



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

GEOLOGÍA Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE PUZOLANAS DE LA ZONA ORIENTAL DE GUATEMALA

Víctor Rafael Rosales Rivas

Asesorado por el Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz

Guatemala, febrero de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GEOLOGÍA Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE PUZOLANAS DE LA ZONA
ORIENTAL DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

VÍCTOR RAFAEL ROSALES RIVAS

ASESORADO POR EL ING. FRANCISCO JAVIER QUIÑÓNEZ DE LA CRUZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, FEBRERO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paíz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Carmen Marina Mérida Alva
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADOR	Ing. Julio Antonio Arreaga Solares
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

GEOLOGÍA Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE PUZOLANAS DE LA ZONA ORIENTAL DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 04 de noviembre de 2010.


Víctor Rafael Rosales Rivas



Guatemala, 03 de noviembre del 2011

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

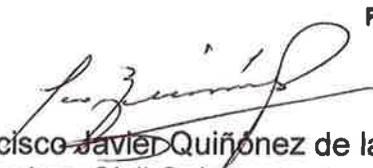
Señor Director:

Tengo el agrado de dirigirme a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación **“GEOLOGÍA Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE PUZOLANAS DE LA ZONA ORIENTAL DE GUATEMALA”**, desarrollado por el estudiante universitario **Víctor Rafael Rosales Rivas**, quien contó con mi asesoría.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante **Rosales Rivas**, satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

FRANCISCO JAVIER QUIÑÓNEZ DE LA CRUZ
Ingeniero civil colegiado No. 1941


Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
Ingeniero Civil Colegiado No. 1941



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala, 11 de noviembre del 2011

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

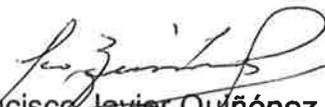
Tengo el agrado de dirigirme a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación **"GEOLOGÍA Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE PUZOLANAS DE LA ZONA ORIENTAL DE GUATEMALA"**, desarrollado por el estudiante universitario **Víctor Rafael Rosales Rivas**, quien contó con mi asesoría.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante **Rosales Rivas**, satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍA


Francisco Javier Quiñón de la Cruz
Coordinador Unidad de Investigación



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor y Coordinador de la Unidad de Investigación, Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, al trabajo de graduación del estudiante Víctor Rafael Rosales Rivas, titulado **GEOLOGÍA Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE PUZOLANAS DE LA ZONA ORIENTAL DE GUATEMALA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, febrero de 2012.

/bbdeb.

Más de 130^{Años} de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **GEOLOGÍA Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE PUZOLANAS DE LA ZONA ORIENTAL DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Víctor Rafael Rosales Rivas**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 10 de febrero de 2012

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Ser supremo que derramó sobre mí muchas bendiciones.
Mis padres	Víctor Rosales Gómez y Vilma Antonieta Rivas Sánchez de Rosales
Mis abuelos	Natividad de Rivas (q.e.p.d.) y Ricardo Rivas (q.e.p.d.), José Víctor Rosales y María Cristina Gómez
Mis hermanos	Sandra Janet Rosales Rivas y Laura Maritza Rosales Rivas

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de
San Carlos
de Guatemala**

Especialmente a la Facultad de Ingeniería, por mi formación y el orgullo de ser San Carlista.

Mis padres

Por el amor, confianza e incondicional apoyo que siempre me brindaron.

Mis hermanos

Por su cariño, apoyo, guía y consejos.

**Ing. Francisco
Javier Quiñónez**

Por sus enseñanzas, su incondicional apoyo y el ejemplo de un verdadero profesional.

**Sección de
Ecomateriales
y Estructuras**

Por su apoyo en la realización de este documento.

**Mis amigos
y compañeros**

En especial a Astrid Leonardo, Sonia Guamuch, Cecilia de León, Rafael Hernández, Augusto Santízo y Luis Ochoa.

1.2.4.	Clasificación según su origen.....	45
1.2.4.1.	Puzolanas naturales	47
1.2.4.2.	Puzolanas artificiales	51
1.2.5.	Otras clasificaciones.....	52
1.2.5.1.	Sistemas de clasificación en base al comportamiento	52
1.2.5.2.	Clasificación basada en la economía de la producción	53
1.2.6.	Caracterización de puzolanas de origen volcánico ...	54
1.2.6.1.	Composición química de las puzolana....	54
1.2.6.2.	Características físicas de las puzolanas	56
1.2.6.3.	Causas de la actividad puzolánica.....	58
1.2.6.4.	Criterios de valoración de las puzolanas	59
1.2.7.	Aplicaciones de las puzolanas	62
1.2.8.	Las puzolanas en Guatemala.....	63
2.	EXPERIMENTACIÓN	65
2.1.	Metodología.....	65
2.1.1.	Ubicación del material puzolánico en la región oriente.....	65
2.1.2.	Investigación geológica	68
2.1.3.	Investigación de campo preliminar (muestreo preliminar)	69
2.1.4.	Selección de bancos	69
2.1.5.	Toma de muestras	70
2.1.6.	Identificación de las muestras	70
2.1.7.	Procedimiento en laboratorio.....	70

2.1.7.1.	Secado	70
2.1.7.2.	Tamizado ¼”	71
2.1.7.3.	Tamiz # 30 y tamiz # 200	71
2.1.7.4.	Molienda.....	72
2.1.7.5.	Tamiz # 325	73
2.1.7.6.	Pérdida por ignición.....	74
2.1.7.7.	Fracción soluble en agua	76
2.1.7.8.	Peso específico.....	78
2.1.7.9.	Superficie específica (finura <i>blaine</i>).....	79
2.2.	Resultados.....	81
2.2.1.	Investigación geológica	81
2.2.2.	Identificación de muestras	84
2.2.3.	Secado de muestras	93
2.2.4.	Resultados del ensayo de tamiz # ¼”	96
2.2.5.	Resultados del ensayo de tamiz # 30	97
2.2.6.	Resultados del ensayo de tamiz # 200	98
2.2.7.	Molienda	99
2.2.8.	Resultados del ensayo de tamiz # 325	101
2.2.9.	Resultados del ensayo de pérdida por ignición	104
2.2.10.	Resultados del ensayo de fracción soluble en agua.....	105
2.2.11.	Resultados ensayo peso específico	105
2.2.12.	Resultados del ensayo de finura Blaine.....	107
3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	113
3.1.	Investigación geológica.....	113
3.2.	Ensayos de laboratorio	115

CONCLUSIONES..... 119
RECOMENDACIONES 125
BIBLIOGRAFÍA..... 127
APÉNDICE 131
ANEXOS..... 149

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Distribución superficial de las placas tectónicas	2
2.	Deriva continental	4
3.	Teoría placas tectónicas	7
4.	Placas que afectan a Guatemala	22
5.	Mapa fallas de Guatemala	23
6.	Mapa zonas fisiográficas de Guatemala	27
7.	Mapa geológico República de Guatemala	39
8.	Disposición del material volcánico	64
9.	Representación esquemática del desarrollo experimental.....	67
10.	Manómetro con chorro y tamiz # 325.....	73
11.	Mufla para ensayo de pérdida por ignición	76
12.	Erlenmeyer para el ensayo de fracción soluble en agua	77
13.	Balón de <i>Le Chatelier</i> para determinar peso específico.....	79
14.	Equipo para determinar superficie específica	81
15.	El Rancho	86
16.	Aristondo.....	87
17.	Marujama.....	88
18.	Barrio Santa Elena.....	89
19.	Niño Perdido Salamá	90
20.	San Cristóbal Verapaz	91
21.	Guastatoya.....	92
22.	Palencia	93
23.	Muestra colocada en horno.....	94

24.	Ensayo tamiz # 200	98
25.	Proceso molienda.....	100
26.	Ensayo tamiz # 325	101
27.	Equipo ensayo peso específico.....	106

TABLAS

I.	Clasificación de las rocas ígneas.....	12
II.	Volcanes de Guatemala que tienen registro de actividad.....	30
III.	Columna cronoestratigrafía de Guatemala	38
IV.	Clasificación de las puzolanas.....	46
V.	Clasificación de puzolanas por su resistencia	53
VI.	Valores de la composición química límite y media de puzolanas de origen volcánico	55
VII.	Porcentajes químicos de puzolanas y cenizas	61
VIII.	Condiciones físicas de las puzolanas artificiales y naturales.....	62
IX.	Requerimientos para ensayo de tamiz # 30 y tamiz # 200	72
X.	Requerimientos de puzolanas según tamiz # 325	74
XI.	Requerimientos químicos (pérdida por ignición).....	75
XII.	Fracción soluble en agua para puzolanas	78
XIII.	Mapas utilizados en el estudio.....	82
XIV.	Área de material puzolánico por departamento	83
XV.	Resultados de evaluación previa de los bancos.....	84
XVI.	Resultados porcentaje de humedad	95
XVII.	Resultados de porcentaje que pasa tamiz ¼".....	96
XVIII.	Resultados de porcentaje que pasa tamiz # 30.....	97
XIX.	Resultados de porcentaje que pasa tamiz # 200	99
XX.	Resultados de porcentaje que pasa tamiz # 325.....	103
XXI.	Resultados de porcentaje de pérdida por ignición.....	104

XXII.	Resultados de fracción soluble en agua	105
XXIII.	Resultados de peso específico	106
XXIV.	Tiempos del ensayo superficie específica.....	109
XXV.	Resultado de superficie específica (finura <i>Blaine</i>)	111

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetros
cc	Centímetros cúbicos
H	Contenido humedad muestra (%)
C	Factor de Corrección
g	Gramo
°C	Grados centígrados
kg	Kilogramos
km	Kilómetros
µm	Micrómetro
ml	Mililitros
mm	Milímetro
M_w	Masa de agua
M_s	Masa de la muestra
R_s	Material retenido en ensayo en g
m s n m	Metros sobre el nivel del mar
N	Norte
W	Oeste
R_c	Porcentaje retenido corregido

GLOSARIO

Árido	Material granulado utilizado en construcción.
Basalto	Roca ígnea volcánica de composición máfica, de color oscuro, rico en hierro y magnesio.
Circunpacífico	Cinturón de Fuego del Pacífico.
Conglomerantes	Material que sirve para unir fragmentos o partículas de una o más sustancias y compactarlas, formando una sola masa.
Hidraulicidad	Numéricamente definido como la relación en peso de los silicatos, aluminatos y óxidos de hierro respecto del óxido de cal y de magnesio.
Lávicas	Mezcla de gases y sólidos eyectados en algunas erupciones de volcanes.
Meridiano	Semicírculos máximos de la esfera terrestre que pasan por los polos.
Molienda	Proceso en el cual se reduce la fineza de un material.

Paleomagnetismo	Estudio del campo magnético de la tierra en el pasado.
Piroclástico	Magma que durante su ascenso a través de la corteza terrestre alcanza la superficie.
Porfídicas	Fenocristales relativamente grandes, situados en una masa de grano más fino.
Silicatos	Sales de ácido Silícico
Surcada	Participio del verbo surcar que significa atravesar o desplazarse navegando a través del agua, aire o espacio.
Vítreas	Semejante al vidrio.

RESUMEN

La investigación consistió en realizar una búsqueda de documentos que dieran una descripción geológica de la región oriente de Guatemala. Tomando como base los estudios realizados por diversos autores y mapas geológicos del área en estudio, se tomaron muestras de materiales volcánicos que posteriormente fueron ensayadas para determinar las características físicas dictadas por las normas internacionales y otras que fueron determinadas por considerarse importantes.

De acuerdo con Staber y Carr (1977), los volcanes de Centro América no están dispuestos en una cadena ininterrumpida como dijo Sapper, sino que están distribuidos en cierto número de cadenas cortas separadas, las cuales están relacionadas unas con otras. Estas franjas se pueden dividir en: las del occidente, franjas centrales y franjas orientales. Aunque las franjas donde se encuentran abundantes volcanes se ubican en el oriente de Guatemala, los materiales piroclásticos que interesan en este trabajo se encontraron en la región delimitada por los departamentos de Guatemala, El Progreso, Baja Verapaz y Alta Verapaz.

El muestreo en esa región se realizó en aquellos bancos que se consideraron con mejor acceso, uniformidad y volumen, entre otras. En total se tomaron muestras de 9 bancos de distintas capas estratigráficas, a lo largo de la región en estudio.

Las muestras, una vez ubicadas en el laboratorio, fueron secadas, tamizadas y molidas, determinando su superficie específica (finura Blaine), pérdida por ignición, fracción soluble en agua, peso específico y porcentaje que pasa el tamiz 325. Los diferentes resultados obtenidos fueron comparados con los parámetros recomendados por las normas internacionales. Dichos resultados son un parámetro muy importante para explicar los resultados de ensayos mecánicos cuando estos materiales se combinan con cemento portland o cal.

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación FODECYT número 023-2010, que se realiza en el Centro de Investigaciones de Ingeniería y la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de San Carlos de Guatemala, con el co-financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de Guatemala, a cuyas instituciones se agradece por la oportunidad y el apoyo brindado.

OBJETIVOS

General

Determinar las características físicas y geológicas de nueve muestras de materiales volcánicos recolectadas en la región delimitada por los departamentos de Guatemala, El Progreso, Baja Verapaz y Alta Verapaz.

Específicos

1. Recopilar información de las puzolanas de la región oriente de Guatemala.
2. Seleccionar bancos de materiales volcánicos y obtener muestras para su estudio.
3. Determinar las características geológicas de cada lugar estudiado.
4. Determinar las características físicas de cada muestra seleccionada.

INTRODUCCIÓN

Guatemala es una región de alta actividad volcánica, por lo cual se encuentra abundante material volcánico en toda la franja volcánica del país. Las erupciones del período cuaternario y terciario tardío han originado depósitos estratigráficos de pumicita, tanto de cenizas como de tobas. Estas se encuentran expuestas en abundancia en algunas regiones.

El presente trabajo de graduación tiene por objeto realizar una investigación geológica detallada del oriente de Guatemala y caracterizar físicamente nueve muestras de puzolanas extraídas de esa zona mencionada en el objetivo general. Los estudios permitieron determinar las características físicas y confirmaron la presencia de este material en el área seleccionada para el estudio geológico; adicionalmente, con los resultados obtenidos, se pudo determinar que las características físicas de las muestras analizadas reúnen los requerimientos de las normas adoptadas para su uso en la construcción.

La investigación realizada tuvo inconvenientes tanto tecnológicos como investigativos. En los inconvenientes tecnológicos se encuentra el manejo de mapas en computadora de uso doméstico, pero con tecnología que está al alcance de todos se pudo cumplir con los objetivos del trabajo de graduación. La investigación de tipo geológico en Guatemala no está actualizada, por lo tanto los documentos en los que se basó el trabajo son de numerosos autores que realizaron expediciones entre los años 1900 y 1970, lo cual dificultó determinar el origen del material en estudio.

El propósito de este documento, es dar una idea clara al lector de las distintas áreas, dónde puede encontrarse material puzolánico. Este material puede ser utilizado en la fabricación de aglomerantes de bajo costo, lo cual podría beneficiar a personas de escasos recursos.

El documento está dividido en 3 partes, la primera es una breve descripción geológica de las causas por las cuales ocurren las erupciones volcánicas, cuyo resultado son los distintos depósitos estratigráficos; también se explica el origen del término puzolana y los antecedentes de su uso hasta llegar a la actualidad.

La segunda parte explica la metodología para determinar la ubicación de los bancos de puzolana y la forma en la cual se determinaron las características físicas. Esta parte muestra los cálculos realizados en los distintos ensayos así como los resultados obtenidos. En la tercera parte se presenta un análisis de resultados de cada parámetro estudiado, tanto en la parte geológica del estudio como en la parte experimental.

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación FODECYT número 023-2010, que se realiza en el Centro de Investigaciones de Ingeniería y la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de San Carlos de Guatemala, con el co-financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de Guatemala, a cuyas instituciones se agradece por la oportunidad y el apoyo brindado.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Geología general

La Tierra está dividida en tres zonas que corresponden con los tres estados de la materia (sólido, líquido y gaseoso). La zona superior de la corteza terrestre se le denomina Litósfera. Acuñada en las cuencas oceánicas y distribuida a través de la superficie de la Tierra; esta la zona del agua, la hidrósfera. Redondeando ambas, se encuentra una envoltura gaseosa, la atmósfera.

Dentro de la litósfera actúan las fuerzas físicas y químicas que originan el vulcanismo y que elevan porciones de la corteza formando masas terrestres y haciendo posible las abundantes formas de vida.

Los procesos geológicos que afectan sobre y dentro de la corteza terrestre pueden agruparse bajo tres principales causas: gradación, vulcanismo y diatrofismo. En la gradación está considerado el intemperismo, la descomposición y disgregación de las rocas. El vulcanismo se refiere a los movimientos de la roca fundida y a la formación de roca sólida a partir de un estado de fundición, efectuándose ambos dentro y sobre la superficie de la litósfera. En el diatrofismo se incluyen todos los movimientos de las partes sólidas de la Tierra de los que resultan desplazamientos (fallamiento) o deformación (plegamiento).

los continentes; la inferior es de rocas pesadas y oscuras, de naturaleza basáltica distinta de la de los continentes, y es continua.

Los bloques continentales se extienden hasta el pie del talud continental; abarca por lo tanto las áreas emergidas, la plataforma y el talud. A estos dos últimos se les designa “precontinentes”.

