	T*	C*	JC	JP	SD	EB*
I	49 ^a	75	59	x	x	x	x	x	86	12	x	x
II	—	—	4	—	—	—	—	—	—	—	x	—
III	13	15	14	—	x	x	—	x	3	—	x	—
IV	—	—	—	—	—	x	—	—	—	—	—	—
V	—	—	x	—	—	—	—	—	7	84	x	x
VI	—	x ^d	5 ^d	—	x ^d	—	—	—	—	x ^{e,f}	—	—
VII	16	4	—	—	—	x	—	x	2	—	x	—
VIII	22	6	18 ^b	—	x ^g	x	—	x	2	4 ^c	?	—

Explicación: I—lerzolita de espinela; II—xenolitos compuestos (lerzolita de espinela-piroxena); III—piroxenita; IV—lerzolita con plagioclasa y espinela; V—megacrístales de kaersutita y/o hornablendita; VI—otros megacrístales (plagioclasa, olivino, piroxeno, magnetita); VII—granulita de granate; VIII—granulita de dos piroxenos; LP—laguna de Los Palau; JH—La Joya Honda; J—La Joyuela; CV—Cerro Verde; VR—Villa de Ramos (cerros La Cantera, Zamora y La Taza); CT—cerro El Toro; T—cerro El Tezontle; C—cerro Las Cuevas; JC—Joya de los Contreras; JP—La Joya Prieta; SD—Santo Domingo; EB—El Banco.

^a Los números representan porcentajes calculados en el campo (Aranda-Gómez, 1982). En aquellas localidades donde la abundancia relativa de xenolitos no ha sido calculada, la presencia de un cierto tipo de xenolitos se indica con una x.

^b Incluye algunas granulitas portadoras de granate.

^c Incluye piroxenita.

^d Clinopiroxeno.

^e Magnetita (?).

^f Incluye rocas de alta presión, con textura cumuloírica.

^g La granulita es félsica, sin clinopiroxeno, Pl + Qtz + Opx + Rt ± Kfs.

* Localidades recién descubiertas.

aislados de color pardo rojizo, de forma irregular y, en ocasiones, vermicular; en general muestra la tendencia a estar relacionada al diópsido y al ortopiroxeno; sólo excepcionalmente se presenta como inclusión poikilitica dentro del olivino, en xenolitos con textura de mosaico equigranular.

La composición de la granulita oscila de máfica (piroxenitas con cantidades pequeñas de plagioclasa, apatita y olivino) a félsica (muestras con feldespato y cuarzo abundantes). La mayoría de estas rocas contiene ortopiroxeno o paragénesis consideradas características de la facies de granulita (Winkler, 1976).

Tanto la lerzolita como la granulita muestran evidencias de haber sido parcialmente fundidas en diversos grados. En la lerzolita, la fusión se manifiesta de la manera siguiente: (1) material opaco (¿vidrio?) que "moja" la mayor parte de los contactos intergranulares; (2) anillos opacos de reacción, alrededor de la espinela; (3) fracturas "soldadas" en el silicato, en las cuales se puede apreciar inclusiones ameboidales diminutas; y (4) fenómenos de fusión en contacto con el magma transportador (formación de simplectitas en el ortopiroxeno, de anillos opacos alrededor de la espinela, etc.).

Algunas de las granulitas están alteradas intensamente por el fenómeno de fusión, a tal grado que prácticamente no sobrevive contacto intergranular alguno. En otras, existen áreas con material criptocristalino (¿vidrio desvitrificado?) interpretado como granate fundido, por su semejanza con las inclusiones de los grupos Ventura y Santo Domingo, donde sobrevivió una parte del granate (Aranda-Gómez, 1982).

SUMARIO Y CONCLUSIONES

En la parte meridional del Estado de San Luis Potosí existen afloramientos aislados de rocas volcánicas, de composición alca-

lino-básica; algunas de estas rocas, principalmente las que están asociadas a *maars*, son portadoras de xenolitos de granulita cuya composición varía de ultrabásica a félsica, que ya han sido descritas. Otras localidades con xenolitos, relacionadas a conos pequeños de ceniza y lava, han sido hasta ahora ignoradas. Con base en la distribución geográfica de las fuentes volcánicas, en su entorno geológico, en sus conjuntos de xenolitos y en la composición química y mineralógica de sus rocas, los volcanes cuaternarios (?) del Estado de San Luis Potosí fueron divididos en dos grupos: Ventura y Santo Domingo. La característica principal de los volcanes del grupo Ventura es que están constituidos por lavas alcalinas, con un contenido de SiO₂ de 41–44%; mientras que los de Santo Domingo poseen una cantidad más elevada de sílice (43–49%).

