



# **METODOLOGÍA DEL PROCESO DE ANÁLISIS REQUERIDO EN LA INVESTIGACIÓN, DE CARÁCTER NO EXPERIMENTAL, DEL COMPORTAMIENTO GEODINÁMICO DE LAS PUZOLANAS, COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN.**

**PRESENTADO POR:**  
Nataly Quintana Rivera

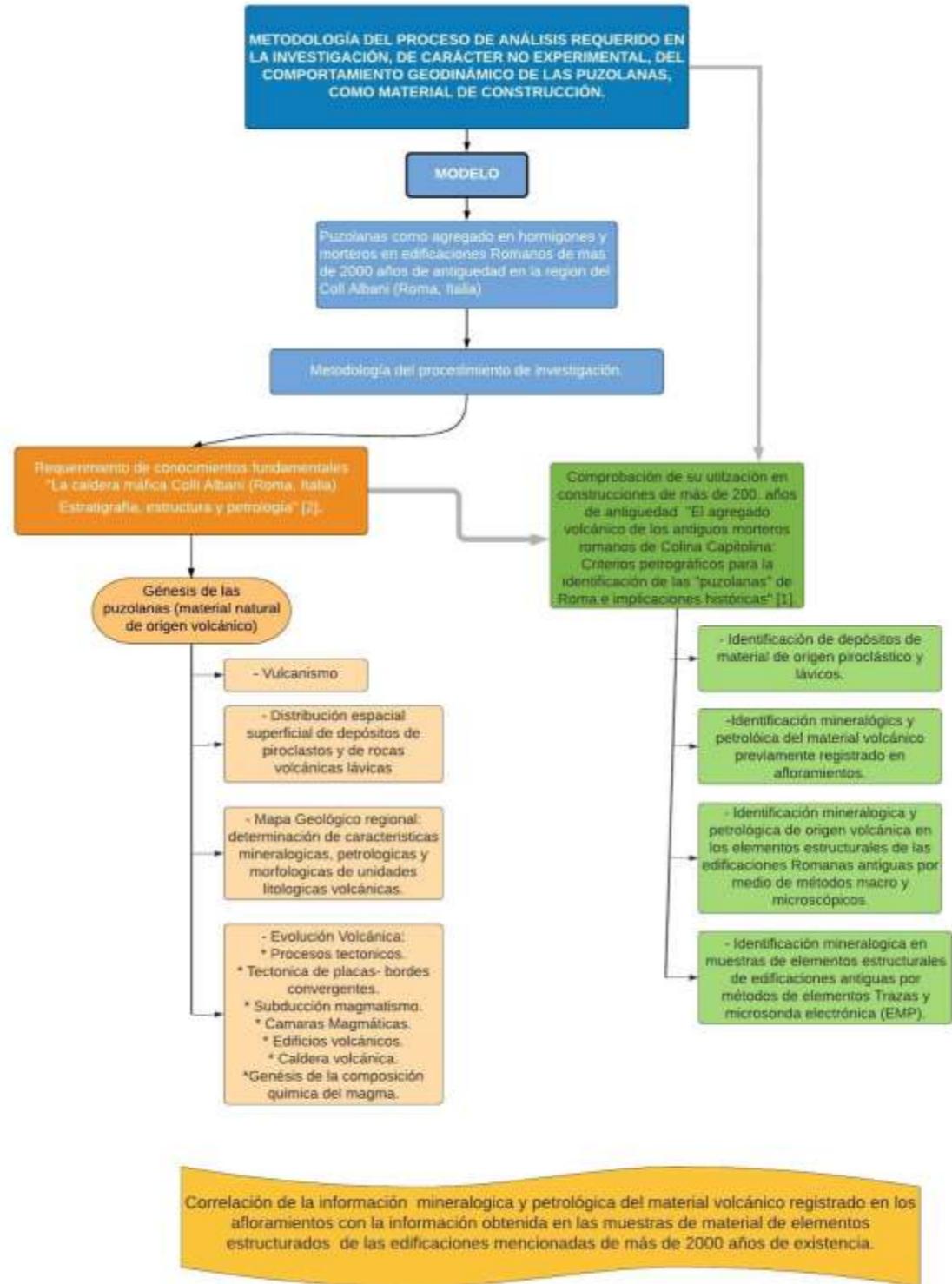
**TUTOR:**  
Ing. Juan Carlos Castro Medina.

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
BOGOTÁ D.C. 2019**

# CONTENIDO

- 1** **Introducción**
- 2** **Objetivos**
  - Objetivo general
  - Objetivos específicos
- 3** **Capítulos:**
  - Descripción e interpretación de la temática que integra los documentos de estudio..
- 4**
  - Consideraciones genéticas del material piroclástico o puzolánico y sus características ingenieriles..
- 5**
  - Metodología de investigación de carácter no experimental de un material de origen natural con relación a sus usos ingenieriles .
- 6** **Conclusiones y recomendaciones**
- 7** **Referencias**

# 1. Introducción





# 2. Objetivos

Entender el comportamiento geodinámico de las Puzolana, mediante una metodología que satisfaga el análisis genético del material.



1

Entender el artículo de estudio [1].

2

Analizar la información geológica de la ciudad Colina Capitolina Roma, Italia.

3

Analizar las propiedades genéticas del material puzolánico del volcán Colli Albani Roma, Italia.

4

Correlacionar las propiedades genéticas del material puzolánico con el comportamiento geo-mecánico registrado en las edificaciones construidas con este material.

**3. CAPÍTULO 1.1: DESCRIPCIÓN E INTERPRETACIÓN DE LA TEMÁTICA QUE INTENGA EL DOCUMENTO: “EL COLLI ALBANI CALDERA MÁFICA (ROMA, ITALIA): ESTRATIGRAFIA, ESTRUCTURA Y PETROLOGIA”.**

# Ubicación

## El Colli Albani o Montes Albanos



Monte Cavo (el Monte Albano) y el lago Albano

### Ubicación geográfica

Continente Europa

Coordenadas  41°44'N 12°42'E

### Ubicación administrativa

País  Italia

### Características

Cordillera Antiapeninos

Máxima cota 950 msnm

Cumbres Monte Cavo

Recuperado de: [https://es.wikipedia.org/wiki/Montes\\_Albanos](https://es.wikipedia.org/wiki/Montes_Albanos)

Fig 1. Mapa de localización





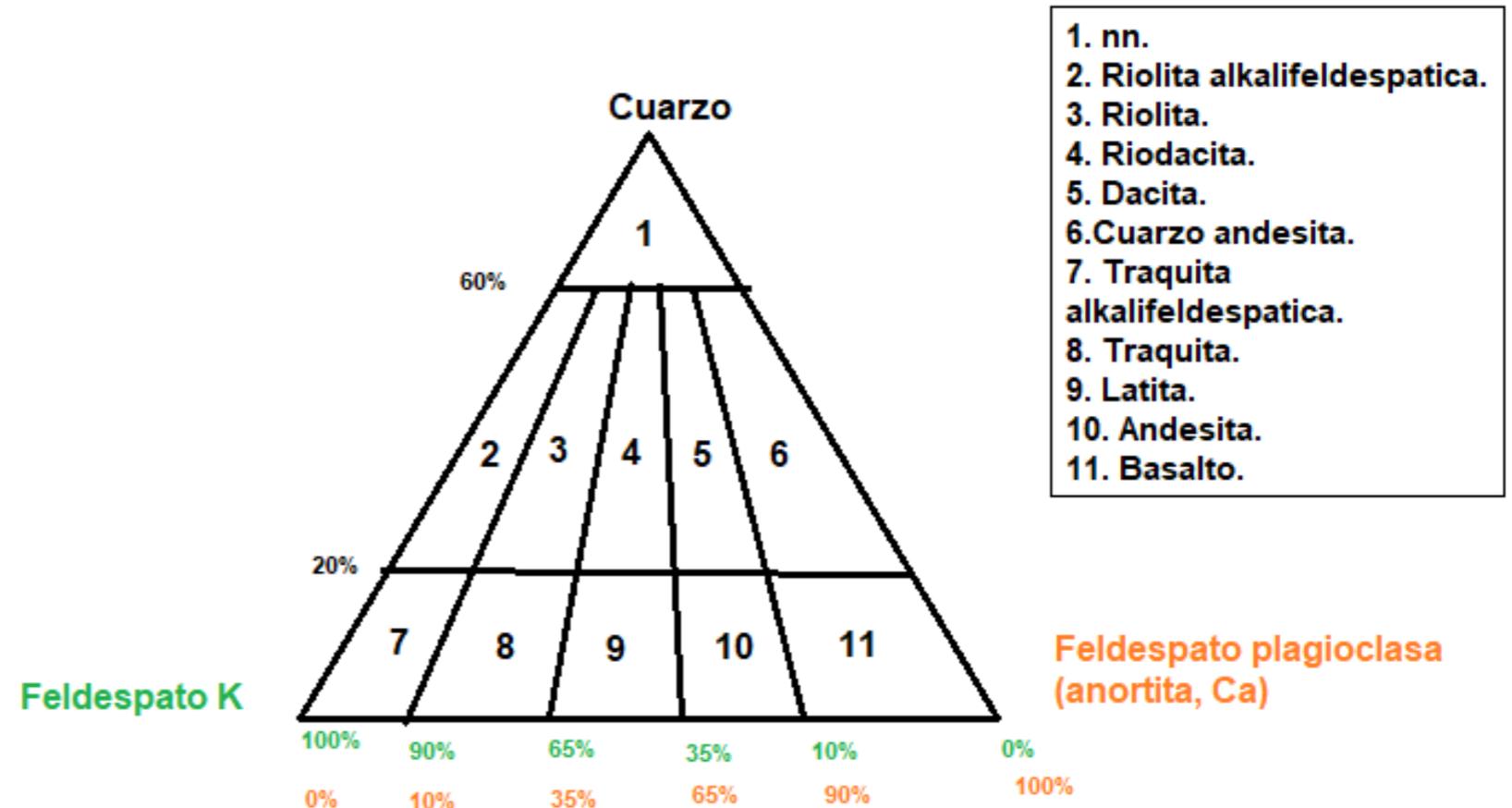
# Características del Colli Albani

## 2. Composición química

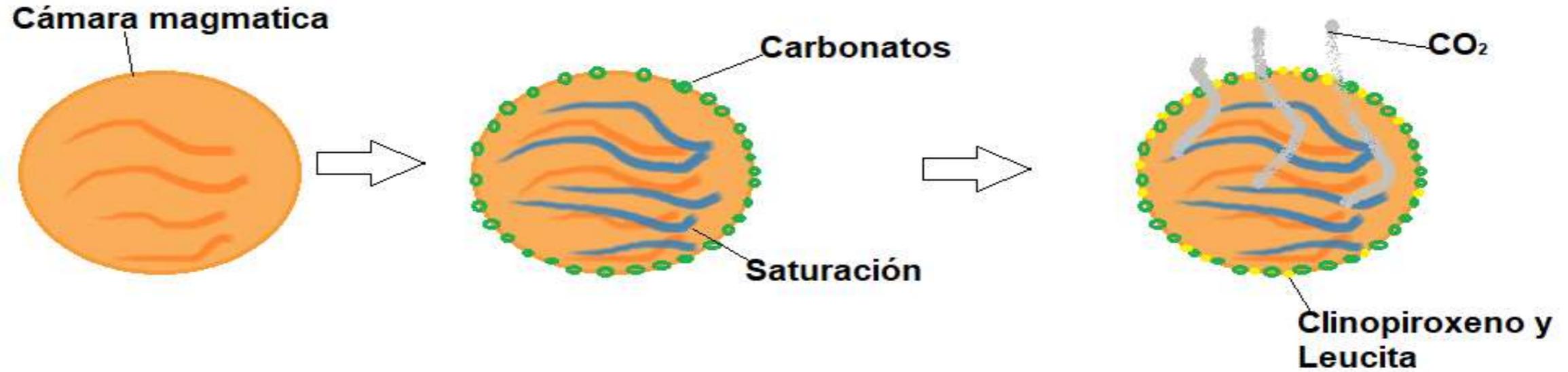
Bajo contenido de Sílice ,  
< 50%  $SiO_2$

Presenta características de Volcanes félsico , debido al alto contenido de Potasio (K) , Calcio (Ca), Alcalino de los magmas.