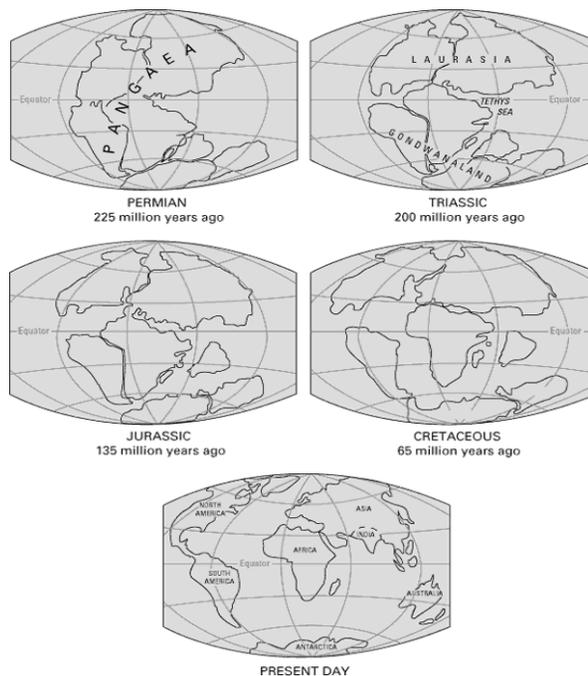
A continuación se hace una síntesis de la evolución de las investigaciones que llevaron a la teoría de la Tectónica de Placas:

Pasotti (1977) explica, que el punto de partida es la teoría de la deriva de los continentes de Alfredo Wegener (1912). Según Wegener, existió al comienzo un solo continente (figura 2.), la Pangea, que abarcaba el 40 % de la superficie terrestre, bañada por el único océano, la Panthalasa. La Pangea se dividió primeramente en dos grandes continentes: Laurasia (N) y Godwana (S). Posteriormente, hace unos 180 m.a., volvió a dividirse en fragmentos que se separaron con destino a la deriva, alejándose unos de otros independientemente, hasta ocupar la posición que tienen hoy. La fuerza que originó el desmoronamiento de la Pangea y la deriva según Wegener estaba asociada a la de la rotación de la Tierra.

Blackett, Bullard, Runcorn y otros (1956), iniciaron el Paleomagnetismo que hizo resurgir la teoría de Wegener casi del olvido. Llegaron a determinar que el polo magnético terrestre fue cambiando de posición a través del tiempo, describiendo trayectorias diferentes para cada continente, los que se movieron respecto de la posición del polo magnético actual.

Puesto que son trayectorias distintas para cada bloque continental y siendo improbable que el polo magnético se haya movido y alejado mucho del eje de rotación, o que este haya cambiado de posición con respecto a las principales masas de tierra, surge como lógica que estas se movieron independientemente describiendo trayectorias diferentes.

Figura 2. **Deriva continental**



Fuente: <http://blog.educastur.es/ccmcsuanzes/2010/03/17/la-historia-de-la-tierra/>. Marzo 2011.

Al paleomagnetismo se lo denomina “magnetismo fósil” y se comprueba con los basaltos y en las areniscas rojas, rocas ricas en minerales de hierro tales como óxidos y silicatos de hierro. Cuando se producen derrames de lavas basálticas, esos minerales contenidos en ellas se orientan según el meridiano magnético que pasa en ese momento por la zona surcada producida por las coladas lávicas, es decir, que no se disponen según la trayectoria de las coladas. Del mismo modo, cuando se acumulan sedimentos ricos en minerales

de hierro, tanto por obra de las aguas como del viento, ellos se orientan según el meridiano magnético del momento.

Según Pasotti (1977), otra teoría importante que hay que mencionar es la teoría de Expansión del Fondo de los Océanos. (Figura 3). Esta teoría es complementaria a la teoría de Wegener y da como resultado la teoría de Tectónica de Placas o Tectónica Global. Esta teoría propuesta por Hess (1962) explica que el piso de los océanos está en continua expansión a partir de la fisura de las cimas de las cordilleras mesoceánicas. Un nuevo suelo se forma a ambos lados cerca de la grieta, lo que contradice a Wegener, quien admitía nuevos suelos adosados a los continentes.

Las pruebas de la expansión se basan sobre el paleomagnetismo, la inversión de la polaridad y la geocronología (determinación de las edades de las rocas). La expansión del fondo de los océanos trae como lógica suponer un aumento de volumen de Tierra. Sin embargo, este fue de apenas 2 % en los últimos 200 m.a. Se calcula que la superficie ocupada hoy por los océanos se habría formado en ese lapso, es decir en el 5 % de toda la historia geológica de la tierra.

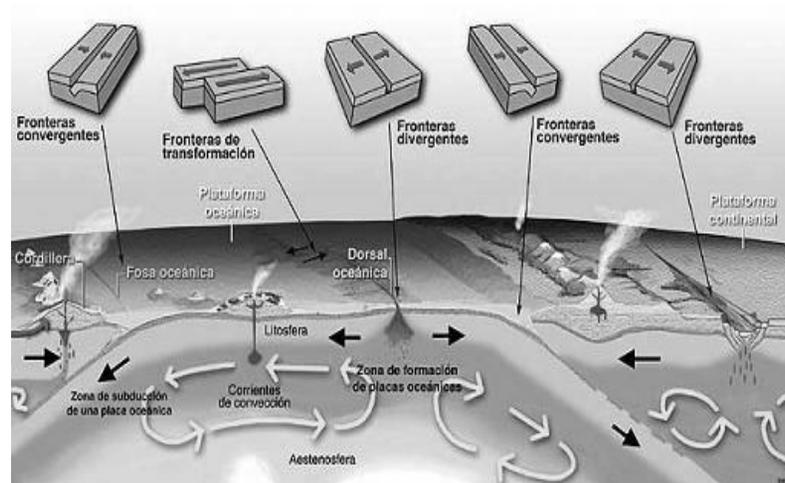
De eso surge que las áreas corticales han de distribirse en la misma proporción con que aumentan, o sea que hay un sistema global de transporte o movimiento que relaciona las zonas donde se crea corteza con aquellas en las que se destruye, y puesto que el fondo de los océanos es rígido, los movimientos están confinados a los límites entre gigantescos bloques en que está dividida la litósfera.

Los bloques se enfrentan y chocan en esos límites o bordes; allí el fondo de los océanos es absorbido, penetra en las profundas fosas y se desliza debajo de los continentes. A estas zonas se les llama "*Zonas de Subducción*" y por su frotamiento se tienen terremotos y formación de cadenas de volcanes.

Sobre la base de las dos teorías anteriormente mencionadas (Deriva Continental y Expansión del Fondo Oceánico), se formuló la teoría llamada "Tectónica de Placas" y a los grandes bloques de los cuales está compuesto el planeta se le denominó Placas Tectónicas. Una breve explicación de esta teoría sería que una placa se destruye de un lado con el mismo valor con que crece en el opuesto.

La que se sumerge consta de rocas pesadas (basaltos) mientras que la otra por ser liviana (rocas graníticas y afines) se desliza sobre la primera. Donde se enfrentan dos placas (figura 3), en las profundas fosas se acumulan potentes capas de sedimentos; por eso en ella se registra menor gravedad y los focos sísmicos se disponen sobre un plano inclinado que se hunde en la astenósfera.

Figura 3. Teoría de placas tectónicas



Fuente: <http://www.portalciencia.net/geolotec.html>. Marzo 2011.

La Sismología ha evidenciado que existen tres tipos de límites de placas: separación a lo largo (Divergentes), deslizamiento horizontal una respecto de la otra (Transformantes), y convergentes (zonas de subducción).

Para efectos de este trabajo es de vital importancia conocer los efectos que producen los límites de placas convergentes o zonas de subducción. La subducción de placas es un proceso de hundimiento de una placa litosférica bajo otra. Generalmente, es la litósfera oceánica, de mayor peso específico, la que subduce bajo la litósfera continental, menos densa.

Dado que la temperatura y la presión aumentan con la profundidad, a una profundidad de 100 kilómetros, una parte de los materiales de la placa en subducción son liberados (en especial el agua) lo que conlleva la fusión del manto suprayacente, que a su vez, asciende a través de la corteza terrestre continental creando *volcanes*. La subducción ocurre principalmente en el *Cinturón de Fuego del Pacífico* y parte del mar Mediterráneo.

1.1.2. Vulcanismo

El término vulcanismo se deriva del nombre del dios del fuego, Vulcano. Significa uno de los principales procesos geológicos y abarca el origen, movimiento y solidificación de la roca fundida. Este fenómeno que está estrechamente relacionado con la teoría de la Tectónica de Placas, sucede también debajo de la superficie terrestre.

La roca fundida subterránea se llama magma. Al enfriarse forma rocas primarias o ígneas y puede alcanzar la superficie de fisuras o erupciones volcánicas en cuyo caso se llama lava. El magma es una fundición de rocas compuestas principalmente de silicatos. La temperatura de este varía de 500 a 1,400 °C.

Por su formación existen dos tipos de rocas ígneas: intrusivas y extrusivas. En el estudio influirán poco las rocas ígneas intrusivas y se dará mayor importancia a las *rocas extrusivas*. Las rocas ígneas intrusivas son aquellas que se han formado dentro de la corteza, donde están rodeadas por rocas antiguas a las que han llegado como intrusas o invasoras. Las rocas ígneas extrusivas son aquellas que se han formado por el enfriamiento de la lava en la superficie terrestre.

Las rocas ígneas extrusivas que pueden ser expulsadas a la superficie mediante varias maneras y aunque las erupciones volcánicas representan tan solo un 0.1 % del volumen conocido de rocas ígneas, son de significado relevante en el estudio de la geología, en especial en un país como Guatemala que es activo en sus volcanes.

Los volcanes, al igual que los terremotos y la formación de montañas, entre otras manifestaciones, tienen su origen en los cambios que ocurren al interior de la tierra debido a la forma en la cual esta libera calor.

A escala global, el fenómeno del vulcanismo se observa en tres tipos principales de ambientes:

- Tipo divergente

Su rasgo más característico son las dorsales oceánicas o cordilleras submarinas. El vulcanismo asociado a este tipo de ambiente se caracteriza por erupciones efusivas con grandes emanaciones de lava y gases en forma no muy violenta a lo largo de las grietas.

- Tipo convergente

En este tipo de límite dos placas de la litósfera convergen, la más fría o antigua se mete por debajo de la otra.

- Puntos calientes

Este tercer ambiente no tiene relación con la distribución de los límites entre placas. Su origen está asociado a regiones calientes muy localizadas en el manto y que permanecen quietas respecto del movimiento de las placas.

Los volcanes se clasifican por el tipo de estructura o edificio volcánico y por el tipo de actividad o erupción que presentan. Por su estructura se clasifican en:

- Estratovolcán
- Calderas
- Tipo escudo
- Domo de lava
- Cono de cenizas o escoria

Por su tipo de actividad se clasifican en:

- Hawaianos
- Estombolianos
- Vulcanianos
- Plinianos
- Peleanos
- Islándicos
- Freático o Geiserianos

Los principales productos en una erupción son gases, lava y fragmentos sólidos calientes en estado incandescente. Al material lanzado se le denomina generalmente piroclástico, clasificado por la dimensión de sus granos como sigue:

- Bloques (gran masa)
- Bombas Volcánicas (más de 32 mm)
- Lapilli (4-32 mm)
- Ceniza (0.06 – 4 mm)

En la tabla I las rocas ígneas se clasifican de acuerdo con su composición química y su textura, dentro de una distribución megascópica.

Las rocas ígneas, tanto intrusivas como extrusivas, tienen texturas diferentes, las cuales generalmente indican las condiciones bajo las cuales se enfriaron. Aunque la composición química del magma juega una parte importante, el tamaño de los granos de los minerales depende principalmente del ritmo de enfriamiento determinado por la temperatura, presión y la presencia de volátiles.

Tabla I. Clasificación de las rocas ígneas

Principales clases de rocas de acuerdo con la textura	Subdivisiones de las principales clases de acuerdo con el contenido mineralógico						Predominan minerales oscuros	Solamente minerales oscuros
	Minerales de colores claros, principalmente feldespatos, predominan							
Granuda gruesa Fanerítica (granitoide, granítica, puede ser porfídica)	Más feldespato de potasio que plagioclasa		Feldespato de potasio y plagioclasa casi iguales		Más feldespato plagioclasa que de potasio		Gabro Dolerita (Diabasa) (Textura media)	Dunita (olivino) Peridotita (olivino, piroxena) Pyroxenita (piroxena)
	Cuarzo	Cuarzo bajo 5 %	Cuarzo	Cuarzo bajo 5 %	Cuarzo	Cuarzo bajo 5 %		
	Granito	Sienita (Nefelina sienita, con nefelina en adición al feldespato)	Cuarzo Monzonita Granodiorita	Monzonita	Diorita de cuarzo (Tonalita)	Diorita		
Granuda fina Afanítica (felsítica comúnmente porfídica)	Phyolita	Traquita (Fonolita, con nefelina en adición al feldespato)	Cuarzo Latita	Latita	Dacita	Andesita	Basalto	
Vítrea (puede ser porfídica)	Basado en la composición química, minerales pequeños o ausentes						Vidrio basáltico Peritita (lustre perlino) Escoria Pumicita (estructura vesicular)	
Fragmentaria (piroclásticas)							Toba (fina) Brecha volcánica (gruesa)	

Fuente: Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas CESEM. Apuntes de Geología, p. 50.

Las texturas entrelazadas gruesas llamadas faneríticas, granitoide o granítica, resultan de un lento enfriamiento, ayudado notablemente por enormes cantidades de agua y otras sustancias volátiles. Las texturas finas pueden ser afaníticas o felsíticas, y resultan de un enfriamiento rápido, el cual, en realidad pueden ser tan rápido que forma vidrio. Las rocas ígneas rotas, despedazadas por explosiones volcánicas y reunidas posteriormente, tienen una textura fragmentaria o piroclástica.

Las clases y cantidades de varios de los minerales contenidos en una roca ígnea dependen principalmente de la composición química del magma o de la lava. Las rocas ácidas que son también llamadas sílicas o persilícicas tienen un alto contenido de sílice, en ellas predominan el cuarzo y el feldespato, y son típicamente color claro y de baja gravedad específica. Las rocas básicas llamadas subsilícas tienen un bajo contenido de sílice, pero más hierro y magnesio, los cuales forman los minerales ferromagnesianos como piroxenas, anfíbolos, biotita y olivino; por lo general estas rocas son oscuras y pesadas. Rocas extremadamente básicas en las que casi está ausente el feldespato, se conocen con el nombre de ultrabásicas.

Dándole mayor importancia a las rocas vítreas y piroclásticas de la tabla I mencionada, se describen las siguientes:

- Pórfidos

Un número apreciable de fenocristales en la mesostasis, hace de cualquier roca ígnea un pórfido. De esta manera, entre las rocas descritas líneas arriba, hay pórfidos de granito, sienita, monzonita, diorita, felsita, basalto y de rocas afines. Muchas de las rocas afaníticas ordinarias, no importa el nombre que lleven, tienden por lo general a ser porfídicas.

- Obsidiana

El equivalente vítreo de las rocas ácidas e intermedias se llama obsidiana. A pesar de su color oscuro (generalmente negro, aunque algunas veces es gris, castaño o rojo) la obsidiana no es una roca básica. Cuando se amplifica muestra cristalización incipiente que explica el color oscuro.

El equivalente básico de la obsidiana se conoce como vidrio basáltico o taquilita; la correspondiente roca celular es la escoria.

- Rocas piroclásticas

La ceniza volcánica de una erupción se transforma en toba cuando se consolida; algunas llegan a ser tobas soldadas cuando están fundidas en una nube ardiente de gases calientes. Los fragmentos más gruesos producen una brecha volcánica, la cual puede originarse por una explosión o por flujo.

Se puede mencionar la pómez, la pumita y las ignimbritas como parte importante del trabajo de investigación. Las ignimbritas que están constituidas por fragmentos de lapilli, ceniza y bloques, son sedimentaciones de corrientes del material expulsado del volcán. Las pumitas son piroclásticos porosos con brillo sedoso, estas se forman del enfriamiento muy rápido de un magma ascendente de alta viscosidad; dicho magma se solidifica mientras está en el aire. Por último se menciona a las piedras pómez, que son todas aquellas rocas porosas piroclásticas.

1.1.3. Geología centroamericana

Centro América es una región cuya corteza terrestre es especialmente inestable, ya que se encuentra en el borde occidental de la placa tectónica del Caribe. La subducción de la corteza oceánica de este borde, que empezó en el Mioceno, hace 25 millones de años, elevó la tierra desde el mar. En una primera etapa se formó una península y un archipiélago. Más tarde, hace 3 millones de años, las islas dispersas se fundieron para formar un verdadero puente de tierra, o istmo, uniendo Norteamérica y Sudamérica. Al mismo tiempo que la subducción y la elevación, se produjeron erupciones volcánicas y frecuentes cataclismos.

La Placa Norteamericana, la Placa del Caribe y la Placa de Cocos son las placas tectónicas en las que se encuentra Centro América.

El autor Richard Weyl en su obra "*Geology of Central America*", define a Centro América como "la superficie terrestre y la plataforma que se extiende hacia el este de Guatemala y hacia el sur, hasta las tierras bajas de Arrato en Colombia." Por tanto, abarca un territorio de seis repúblicas: Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica y Panamá, así como el territorio de Belice.

Centroamérica puede ser dividido en dos grandes unidades las cuales difieren completamente una de otra, tanto en historia geológica como estructura. Estas unidades fueron reconocidas por Sapper (1897), Schuchert (1967) y Stille (1960) y en trabajos más recientes por Dengo (1968/1973). La parte noreste que contiene Guatemala, Honduras, El Salvador y el noreste de Nicaragua exhibe una corteza tipo continental con rocas paleozoicas, teniendo

presencia de rocas metamórficas anatecticas y plutónicas de mayor edad que el Paleozoico.