Las localidades nuevas con xenolitos están diseminadas en un área extensa situada al norte y norponiente de lo que, hasta ahora, se ha considerado como el grupo Ventura. Algunos de los afloramientos con xenolitos están ubicados a una distancia corta de las localidades previamente descritas; otros, como el cono cinerítico y los derrames de lava del Cerro Verde, están a una distancia considerable (~15 km), pero pueden ser considerados como parte del grupo Ventura, ya que la composición de sus rocas y su entorno geológico son semejantes a los de los volcanes de Ventura.

Al noroeste del grupo Ventura, previamente se conocía una localidad: el cono de ceniza y lava del cerro El Toro. En esa región (campo volcánico de Espíritu Santo), existen numerosos aparatos volcánicos constituidos por basanita y nefelinita (SiO₂: 41–44%) que son, química y mineralógicamente, muy parecidas a las de los volcanes del grupo Ventura. Algunas de estas rocas son portadoras de xenolitos; otras, sin motivo aparente, carecen de ellos. Las localidades nuevas en el campo volcánico de Espíritu

Santo son los cerros La Taza, Zamora y La Cantera, en las cercanías de Villa de Ramos; el cerro El Tezontle, al sureste de El Toro; y el volcán del cerro Las Cuevas, cerca de Cúcamo.

Aunque el muestreo de xenolitos no fue exhaustivo, los conjuntos de inclusiones de los volcanes del campo volcánico de Espíritu Santo parecen tener más afinidad con los de Ventura que con los de Santo Domingo. Las localidades de este último grupo están caracterizadas por la presencia de megacrístales de kaersutita y por xenolitos con abundante anfíbol, o bien con evidencias de uralitización. En las localidades nuevas del campo volcánico de Espíritu Santo, las inclusiones más abundantes son, por regla general, de lerzolita de espinela. Excepciones notables son los cerros La Taza y Zamora, donde los megacrístales de clinopiroxeno y de magnetita son abundantes. En el cerro El Toro, existe una cantidad mayor de granulita cuarzofeldespática que de peridotita. Hasta la fecha, no se ha encontrado kaersutita en las localidades nuevas.

En su conjunto, las localidades con xenolitos del Estado de San Luis Potosí sólo tienen en común el hecho de que las rocas portadoras sean alcalinas (*i.e.*, contienen nefelina en la norma). Hasta ahora, no hay manera de predecir si un volcán en particular transportó o no muestras del manto. Por lo general, las estructuras freatomagmáticas contienen xenolitos en los depósitos de tefra, pero existe, por lo menos, una excepción: Pozo del Carmen (Figuras 1 y 2), donde existe un *maar* compuesto por basanita que no transportó inclusiones a la superficie. Por otro lado, en los *maars* donde hubo actividad volcánica anterior a las erupciones freatomagmáticas, las rocas anteriores al *maar* (acumulaciones de escoria y derrames de lava), carecen de xenolitos, aunque contienen xenocrístales derivados de la peridotita del manto. El descubrimiento de xenolitos en el cono El Toro sugiere que las erupciones freatomagmáticas no sean requisito indispensable para la transportación de xenolitos a la superficie. Sin embargo, en el cerro Las Cuevas, en la base de la secuencia volcánica del Cuaternario (?), aflora un depósito de nube rasante, lo cual demuestra que en esta localidad hubo una erupción freática que precedió a las erupciones estrombolianas que originaron al cono de ceniza basanítica portadora de xenolitos. Asimismo, la secuencia volcánica parece indicar que en la erupción inicial el magma basanítico no haya estado involucrado, sino que sólo haya proporcionado la energía para calentar y expandir el agua subterránea, causando una explosión en la que sólo participaron el agua y las rocas más antiguas (Latita Portezuelo). Hacia la parte superior del depósito de nube rasante, se empieza a encontrar fragmentos de basanita, así como algunos xenolitos entremezclados con latita pulverizada; por último, el depósito volcánico se vuelve predominantemente basanítico, con xenolitos escasos.