Clasificación rocas ígneas (Volcanicas): según diagrama de Streckeisen



# Características del Colli Albani



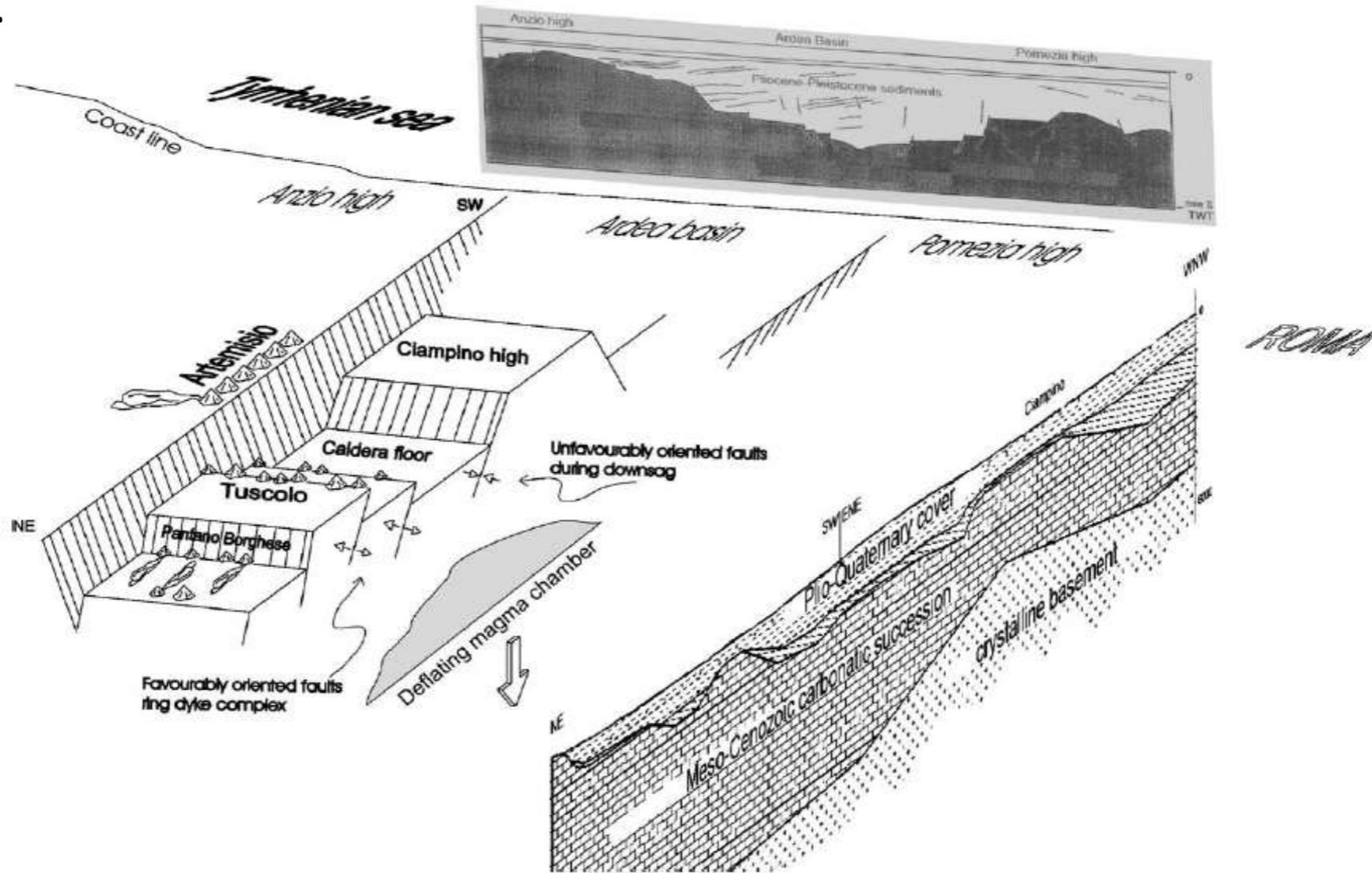
-La química característica del magma del Colli Albani esta relacionada con los procesos de diferenciación  $CO_2$ .

-Ambiente saturado derivado de la decarbonatización de carbonatos que rodea la cámara del magma.

-Cristalizando un conjunto de Leucita y Clinopiroxeno.  
-Generando proceso de diferenciación de  $CO_2$ .

# Entorno Geológico

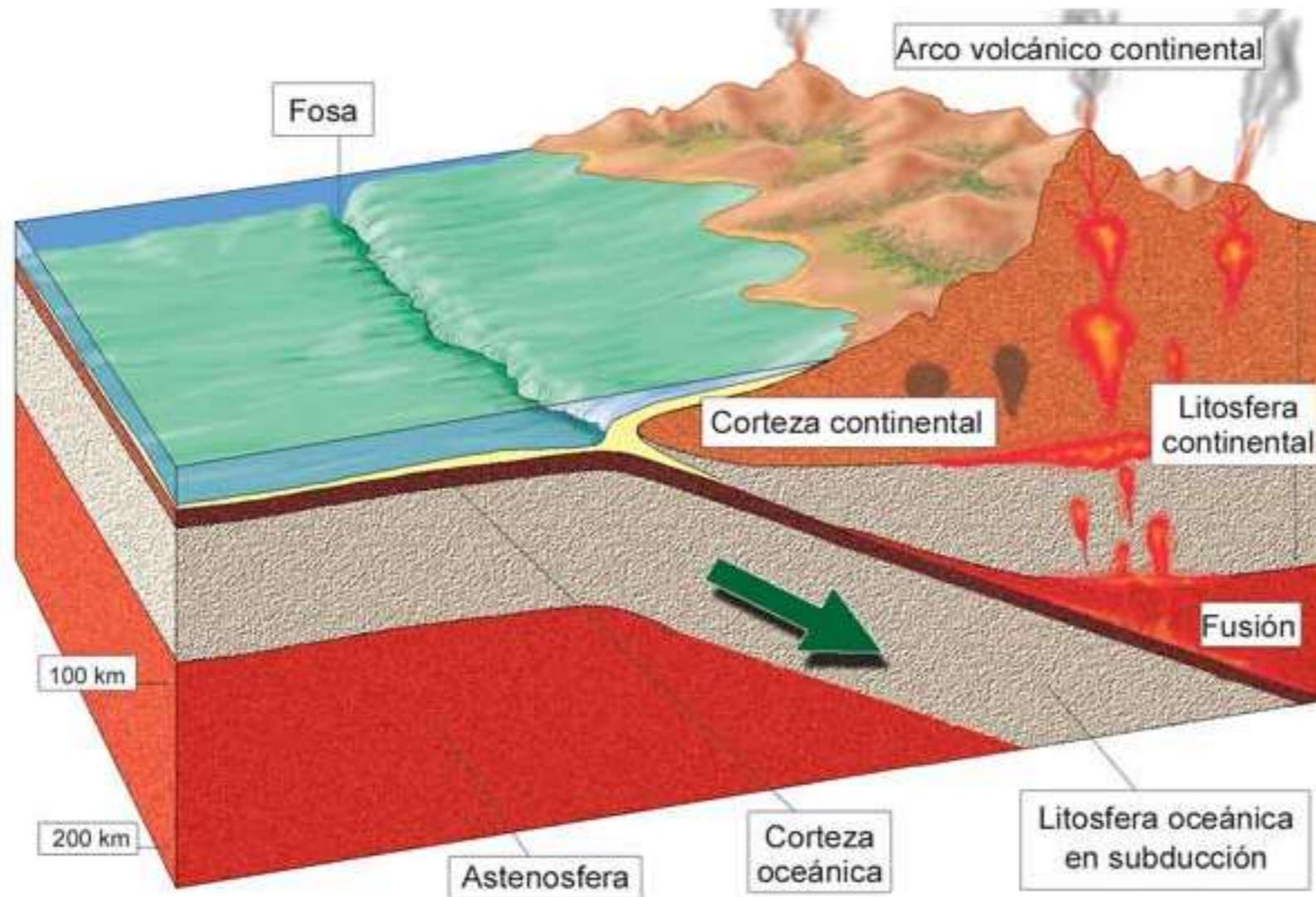
Fig 3. Diagrama de bloques interpretativo de la estructura volcano-tectónica de la caldera de Colli Albani.



Nota: Recuperado de: [2], (Giordano,2006), Pagina: 19.

# Entorno Geológico

Fig 4. Tectónica de placas bordes convergentes.



Fuente: <http://www.aula2005.com/html/cn1eso/04lalitosfera/04lalitosferaes.htm>

# Evolución de la caldera del Colli Albani.

## 1. Vulcano Laziale.

At least 7, 1-100 km<sup>3</sup> volume LAR ignimbrites  
from a central **mafic alkaline caldera complex**

MER > 1 km<sup>3</sup>/1ka

Magma chamber = 10<sup>2</sup>-10<sup>3</sup> km<sup>3</sup>

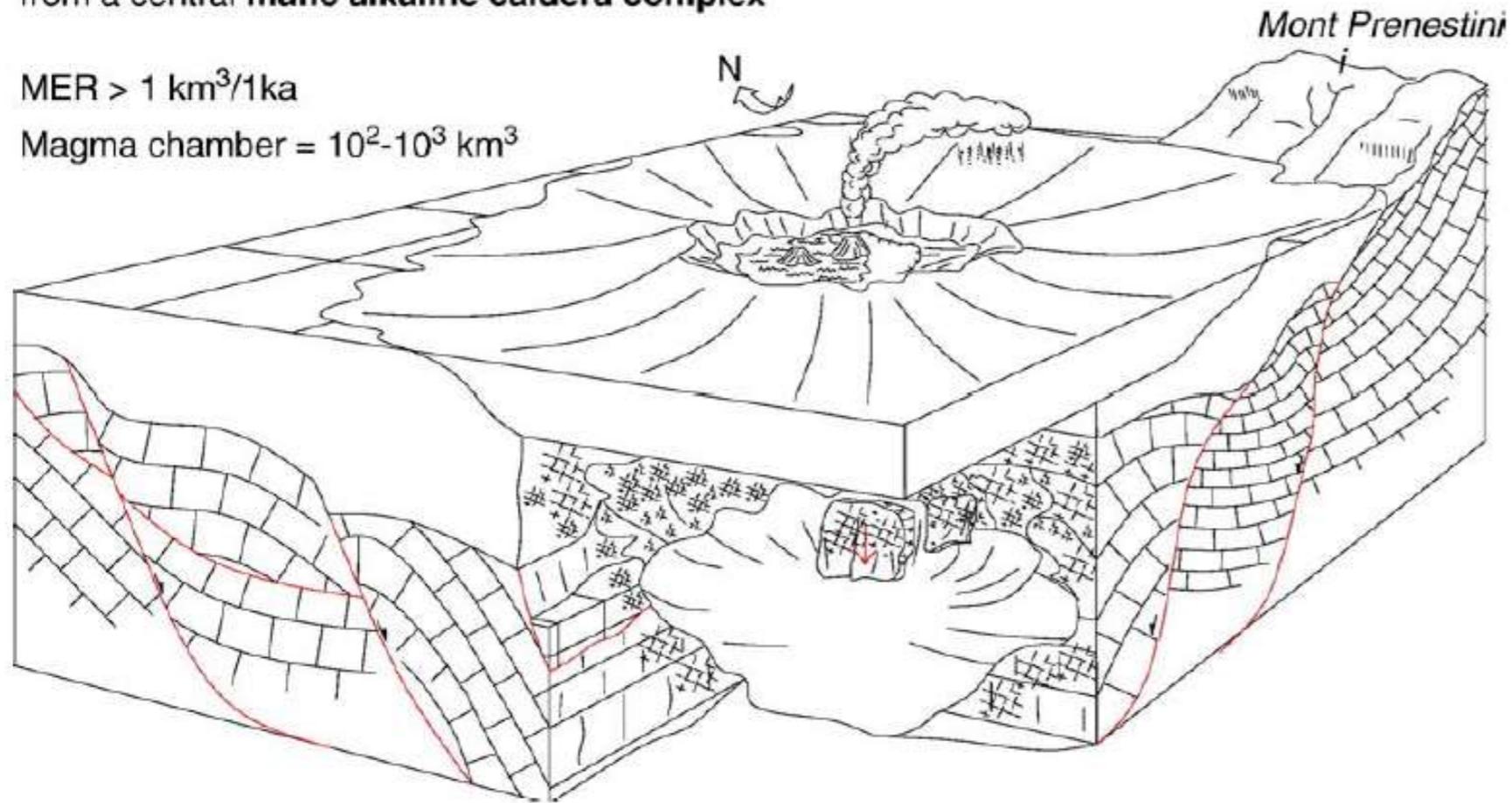
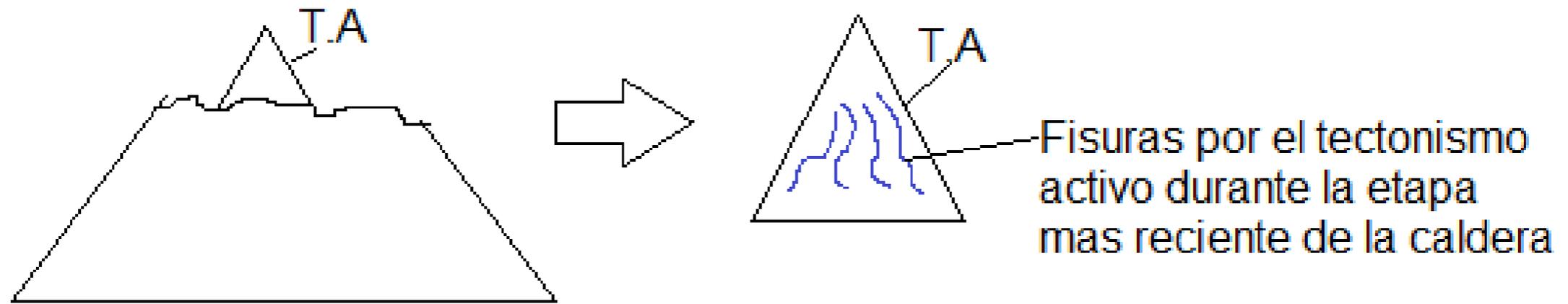


Fig 5. Reconstrucción de la estructura del litosoma Vulcano Laziale (ca. 600–355 ka), caracterizada por una caldera central fragmentada rodeada por una meseta de ignimbrita de 1600 km<sup>2</sup>. El volumen de la cámara de magma, alojado por rocas carbonáticas mesozoicas-cenozoicas, fue de aprox. 10<sup>2</sup>-10<sup>3</sup> km<sup>3</sup>. Progresivo El colapso implicó volúmenes significativos de carbonato