En el periodo terciario, el noreste de Centroamérica fue la escena de un volcanismo continental extremadamente violento durante el cual grandes masas de *ignimbrita* fueron extruidas. McDonald explica que la parte sureste de Nicaragua a Panamá está formada de corteza del tipo oceánico del cretáceo, sobre los cuales pequeños sedimentos marinos y volcánicos fueron depositados durante el periodo terciario, esta región fue convertida hasta el presente en cortezas que ocupan una posición entre la parte oceánica y la parte continental, utilizando el término controversial “plataforma tectónica”. La estructura de la corteza y el desarrollo de las dos partes de Centro América están contrastados una con la otra, de manera altamente diagramática.

Centro América es una región tectónica muy activa, por lo que es conveniente tomar en cuenta su estructura interna y su morfología. Siguiendo las líneas de algunos autores como Mills y Dengo (1969), se distinguen las siguientes unidades morfotectónicas en América Central:

- **Regiones montañosas**
 - Las Sierras del noreste de Centro América
 - Los rangos volcánicos del Terciario
 - Las sierras del sureste de Centro América
 - La cadena volcánica del Pacífico

- **Las tierras bajas y regiones de bajas colinas**

- Las tierras bajas de Petén y de la península de Yucatán
- La planicie costera del Golfo
- La planicie costera del Caribe
- La planicie costera del Pacífico
- La depresión de Nicaragua

Las sierras del noreste de Centro América forman un arco, abierto hacia el norte, de muchos rangos altos subparalelos que se extienden de México, Guatemala, Honduras, y el noreste de Nicaragua hasta el Caribe. Los rangos están separados uno de otro por fallas y grabens tales como el Motagua, el Valle del Polochic y el Valle de Chamelecón.

Las plataformas y rangos volcánicos que cubren grandes áreas de Nicaragua y Honduras, extendidas hacia El Salvador fueron construidos con lavas del período Oligoceno hacia el Plioceno, encontrándose rocas piroclásticas; la mayor parte de ellas ignimbritas y sedimentos vulcanoclásticos, los cuales varían en sustancia de riolitas a andesitas básicas. En Honduras y Nicaragua forman extensivas planicies y bloques de montañas falladas, las cuales continúan hacia El Salvador.

La cadena volcánica del Pacífico del período cuaternario, se extiende desde la frontera mexicana hasta Costa Rica y continúa, de una manera mucho más dispersa hasta Panamá. Como un elemento típico estructural circunpacífico, la cadena está muy cercana, en el sentido espacial, de la zona de actividad sísmica a la placa de Centro América y en la actualidad es reconocida como una característica decisiva de subducción.

Las tierras bajas de El Petén y la península de Yucatán están construidas de calizas y evaporitas del periodo Cretáceo, también de calizas del periodo terciario. Esta zona es caracterizada como drenaje y topografía cárstica.

1.1.3.1. Vulcanismo centroamericano

La estructura geológica y topográfica de América Central está formada por una extensión de grandes volcanes activos jóvenes y en algunos casos violentos. La cadena de volcanes tiene una extensión de casi 1,100 km que va desde la frontera entre México y Guatemala hasta Costa Rica. Luego con intervalos más grandes se encuentran volcanes individuales hasta Panamá. Según Sapper (1913), existen 101 volcanes de primer orden en Centro América.

Un listado realizado por Bohnenberger (1978) indica el número de volcanes por país en Centro América:

- Guatemala: 288
- El Salvador: 180
- Honduras: 18
- Nicaragua: 58
- Costa Rica: 30
- Panamá: 8

La investigación sistemática de los volcanes empezó en la mitad del siglo XIX, enfocándose en su posición, estructura y tipo de actividad.

Luego de varias investigaciones sobre volcanes, aparecieron Williams, McBirney (1963) y colaboradores que dieron un paso decisivo en este tipo de estudios. Estos investigadores viajaron sistemáticamente de un país a otro en Centro América, describiendo y grabando el fenómeno volcánico.

Stoiber y Carr (1977) basándose en trabajos anteriores de Sapper sobre la disposición especial de los volcanes, interpretaron estas disposiciones con la actividad sísmica y tectónica de placas. De acuerdo con los autores, los volcanes de Centro América no están dispuestos en una cadena interrumpida como dijo Sapper, sino que están distribuidos en cierto número de cadenas cortas separadas, las cuales están relacionadas unas con otras.

Estos autores ven lo anterior como evidencia de segmentos de placas, con ángulos diferentes de inclinación hacia la zona de subducción, los cuales están en relación uno con otro en la corteza, por un fallamiento transversal. En un principio distinguieron siete segmentos pero posteriormente determinaron ocho. En este caso se describen dos, el primero va de la zona occidental de Guatemala hasta la zona central e involucra fundamentalmente los volcanes de Santa María, Santiaguito, San Pedro, Atitlán, Fuego, Acatenango, Agua y Pacaya. El segundo segmento abarca la frontera del centro de Guatemala hasta el oriente e involucra los volcanes de Jumay, Tecuamburro, Las Flores, Ipala y Moyuta.

A continuación se explican las características de los segmentos individuales mencionados según Weyl (1980):

- Tipos de deducciones volcánicas: el segmento en la parte central de Guatemala es particularmente activo, mientras que los segmentos en las vecindades solo presentan actividad sulfúrica. Algunos volcanes de Guatemala, El Salvador y Nicaragua han combinado erupciones explosivas con la producción de flujos de lavas, mientras que los volcanes de Costa Rica, con excepción de El Arenal, no han producido ninguna lava en la historia, pero han eructado vapor y ceniza de las profundidades de los cráteres principales.
- Forma y estructura de los centros volcánicos: estos son muy similares pero difieren de los segmentos de las vecindades. Esto está claramente expresado, entre otras cosas, por la altura de los edificios volcánicos y por la altura de los volcanes sobre el nivel del mar. Muchos de los volcanes grandes de Guatemala están posicionados sobre fisuras transversales, mientras que los de la parte noreste de Guatemala y El Salvador están dispuestos de manera anular. Los volcanes de Nicaragua y de la cordillera de Guanacaste en Costa Rica, forman cadenas de volcanes individuales; mientras que los de la cordillera central en Costa Rica están unidos en una plataforma montañosa coherente.
- Los volúmenes de los centros volcánicos recientes y la relación de volumen a longitud del segmento difieren sustancialmente.
- La química de los productos volcánicos revela diferencias de segmento a segmento y estarán directamente en conexión con la discusión de su petrología.

- Grandes edificios de complejos volcánicos (Santa María, Pacaya) se han construido en las fronteras del segmento, como un resultado de fácil ascenso del magma.

Carr (1979) explica que las rocas volcánicas recientes en Centro América, se encuentran en tres lugares, la primera es una zona de volcanes, donde grandes volúmenes de rocas calcareoalcalinas fueron eruptadas. La mayoría de los volcanes en esta zona son conos de compuestos basálticos a andesíticos, en alineamiento paralelo a la dirección de la zona sísmica y claramente relacionados con él.

La segunda zona estructural está atrás del frente volcánico y debajo de las estructuras transversales, donde la zona o profundidad de la zona sísmica cambia abruptamente. La mayoría de volcanes de esta zona son pequeños conos formando agrupaciones localizadas de 25 a 100 km. La tercera zona estructural está lejos del frente volcánico, y aquí se encuentran lavas de baja saturación, que son eruptadas por volcanes que no tienen relación con la estructura de la zona sísmica.

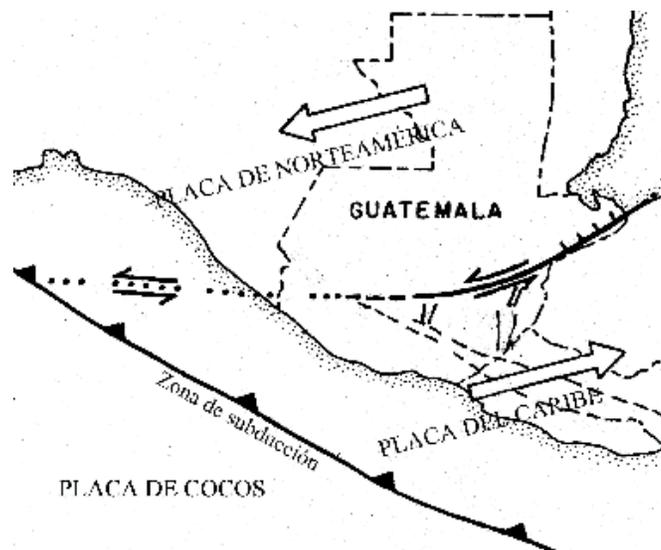
1.1.4. Geología general de Guatemala

Como se mencionó anteriormente, las placas que afectan a Centro América y que a su vez afectan a Guatemala son: la Placa Norteamericana, la Placa del Caribe y la Placa de Cocos. (Figura 4)

Existe una gran interacción a lo largo de la fosa Mesoamericana, entre la Placa de Cocos y la del Caribe. La placa de Cocos está subduciendo bajo la del Caribe. También existe interacción entre las placas del Caribe y la placa del Norte; esta interacción ocurre a lo largo de las fallas Polochic, San Agustín y Motagua. Los desplazamientos relativos de las placas dan como resultado la actividad volcánica y los movimientos telúricos.

Por esfuerzos de tensión en la corteza y como consecuencia principalmente por los desplazamientos relativos de las placas tectónicas, se han formado fallas de menor dimensión. Mencionando algunas de ellas: fallas de Mixco y Santa Catarina Pínula, fallas de Zunil, Jalpatagua y Olinstepeque. (Figura 5).

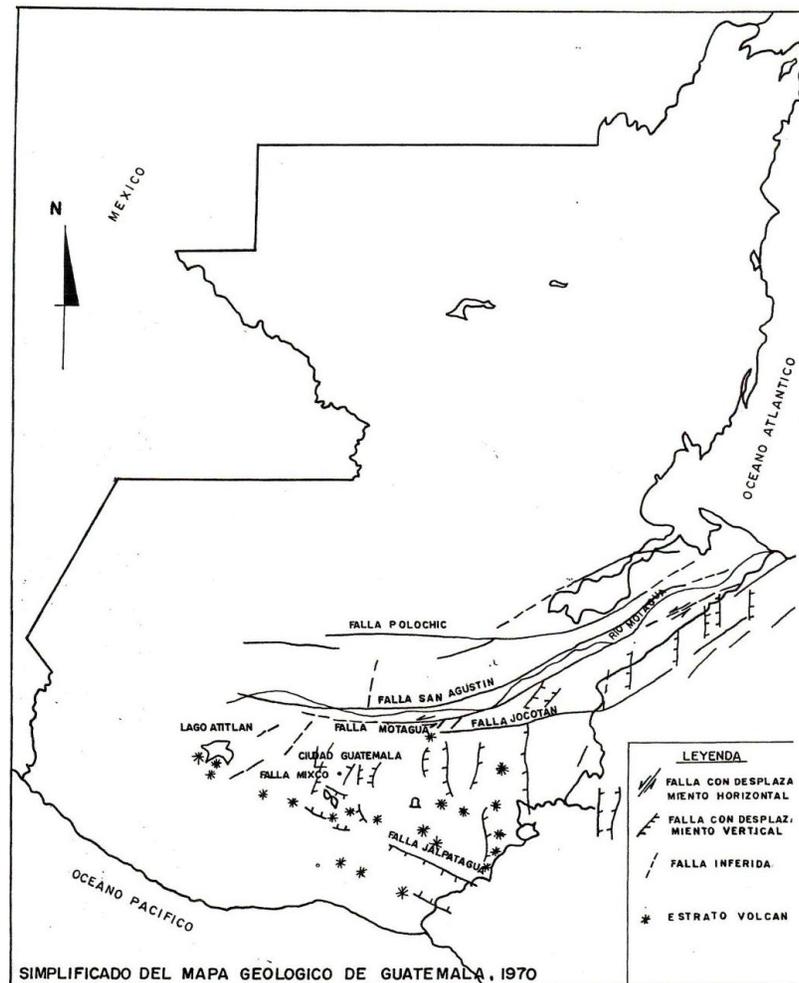
Figura 4. **Placas que afectan Guatemala**



Fuente: <http://www.insivumeh.gob.gt/inicio.html>. Marzo 2011.

Debido al fallamiento del país, se obtiene como resultado la formación de estructuras especiales tales como Graben y Horst, a lo largo del Cinturón Volcánico. Un claro ejemplo de estas estructuras, es la formación de calderas por el colapso de grandes edificios volcánicos, posteriormente algunos de ellos se convierten en lagos tales como Atitlán y Ayarza; cabe mencionar que en Guatemala existe una orientación casi perfecta de los edificios volcánicos.

Figura 5. Mapa fallas de Guatemala



Fuente: Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas, Apuntes de Geología, p. 15.

1.1.4.1. Estructuras fisiográficas de Guatemala

En Guatemala se dominan dos orientaciones estructurales y fisiográficas:

- Formando de este a oeste un arco convexo hacia el sur, está la primera orientación compuesta por rocas cristalinas y sedimentarias del período Paleozoico y Mesozoico.
- De noreste a sureste, un alineamiento en Centro América con contenido de rocas volcánicas terciarias a rocas volcánicas más recientes. A las regiones que dominan esta orientación se les denomina Provincia Volcánica o Sierra del Norte de América Central.

En Guatemala se distinguen cuatro provincias fisiográficas principales que son descritas de sur a norte y mostradas en un mapa esquemático a continuación:

- Planicie costera del Pacífico

Debido a la erosión de las tierras altas volcánicas, se encuentra a lo largo del litoral Pacífico una planicie costera de un ancho promedio de 50 km. Los sedimentos consisten en arenas, gravas, ceniza pómez y depósitos laháricos que pasan gradualmente hacia las rocas volcánicas de detritos depositados en abanicos aluviales; en combinación con un posible hundimiento, se han producido áreas costeras con drenaje deficiente, y a lo largo de la playa, se han encontrado arenas negras ricas en magnetita.

- Provincia volcánica

Según Bohnenberger (1966), la provincia volcánica cubre la parte occidental, sur y oriental de Guatemala, extendiéndose hacia las otras repúblicas centroamericanas. La actividad volcánica cuaternaria se concentra en el margen meridional de la zona volcánica terciaria. Las rocas volcánicas varían desde obsidiana riolítica hasta basalto olivínico, teniendo las más abundantes andesitas piroxénicas y pómez dacítica.

Bohnenberger (1966) explica que, las erupciones volcánicas cuaternarias se caracterizan por ignimbritas dacíticas, altos conos andesíticos y domos de lava. En el sureste de Guatemala, el vulcanismo cuaternario es diferente debido a que se presentan grandes conos compuestos andesíticos y grupos de pequeños conos cineríticos y coladas basálticas.

Lutitas negras y filitas son probablemente equivalentes a sedimentos de edad Pensilvánica y Pérmica; estas se encuentran más al norte en escasas áreas dispersas. Algunos fósiles en calizas sugieren un seguimiento con las calizas de Cobán de la franja cordillerana.

- Cordillera central

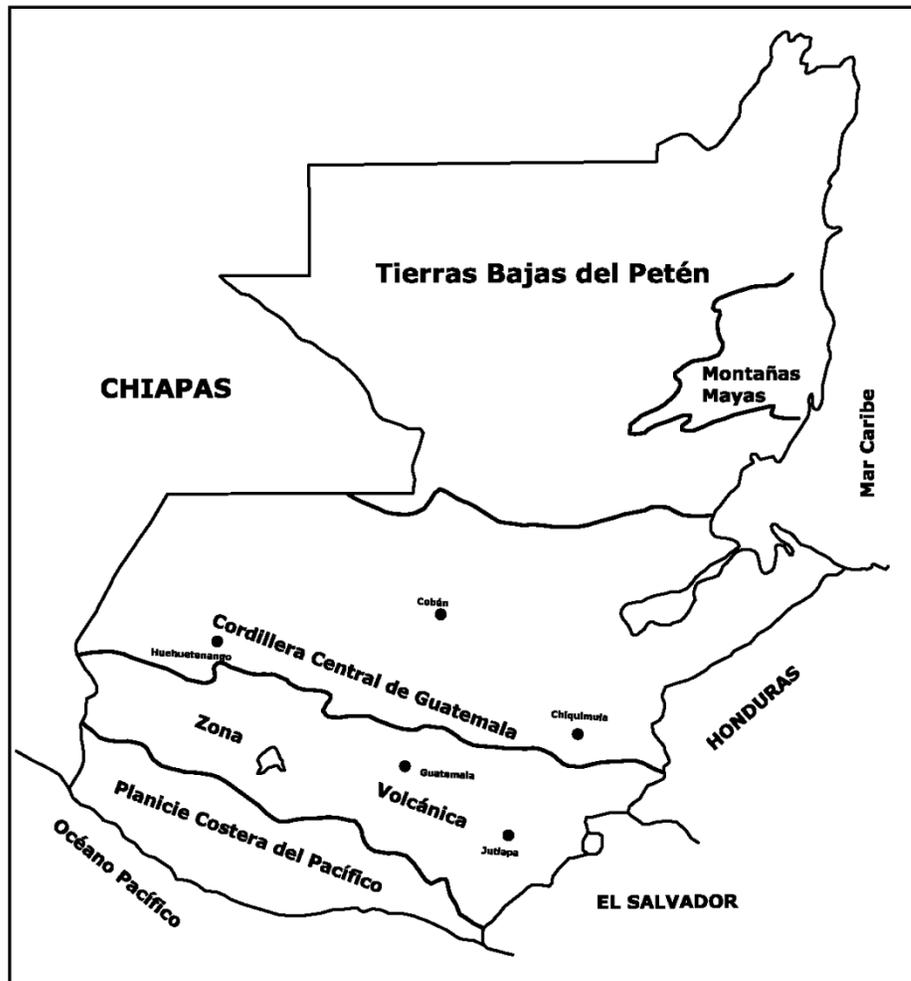
Se le llama Cordillera Central de Guatemala a la franja de rocas plutónicas, metamórficas y sedimentarias plegadas, que se extiende en el centro del país. La porción sur de la franja consiste mayormente en rocas metamórficas y plutónicas incluyendo esquistos, gneises, mármoles, serpentinitas y granitos. Las rocas metamórficas disminuyen hacia el norte en abundancia, al pasar de rocas cristalinas a sedimentos plegados, donde se han reconocido edades de rocas desde el Pensilvánico Superior hasta el Terciario. También pasa a sedimentos mesozoicos y cenozoicos hacia las tierras bajas de El Petén.