No se sabe con certeza cuál sea el factor que determine si un volcán sea o no portador de xenolitos. La presencia de xenolitos en los depósitos posteriores al *maar*, arriba de los depósitos de nube rasante, en siete de las ocho estructuras freatomagmáticas del Estado de San Luis Potosí, sugiere que pudiera existir una relación entre el transporte de xenolitos a la superficie y las explosiones freatomagmáticas. El descubrimiento del depósito de nube rasante, abajo de la secuencia estromboliana en el Cerro Verde, sugiere que éste pudiera ser un fenómeno hasta ahora ignorado por inexistencia de un estudio detallado, en otros conos cineríticos con xenolitos en el estado, y que las erupciones freáticas o freatomagmáticas fuesen un factor importante en la transportación de xenolitos a la superficie. Algo semejante sucede con el *maar* de Pozo del Carmen, sobre el cual no se ha realizado estudio alguno; por tanto, una búsqueda exhaustiva pudiera conducir al descubrimiento de xenolitos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguillón-Robles, Alfredo, 1983, Cartografía geológica de las hojas Espíritu Santo, Pinos, El Obrero y Ojuelos, estados de San Luis Potosí, Jalisco, Guanajuato y Zacatecas: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología y Metalurgia, Folleto técnico 93, mapas de escala 1:50,000 con texto explicativo, 76 p.
- Aranda-Gómez, J.J., 1982, Ultramafic and high grade metamorphic xenoliths from central Mexico: Eugene, University of Oregon, disertación doctoral, 236 p. (inédita).
- Aranda-Gómez, J.J., y Labarthe-Hernández, Guillermo, 1977, Estudio geológico de la hoja Villa Hidalgo, S. L. P.: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología y Metalurgia, Folleto técnico 53, p. 33–58.
- Aranda-Gómez, J.J., y Luhr, J.F., 1986, Spinel-lherzolite-bearing basic volcanic centers of late-Quaternary age from San Luis Potosí, Mexico: Geological Society of America Abstracts with Programs, v. 18, p. 528 (resumen).
- Aranda-Gómez, J.J.; Luhr, J.F.; y Pier, J.G., 1993 (este número), Geología de los volcanes cuaternarios portadores de xenolitos del manto y de la base de la corteza del Estado de San Luis Potosí, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 106, pte. 1, p. 1–22.
- Aranda-Gómez, J.J., y Ortega-Gutiérrez, Fernando, 1987, Mantle xenoliths in Mexico, in Nixon, P.H., ed., Mantle xenoliths: Nueva York, John Wiley and Sons, p. 75–84.
- CETENAL, 1971a, [Hoja] Villa de Ramos (F14-A51), San Luis Potosí: México, D.F., Secretaría de la Presidencia, Comisión de Estudios del Territorio Nacional, Carta Topográfica escala 1:50,000.
- 1971b, [Hoja] Salinas de Hidalgo (F14-A61), San Luis Potosí: México, D.F., Secretaría de la Presidencia, Comisión de Estudios del Territorio Nacional, Carta Topográfica escala 1:50,000.
- Gaskin, B.J.; Butler, J.C.; y Gaskin, W.A., 1973, Geology of the Jalapasco de la Joya Crater: Geological Society of America Abstracts with Programs, v. 5, p. 631–632 (resumen).
- Gómez-Morán, Concepción, y Elthon, Don, 1986, Composition and equilibration conditions of lower crust under Jalapasco de la Joya (State of San Potosí, Mexico): Geological Society of America Abstracts with Programs, v. 18, p. 618 (resumen).
- Green, D.H., y Ringwood, A.E., 1967, The genesis of basaltic magmas: Contributions to Mineralogy and Petrology, v. 15, p. 103–190.
- Greene, G.M., 1975, The geochemistry of spinel lherzolites from Jalapasco de la Joya in San Luis Potosí, Mexico: Houston, University of Houston, tesis de maestría, 43 p. (inédita).
- Greene, G.M., y Butler, J.C., 1979, Spinel lherzolites from Jalapasco de la Joya, San Luis Potosí, SLP, Mexico: Mineralogical Magazine, v. 43, p. 483–486.
- Labarthe-Hernández, Guillermo, 1978, Algunos jalapascos en el Estado de San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología y Metalurgia, Folleto técnico 58, 17 p.
- Labarthe-Hernández, Guillermo, y Aguillón-Robles, Alfredo, 1986, Cartografía geológica 1:50,000 hojas Salinas y Villa de Ramos, estados de San Luis Potosí y Zacatecas: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología y Metalurgia, Folleto técnico 106, mapas con texto explicativo, 52 p.
- Labarthe-Hernández, Guillermo, y Tristán-González, Margarito, 1981, Cartografía geológica hoja Ahualulco, S. L. P.: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología y Metalurgia, Folleto técnico 70, mapa con texto explicativo, 34 p.
- Labarthe-Hernández, Guillermo; Tristán-González, Margarito; y Aranda-Gómez, J.J., 1982, Revisión estratigráfica del Cenozoico de la parte central del Estado de San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología y Metalurgia, Folleto técnico 85, 208 p.
- Luhr, J.F.; Aranda-Gómez, J.J.; y Pier, J.G., 1989, Spinel lherzolite-bearing Quaternary volcanic centers in San Luis Potosí, Mexico: I. Geology, mineralogy and petrology: Journal of Geophysical Research, v. 94 B6, p. 7916–7940.
- Mercier, J.C.C., y Nicolas, A., 1975, Textures and fabrics of upper mantle peridotites as illustrated by xenoliths from basalts: Journal of Petrology, v. 16, p. 454–487.