*Nota: Recuperado de: [2], (Giordano,2006), Pagina: 12.*

## 2. Tuscolano - Artemisio

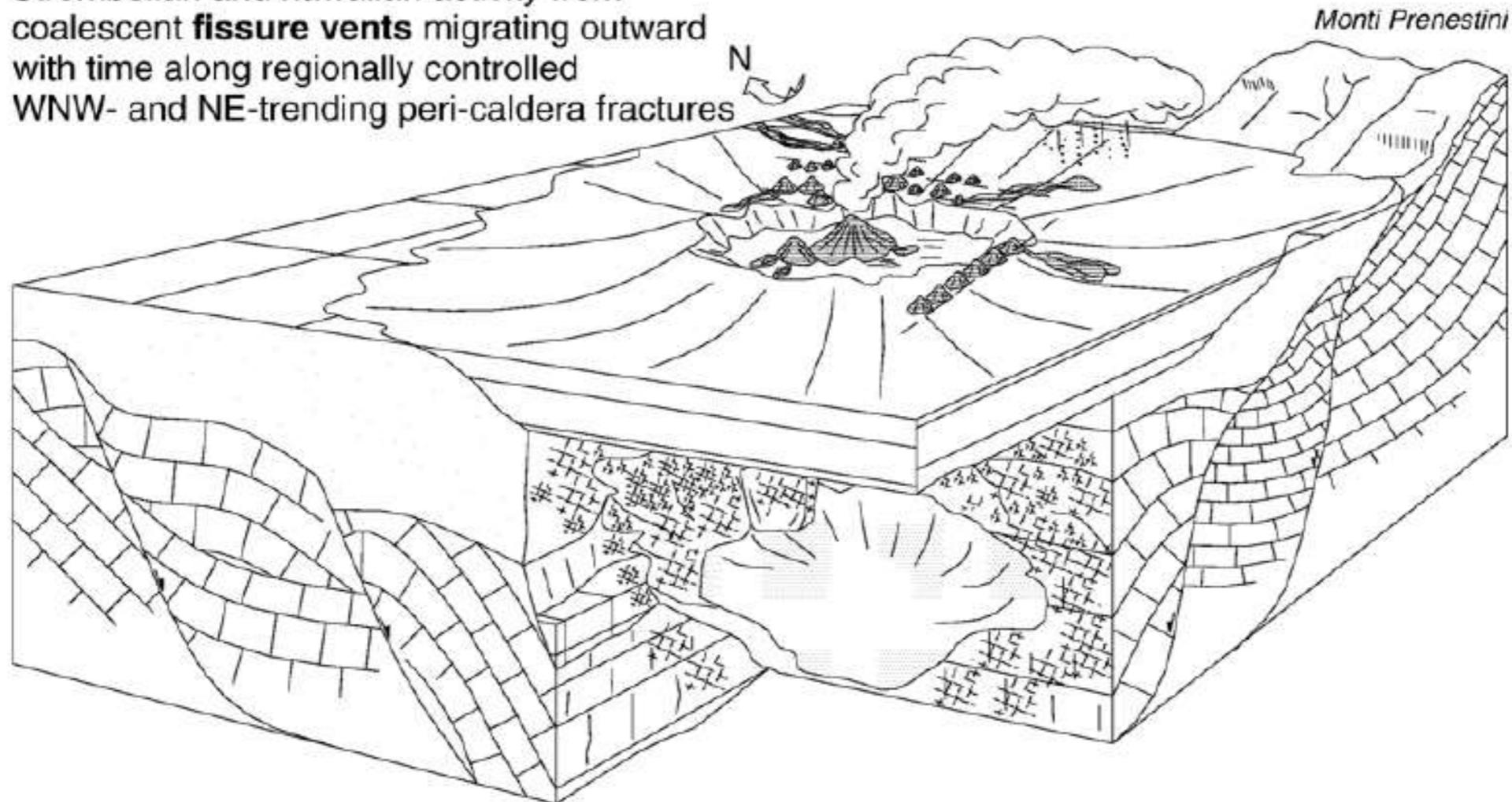


Tuscolano - Artemisio: es un edificio compuesto, donde uno se superpone a otro. alrededor de la caldera se evidencia conos de escoria con fisuras intercaladas de flujo de lava.

## 2. Tuscolano - Artemisio

Fig 6. Reconstrucción de la estructura del litosoma de Tuscolano-Artemisio entre ca. 355 y 260 ka.

Strombolian and hawaiian activity from coalescent **fissure vents** migrating outward with time along regionally controlled WNW- and NE-trending peri-caldera fractures



*Nota: Recuperado de: [2], (Giordano,2006), Pagina: 18.*

### 3. Faete

Strombolian, hawaiian, subplinian and phreatomagmatic activity from intra-calderic vents, filling the collapsed area  
MER  $4 \times 10^{-1} \text{ km}^3/1\text{ka}$

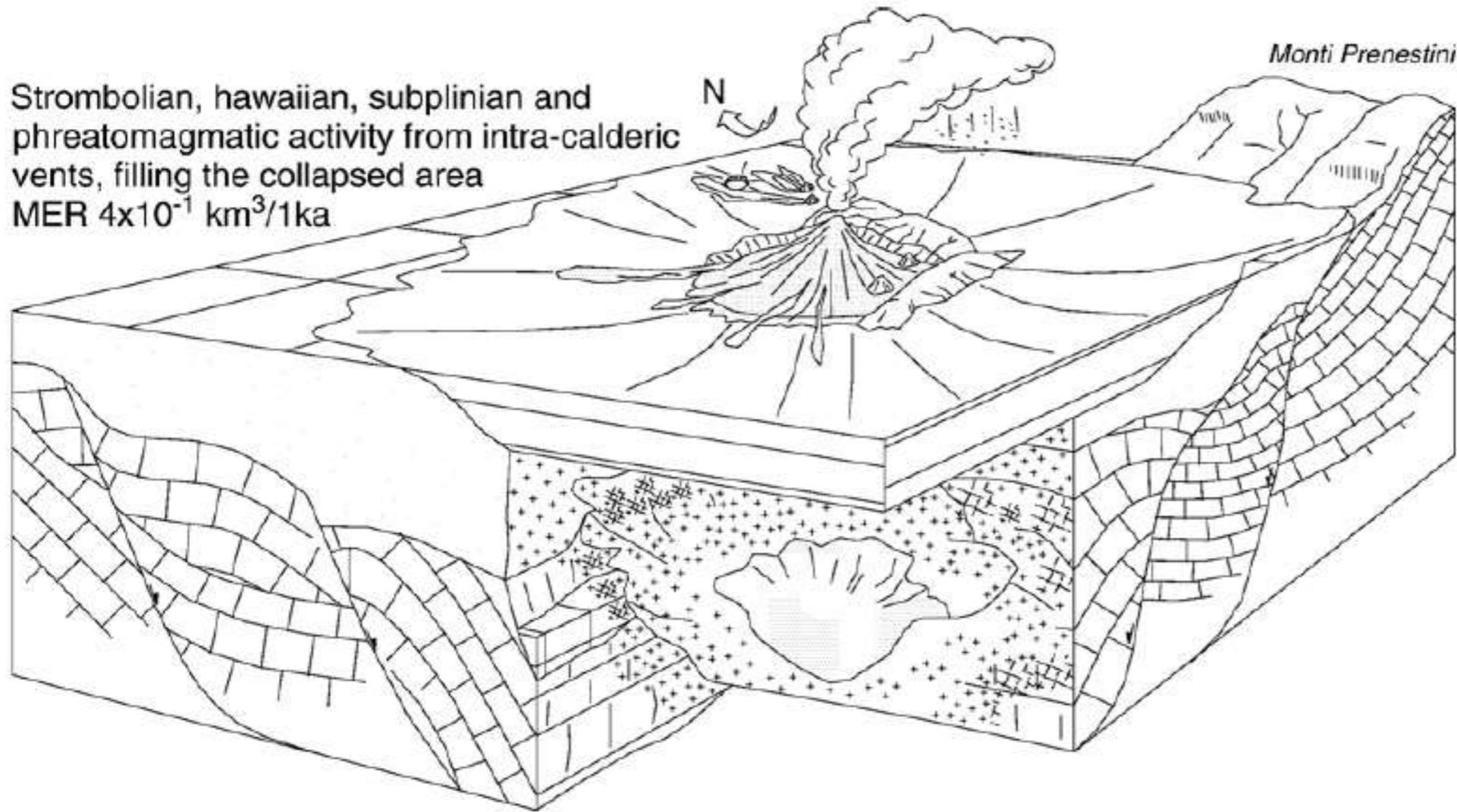
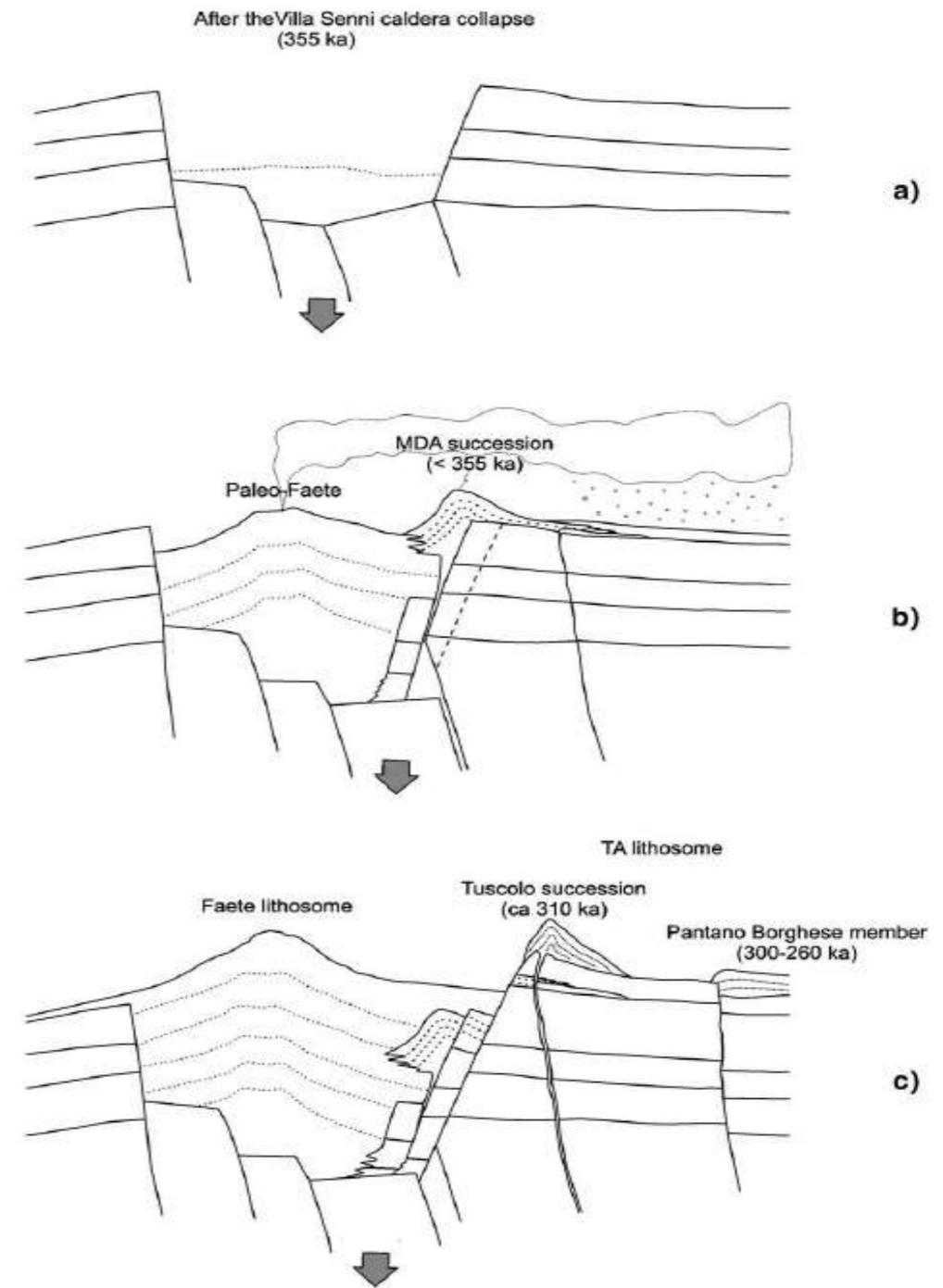


Fig 7. Reconstrucción de la estructura del litosoma Faete (350– <260 ka), caracterizada por la formación del estratovolcán central dentro del caldera, con actividad efusiva a estromboliana a subpliniana. La etapa final se caracterizó por erupciones freatomagmáticas

Nota: Recuperado de: [2], (Giordano,2006), Pagina: 18.

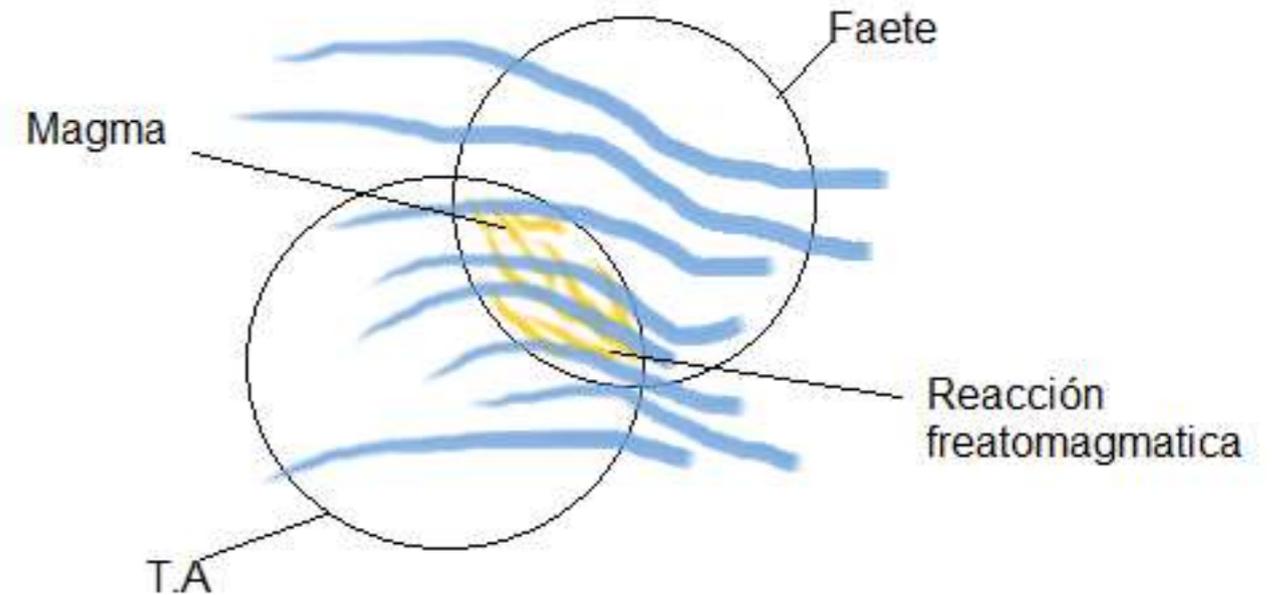
Fig 8. Reconstrucción de los eventos volcánico-tectónicos que determinaron el escenario estratigráfico y estructural de la pared actual de la caldera Colli Albani; (a) el colapso gradual de la caldera VSEU; (b) el emplazamiento de la sucesión de la MDA, hecha de contornos de escoria y lava de pericaldera interfinger con violentos estrombolios y subplinianos violentos paleoFaete; (c) colapso tectónico volcánico de la pared de la caldera; migración hacia afuera de fracturas peri-caldera de la sucesión de Tuscolo al miembro final de Pantano Borghese.