Según Bohnenberger (1966), el núcleo cristalino de la cordillera se ubica entre dos sistemas mayores de fallas y a su vez se encuentran varias fallas principales de Guatemala en esta provincia.

- Tierras bajas del Petén

Bohnenberger (1966) explica que las tierras bajas de El Petén es una zona tropical con una altitud media de unos 100 metros sobre el nivel de la mar, sustentada sobre todo por la suavidad de inmersión de sedimentos mesozoicos y terciarios. Una topografía kárstica extensa se desarrolla en rocas carbonatadas del Cretácico. Las áreas boscosas dan paso a lugares de sabanas con un amplio bosque de pinos y colinas desnudas kársticas, que van desde 30 a 100 metros de altura sobre el nivel de la superficie.

Figura 6. **Mapa zonas fisiográficas de Guatemala**



Fuente: BOHNENBERGER. Guía de la Excursión "A" Guatemala-Salamá-Huehuetenango-Guatemala, p. 8.

1.1.4.2. **Vulcanismo en Guatemala**

Se han realizado varios trabajos de campo respecto de los volcanes en el país. El Instituto Geográfico Nacional (IGN) tiene fotografías, mapas, entre otros documentos de las investigaciones que se han llevado a cabo. Bohnenberger (1969) realizó un inventario de todos los focos eruptivos cuaternarios conocidos

(ver anexo), dando como resultado un listado que contiene coordenadas geográficas de cada uno, coordenadas UTM, altura sobre el nivel del mar, etc.

El término foco eruptivo dado por Bohnenberger (1969) es “orificio en la corteza terrestre, a través del cual salieron materiales magmáticos a la superficie, ya sea en forma de lava o de piroclásticos”. Luego la lava eyectada se acumula alrededor del orificio y es lo que se conoce como edificio volcánico.

Puede parecer un número exagerado que en el listado se encuentren 324 focos eruptivos en Guatemala, pero en su mayor parte son pequeños conos cineríticos y de lava. Estos focos eruptivos están repartidos en orden de abundancia por departamento, de la siguiente forma:

- Jutiapa: 181
- Santa Rosa: 42
- Jalapa: 31
- Chiquimula: 27
- El Progreso: 1
- Guatemala: 13
- Quetzaltenango: 11
- Sololá: 7
- Sacatepéquez: 1
- Escuintla: 4
- San Marcos: 2
- Totonicapán: 2
- Chimaltenango: 1
- Zacapa: 1

1.1.4.2.1. Volcanes activos de Guatemala

El término volcán activo tiene 3 características según Meyer-Abich (1956), “el primero es que se considera un volcán activo cuando en tiempo histórico (desde la conquista) ha tenido erupciones. La segunda característica es cuando en los volcanes no se conocen erupciones pero que manifiestan actividad fumarólica o solfatárica. Por último se consideran los campos fumarólicos o solfatáricos independientes de los volcanes.”

Según registros del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) existen 8 volcanes que tienen reportes de actividad en tiempos históricos y 4 son los más activos actualmente. Los datos presentados en la siguiente tabla son de los volcanes que se tienen registro de erupciones hasta la fecha:

Tabla II. Volcanes de Guatemala que tienen registro de actividad

NOMBRE	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE	ALTURA M.S.N.M.	DEPARTAMENTO	ACTIVIDAD HISTÓRICA
Tacaná	15° 8'	92° 7'	4,092	San Marcos, Guatemala, México	1855, 1878, 1900, 1903, 1949-1950, 1986-1987
Tajumulco	15° 03'	91° 54'	4,220	San Marcos	
Siete Orejas	14° 49'	91° 37'	3,370	Quetzaltenango	
Santa María	14°45'	33° 91'	3,370	Quetzaltenango	1902-1903
Santiaguito	14° 44'	91°34'	2,500	Quetzaltenango	1922-2011
Cerro Quemado	14° 48'	91°34'	3,197	Quetzaltenango	1765, 1818
Tolimán	14° 37'	91° 11'	3,150	Sololá	
Atitlán	14°35'	91°11'	3,537	Sololá	1469, 1505, 1579, 1663, 1826, 1856
San Pedro	14° 39'	91° 16'	3,020	Sololá	
Acatenango	14° 30'	90° 53'	3,976	Chimaltenango / Sacatepéquez	1924-1926, 1972
Fuego	14° 29'	90° 53'	3,763	Sacatepéquez / Escuintla	1524-1531, 1542-1551, 1581-1587, 1614-1629, 1686, 1699-1717, 1730-1737, 1799, 1826-1829, 1855-1860, 1880, 1896, 1932, 1944-1977, 1987, 1999-2010
Agua	14° 28'	90° 45'	3,766	Sacatepéquez / Escuintla	
Pacaya	14° 23'	90° 36'	2,552	Escuintla / Guatemala	1565, 1623, 1651-1699, 1775, 1805, 1846, 1885, 1961-2011
Tecuamburro	14° 10'	90° 25'	1,840	Santa Rosa	
Moyuta	14° 02'	90° 06'	1,662	Jutiapa	
Jumay	14° 42'	90° 00'	2,176	Jalapa	
Las Flores	18° 14'	90° 00'	1,600		
Suchitán	14° 24'	89° 47'	2,042	Jutiapa	
Chingo	14° 07'	89° 44'	1,775	Jutiapa, Guatemala / El Salvador	
Ixtepeque	14° 25'	89° 41'	1,292	Jutiapa	
Ipala	14°33'	89° 38'	1,650	Chiquimula / Jutiapa	

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, en <http://www.insivumeh.gob.gt/inicio.html>. Marzo 2011.

En el siglo XX se produjeron erupciones importantes, las cuales se mencionan a continuación, tomando los datos del INSIVUMEH y colocando una breve descripción del tipo de erupción y el año en que sucedieron:

- Tacaná
Erupción: 1900-1903, 1949-1950 y 1936.
Descripción: erupciones freáticas que lanzaron cenizas y gran emisión de gases; la última erupción dio origen a un pequeño cráter a 3,000 msnm en el flanco noreste del volcán.
- Santa María
Erupción: 1902
Descripción: erupción tipo planiana, la columna de ceniza alcanzó una altura de 27 a 29 km, se produjo un cráter de 1,000 m de largo por 700 m de ancho en la ladera suroeste. Se estima que el volumen de material piroclástico, fue del orden de 10 km^3 y cubrió un área de 150 km^2 .
- Santiaguito
Erupción: 1929
Descripción: erupción tipo peleana, este está formado por cuatro domos de lava que son, Caliente, La Mitad, El Monje y El Brujo. Se formó en 1922 dentro del cráter dejado por la erupción de 1902 del volcán Santa María. Del año 2006 al 2011, se ha registrado actividad en este volcán.

- Fuego
 Erupción: desde 1524 más de 60 erupciones, 1932, 1971, 1979 y 1999.
 Descripción: erupciones tipo vulcaniano que elevaron material piroclástico a 5-10 km de altura, dejando depósitos de 40 cm de espesor en las cercanías. Este volcán ha presentado actividad desde el 2007 hasta la fecha.

- Acatenango
 Erupción: 1924-1927, 1972
 Descripción: erupciones freáticas con cenizas y gases.

- Pacaya
 Erupción: actividad desde antes de 1565, 1961, 1987, 1998, 2000 y 2010.
 Descripción: erupción tipo estrambótica con ceniza de 1 a 8 km de altura. Durante el año 2006 se incrementó la actividad de este volcán, provocando en el 2010 una erupción con columnas de ceniza hasta de 1500 metros.

Los estudios geológicos en el área no se han actualizado ni mejorado a lo largo de las últimas décadas. Grandes geólogos como Gabriel Dengo, Samuel B. Bonis, Richard Weyl y Sapper (este último uno de los pioneros en los estudios geológicos en Centro América) han realizado estudios detallados de varias regiones centroamericanas. Estos estudios que son parcialmente citados en este documento, fueron realizados por los autores anteriormente mencionados y publicados entre 1899 y 1975.

1.1.4.3. Estratigrafía de Guatemala

En el territorio guatemalteco pueden distinguirse diecisiete grandes litologías diferenciales a gran escala; se hace una breve descripción de dichas unidades litológicas incluyendo datos importantes y siendo ordenadas por antigüedad.

- Rocas metamórficas
Tipo de roca: filitas, esquistos, gneises, mármol y magmatitas.
Región: Oeste y Norte San Marcos, sur y este de Huehuetenango, sur de El Quiché, Alta Verapaz, Baja Verapaz, Izabal, sureste de Petén.
Edad: período Paleozoico
- Rocas Sedimentarias
Tipo de roca: lutitas, areniscas, conglomerados y filitas.
Región: este a oeste de Huehuetenango, El Quiché, Baja Verapaz, Izabal, Sureste de Petén.
Edad: Carbonífero Permiano.
- Carbonatos
Región: franja que va desde el este hacia oeste de toda Guatemala pasando por Huehuetenango, El Quiché, Verapaces e Izabal.
Edad: Permiana

- **Formación Todos Santos**
 Tipo: areniscas alargadas
 Región: Huehuetenango, El Quiché, con pequeñas áreas en las Verapaces y el sur del Petén
 Edad: Jurásico Cretácico
- **Carbonatos**
 Región: centro y sur del Petén, El Quiché, norte y sur de Izabal, Alta Verapaz, Huehuetenango, así como porciones pequeñas en San Pedro Sacatepéquez, San Juan Sacatepéquez, Tecpán, San José Poaquil, norte Baja Verapaz, Chiquimula y el sur de El Progreso
 Edad: Cretácico
- **Rocas ígneas (Ultra Básicas)**
 Región: este a oeste de Guatemala, centro y oeste de Izabal, este de Alta Verapaz, El Quiché y norte de Baja Verapaz
 Edad: Jurásico – Cretácico
- **Rocas Intrusivas**
 Tipo: granitos, dioritas y granodioritas.
 Región: norte San Marcos, Quetzaltenango, Totonicapán, Guatemala (Departamento), Chiquimula, sur de Huehuetenango, Sololá, Zacapa, Cobán y Baja Verapaz
 Edad: Paleozoico y Mesozoico

- Sedimentos clásticos marinos
Región: este a oeste de Guatemala, noroeste de Huehuetenango, norte de El Quiché, Cobán, Izabal y Sur del Petén.
Edad: Cretácica – Terciaria
- Areniscas subinal
Región: oriente y sur de Chiquimula, norte y noreste de Jalapa
Edad: Cretácica – Terciaria
- Sedimentos marinos
Tipos: areniscas, lutitas y carbonatos
Región: centro y noreste del Petén, norte de Cobán sobre el río Negro
- Yeso y marga
Región: norte y noroeste del Petén
Edad: Terciaria
- Caliza, areniscas y conglomerados
Región: noreste de Izabal
Edad: Terciaria
- Depósitos continentales
Región: Sureste de El Petén, noroeste de Alta Verapaz y distintas zonas de Izabal
Edad: Terciaria

- Rocas volcánicas sin dividir
Tipos: tobas, lavas, lahares y otros
Región: pertenecen al cinturón volcánico, departamento de San Marcos, Quetzaltenango, Totonicapán, Sololá, El Quiché, Chimaltenango, Sacatepéquez, Guatemala, Santa Rosa, Jalapa, Chiquimula y una pequeña franja al sur de Huehuetenango.
Edad: Terciario
- Rocas volcánicas
Tipos: lavas, lahares, tobas
Región: norte de Retalhuleu, Mazatenango, Escuintla, sur y oeste de San Marcos, sur de Quetzaltenango, Sololá, Chimaltenango, Sacatepéquez, Guatemala, Jutiapa y oeste de Santa Rosa
Edad: Principios Cuaternario
- Cenizas volcánicas
Tipo: cenizas y pómez
Región: cabeceras departamentales de San Marcos, Quetzaltenango, Sololá, El Quiché, Huehuetenango, Totonicapán, Chimaltenango, Salamá, Santa Rosa, Jutiapa, Guatemala, norte de Sacatepéquez, centro de El Progreso y sur de Izabal.
Edad: Cuaternario reciente.
- Aluviones cuaternarios
Región: parte sur del país a lo largo de toda la franja costera del Pacífico, departamentos de San Marcos, Retalhuleu, Mazatenango, Escuintla, Santa Rosa, Jutiapa y noroeste del Petén
Edad: son tan recientes del Cuaternario, que aún sigue el proceso de sedimentación.

El mapa geológico de Guatemala que se muestra en la figura 7, fue realizado con la información anteriormente descrita; esto se hizo en el año 1970, utilizando la nomenclatura que se encuentra en la tabla III.

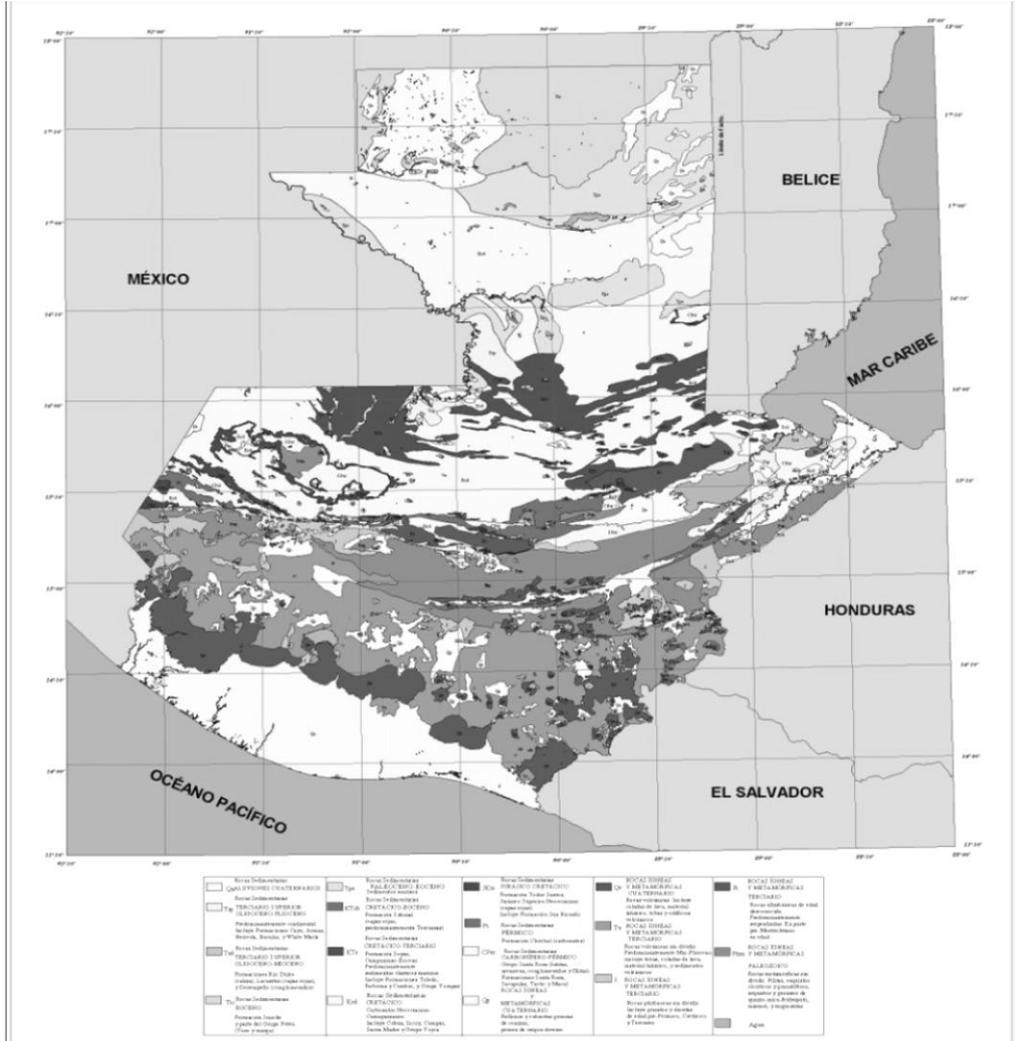
La tabla III se elaboró para tener una nomenclatura general debido a que ya se habían realizado mapas anteriores (ver apéndice); posteriormente, se realizaron algunos mapas a escalas menores, que se encuentran en el Instituto Geográfico Nacional (IGN), pero no se terminó el estudio de todo el país.

Tabla III. **Columna conoestratigráfica de Guatemala**

Columna	Tipo de roca	Era	Periodo	Edad serie	Edad absoluta millones de años	
Qa	Aluviones	Cenozoico	Cuaternario		3,5	
Qp	Cenizas volcánicas					3,5
	Rocas volcánicas				Plioceno	3,5
	Rocas volcánicas sin dividir			Terciario	Oligoceno	64
	Depósitos continentales				Oligoceno	3,5-37
	Calizas, areniscas y conglomerados				Mioceno	7-37
	Rocas plutónicas				Eoceno	64
	Yeso y marga				Eoceno	55
	Sedimentos marinos				Paleoceno	37-64
	Areniscas subinal				Paleoceno	64
KTe	Sedimentos clásticos	Mesozoico	Cretácico		136	
I	Marinos		Cretácico		136	
Kad	Rocas plutónicas		Cretácico	Campaniano	500	
JKts	Carbonatos del Cretácico		Cretácico	Pre-Maestrechtiano	64-136	
	Rocas ultra básicas	Jurásico		64-136		
	Formación Todos los Santos					
Pc	Carbonatos del Pérmico	Paleozoico	Pérmico		280	
CPsr	Rocas Sedimentarias del Carbonífero y Pérmico		Pérmico			
I	Rocas Plutónicas		Carbonífero			
Pzm	Rocas Metamórficas		Pre-Pérmico			

Fuente: Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas, Síntesis Geológica de Guatemala, p. 15.

Figura 7. Mapa geológico República de Guatemala



Fuente: Escaneado del Instituto Geográfico Nacional

1.2. Puzolanas

El término puzolana abarca muchos tipos de materiales; por lo cual se debe conocer el origen del término y las distintas propiedades que debe tener para ser considerado como tal.

1.2.1. Origen del término puzolana

Los griegos y romanos en su afán de construir y crear grandes imperios fueron los primeros en conocer “la cal” con sus propiedades aglomerantes. A esta le agregaron materiales naturales que estaban a su alcance, con el objeto de obtener áridos inertes. El suelo donde se edificaron estas civilizaciones tiene una importante cobertura de material piroclástico, obteniendo morteros de alta resistencia y mayor durabilidad, un hecho que llevó al uso casi generalizado de los aditivos volcánicos.

El nombre puzolana proviene principalmente de la explotación de material en Pouzzoles (Italia), la cual no se encuentra muy lejos del volcán Vesubio. La Puzolana es un término genérico de este material, pues de ahí se separan en distintos tipos, como la pumicita, piedra pómez, etc.

1.2.2. Definición de puzolana

Las puzolanas se encuentran difundidas en las distintas zonas volcánicas; bien antiguas (texturas porfídicas) o bien modernas (texturas vítreas), y se conocen con distintos nombres: puzolanas (Italia, España, etc.), tierra de Santorín (Grecia), trass (bávaro, rumano, ruso, etc.).

La norma C 595-08 de la *American Society for Testing and Materials* (ASTM) “Especificación Normalizada para Cementos Adicionados Hidráulicos” define a las puzolanas como “un material silíceo y aluminio, el cual en sí mismo posee un pequeño o ningún valor cementicio pero que, finamente dividido y en presencia de humedad, reaccionará químicamente con hidróxido de calcio a temperaturas comunes, para formar compuestos que poseen propiedades cementicias”.

En Europa, en forma similar se utiliza la definición de puzolanas dada por Massaza (citado por Quintana, 2005) en el Quinto Congreso Internacional de la Química del Cemento del año 1974, que dice: “se define como puzolana a aquellos materiales naturales o artificiales, ricos en sílice y aluminio, capaces de reaccionar con cal en presencia de agua y formar por esta reacción compuestos con propiedades cementicias.”

La puzolana se emplea básicamente en la industria del cemento como adición al *clínker* para obtener cemento con puzolanas o como sustitución del contenido requerido de cemento en algún determinado tipo de hormigón.

En términos generales, las puzolanas son materiales de adición de suma importancia en la industria del cemento, por su capacidad de atrapar la cal libre que queda en el *clínker* después del proceso de sinterización de las materias primas, reduciendo el calor de hidratación y los costos de producción. Dicho de otra manera, se consideran generalmente como puzolanas los materiales que, carentes de propiedades cementicias y de actividad hidráulica por sí solos, contienen constituyentes que se combinan con cal a temperaturas ordinarias y en presencia de agua, dando lugar a compuestos permanentemente insolubles y estables que se comportan como conglomerantes hidráulicos.

En tal sentido, las puzolanas dan propiedades cementantes a un conglomerante no hidráulico como es la cal. Estos son por consiguiente, materiales reactivos frente a la cal, en las condiciones normales de fabricación ordinaria de conglomerados (morteros y hormigones).

Day (trad. por Quiñónez, 2010) explica que las puzolanas tienen la característica de reducir sustancialmente el costo de la edificación. Estos materiales pueden ser mezclados con cal (o cemento Portland) para producir cementos mezclados, los cuales pueden reemplazar el Cementos Portland puro, comúnmente utilizado en materiales de construcción tales como concreto, bloques y mortero de mampostería, ladrillos y otras unidades de construcción. La energía requerida para manufacturar un cemento cal-puzolana (LPC) es sustancialmente menor que la del cemento Portland; en algunos casos, la puzolana no requiere preparación. El costo asociado con la producción de LPC es principalmente debido a los combustibles utilizados para producir la cal.

Según Day (trad. por Quiñónez, 2010) la puzolana, al combinarse con cal, tiene un mismo comportamiento; sin embargo, la diferencia entre una buena y una mala está en la cantidad de propiedades que mejora, tanto ingenieriles como económicas. El uso de este material, además de la reducción en costo, presenta ciertas propiedades que, si es bien elegida, mejora desde la trabajabilidad del concreto hasta mejorar la resistencia al agua de mar, entre otras.

1.2.3. Breve historia del uso de las puzolanas

En la historia de la civilización humana el descubrimiento de los materiales y de las acciones cementantes hidráulicas fue posterior al descubrimiento del fuego y debió ser poco posterior al descubrimiento de la cerámica. Tal descubrimiento, por lo que se refiere a los pueblos mediterráneos, debió pasar de egipcios a griegos y romanos, siendo ampliado y perfeccionado en sucesivas etapas. Por razones de puro azar geográfico y geológico, los griegos y romanos, pudieron adobarla con materiales naturales de origen volcánico que tenían tan a mano.

Según Mella (2004), la observación debió hacer el resto, y de la comparación de la resistencia y del comportamiento general de los conglomerados hechos con cal y materiales volcánicos y no volcánicos, surgió la nueva técnica de mezclar los primeros; ya como materiales activos, con la cal, en polvo y en seco o en húmedo, para obtener los que han pasado a la historia como "cementos y morteros romanos", a base de cal y puzolana, o cal, puzolana y arena, respectivamente. Tales materiales fueron la tierra griega de Santorín y las cenizas y tobas romanas de Puzzuoli (o Puteoli).

Spence y Cook (citado por Day, 1991) explica que existe evidencia del uso de cerámica entre los 3,000 y 1,500 años antes de Cristo, en la elaboración de morteros de cal. Los antiguos ingenieros encontraron que el uso de polvo fino de un material natural o molido, podía ser utilizado para hacer cemento, y consecuentemente, construcciones de muy alta calidad.

Recientes análisis de Davidovits y Morris (citado por Day, 1991) han mostrado que este cemento fue encontrado en muchas partes de las grandes pirámides con una edad aproximada de 4500 años y que están todavía en muy buenas condiciones; esto contrasta con las reparaciones de los monumentos egipcios con cemento Pórtland, las cuales se han agrietado y degradado en solamente 50 años. Las primeras aplicaciones en civilizaciones antiguas y los usos contemporáneos en Europa, Asia y América, han mostrado que las puzolanas son materiales muy útiles.

Day (trad. por Quiñónez, 2010) explica que datos medidos con un espectrofotómetro, indican que los concretos antiguos tenían 500 kg de agregado grueso 1000 kg de agregado fino, 470 kg de tierra Santorín y 150 kg de cal. La resistencia de este material es cercana a los 12 MPa y el módulo de elasticidad fue cercano a los 8 GPa. La permeabilidad fue también baja, sin embargo, no existen comparaciones con concreto.

Drury (citado por Day, 1991) explica que actualmente en los Estados Unidos se comenzó a investigar el uso de las puzolanas naturales cuando este fue utilizado en el acueducto de los Ángeles en 1912. Recientes investigaciones sobre puzolanas en Estados Unidos mostraron que concretos de cemento Portland hechos con puzolana tuvieron propiedades deseables tales como mejora de la permeabilidad y resistencia a la acción de aguas agresivas. La presa Friat en 1942 marcó el primer uso de pumicita o puzolana real.

1.2.4. Clasificación según su origen

Las puzolanas, según su origen, se clasifican en dos grandes grupos: naturales y artificiales; si bien puede existir un grupo intermedio constituido por puzolanas naturales que se someten a tratamientos térmicos de activación, análogos a los que se aplican para obtener puzolanas artificiales, con el fin de incrementar su hidraulicidad. Estas puzolanas tratadas, activadas o ennoblecidas, si bien naturales en origen, pueden considerarse como artificiales en virtud del tratamiento que reciben. Podrían denominarse puzolanas mixtas o intermedias, por participar de los caracteres tanto de las naturales como de las artificiales.

Tabla IV. Clasificación de las puzolanas

CLASE	CONSTITUYENTE ACTIVO ESENCIAL	MATERIAL PUZOLÁNICO
Puzolanas naturales	1. Vidrio volcánico	Ceniza riolítica, toba riolítica, toba dacítica
	2. Ópalo	Diatomita, radiolarita, chert opalino
	3. Minerales de arcilla	Tobas y pumicitas alteradas, caolín
	a. Grupo de la caolinita	
	b. Grupo de la montmorillonita	Pizarras opalinas, bentonitas
	c. Grupo de la illita	Arcillas hidrómicas
	d. Mezclas de arcilla	Silts y arcillas lacustres, depósitos tipo playas
	4. Zeolitas	Tobas y cenizas Zeolíticas
	5. Óxidos de aluminio hidratados	Bauxitas
Puzolanas artificiales	Cenizas volantes (fly ash) Esquistos bituminosos	

Fuente: MELLA, Alejandro. Estudio, Caracterización y Evaluación de Puzolanas Locales en la Masa Cerámica del Ladrillo, p. 90.

1.2.4.1. Puzolanas naturales

Según Mella (2004) los materiales puzolánicos naturales están constituidos principalmente por rocas eruptivas, sin embargo, también pueden ser de formación sedimentaria; en algún momento estos materiales estuvieron sometidos a agentes externos por lo cual también se consideran metamórficos. Las puzolanas naturales incluyen materiales de origen mineral y orgánico, están constituidas por rocas que poseen propiedades puzolánicas y por aquellos materiales en los cuales la actividad puzolánica puede ser inducida mediante tratamientos térmicos.

Las puzolanas naturales generalmente proceden de rocas piroclásticas silíceas o sedimentos sílico-aluminosos, de diferentes grados de litificación o estratificación. Los materiales denominados puzolanas naturales pueden tener dos orígenes distintos: uno puramente mineral, y otro orgánico. Las puzolanas naturales de origen mineral son productos de transformación del polvo y cenizas volcánicas que, como materiales piroclásticos procedentes de erupciones explosivas, ricos en vidrio y en estado especial de reactividad, son aptos para sufrir acciones endógenas o exógenas, de las cuales las primeras son favorables y las segundas desfavorables.

Por una continuada acción atmosférica (meteorización) se convirtieron en tobas, es decir, en rocas volcánicas, más o menos consolidadas y compactas, cristalinas, líticas o vítreas, según su naturaleza. En su actividad suele tener gran influencia la estructura física porosa producida por el escape de gases, lo que les confiere una gran superficie interna.

Las puzolanas naturales de origen orgánico son rocas sedimentarias abundantes en sílice hidratada y formadas en yacimientos o depósitos que en su origen fueron submarinos, por acumulación de esqueletos y caparazones silíceas de animales o plantas (algas diatomeas).

Las propiedades de las puzolanas naturales y en especial aquellas que son aptas para su aprovechamiento en la industria de los conglomerantes hidráulicos, dependen fundamentalmente de su composición y de su textura, las cuales a su vez están relacionadas con su origen y formación.

Cenizas volcánicas, pómez, tobas, escorias y obsidiana, son rocas volcánicas que contienen vidrio en gran medida producido por el enfriamiento brusco de la lava.

Existen rocas o suelos en las que el constituyente silíceo contiene ópalo, ya sea por la precipitación de la sílice de una solución o las arcillas calcinadas por vía natural a partir de calor o de un flujo de lava, entre ellas están:

- Las acumulaciones de cenizas generadas durante las erupciones volcánicas explosivas, que por su alto contenido de materiales vítreos son propensas a sufrir reacciones como las requeridas para las puzolanas. Más tarde por procesos geológicos de enterramiento, estas cenizas se convierten en tobas, las cuales son rocas volcánicas bastante porosas, característica que les confiere una gran superficie interna favoreciendo su reactividad, entonces, como puzolana sirve tanto el sedimento como la roca.

- Las rocas y materiales volcánicos en las que hay que considerar la composición química del magma y la constitución y textura de los minerales presentes, los cuales dependen de la velocidad de enfriamiento y de los procesos de meteorización que los afectaron. Por ejemplo, se pueden nombrar las rocas ácidas que son ricas en cuarzo y feldespato.
- Rocas o minerales sedimentarios ricos en sílice hidratada y formadas en yacimientos submarinos, por acumulación de esqueletos y caparazones de radiolarios y diatomeas.
- Algunas rocas y minerales no puzolánicos de origen, pero que al descomponerse generan productos de naturaleza puzolánica, los cuales son muy escasos en el mundo.

En general los principales depósitos de puzolanas son de origen volcánico y se explotan de preferencia las rocas ácidas. Sin embargo, se conocen puzolanas constituidas por tobas basálticas alteradas y lavas básicas. Las andesitas pueden ser puzolanas efectivas si el contenido de sílice amorfa excede al contenido de sílice cristalina.

Los depósitos piroclásticos, en especial los de fragmentos finos, normalmente están alterados debido a su alta porosidad e inestabilidad de las partículas vítreas y a la alta superficie específica de estas. La alteración se debe al intemperismo superficial, a la acción de las aguas subterráneas circulantes y comúnmente a la acción de las aguas termales y acción fumarólica.

Mella (2004) explica que en las cenizas y tobas, la alteración comienza con la desvitrificación del vidrio, originándose un material cripto-cristalino de aspecto turbido. Los resultados finales de esta alteración son comúnmente la formación de bentonita y beidellita, la primera de las cuales es una roca constituida esencialmente de montmorillonita.

La desvitrificación puede efectuarse en forma rápida, como es el caso de los depósitos de avalanchas ardientes, y ocurre mientras las eyecciones están calientes y permeables a los gases volcánicos; el vidrio es reemplazado por agregados micro y cripto-cristalinos de tridimita y sanidina o albita, o bien por intercrecimientos de cristobalita y feldespatos.

Como ya se ha dicho anteriormente, los vidrios volcánicos son compuestos amorfos de sílice y alúmina que ocurren en una variedad de rocas volcánicas y su composición puede ser básica, intermedia o ácida, hidratados o anhídridos. La actividad puzolánica intrínseca de los vidrios volcánicos resulta de su estado especial de inestabilidad, la cual es incrementada por un aumento de la superficie específica, resultado de un sistema de pequeños ductos generados durante un enfriamiento rápido por la liberación de los gases, originalmente disueltos en el magma líquido.

Este estado de inestabilidad se debería a que, en el estado amorfo existe un mayor desorden estructural, lo que significa que los átomos tienen alta energía potencial, con enlaces no saturados. Esta inestabilidad hace que el vidrio volcánico sea particularmente susceptible a la alteración por efecto de la meteorización; los productos de meteorización normales son mezclas de arcillas o zeolitas.

1.2.4.2. Puzolanas artificiales

Son materiales que deben su condición puzolánica a un tratamiento térmico adecuado. Dentro de esta denominación se incluyen los subproductos de determinadas operaciones industriales, entre estas están las cenizas volantes, también conocidas como *fly ash*. En la actualidad son las de mayor uso a nivel mundial en función de las ventajas económicas y técnicas que ofrecen, ya que es un material de desecho y los cementos aumentan la trabajabilidad y disminuyen el calor de hidratación, porque son muy buenas puzolanas. Las cenizas volantes se producen en la combustión de carbón mineral, fundamentalmente en las plantas térmicas de generación de electricidad.

Mineralógicamente las cenizas volantes se componen de:

- Sílico-aluminatos vítreo
- Compuestos cristalinos de Fe, Na, K y Mg entre otros
- Carbón no quemado

La reactividad de las cenizas volantes como puzolanas, depende del tipo y origen del carbón, composición química y mineralógica de este. También depende del contenido de fase vítrea después de quemado y de la granulometría.

Algunos ejemplos de esto se muestran a continuación:

- Arcillas activadas o calcinadas artificialmente: las arcillas naturales no presentan actividad puzolánica a menos que su estructura cristalina sea destruida mediante un tratamiento térmico a temperaturas del orden de 600 a 900 °C.
- Escorias de fundición: principalmente de la fundición de aleaciones ferrosas en altos hornos. Estas escorias deben ser violentamente enfriadas para lograr que adquieran una estructura amorfa.
- Las cenizas de residuos agrícolas: la ceniza de cascarilla de arroz y las cenizas del bagazo y la paja de la caña de azúcar, cuando son quemados convenientemente, se obtiene un residuo mineral rico en sílice y alúmina, cuya estructura depende de la temperatura de combustión.

1.2.5. Otras clasificaciones

Los sistemas de clasificación mencionados en este documento son lo que se consideraron de importancia para el estudio; sin embargo no son los únicos.

1.2.5.1. Sistema de clasificación en base al comportamiento

Un sistema de clasificación conveniente fundamentado en el comportamiento, requiere de una base de datos muy grande. Exámenes petrográficos y ensayos físicos con métodos de ASTM se han realizado y cada puzolana fue incluida en una clase dependiendo de su respuesta física. El comportamiento está basado en cuatro ensayos: resistencia (actividad

puzolánica), trabajabilidad (requerimientos de agua), serviciabilidad (contracción) y durabilidad (ataque alkali-agregado). Hammond (citado por Day, 1991), indica una clasificación más simplificada basada en la resistencia (actividad) de morteros curados por 8 días, a 50 grados centígrados.