Nota: Recuperado de: [2], (Giordano, 2006), Pagina: 16.

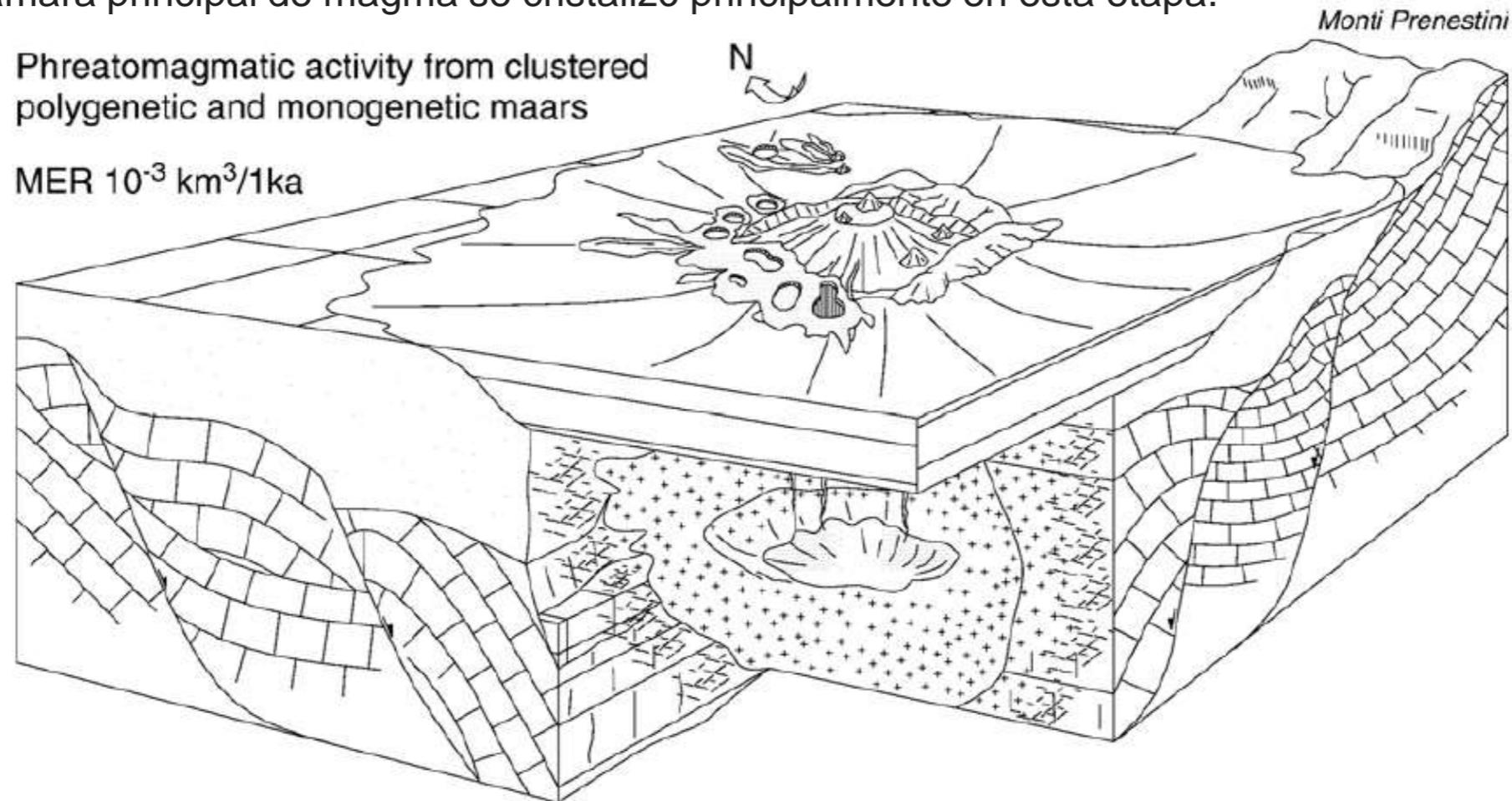
## 4. Vía del Laghi

La fase mas reciente y activo por la actividad freatomagmatica forma lagos volcánicos y conos de ceniza que superpone a lo largo de la laderas oeste y norte del volcán llamado Via del Laghi litosoma compuesto.



## 4. Vía del Laghi

Fig 9. Reconstrucción de la estructura del litosoma de la Via dei Laghi (ca. 200 ka-Holoceno). La actividad se volvió excéntrica y se caracterizó por Erupciones de formación de marte freatomagmático de pequeño volumen localizadas sobre el horst carbonático sometido de Ciampino, que alberga un acuífero sustancial recargado en profundidad desde los Apeninos (Monti Prenestini). La cámara principal de magma se cristalizó principalmente en esta etapa.



Nota: Recuperado de: [2], (Giordano,2006), Pagina: 20.

Nota: Recuperado de: [2], (Giordano,2006), Pagina: 10.

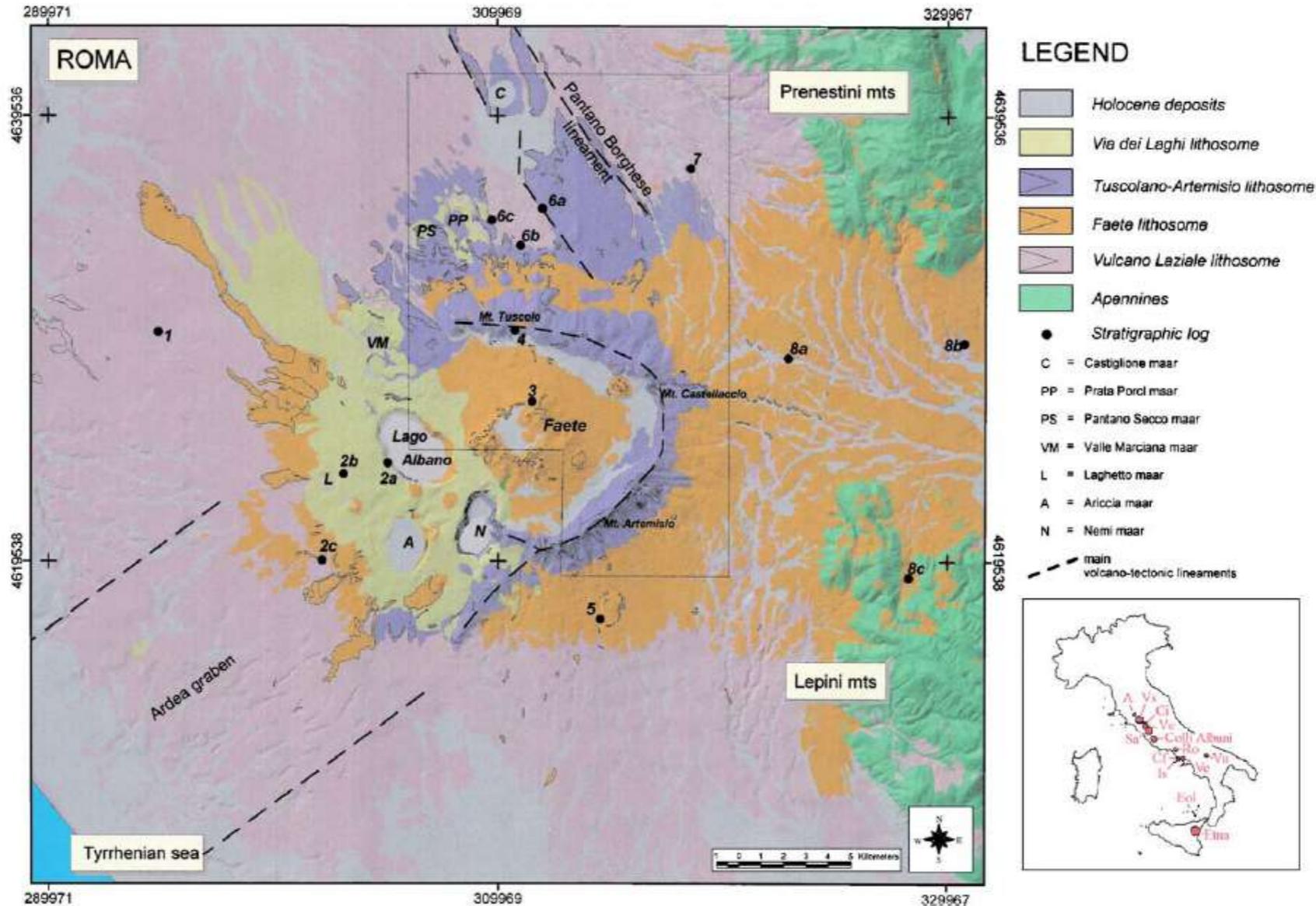


Fig 10. Mapa geológico simplificado del volcán Colli Albani, que muestra los cuatro litosomas reconocidos. Líneas negras contorneando lavas. Las coordenadas geográficas se refieren al sistema UTM 33. Abreviaturas en el cuadro a la derecha indica los volcanes cuaternarios: A — cúpula de Amiata; Vs: complejo de caldera de Vulsini; Ci: cúpulas de Cimini; Vc: estratovolcán Vico; Sa—Complejo de caldera Sabatini; Ro - estratovolcán Roccamonfina; Cf - complejo de caldera Campi Flegrei; Is - Ischia stratovolcano; Ve – Vesuvio estratovolcán; Vu - Estratovolcán buitres; Eol - Islas Eolias.