Tabla V. **Clasificación de puzolanas por su resistencia**

Clasificación	Resistencia (MPa)
Muy Inactiva	< 1.4
Inactiva	1.4-2.8
Pobremente activa	2.8-4.1
Intermedia	4.2-5.5
Activa	5.5-6.9
Muy Activa	> 6.9

Fuente: HAMMOND. Estado del arte de puzolanas naturales volcánicas como adiciones activas en la producción de cementos. p. 45.

1.2.5.2. Clasificación basada en la economía de la producción

Day (trad. por Quiñónez, 2010) explica que en la práctica, en los países en desarrollo hay poca preocupación si una puzolana es natural o artificial, o si una puzolana es más o menos reactiva que otra, o cual es el origen geológico o mineralógico de una puzolana. Lo que los dueños o clientes requieren de la puzolana son dos cosas: que sea suficiente buena para cumplir con los requerimientos de las normas nacionales, y que su uso provoque una reducción de los costos de construcción, cuando se compara con materiales tradicionales (como el cemento portland).

Según Day una alternativa más basada en ingeniería práctica, podría ser un sistema que clasifica a las puzolanas dependiendo de la cantidad de energía que se requiere incorporar en el lugar para hacerla conveniente y útil. Una base simple para esa clasificación podría ser, por ejemplo: materiales que no requieren energía más que la de mezclado (cenizas volcánicas de grano fino; cenizas volantes); y materiales que requieren significativa energía incorporada en el proceso (extracción, calcinación, molienda).

1.2.6. Caracterización de puzolanas de origen volcánico

Las caracterización de puzolanas de origen volcánico abarca varias ramas de las ciencias, ya que se realizan diferentes ensayos para determinar cada característica del material volcánico.

1.2.6.1. Composición química de las puzolanas

La composición química de las puzolanas naturales, depende de la lava original que las forma, pues unas son más ácidas, menos alteradas y menos reactivas, y otras más básicas y alteradas.

En general las propiedades de las puzolanas dependen de la composición química y la estructura interna, radicando su gran diferencia en algo específicamente granulométrico. Se prefiere puzolanas con composición química tal que la presencia de los tres principales óxidos, óxido de Sílice reactivo (SiO_2), óxido de aluminio (Al_2O_3) y óxido de calcio (CaO), sea mayor al 70%, esto orientado a la ocupación en la fabricación de cemento; siendo estos valores favorables para dicho fin.

Según Mella (2004) las puzolanas presentan grandes ventajas al reaccionar con cementos, aumentando resistencias mecánicas y mejorando la durabilidad de las mezclas; sin embargo, se hace necesario el control de su comportamiento, identificando la variación en las propiedades como calor de hidratación, desarrollo del fraguado y la durabilidad. Los porcentajes aceptables para que una puzolana sea aceptable se muestran en la tabla VI; estos valores no son definitivos, ya que influyen otras características del material para que su reactividad sea adecuada.

Tabla VI. **Valores de la composición química límite y media de puzolanas de origen volcánico**

COMPOSICIÓN		VALORES LÍMITES	VALORES MEDIOS
Óxido de Silicio	SiO ₂	42 – 85	65
Óxido de Aluminio	Al ₂ O ₃	5 – 20	12.5
Óxido de Hierro	Fe ₂ O ₃	1 – 14	5
Óxido de Calcio	CaO	0 – 12	3.5
Óxido de Potasio	K ₂ O	0 – 5	2
Óxido de Sodio	Na ₂ O	0 – 5	2
Óxido de Magnesio	MgO	0 – 11	1.5
Trióxido de Azufre	SO ₃	0 – 1	0.5
Pérdida por calcinación	P. C.	0 – 15	6

Fuente: MELLA, Alejandro. Estudio, Caracterización y Evaluación de Puzolanas Locales en la Masa Cerámica del Ladrillo, p. 45.

Las alteraciones químicas, tanto las debidas a factores internos dependientes de los minerales y de la estructura, como las ocasionadas por factores externos dependientes de los agentes de alteración y de los medios ambientales, pueden afectar tanto a los minerales como a las rocas. Las alteraciones químicas de las rocas dependen, en cuanto a rapidez e intensidad, de la potencia de los agentes destructores y de la resistencia de la propia roca. Pero las rocas están sometidas además a desagregación mecánica causada por distintos agentes como erosión, acción del agua, ciclos de temperatura, hielo y deshielo, rayos, choques, insolación, clima en general, procesos biológicos, etc.

1.2.6.2. Características físicas de las puzolanas

Day (trad. Por Quiñónez, 2010) explica que en general las puzolanas naturales son materiales de origen piroclástico como resultado de erupciones volcánicas explosivas, donde los fragmentos, producto de la erupción, son transportados por aire, para ser finalmente depositados en la superficie del suelo o el agua. Una vez depositados como material no cohesivo puede ser sometido a procesos de transformación que los llevan a conformar una roca compacta identificada como toba.

Las tobas empleadas como puzolana, tienen como característica alteraciones importantes en sus componentes con gran capacidad de transformación. Las puzolanas tienen una estructura amorfa (no cristalina). Para referenciarlo con otro elemento se puede mencionar el cuarzo, por ejemplo, que es un material netamente cristalino, lo que lo hace altamente duro.

Por su estructura las puzolanas antes mencionadas, son muy fáciles de moler o disgregar; y esta propiedad facilita su utilización en la industria del cemento.

La pumicita, un tipo de puzolana, es un vidrio volcánico de colores claros y de estructura vesicular, que forma parte de un grupo que incluye la ceniza volcánica y la piedra pómez. La diferencia fundamental entre ceniza volcánica y piedra pómez no es química, ni de estructura vítrea, sino que solamente granulométrica, y está relacionada con el tipo y la intensidad de la erupción volcánica que genera estos materiales.

Gajardo (2000) citado por Mella (2010) dice que las propiedades físicas más importantes de estos materiales volcánicos son: peso específico menor que 1, alta aislación térmica y acústica, buena reactividad química y colores claros, blanco amarillento y gris claro. La formación del vidrio volcánico activo tiene lugar por el enfriamiento brusco del magma fundido lanzado en las erupciones y pulverizado por el escape de los gases, de tal manera que cuando la erupción no es explosiva no se forma tanto vidrio, ni este es tan activo.

Según Mella (2004), las rocas efusivas o volcánicas son, en el caso límite, de textura (incluso de estructura) vítrea, es decir, carecen de cristales y toda su masa es de aspecto amorfo. En algunos casos tienen textura porfídica (semicristalina o hipo cristalina), esto es, presentan fenocristales (cristales grandes) y una pasta formada por microlitos (cristales pequeños) representantes de los comienzos de la cristalización, conglomerados por una masa amorfa.

1.2.6.3. Causas de la actividad puzolánica

En la naturaleza se encuentran diversos materiales que presentan en estado natural propiedades puzolánicas. Por comportamiento puzolánico se entiende, la capacidad de reacción de estos materiales con cal o con la cal generada por la reacción de los minerales del *clínker* en una solución acuosa, en presencia o ausencia de yeso, con formación de fases hidratadas que contribuyen al endurecimiento de la pasta.

En la mayoría de materiales llamados puzolánicos predominan los óxidos de silicio (SiO_3), de aluminio (Al_2O_3) y hierro (Fe_2O_3), todos estos son capaces de reaccionar con la cal (CaO). En el caso de los cementos puzolánicos, la cal liberada en las reacciones de hidratación puede reaccionar a su vez con la puzolana contenida en el cemento, formando compuestos con propiedades aglomerantes.

Mella (2004) explica que la actividad de las puzolanas frente a la cal tiene su origen en la estructura inestable de los compuestos que la conforman, esencialmente compuestos derivados del óxido de silicio (SiO_3), cristalográficamente amorfos (vidrio amorfo), y en la elevada superficie específica de estos compuestos (superficie activa para la reacción).

La reacción más importante de las puzolanas silíceas es entre la sílice reactiva, la cal y agua, la cual produce hidrato silicato cálcico. Según Helmut (citado por Day, 1991) no pueden considerarse aparte las acciones de la sílice y de la alúmina, ya que la presencia de esta última favorece en gran medida la acción puzolánica, directamente por sí, e indirectamente al implicar su presencia un mayor contenido de álcalis, que se fijan parcialmente en los nuevos productos resultantes de la reacción puzolánica.

El óxido de hierro se supone que actúa como la alúmina, pero de una forma más atenuada y lenta. (Mella, 2004) En lo que se refiere a las puzolanas de origen mineral, su actividad se ha atribuido, tan pronto a los constituyentes amorfos, como a los cristalinos, y en particular a los de naturaleza zeolítica.

Las zeolitas tienen la forma de alkalis hidratados aluminosilicatos. El *trass* es un ejemplo, del cual una puzolana que ha tenido significativa alteración química después de la sedimentación, puede producir compuestos zeolíticos que son altamente reactivos. Esta alteración se debe a la acción del vapor y al dióxido de carbono debajo de la corteza terrestre, según Day, citado por Quiñonez (2010).

Se dice que la mayoría de puzolanas, tanto artificiales como naturales, no inician su contribución a mejorar las propiedades ingenieriles sino hasta el rango de 7 a 14 días después de hechura, pero según Okawa (1980) citado por Day (1991) determinó que algunas puzolanas inician su reacción química muy cercanamente al contacto con el agua (después de 1 – 3 días). Esto es causado por la absorción de iones de calcio en la solución y que debido a la presencia de puzolana se acelera la hidratación del silicato tricálcico (C_3S).

1.2.6.4. Criterios de valoración de puzolanas

Es difícil determinar un único método que con carácter general permita llevar a cabo una estimación del valor puzolánico en todos los casos y para los diversos tipos de puzolanas. En primer lugar, porque la puzolanidad puede deberse a diferentes causas, que a su vez es difícil determinar las principales.

En segundo lugar, porque son muy diversas las formas en que puede manifestarse la puzolanidad, y también muy variadas las finalidades y aplicaciones de cada tipo de reacción. En tercer lugar, porque a veces no se consigue una aceptable correlación entre los resultados del método o ensayo propuesto y la realidad práctica.

La variabilidad cuantitativa y en cuanto a orden de resultados de los cementos puzolánicos en función de la puzolana, del clínker, de la proporción de ambos, y de la relación agua/cemento, es causa de que las condiciones óptimas en un caso no lo sean en los demás; por lo cual la evaluación de las puzolanas no tiene sentido si no es en las exactas condiciones de uso práctico, las cuales no se suelen conocer ni con mediana precisión en la realidad.

Sin embargo, a falta de un método de aplicación general para la evaluación de las puzolanas, existen otros métodos de ensayo con validez limitada y, por consiguiente, con campos de aplicación restringidos, para determinar el valor hidráulico de las puzolanas como tales. Unos son cualitativos y otros cuantitativos; unos químicos y otros físicos o tecnológicos; los hay incluso de carácter mixto. Todos en general, pero particularmente los químicos, guardan estrecha relación con las causas a las que se atribuye en una u otra medida la puzolanidad.

Algunas características químicas y de puzonalidad, que deben cumplir las puzolanas cuando tengan que emplearse como un producto de adición activo, ya sea en adición o en fabricación de cementos se presentan en la tabla VII.

Tabla VII. **Porcentajes químicos de puzolanas y cenizas**

	Puzolanas naturales	Cenizas volantes
Dióxido de silicio (SiO ₂) + óxido de aluminio (Al ₂ O ₃), mínimo	70 %	70 %
Óxido de magnesio (MgO), máximo	5 %	5 %
Óxido de sodio + potásico, expresados como óxido sódico (Na ₂ O), máximo	1.5 %	1.5 %
Trióxido de azufre (SO ₃), máximo	3 %	4 %
Pérdida de calcinación sobre muestra seca, máximo	10 %	8 %
Actividad puzolánica, resistencia a compresión del mortero cemento portland - puzolana a siete días, en comparación con una de cemento portland, mínimo	75 %	75 %

Fuente: *PCA Research and Development Bulletin RD112 T. Supplementary Cementing Materials for Use in Blended Cements.* p. 10.

En la tabla VIII se muestran las condiciones que deben cumplir las puzolanas naturales y artificiales en adición directa con un concreto, mortero o fabricación de un cemento puzolánico.

Tabla VIII. **Condiciones físicas de las puzolanas artificiales y naturales**

Finura: superficie específica, en cm ² / g, mínimo	6.500
Material retenido sobre el tamiz # 325, máximo	20 %
Humedad: contenido de agua, máximo	3 %
Regularidad: cada uno de los resultados individuales de los ensayos efectuados con muestras de puzolana, en número no inferior a diez, diferirán de la media aritmética de aquellos, en menos de los porcentajes siguientes:	
Para la superficie específica	15 %
Peso específico	5 %
Homogeneidad: el material puzolánico deberá quedar homogéneamente distribuido en toda la masa de concreto o mortero durante el amasado de este.	

Fuente: *PCA Research and Development Bulletin RD112 T. Supplementary Cementing Materials for Use in Blended Cements.* p. 16.

1.2.7. **Aplicaciones de las puzolanas**

Las puzolanas se utilizan con dos fines principales, el primero es utilizarlo en la fabricación de cementos puzolánicos. El material natural o artificial es molido junto con el *clínker*. El segundo uso es introducirlo directamente en la concretera como un ingrediente más, en la elaboración del concreto o mortero. El uso de este material es utilizado por distintas razones, como fijar la cal liberada de los silicatos del cemento y mejorar la durabilidad del mismo; estas propiedades son de mucha ayuda cuando se utiliza concreto en obras sometidas a constante agua.

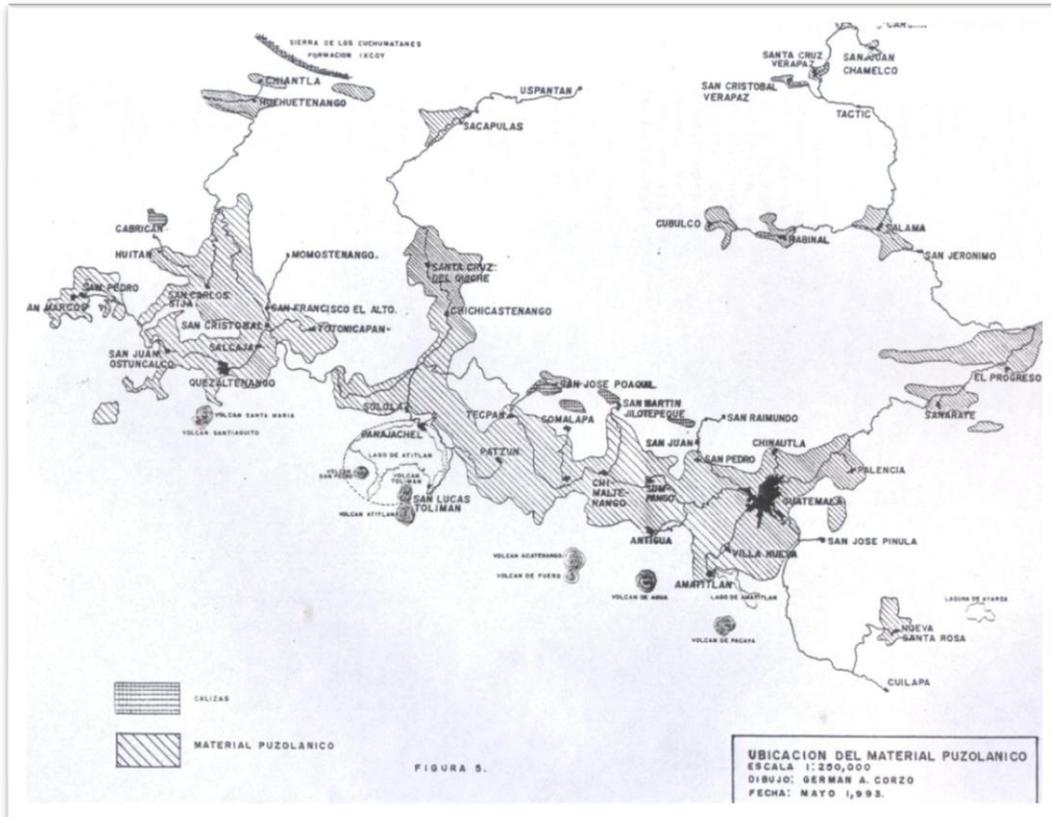
1.2.8. Las puzolanas en Guatemala

Williams (1960) realizó un extenso reconocimiento geológico en su documento "*Volcanic History of the Guatemalan Highlands*", donde caracterizó 6 zonas de material volcánico (pómez), discutiendo su origen. Tomando como base este estudio McBirney (1963) detectó material piroclástico en las cercanías de Salamá y Cobán. Con esto Bonis, en 1965, cartografió el material piroclástico como una unidad estratigráfica muy importante.

Todos los estudios realizados son presentados de manera sintetizada en la tesis de maestría realizada por Reynolds en 1975 titulada "*Tertiary Volcanic Stratigraphy of North and Central America*". La figura 8 muestra la localización del material volcánico en el cinturón volcánico de Guatemala, como producto de los trabajos antes mencionados. En el Instituto Geográfico Nacional (IGN) se encuentran varios mapas geológicos que son resultados de todos los estudios antes mencionados.

En Guatemala el uso de las puzolanas se comenzó a utilizar como adición activa mezclada con cemento Portland hasta en los 80's. En los años 90's se comenzó a fabricar cementos mezclados con este material con un contenido de puzolana del 15%, que indican las normas internacionales.

Figura 8. Disposición del material volcánico



Fuente: ARRIVILLAGA, Manuel. Evaluación geológica de bancos de puzolanas en el occidente del país. p. 25.

2. EXPERIMENTACIÓN

2.1. Metodología

El estudio de este material requirió establecer la disponibilidad de la materia prima, su procedencia y distribución; esto se realizó mediante una detallada investigación geológica, basada en documentos que contienen investigaciones previas sobre el material en estudio.

Dicha investigación permitió conocer cuál es el posible origen del material, así como conocer la ubicación de la extracción de muestras para luego realizar los ensayos pertinentes. La determinación de las propiedades físicas del material es un paso previo para poder predecir y fundamentar la reactividad puzolánica de las muestras.

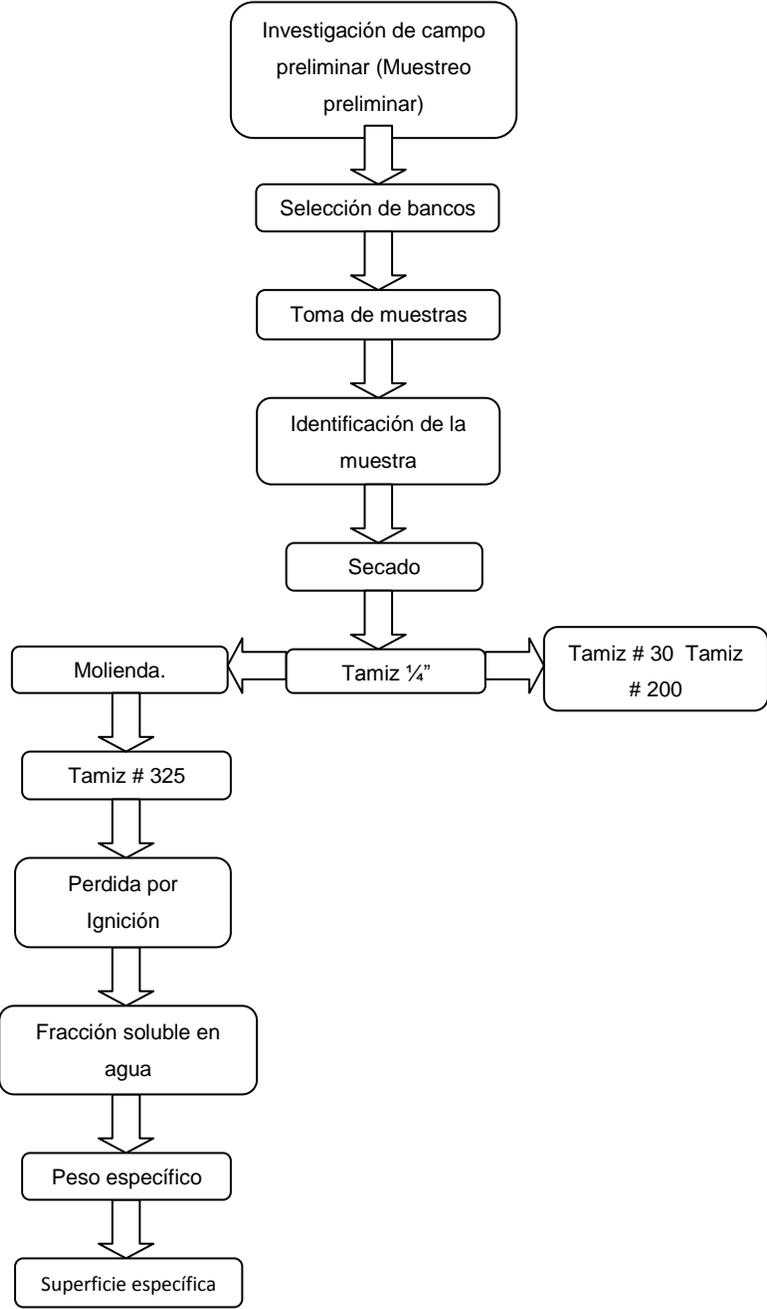
2.1.1. Ubicación del material puzolánico en la región oriente

Guatemala es un país con gran actividad volcánica, uno de los materiales más abundantes de dichas erupciones es pómez del periodo Cuaternario. Este material fue el objetivo principal de la investigación, teniendo en cuenta que los mapas geológicos fueron de vital importancia en el muestreo de los materiales.

La ubicación y el mapeo se realizaron con reconocimiento de campo previo, donde se determinaron características importantes de cada lugar. Por la gran área que abarca este tipo de material, se estudió una pequeña parte de la región oriente.

En la figura 9 se muestra en forma esquemática el desarrollo experimental de laboratorio de este experimento realizado con los materiales, su preparación y caracterización; más adelante se describen cada una de las pruebas.

Figura 9. Representación esquemática del desarrollo experimental



Fuente: elaboración propia.

2.1.2. Investigación geológica

Esta parte de la investigación consistió en encontrar información geológica acerca de la región en estudio. Esta información fue utilizada para determinar los lugares que se visitaron y de los cuales se extrajeron las muestras. Para esto se tomaron en cuenta todas las entidades que pudieran tener relación con el tema en cuestión, de las cuales se seleccionaron las siguientes:

- Instituto Geográfico Nacional (IGN). Dirección: Avenida Las Américas 5 – 76 zona 13 Tel: 2332-2611
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH). Dirección: 7ª. Avenida 14-57 zona 13 Tel: 2310-5000
- Biblioteca Universidad del Valle de Guatemala. Dirección: 18 avenida 11-95 zona 15 Vista Hermosa III Tel: 2364-0336
- Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Dirección: Campus Central USAC Edificio T-1

Además de visitar estos lugares, se procedió a realizar una búsqueda detallada en internet; esta información fue de gran ayuda para la determinación de los bancos donde se extrajo el material en estudio, así como una amplia descripción geológica del país y su posible origen.

Con la información geológica y utilizando los mapas existentes del cinturón volcánico de Guatemala, se pudo determinar una ruta para el reconocimiento preliminar. Esto se llevó a cabo tomando en consideración un mapa de la red de vial de Guatemala, y delimitando la región que se iba a estudiar se obtuvo una posible ruta. El estudio se enfocó en la sección de los mapas geológicos que pertenece a pómez de la era Cuaternaria.

2.1.3. Investigación de campo preliminar (muestreo preliminar)

Con la investigación geológica avanzada se realizó un recorrido preliminar, del cual se obtuvieron varias muestras posibles de distintos bancos. Estas muestras fueron tomadas en pequeña cantidad para luego realizar una inspección preliminar, y así determinar las mejores para su estudio detallado.

Se le dio prioridad a los bancos que están cercanos a las carreteras principales. Los bancos que son representativos y altamente aprovechables, fueron primordiales en este estudio, así como los que tienen un fácil acceso.

2.1.4. Selección de bancos

De los bancos visitados en el muestreo preliminar, se seleccionaron 9 de ellos, cuyas muestras fueron llevadas al laboratorio para ser estudiadas y aplicarles los ensayos necesarios. Cada banco fue seleccionado para abarcar la mayor área posible y así tener un estudio preliminar de cada uno de ellos. La selección de los bancos a muestrear se determinó tomando en cuenta las siguientes características: ubicación, volumen de material, acceso, uniformidad, estratigrafía y calidad.

2.1.5. Toma de muestras

Las muestras seleccionadas fueron extraídas de lugares donde el material había recibido la menor alteración posible. Se tomaron aproximadamente 25 kg de muestra en el caso de los materiales finos y en el caso de los materiales gruesos (rocas) fue extraída la mayor cantidad posible que se pudiera transportar con facilidad. Cada muestra fue llevada al laboratorio afectando lo menos posible sus características naturales.

2.1.6. Identificación de las muestras

Cada muestra fue identificada de acuerdo con el lugar de la extracción, y se realizó una descripción general de dicho lugar, explicando su estratigrafía a simple vista. En la identificación de las muestras se determinaron las coordenadas geográficas de cada banco, anotándoles también la nomenclatura de la carretera y el kilómetro del lugar. Los datos obtenidos fueron ubicados en un mapa donde se muestra la red vial principal de Guatemala y el área en estudio de pómez cuaternaria del mapa geológico.

2.1.7. Procedimiento de laboratorio

Los procedimientos realizados en laboratorio fueron realizados recreando las condiciones optimas para obtener resultados óptimos.

2.1.7.1. Secado

Se realizaron los ensayos de laboratorio con las muestras totalmente secas, para lo cual se utilizó como guía la norma D 2216 - 10 "*Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and*

Rock by Mass” de la “*American Society for Testing and Materials*” (ASTM). Las muestras se ingresaron al horno en un periodo de 24 horas a una temperatura de 110 °C; para este procedimiento se utilizó un total de 15 kg de cada muestra.

Con este ensayo se pudo determinar la humedad del material en su estado natural, aplicando la fórmula del inciso 11, de la norma anteriormente mencionada.

2.1.7.2. Tamizado ¼”

Las muestras secas se tamizaron en su totalidad, haciéndolas pasar a través del tamiz ¼”, con esto se eliminaron los granos demasiado gruesos para su molienda. Para algunas muestras que tuvieron en gran porcentaje una granulometría más gruesa que ¼”, se realizó una trituración previa manual, hasta obtener una cantidad de muestra suficiente para procesarlas.

2.1.7.3. Tamiz # 30 y tamiz # 200

Este ensayo se realizó de acuerdo con la norma C110 - 10 “*Standard Test Methods for Physical Testing of Quicklime, Hydrated Lime, and Limestone*” de la “*American Society for Testing and Materials*” (ASTM), que especifica el método a seguir en el inciso 5.4. Se utilizó un chorro con manómetro, tamiz # 30, tamiz # 200, entre otros equipos. Este ensayo consiste básicamente en determinar el porcentaje de material retenido en cada uno de los tamices; esto se logra lavando el material a una presión de 10 psi (determinada por el manómetro) durante el tiempo necesario, hasta que el agua salga libre de material.

El resultado de este ensayo se comparó con los límites de la tabla 1 de la norma C 593 – 06 “*Standard Specification for Fly Ash and Other Pozzolans for Use With Lime*” de la “*American Society for Testing Materials*” (ASTM) que da los porcentajes máximos para cada uno de los tamices:

Tabla IX. **Requerimientos tamiz # 30 y # 200**

Tamiz	% retenido
% máximo retenido tamiz # 30	2 %
% máximo retenido tamiz # 200	30 %

Fuente: ASTM. C 593, Standard Specification for Fly Ash and Other Pozzolans for Use with Lime, 2006. p. 2.

2.1.7.4. Molienda

Según lo descrito en los capítulos anteriores, tiene un mejor uso la puzolana cuando su granulometría es más fina, por lo cual cada muestra se procedió a molerla durante 3 horas continuas. Cada hora se tomó una muestra de aproximadamente 1 kg, identificándola debidamente. Para este procedimiento se utilizó un molino de bolas marca SEW Tipo FA40A, movido por un motor WEG Tipo NBR 7094.

El material fue introducido en el molino con un peso total en bolas de 75 kg, que tienen un promedio de diámetro de 28 mm. Cada muestra extraída fue guardada en un compartimiento impermeable para que no afectara la humedad del ambiente.

2.1.7.5. Tamiz # 325

Este ensayo se realizó con base en la norma C 430 – 08 “*Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by the 45- μ m (No. 325) Sieve*” de la “*American Society for Testing and Materials*” (ASTM). El procedimiento seguido fue básicamente el siguiente:

Utilizando un tamiz # 325 marca *Humbolt* modelo H-3807, se colocaron dentro 2 g de material. Siguiendo con el procedimiento, se procedió a colocar el tamiz a 12 mm de la orilla hacia el chorro (figura 10) y luego realizando un movimiento circular horizontal, se tamiza el material durante 1 min. Una vez terminado el procedimiento anterior se secó el material entre 3 a 4 horas a una temperatura de 110 °C, concluyendo el procedimiento con el pesado del material retenido por el tamiz.

Figura 10. **Manómetro con chorro y tamiz # 325**



Fuente: elaboración propia. Fotografía en Laboratorio de Suelos, Centro de Investigación de Ingeniería.

El resultado del procedimiento anterior se analizó con la tabla 3 de la norma C 618 – 08a “*Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete*” de la “*American Society for Testing and Materials*” (ASTM) que clasifica las puzolanas en tres clases, de la manera mostrada en la tabla X:

Tabla X. **Requerimientos de puzolanas según tamiz # 325**

Ensayo	Clase N
% máximo Retenido en tamiz #325	34

Fuente: ASTM. C 618, *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete*. p. 3.

2.1.7.6. Pérdida por ignición

Este ensayo se realizó con base en la norma C 311 – 11a “*Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use as a Mineral Admixture in Portland – Cement Concrete*” de la “*American Society for Testing and Materials*” (ASTM) en su inciso 13, los cálculos de dicho ensayo se realizaron con el inciso 14 de la norma.

El ensayo consiste básicamente en colocar una cantidad de material conocida, en recipientes que soporten altas temperaturas. Los crisoles que contienen las muestras se colocan en la mufla (figura 11), este equipo tiene la propiedad de alcanzar temperaturas tan altas que llegan a los 1000 °C. Se coloca la mufla para que alcance una temperatura de 750 °C durante 20 min.

Posteriormente a su enfriamiento se pesó la muestra que aún está contenida en el recipiente y se aplicó la fórmula 2 de la norma, para su cálculo.

El valor obtenido del ensayo es comparado con las características de la puzolana clase N dada por la norma C 618 – 08a “*Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete*” de la “*American Society for Testing and Materials*” (ASTM). La tabla 1 de la norma da los requerimientos químicos el material en estudio.

Tabla XI. **Requerimientos químicos (pérdida por ignición)**

Ensayo	Clase N
Pérdida por Ignición, % máximo	10

Fuente: ASTM. C – 618, *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete*. p. 3.

Figura 11. **Mufla para ensayo de pérdida por ignición**



Fuente: <http://www.craftinstrumentos.com.mx/varios.htm>. Marzo 2011

2.1.7.7. Fracción soluble en agua

Basándose en la norma C 114 – 11a “*Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement*” de la “*American Society for Testing and Materials*” (ASTM), en su inciso 17.2, se determinó la fracción soluble en agua de cada muestra. En términos generales el procedimiento es el siguiente:

Se coloca 1 g de muestra en un *Erlenmeyer* con 25 ml de agua destilada (figura 12), se mezcla hasta tener una consistencia homogénea, agregándole 50 ml de ácido clorhídrico (HCL); se procede a la dilución del mismo, que consiste en calentar la solución y tenerla en movimiento.

Seguido de esto se procede a la digestión durante 15 min a una temperatura de 100 °C; con el producto de la digestión se procede a filtrar la muestra utilizando un embudo con papel filtro, se lava. Mezclar 100 ml de hidróxido de sodio (NaOH) y repetir la digestión durante 15 min; seguido de esto acidular la muestra y filtrar nuevamente. Agregar nitrato amónico (NH_4NO_3), posteriormente calcinar a 900 °C y finalmente pesarlo para determinar el peso que quedó del procedimiento.

El resultado de este ensayo se comparó con la tabla 1 de la norma C 593 – 06 “*Standard Specification for Fly Ash and Other Pozzolans for Use with Lime*” de la “*American Society for Testing and Materials*” (ASTM) que se muestra en la tabla XII.

Figura 12. **Erlenmeyer para ensayo fracción soluble en agua**



Fuente: Laboratorio de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Tabla XII. **Fracción soluble en agua para puzolanas**

Ensayo	Porcentaje
Fracción soluble en agua, % máximo	10

Fuente: ASTM. C – 593, Standard Specification for Fly Ash and Other Pozzolans for Use with Lime, p. 4.

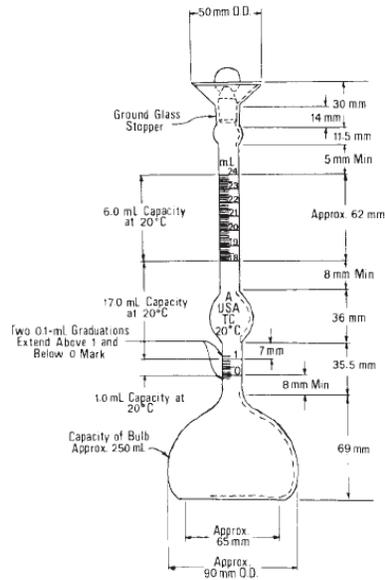
2.1.7.8. Peso específico

Este ensayo se realizó de acuerdo con la norma C 188 – 09 “*Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement*” de la “*American Society for Testing and Materials*” (ASTM). El proceso que se aplicó es el siguiente:

Utilizando un balón de *Le Chatelier* (figura 13) con Keroseno hasta la marca que indica 0, se procede a depositar la mezcla con un embudo; antes de este proceso se debe estabilizar el balón con keroseno en agua durante 2 horas aproximadamente. Se colocan 50 g del material en el balón y se procede a agitarlo hasta que no tenga contenido de aire; se deja estabilizar durante 1 hora y se repite el proceso hasta percatarse que no hay aire en la muestra. Finalmente, se toma la lectura final que da el volumen que aumentó con la muestra y realizando el cálculo por diferencia de volúmenes y conociendo el peso de la muestra ingresada, se puede determinar el peso específico de la muestra en g/cm^3 .

Este procedimiento es clave para la determinación de la superficie específica (Finura Blaine) de cada muestra, ya que es necesario este dato para determinar los pesos con los que se debe realizar el ensayo.

Figura 13. **Balón de Le Chatelier para determinar peso específico**



Fuente: ASTM. C – 188, Standard Test Method for Density of Hidraulic Cement, p. 6.

2.1.7.9. Superficie específica (finura Blaine)

Con base en la norma C 204 – 11 “*Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by Air – Permeability Apparatus*” de la “*American Society for Testing and Materials*”, se determinó la superficie específica de cada muestra. Para este ensayo se utilizó el equipo especificado en la norma pero con ciertos cambios en algunos procedimientos debido a que el material en estudio en este caso es distinto al cemento hidráulico. (Figura 14).