# Estratigrafía

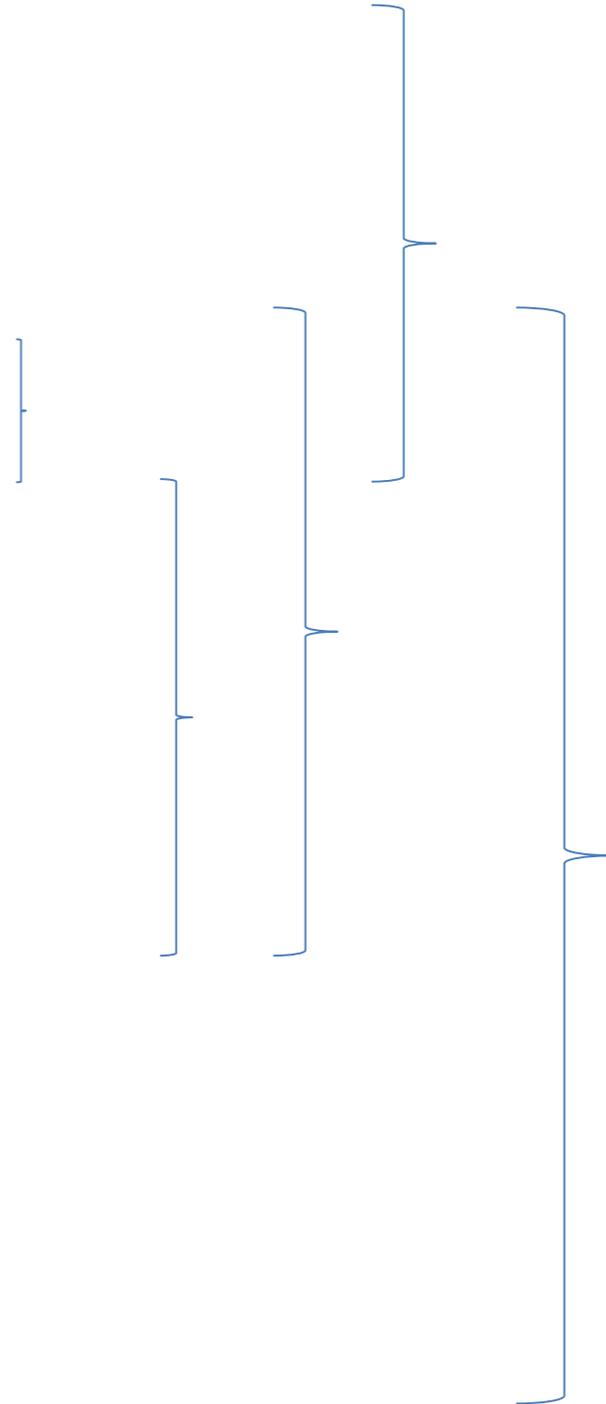
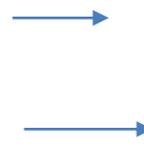
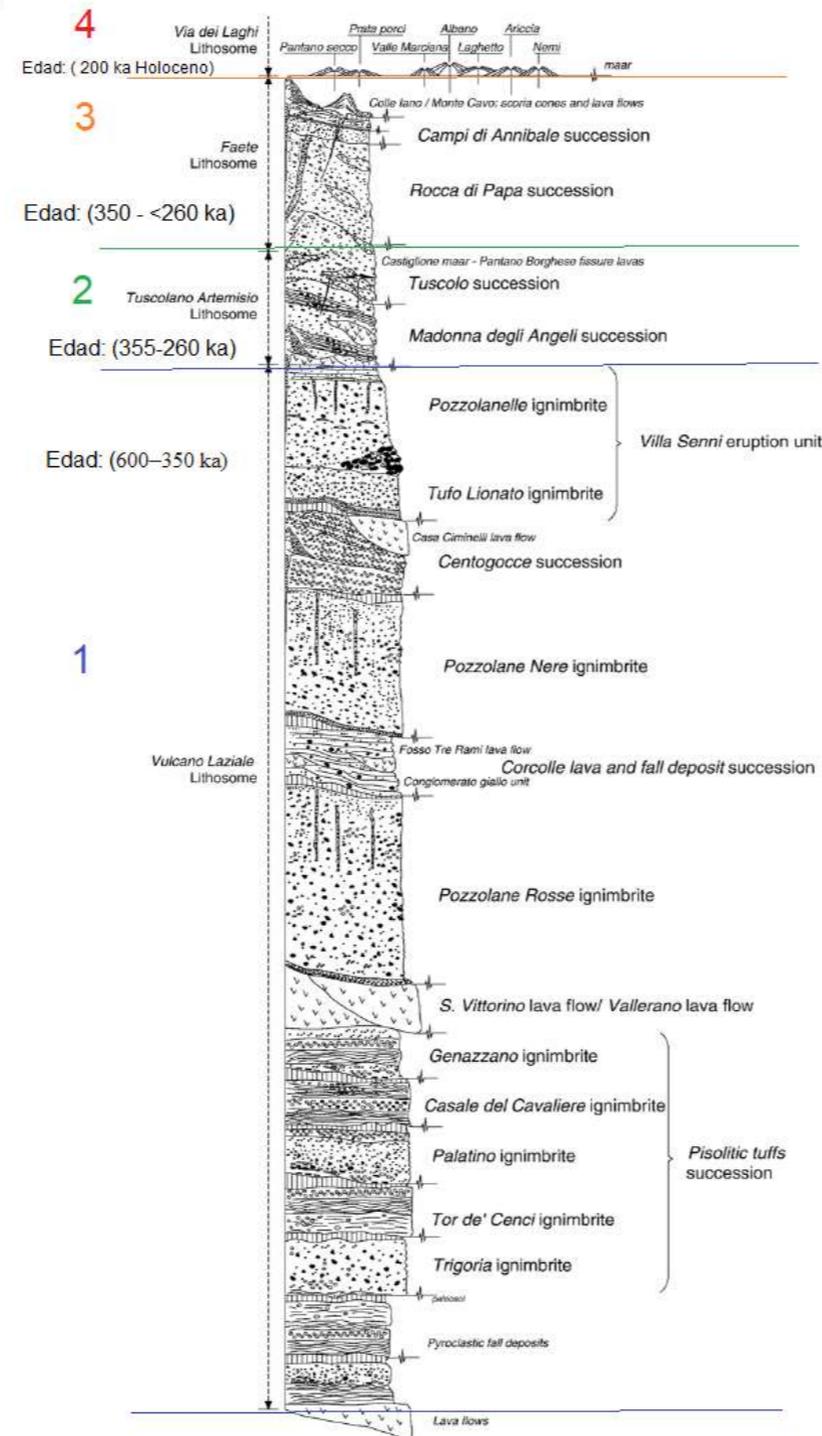
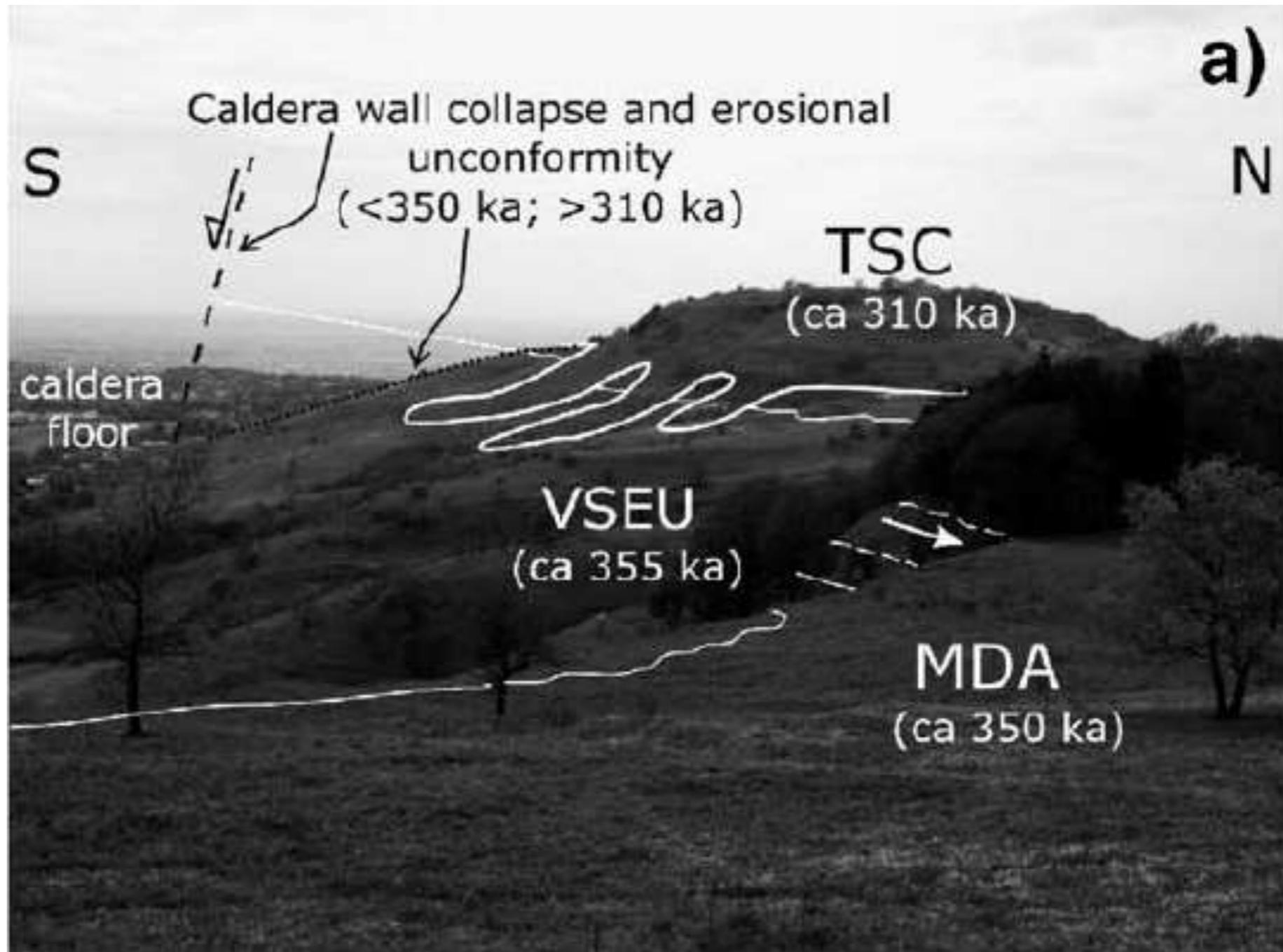


Fig 11. Compuesto columna estratigráfica de Colli Albani litosomas. Nota: Recuperado de: [2], (Giordano,2006), Pagina: 19.

Figura 12.(a) Tuscolano-Artemisio lithosome exposed along the SW slope of the caldera wall at Mt Tuscolo location (4630115N; 309687E).



Nota: Recuperado de: [2]. (Giordano.2006). Pagina: 15.

Figura 13.(b) detalle de la sucesión de MDA hecha de lapilli grueso, lechos de escoria de lluvia de un metro de espesor que recubre el paleosuelo en la parte superior del VSEU (localidad de Lariano; 4621193N; 318738E).



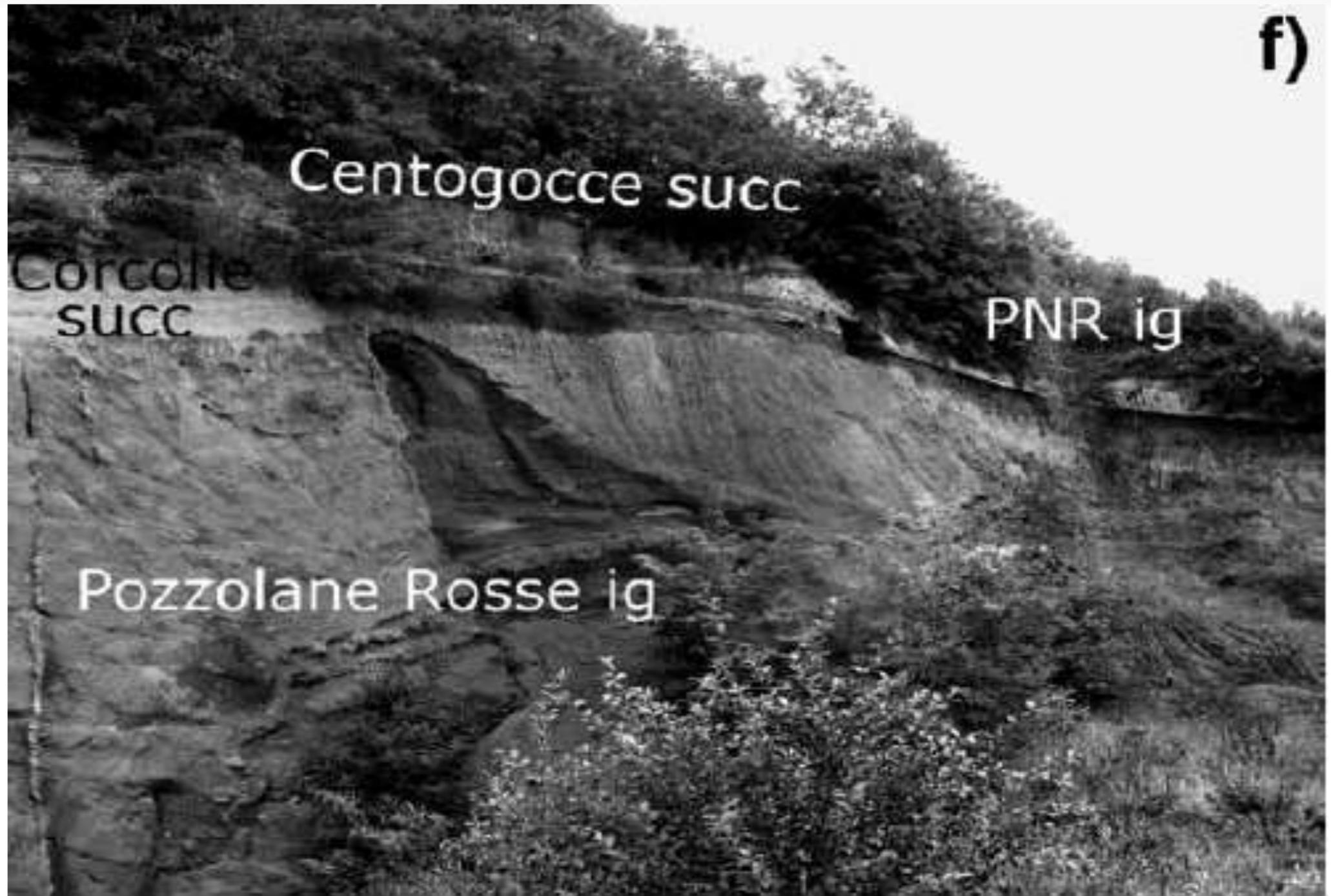
*Nota: Recuperado de: [2]. (Giordano.2006). Pagina: 15.*

Fig 14. (a) Cantera Bulgarini, 20 km al NE del centro de la caldera en la meseta ignimbrita (4644834N; 315225E). El color oscuro de los ignimbritas. refleja la composición ( $\text{SiO}_2 \leq 50\%$ );



*Nota: Recuperado de: [2], (Giordano,2006), Pagina: 9.*

Figura 15. (f) la sucesión de Corcolle que recubre la ignimbrita de Pozzolane Rosse y la sucesión de Centogocce que recubre la ignimbrita de Pozzolane Nere se realizan, en áreas distales (a la E), de varios centímetros a decímetros de espesor, bien clasificadas, grosellas gruesas a finos lapilli, estratificadas en paralelo lechos de escoria intercalados con paleosoils (4629380N; 330755E).



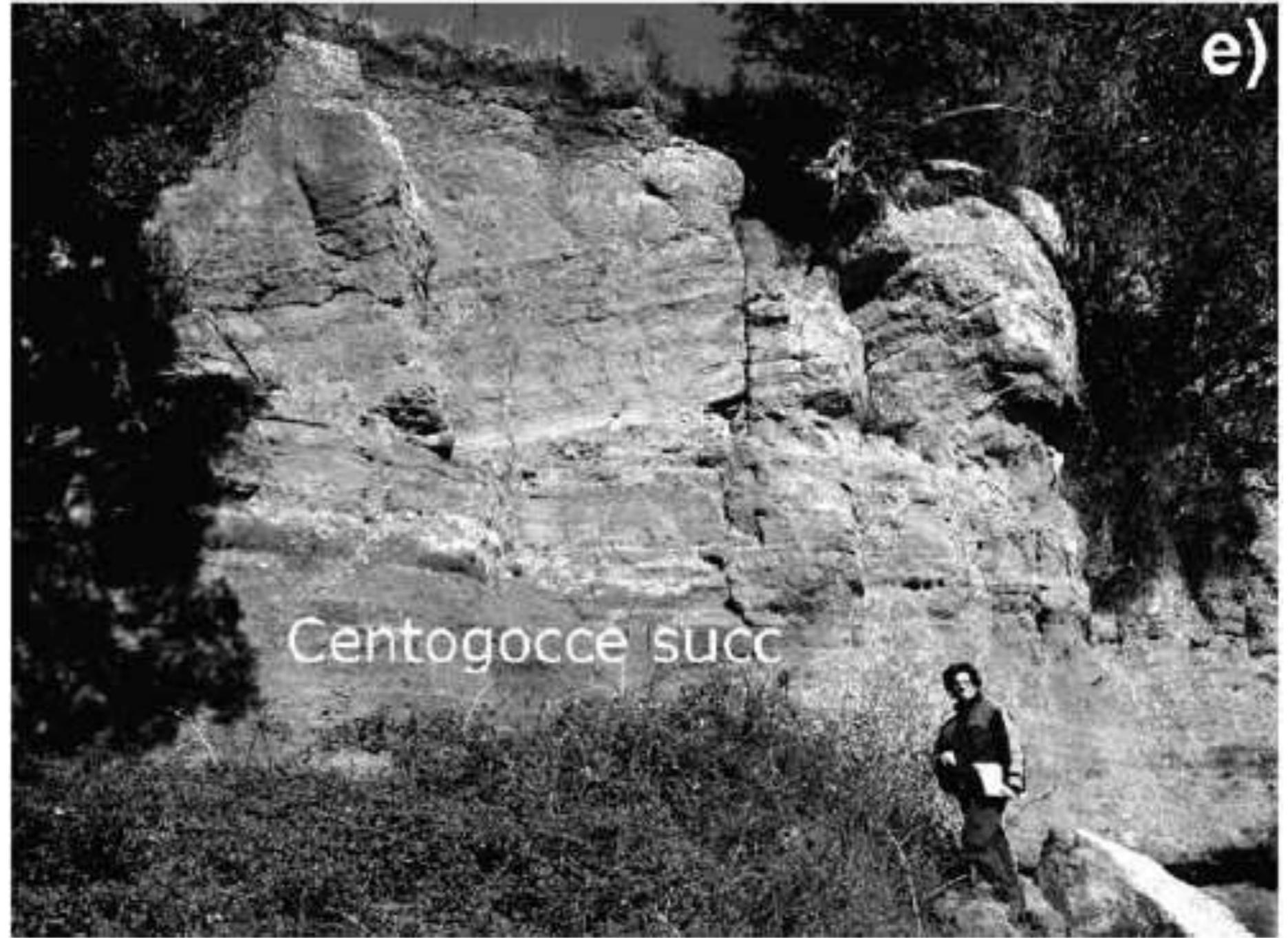
*Nota: Recuperado de: [2], (Giordano,2006), Pagina: 9.*

Figura 16. (d) la brecha proximal co-ignimbrita de la ignimbrita VSEUPozzolanelle (localidad de Frascati 4631867N; 306555E) está hecha de bloques de xenolito y trapos de salpicadura, que se clasifican lateral y verticalmente en las facies ignimbritas estándar.



*Nota: Recuperado de: [2], (Giordano,2006), Pagina: 9.*

Figura 17. (e) la parte superior de la sucesión de Centogocce en la pared de la caldera se realiza por decímetro a metro de espesor, bien clasificada, estratificada en plano plano, tamaño lapilli, camas de escorias escoria que cubren una topografía preexistente, relacionada con eventos discretos de violento estromboliano a erupciones explosivas subplinianas del área intracaldera (4629642N; 309633E).



*Nota: Recuperado de: [2], (Giordano,2006), Pagina: 9.*

Figura 18. (b) el depósito de lluvia de pillian scoria lapilli en la base de la ignimbrita Pozzolane Nere tiene 160 cm de espesor en la localidad de Valle Castiglioni, 18 km E del centro de la caldera (4618774N; 328273E).



*Nota: Recuperado de: [2], (Giordano,2006), Pagina: 9.*

**3. CAPÍTULO 1.2: DESCRIPCIÓN E INTERPRETACIÓN DE LA TEMÁTICA QUE INTENDE EL DOCUMENTO: “EL AGREGADO VOLCÁNICO DE MORTEROS ANTIGUOS ROMANOS DE LA COLINA CAPITOLINA: CRITERIOS PARA IDENTIFICACIÓN PETROGRÁFICA DE “PUZOLANA” DE ROMA E IMPLICACIONES HISTÓRICAS”**

El termino puzolana Romana se designa la petrografía o génesis, de las rocas volcánicas de las cuales proceden los materiales de morteros antiguos romanos.

Se presenta un estudio petrográfico [18], o sea estudio de la composición mineralógica del material del depósito piroclásticos- florida utilizados para producir agregados de morteros (Puzolana Rosse, Puzolana Nere y puzolana); los piroclastos son fragmentos de material solido de tamaño arena-limos y gravilla emitidos en erupción volcánica.

Figura 19. Templo de Júpiter Óptimo Máximo.



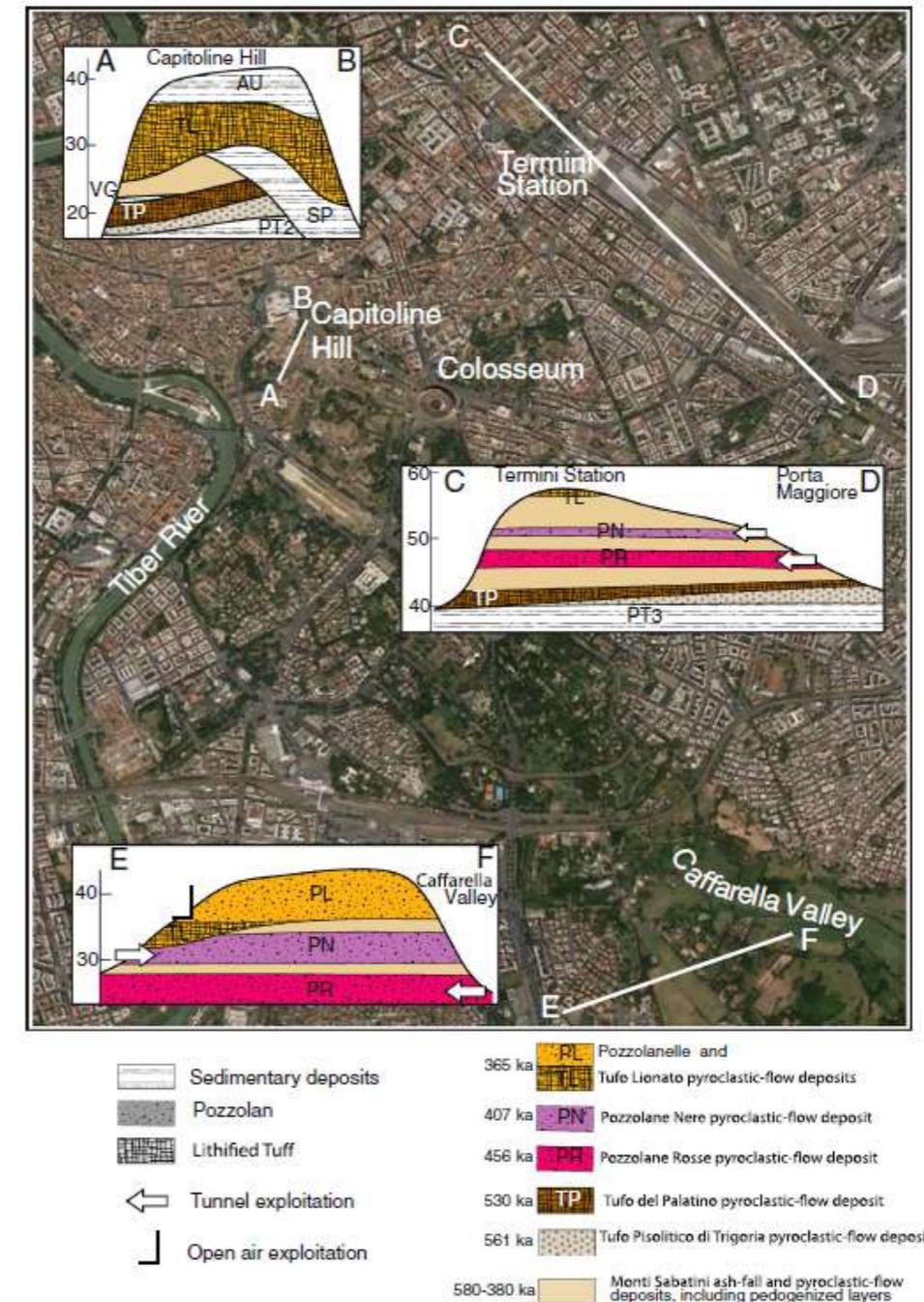
*Nota: Recuperado en [https://es.wikipedia.org/wiki/Templo\\_de\\_J%C3%BApiter\\_%C3%93ptimo\\_M%C3%A1ximo](https://es.wikipedia.org/wiki/Templo_de_J%C3%BApiter_%C3%93ptimo_M%C3%A1ximo)*

Figura 20. Localización de la ciudad Colina Capitolina Roma, Italia.



Nota: Recuperado de: <https://www.google.com/maps/place/Campidoglio/@42.2846737,10.8063145,6z/data=!4m5!3m4!1s0x132f604c9b68c939:0xe1efbb238bd1c51!8m2!3d41.8933592!4d12.4828018>

Figura 21. El sustrato geológico de la ciudad Colina Capitolina.



Nota: Recuperado de [1], Marra, 2015, pagina 2.

Tabla 1 . Agregados morteros composición y cronología de inferidos.

Mortar aggregates composition and inferred chronology.

Sample	Site	Structure	Composition	Type	Inferred age	Analysis	
						TE	EMP
TAB-1B*	TAB	foundation	TP	-	I c BC, Sulla	TP	TP
TAB-1A	TAB	foundation	100%PR + TP	A	I c BC, Sulla		TP
TAB-2	TJ	foundation rest	70%PR + 30%TL + TP	A	I c BC, Sulla		
TAB-6	TJ	founding pillar	90%PR + TL	A	I c BC, Sulla		
TAB-9	OT	platform	80%LV + PR	A2	late I c BC		
TAB-3	TJ	fallen covering	PR	B	I c AD, Domitian		
TAB-5	TJ	covering	PR	B	I c AD, Domitian		
TAB-4	TJ	reinforcing pillar	PR	B	I c AD, Domitian		
TAB-10	OT	platform	PR	B	I c AD, Domitian		
TAB-11	VMT	platform	PR	B	I c AD, Domitian		
TAB-7	PC	foundation	80%TL + PR	C	XVI c AD		TL
TAB-8	PC	foundation	TL	C	XVI c AD		TL

Legend: LV: Leucititic lava; TP: Tufo del Palatino; PR: Pozzolane Rosse; PN: Pozzolane Nere; TL: Tufo Lionato; PL: Pozzolanelle.

TAB: Tabularium; TJ: Temple of Capitoline Jupiter; OT: ex Ospedale Teutonico; VMT: Via di Monte Tarpeo; PC: Palazzo Caffarelli.

TE: Trace-element composition; EMP: Electron microprobe interstitial glass composition.

\* All samples with the exception of the tuff fragment TAB-1B (coarse aggregate) are represented by the fine aggregate separated from the lime matrix after HCl bathing.

Nota: Recuperado de [1], Marra, 2015, pagina 4.

Fig 22. a) vista de la Colina Capitolina con las estructuras de las muestras. b) detalle de muestreo en el Templo de Júpiter Capitolino.

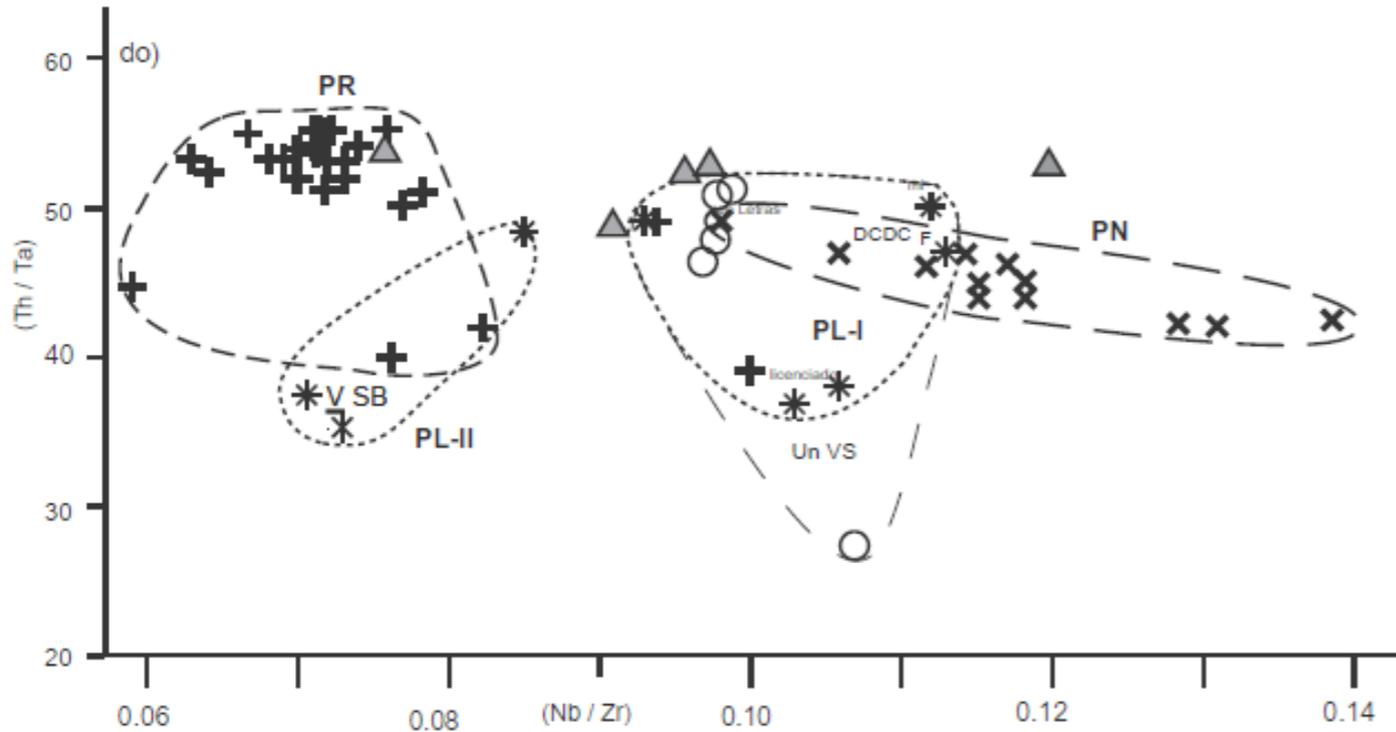


Nota: Recuperado de [1], Marra, 2015, pagina 4.

“Por otra parte, se realiza análisis sobre el agregado del mortero de una muestra (TAB-2) recogida en el templo de Júpiter. El conjunto de datos de muestras naturales ha puesto en marcha los diagramas de discriminación de elementos traza para los productos de la fase tardía Tuscolano-Artemisio de la actividad integrada (registrada) en la literatura reciente (Farr et al, 2015; y las referencia en el) muestran en observaciones geoquímicas con análisis EMP (*Microsonda de electrones*) (apéndice 2), sobre vidrios volcánicos que se realizan en sección delgada de cuatro muestras arqueológicas” [1].

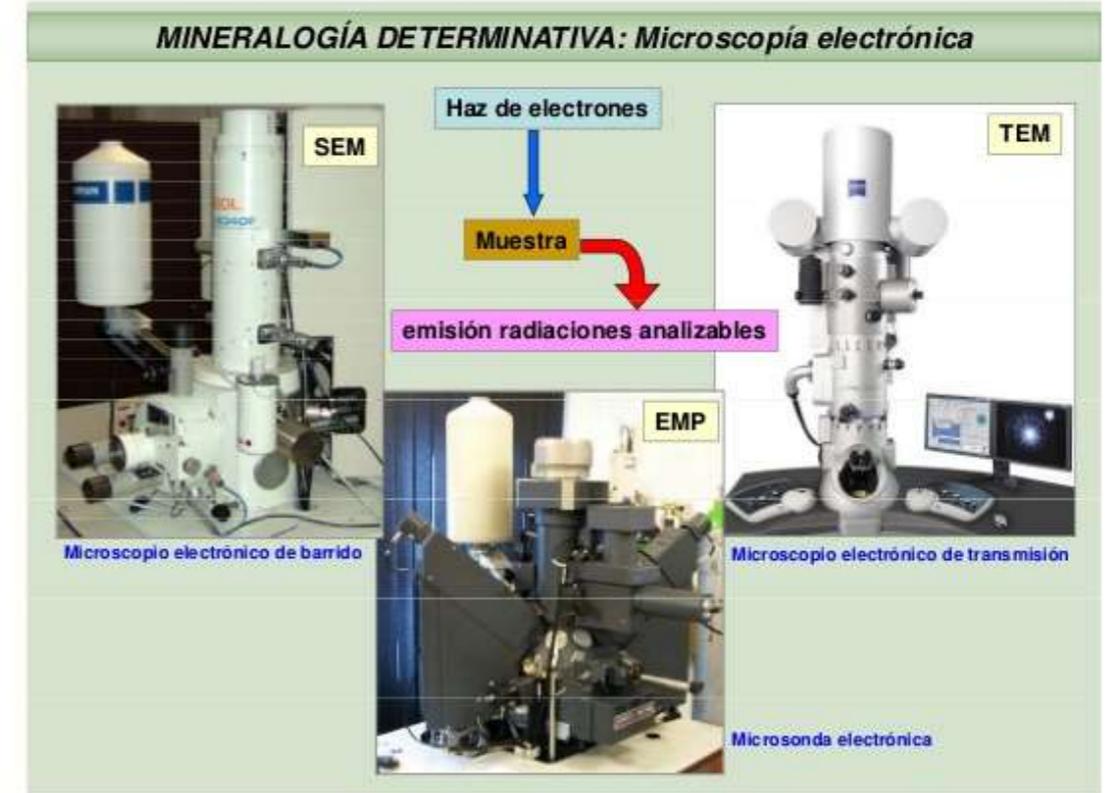
# Métodos de análisis

Fig 23. diagramas de discriminación de elementos traza



Nota: Recuperado de [1], Marra, 2015, pagina 5.

Fig 24. Análisis de Microsonda de electrones (EMP)



Nota recuperado de: <https://es.slideshare.net/JUANCA/mineraloga-26057226>

# Métodos de análisis

Fig 25. Características petrográficas de los depósitos de flujo piroclástico de Colli Albani.

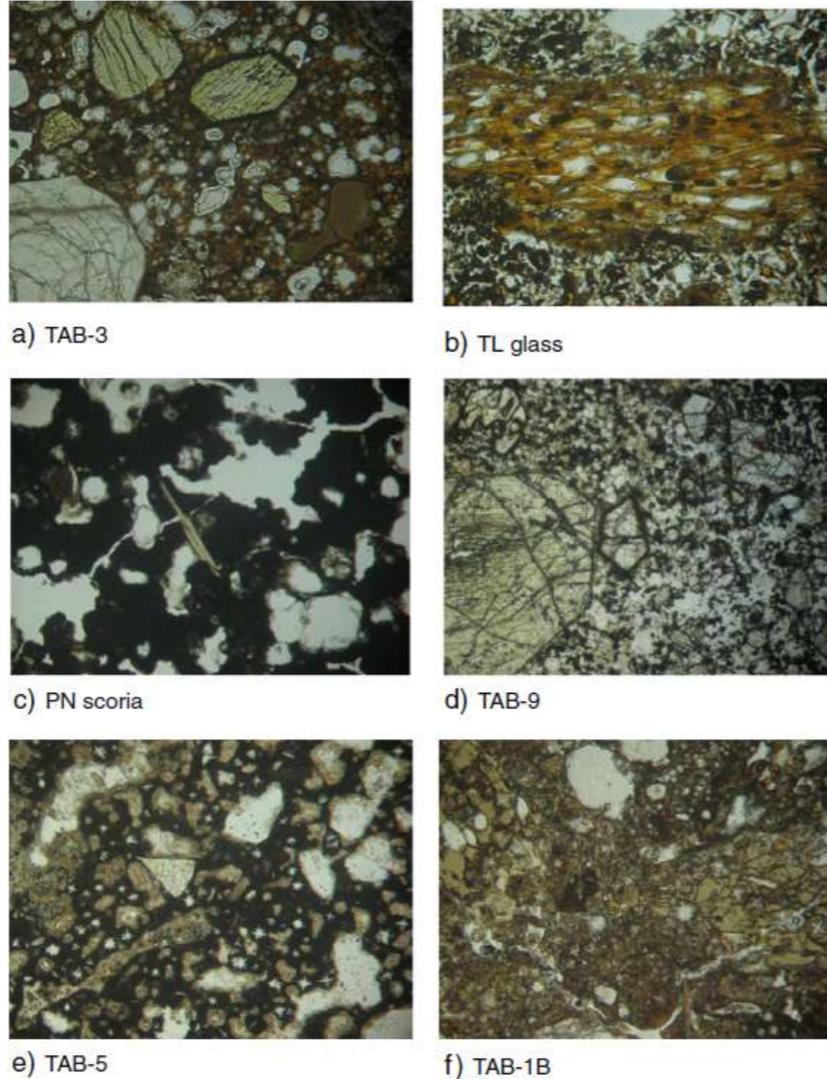


Tabla 2. indica todas las características mineralógica y textura de los monumentos estudiados.

Unidad de disposición	Origen	Aspecto en el campo	Aspecto mineralógico de la textura				
			Textura	Grado de vesicular	Fenocristales	masa de tierra	Características
Puzolana	Deposito Florida	Particulas no consolidadas	IP= 5-20	Minimo a moderado	Clinopiroxeno + leucita+magnetita+granito	criptocristales con microcristales de leucita redondeada	Alto IP, presencia de mica , clinopiroxenos y granito.
Tufo Lionato	Deposito Florida de flujo masivo	piroclasto de tamaño de ceniza consolidado	IP < 1	Moderado alargado a redondeados con Zeolita	Clinopiroxeno + Leucita + Sanidina	Aspecto vidrioso	Forma alargada
Puzolana nere	Deposito Florida y de escoria	Particulas masivas no consolidado	IP=1-5	Minimo a moderado	Leucita clinopiroxeno + mica + nefelina	Criptocristales con microcristales de leucita con forma de estrella	IP asociado con mica, leucita y nefelina
Puzolana rosse	Deposito Florida y de escoria	Particulas no consolidadas	IP < 1	Pobre a moderado	Leucita + clinopiroxeno	Criptocristales con microcristales de leucita con forma de estrella	Muy bajo IP
Tufo de palatino	Oleada de piroclastos	Capas de cenizas	IP= 1-5	Resondeado a regular	Leucita + clinopiroxeno	Criptocristales de leucita con forma de estrella	Color marron claro

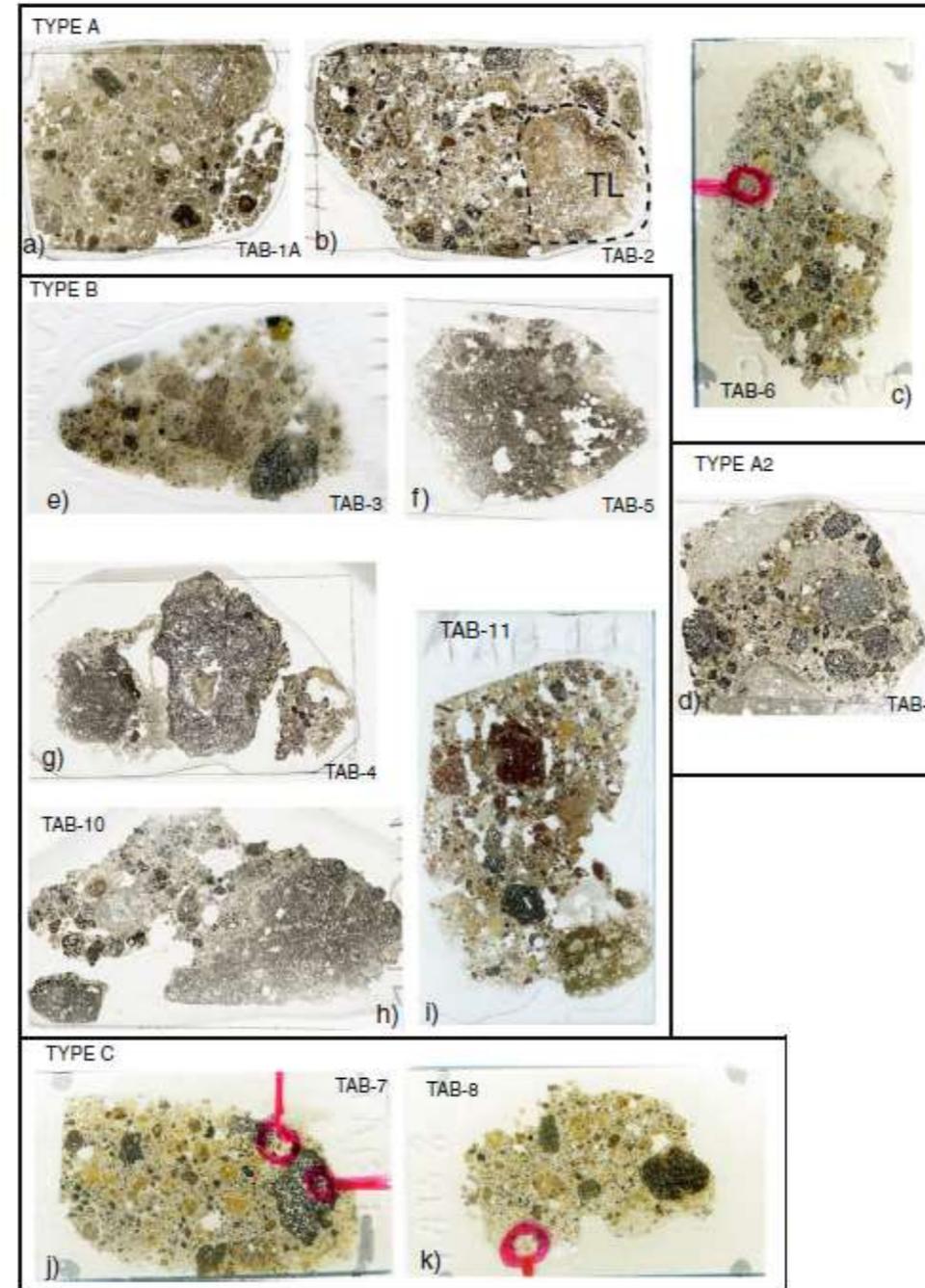
Nota: Recuperado de [1], Marra, 2015, pagina 7.

Fig 26. Fotomicrográficas de clastos escoria que se producen en los morteros de los romanos y en los depósitos piroclásticos de Colli Albani.



La dimensión horizontal de la foto (d) y de las fotos (a, b, c, e, f) son 2.5m y 1mm respectivamente. (a) Leucita de tamaño milimétrico (esquina izquierda), clinopiroxeno verde (centro arriba) y mica (esquina derecha) en el altamente porfirítico Escoria de puzolanelle (muestra TAB-3). (b) Deformación plástica de las vesículas en la escoria vidriosa Tufo Lionato (muestra natural). (c) Escoria de puzolana de baja textura porfirítica de la puzolana (muestra natural) caracterizado por fenocristales de mica (centro). (d) Clasto lítico de lava caracterizado por la presencia de olivina oxidada (centro) asociada en la muestra de mortero TAB-9 con clastos de escoria Pozzolane Rosse. (e) Escoria de Pozzolane Rosse (muestra TAB-5) caracterizada por un índice porfirítico muy bajo (b1% en volumen) y microcristales de leucita que muestran un hábito similar a una estrella. El clinopiroxeno incoloro-verde claro también está presente (centrar). (d) Moldes de escoria vítrea de color marrón claro, con leucita y escasa vesiculada (izquierda y derecha) en la matriz de cenizas del Tufo del Palatino (muestra TAB-1B).

Fig 27. Fotografías de secciones delgadas de muestras de mortero.



Nota: Recuperado de [1]. Marra. 2015. pagina 9.

## **4. CAPÍTULO 2: PROPIEDADES INGENIERILES DE DEPÓSITOS PIROCLÁSTICOS “PUZOLANA”.**

# VULCANISMO

Fig 28. Vulcanismo

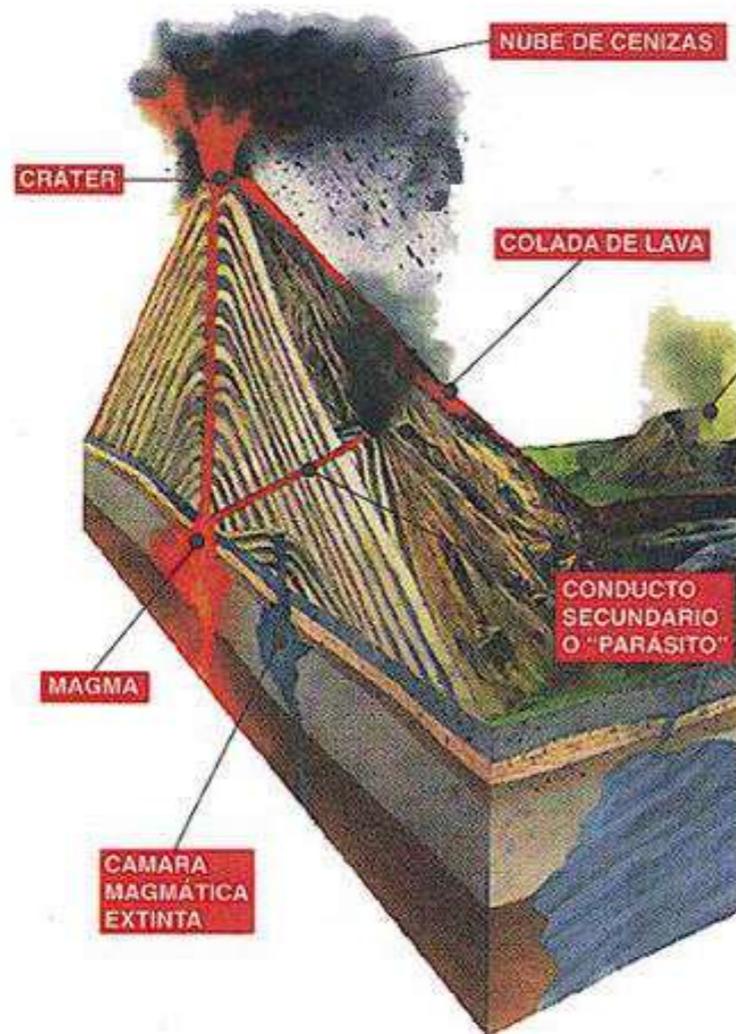
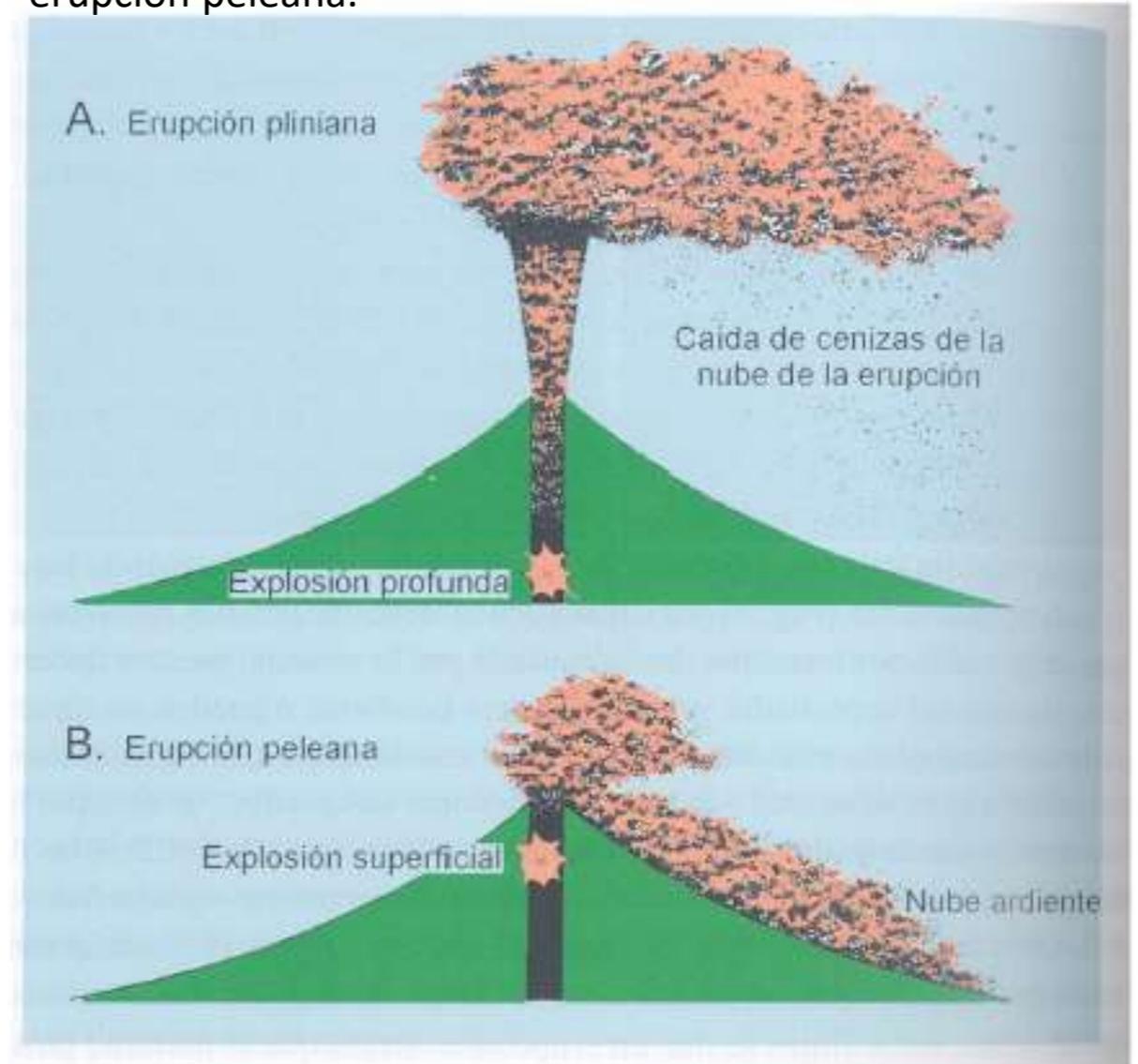


Fig 29. Diferencia entre una erupción pliniana y una erupción peleana.



Recuperado de: <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Vulcanismo.html>

# LOCALIZACIÓN ESPACIAL EN LA SUPERFICIE DE DEPOSITOS PIROCLASTOS LITOSOMAS.

Fig 30. Volcán Extrusivo.



Recuperado de: <https://okdiario.com/curiosidades/tipos-volcanes-909078>

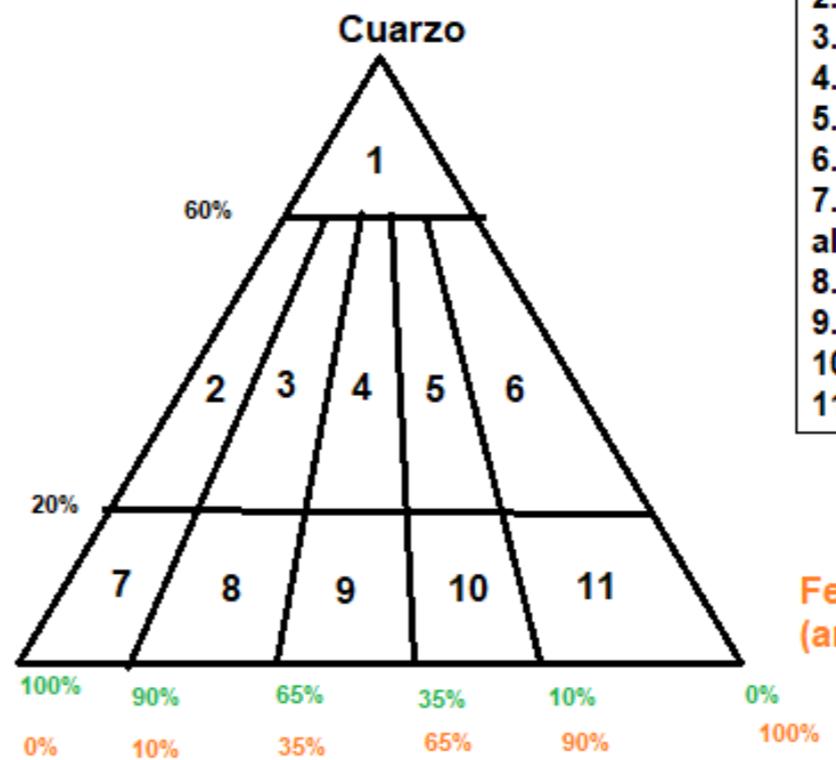


Tipo de magma	Clase de lava	Roca volcánica
Ácido	> 70% SiO <sub>2</sub>	Riolita
Intermedio	50 - 70% SiO <sub>2</sub>	Andesita
Básico	< 50% SiO <sub>2</sub>	Basalto

# LOCALIZACIÓN ESPACIAL EN LA SUPERFICIE DE DEPÓSITOS PIROCLASTOS LITOSOMAS.

Los piroclastos es un producto de la erupción explosiva del volcán.

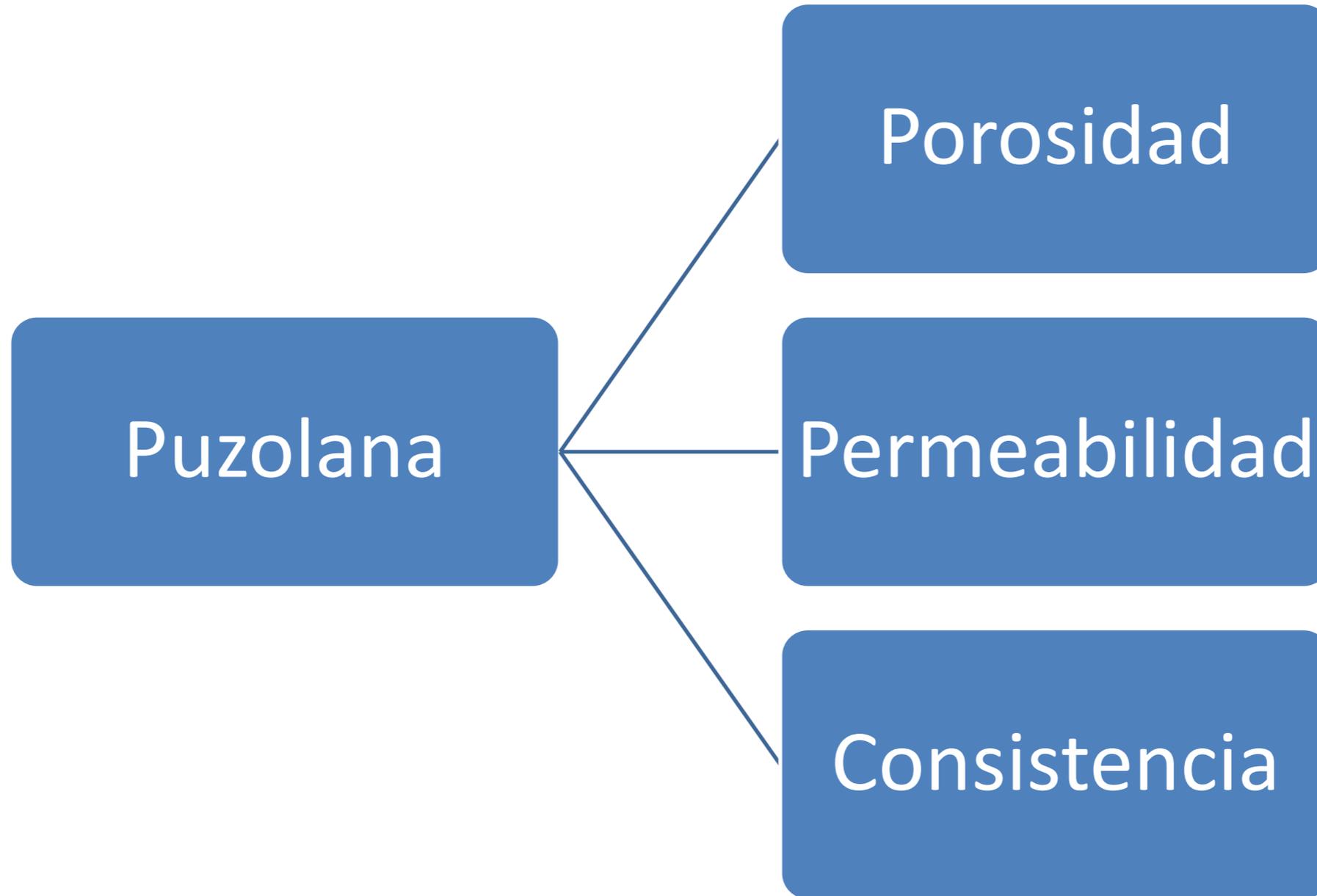
Clasificación rocas igneas (Volcanicas): según diagrama de Streckeisen



1. nn.
2. Riolita alkalifeldespática.
3. Riolita.
4. Riodacita.
5. Dacita.
6. Cuarzo andesita.
7. Traquita alkalifeldespática.
8. Traquita.
9. Latita.
10. Andesita.
11. Basalto.

Recuperado de : [http://www.iessuel.es/ccnn/interactiv/geo5/energia\\_interna\\_10.htm](http://www.iessuel.es/ccnn/interactiv/geo5/energia_interna_10.htm)

# PROPIEDADES INGENIERILES DE DEPÓSITOS PIROCLÁSTICOS “PUZOLANA”.



**5. CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN NO EXPERIMENTAL DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN MATERIAL DE ORIGEN NATURAL CON RELACIÓN A SUS USOS INGENIERILES.**

Fig 31. Petrología y Geología.



Nelson, S., (2018). Introduction & Textures & Structures of Igneous Rocks. TULANE.

Recuperado de: <https://www.slideshare.net/cwrc3/1-rocas-igneas-petrologia-christian-romero2018>

# 6. Conclusiones

- Las puzolana o material piroclástico salido a la superficie por erupciones volcánicas han sido utilizadas como agregado en la construcción de morteros.
- Los fragmentos de roca de tipo Toba o sea aquella conformada por material volcánico no lávico, asociada al material piroclástico han sido utilizados en la construcción de hormigones.
- La evidencia del uso de puzolana y fragmentos de tobas es su identificación en los elementos estructurales de edificaciones antiguas, arqueológicas expuestas en la ciudad de Roma Italia.
- El conocimiento mineralógico y petrográfico del material de esos afloramientos la base de su identificación en los agregados de morteros y hormigones que hacen parte de elementos estructurales de las edificaciones antiguas Romanas que aun después de más de 2000 años construidos prevalecen en la actividad.

## 6. Recomendaciones



Las investigaciones con respecto a las características del material pétreo como agregado empleado en la construcción, se sugiere basarse principalmente en una investigación técnico-científica, que posteriormente se debe comprobar por métodos experimentales.

Es importante investigar a futuro para Colombia la factibilidad de uso de las puzolanas de origen volcánico en la producción de concreto en planta y en proyectos de construcción.

# 7. REFERENCIAS

- [1] Marra Fabrizio, Denti Alberto & Gaeta Mario. 2015. El agregado volcánico de los antiguos morteros romanos de Colina Capitolina: Criterios petrográficos para la identificación de las "puzolanas" de Roma e implicaciones históricas. Roma, Italia. Elsevier.
- [2] Giordano, Benedetti, Diana, Diano, Gaudio, Marasco, Miceli, Mollo, Cas & Funicello. 2006. The Colli Albani mafic caldera (Roma, Italy) Stratigraphy, structure and petrology. Elsevier, journal of volcanology and geothermal research



# ¡Gracias por su atención!