Se procedió al primer paso, tal como especifica la norma en su inciso 4, calibrando el equipo; esto para determinar el volumen de la celda y a su vez el tiempo que tarda en pasar de la segunda a la tercera marca del manómetro. Este procedimiento se realizó nuevamente hasta lograr una precisión de 0.005 cc.

Dicho procedimiento se realizó basándose en la en la figura X1.1 de la norma que da un ejemplo del método que debe utilizarse para determinar la superficie específica en caso que el material sea distinto del cemento portland. Se toman varios rangos de porosidades para que cumplan con las restricciones que dice la norma en su inciso 5.4, que básicamente explica que el embolo de la celda debe comprimir la muestra y el otro extremo del rango de porosidades utilizado, debe topar el embolo con la cabeza de la celda.

Básicamente el ensayo consiste en determinar el tiempo que tarda en pasar la cantidad de aire en la muestra, para lo cual se procedió a succionar el aceite (dibutilftalato) hasta la primera marca, luego se tomó el tiempo que tarda el aceite en bajar de la segunda a la tercera marca. Con este resultado, y utilizando el inciso 6 de la norma (fórmula 7) se pudo obtener la superficie específica de cada muestra.

fueron utilizados para presentar un mapa general del recorrido de la investigación. (Ver apéndice) Los mapas ubicados en el Instituto Geográfico Nacional (IGN) fueron escaneados y procesados en un *software*.

Los mapas utilizados son los mostrados en la tabla XIII:

Tabla XIII. **Mapas utilizados en el estudio**

Mapa	Hoja de referencia	Escala
Chiantla	1962 III G	1 : 50,000
Cubulco	2061 II	1 : 50,000
Los Pajales	2061 I G	1 : 50,000
Barrillas	1963 III	1 : 50,000
Amatitlán	2059 II G	1 : 50,000
Chiquimula	ND 16 – 5 G	1 : 250,000
Cobán	2162 III G	1 : 50,000
Cuilapa	2158 IV G	1 : 50,000
Guatemala	ND – 15 – 8 – G	1 : 250,000
Nebaj	1962 II G	1 : 50,000
Quetzaltenango	ND 15 – 7 G	1 : 50,000
Sanarate	2160 II G	1 : 50,000
Mapa red vial Guatemala		1 : 750,000
Tactic	2161 IV G	1 : 50,000
Tiritibol	2062 II G	1 : 50,000
Tucurú	2161 I G	1 : 50,000

Fuente: elaboración propia.

Los mapas ya procesados dieron a conocer las distintas áreas que abarca cada región, las regiones fueron delimitadas por la cantidad de material puzolánico que se encuentra por departamento. (Ver apéndice) Con estos datos se hizo un cálculo aproximado de los volúmenes del material que se encuentran cercanos a cada muestra; la medida del estrato se tomó de manera muy aproximada ya que es muy variable de región en región. (Tabla XIV)

Tabla XIV. **Áreas de material puzolánico por departamento**

Departamento	ID	ÁREA (KM2)	ESTRATO APROX. (KM)	VOLUMEN APROXIMADO (KM3)
HUEHUETENANGO	H1	5,7	0,05	0,28
	H2	51,6	0,05	2,58
	H3	3,9	0,05	0,20
	H4	48,0	0,05	2,40
QUICHÉ	Q1	21,2	0,05	1,06
	Q2	246,4	0,05	12,32
SAN MARCOS	SM1	65,4	0,05	3,27
QUETZALTENANGO	QZ1	53,4	0,05	2,67
	QZ2	40,0	0,05	2,00
	QZ3	92,1	0,05	4,61
TOTONICAPÁN	T1	461,5	0,05	23,07
	T2	51,8	0,05	2,59
SOLOLÁ	S1	221,6	0,05	11,08
	S2	30,5	0,05	1,53
	S3	13,3	0,05	0,67
	S4	5,1	0,05	0,25
SUCHITEPÉQUEZ	SQ1	1442,3	0,05	72,11
ESCUINTLA	E1	6,2	0,05	0,31
CHIMALTENANGO	CH1	798,3	0,05	39,92
GUATEMALA	G1	1385,2	0,05	69,26
JUTIAPA	J1	64,8	0,05	3,24
EL PROGRESO	P1	93,7	0,05	4,68
BAJA VERAPAZ	BJ1	155,3	0,05	7,77
ALTA VERAPAZ	AV1	43,2	0,05	2,16
AREA TOTAL		5 400,3 km ²		
VOLUMEN APROX. TOTAL			270,017 km ³	
<p>Nota: Los volúmenes pueden fácilmente estar influenciados por los valores de los estratos asumidos; así por ejemplo, si se estimara un estrato promedio de 150 metros, entonces los volúmenes podrían triplicarse. Esta situación únicamente podría verificarse con equipos sofisticados de emisión de ondas, los cuales son muy costosos; aún ellos mismos tienen limitaciones de alcance.</p>				

Fuente: elaboración propia.

2.2.2. Identificación de las muestras

Los resultados del recorrido previo se expresan en la tabla XV, donde se calificó de 1 a 10 cada aspecto del banco en estudio:

Tabla XV. Resultado evaluación previa de los bancos

No.	Identificación Muestra	Ubicación	Acceso	Uniformidad	Estratigrafía	Volumen	Calidad
1	1P	Km 22 ruta CA-9 a Palencia	10	8	10	10	8
2	1R	Km 84 CA-9	10	8	10	7	8
3	1M	Carretera Cobán a Morazán	8	8	10	10	8
4	1ARIS	Carretera Cobán a Morazán	8	8	10	10	8
5	1S	Salamá	6	8	10	5	8
6	1SC (Rosado)	Carretera Santa Cruz Verapaz hacia San Cristóbal Verapaz	7	6	6	5	8
7	2SC (Blanco)	Carretera Santa Cruz Verapaz hacia San Cristóbal Verapaz	7	6	6	5	8
8	1NPS	Km 147 de Rancho a Cobán	10	8	8	5	8
9	1GC	Camposanto Guastatoya	9	10	10	10	10

Fuente: elaboración propia.

Con el recorrido ya establecido, se procedió a la toma de muestras. Para esto se utilizaron herramientas como: palas, piocha, cuaderno de apunte, sacos, etc. Para determinar las coordenadas de cada punto se utilizó un GPS marca Garmin HText; se tomaron fotografías de cada lugar con una cámara fotográfica digital marca Sony de 12 MP de capacidad fotográfica, 10x de zoom.

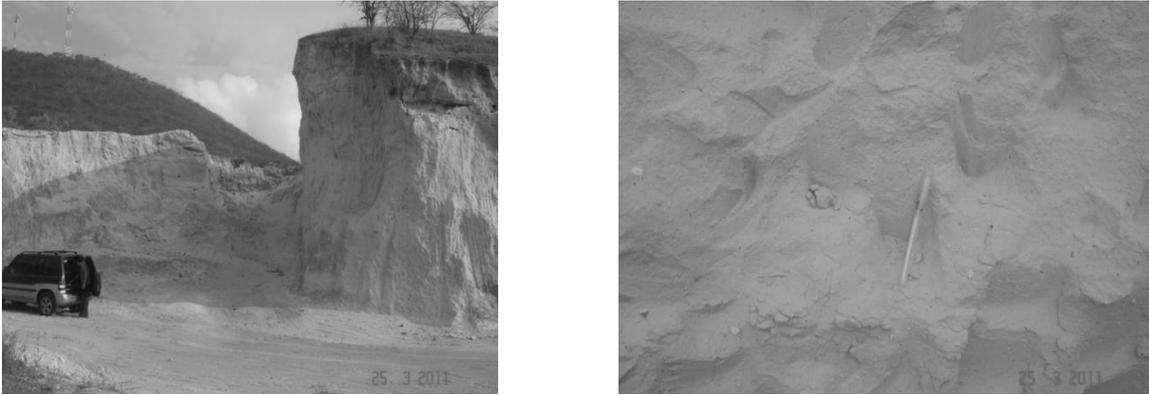
La descripción del recorrido fue la siguiente:

Se hizo el recorrido por la carretera CA-9 hasta El Rancho, luego partiendo hacia Cobán por la carretera CA-14. Se procedió a identificar los bancos y lugares que se consideraron importantes para el estudio, obteniendo el siguiente listado de puntos, cada uno con sus características y datos importantes y utilizando una ficha informativa que fue llenada en campo (ver apéndice):

- Banco 1
 - Lugar: Km 84 (señalización carretera) carretera CA-9
 - Identificación muestra: 1R
 - Coordenadas: N 14° 54' 46.4"; W 90° 01' 12.6"
 - Altura: 350 m.s.n.m.
 - Descripción:

Se encontró una capa de color rosado, expuesta en una altura aproximadamente de 4 m sobre la superficie fácilmente extraíble. Este material parece ser lapilli correspondiente a un depósito de pómez. En la parte superior sedimentos en capas que oscilan entre 50 cm y 2 m de espesor. Ilustraciones del banco de este material se observan en la figura 15.

Figura 15. **El Rancho**



Fuente: Km. 84 carretera CA -9 con asesoría del Ing. Quiñónez de la Cruz.

- Banco 2

- Lugar: Km. 100 carretera departamental 7, CA14 – Morazán.
- Identificación muestra: 1ARIS
- Coordenadas: N 14° 56' 46.4"; W 90° 07' 33.1"
- Altura: 356 m.s.n.m.
- Descripción:

Muchos cerros de ceniza con cortes expuestos de 15 m de espesor aproximadamente. No se pudo observar la capa de color rosado similar a la que había en los otros lugares. Se encontró ceniza expuesta capa vegetal de 15 cm con material fino y arena pómez. Ilustraciones del banco de este material se observan en la figura 16.

Figura 16. **Aristondo**



Fuente: Km 100 carretera departamental 7, CA -9 - Morazán con asesoría por el Ing. Quiñónez de la Cruz.

- Banco 3
 - Lugar: Km. 95.4 aproximadamente, carretera departamental 7, CA14 – Morazán.
 - Identificación muestra: 1M
 - Coordenadas: N 14° 55' 46.74"; W 90° 06' 27.78"
 - Altura: 368 m.s.n.m.
 - Descripción:

Capa de material sedimentario de la superficie hacia arriba, debajo de las cuales subyace un banco de pómez compuesto de ceniza y arena. Existen muchos cerros alrededor de este material y se toma como referencia para el banco muestreado, el cementerio Marujama a la orilla de la carretera. Ilustraciones del banco de este material se observan en la figura 17.

Figura 17. **Marujama**



Fuente: Km 95.4 carretera departamental 7, CA -9 – Morazán con asesoría del Ing. Quiñónez de la Cruz.

- Banco 4
 - Lugar: Barrio Santa Elena, Salamá
 - Identificación muestra: 1S
 - Coordenadas: N 15° 05' 53.7"; W 90° 18' 23.9"
 - Altura: 941 m.s.n.m.
 - Descripción:

Ceniza que aflora 5 m sobre superficie con una capa vegetal entre 20-60 cm de espesor, existen construcciones sobre el depósito y se observan muchos conos del mismo material en Salamá, hacia San Miguel Chicaj. Ilustraciones del banco de este material se observan en la figura 18.

Figura 18. **Barrio Santa Elena**



Fuente: Salamá con asesoría del Ing. Quiñónez de la Cruz.

- Banco 5
 - Lugar: Km. 147.2 carretera CA14-Cobán.
 - Identificación muestra: 1NPS
 - Coordenadas: N 15° 08' 8.8"; W 90° 10' 39"
 - Altura: 1494 m.s.n.m.;
 - Descripción:

Teniendo como referencia el rótulo de la entrada a la Comunidad Niño Perdido se pudo encontrar ceniza con muy pequeña cantidad de arena pómez, se observó una capa vegetal de 10 cm de espesor en la cual hay un limo de aproximadamente 1 m y la altura de la ceniza es aproximadamente de 12 m de espesor, en un área total del banco de media manzana, aproximadamente. Ilustraciones del banco de este material se observan en la figura 19.

Figura 19. **Niño Perdido Salamá**



Fuente: Km. 147.2 carretera CA – 14 con asesoría del Ing. Quiñonez de la Cruz.

- Banco 6
 - Lugar: Carretera departamental 7W CA14 – San Cristóbal Verapaz.
 - Identificación muestra: 1SC – 2SC
 - Coordenadas: N 15° 22' 20.4"; W 90° 27' 4.2"
 - Altura: 1393 m.s.n.m.
 - Descripción:

Cerro de ceniza con capa vegetal de 15 cm de espesor aproximadamente, debajo de la cual hay una capa de color rosado de 1 m de espesor no uniforme y luego la capa blanca visible de 3 m de altura. Ilustraciones del banco de este material se observan en la figura 20.

Figura 20. **San Cristóbal Verapaz**



Fuente: Carretera departamental 7W CA14 – San Cristóbal Verapaz con la asesoría del Ing. Quiñónez de la Cruz.

- Banco 7
 - Lugar: Guastatoya
 - Identificación muestra: 1GC
 - Coordenadas: N 14° 51' 24.6"; W 90° 4' 42.3"
 - Altura: 538 m.s.n.m.
 - Descripción:

Ceniza pómez de color rosado expuesta 4 m de altura, con escasa capa vegetal. Ilustraciones del banco de este material se observan en la figura 21.

Figura 21. **Guastatoya**



Fuente: El Progreso con asesoría del Ing. Quiñónez de la Cruz.

- Banco 8
 - Lugar: Km. 22 carretera departamental 6, CA9 - Palencia
 - Identificación muestra: 1P
 - Coordenadas: N 14° 41' 52.44"; W 90° 22' 21.84"
 - Altura: 989 m.s.n.m.
 - Descripción:

Capa cubierta por arenas y limos pumicíticos que, hacia arriba, pasan gradualmente a diatomitas. Ilustraciones del banco de este material se observan en las figura 22.

Figura 22. **Palencia**



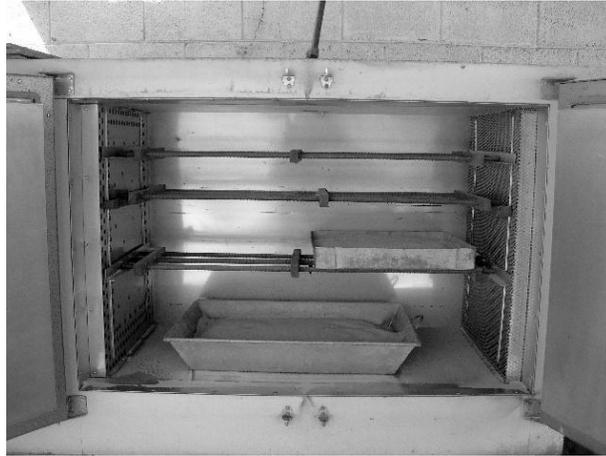
Fuente: Km. 22 carretera departamental 6, CA9 – Palencia con asesoría del Ing. Quiñónez de la Cruz.

Cada muestra encontrada coincide con el área de material puzolánico que se describió en el mapa del recorrido (ver mapa en anexo).

2.2.3. Secado de la muestra

El material fue introducido en un horno en recipientes metálicos, sin que los recipientes tengan una capa muy gruesa de material. Las muestras fueron secadas a 110 °C durante 24 horas como se muestra en la figura 23:

Figura 23. **Muestra colocada en Horno**



Fuente: Sección de prefabricados con asesoría del Ing. Quiñónez de la Cruz.

Calculando el porcentaje de humedad que tiene la muestra en su estado natural se realizó el siguiente procedimiento, este con base en la norma ASTM D 2216 – 10 “*Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass*” en su inciso 11:

$$W = M_w / M_s \times 100$$

Donde:

W = contenido de humedad de la muestra (%)

M_w = Masa de agua (Masa muestra húmeda – Masa muestra seca)

M_s = Masa de la muestra Total

Calculando la humedad que tiene la muestra con identificación 1R:

Masa muestra húmeda = 15 kg

Masa muestra seca = 13,18 kg

$M_w = 15 \text{ kg} - 13,18 \text{ kg} = 1,82 \text{ kg}$

$M_s = 15 \text{ kg}$

$W = 1,82 \text{ kg} / 15 \text{ kg} \times 100 = 12,13 \%$

Los resultados de todas las muestras se muestran en la tabla XVI:

Tabla XVI. **Resultados porcentaje de humedad**

MUESTRA	Masa húmeda	Masa Seca	% de humedad
1P	15	12,5	16,67
1ARIS	15	12,05	19,70
1R	15	13,18	12,13
1M	15	13,41	10,00
1S	15	14,77	1,52
2SC	15	14,55	3,03
1GC	15	13,18	12,12
1NPS	15	13,64	9,09
1SC	15	12,37	17,55

Fuente: elaboración propia.

2.2.4. Resultados del ensayo tamiz 1/4"

El porcentaje que pasó en el tamiz 1/4 "se muestra en la tabla XVII; las muestras a las que no se les realizó el ensayo fue porque en su totalidad pasaron el tamiz 1/4".

Tabla XVII. Porcentaje que pasa tamiz 1/4"

MUESTRA	PESO MUESTRA (kg)	PESO RETENIDO (kg)	% QUE PASA
1P	-	-	-
1ARIS	12	0,03	99,75
1R	-	-	-
1M	-	-	-
1S	13,5	0,15	98,98
2SC	13,7	0,28	97,95
1GC	14,6	0,13	99,11
1NPS	8,2	0,08	99,02
1SC	13,64	0,91	93,32

Fuente: elaboración propia.

2.2.5. Resultados del ensayo tamiz # 30

Los resultados del porcentaje que pasa el tamiz # 30 (muestra en estado natural) se expresan en la tabla XVIII:

Tabla XVIII. Porcentaje que pasa tamiz # 30

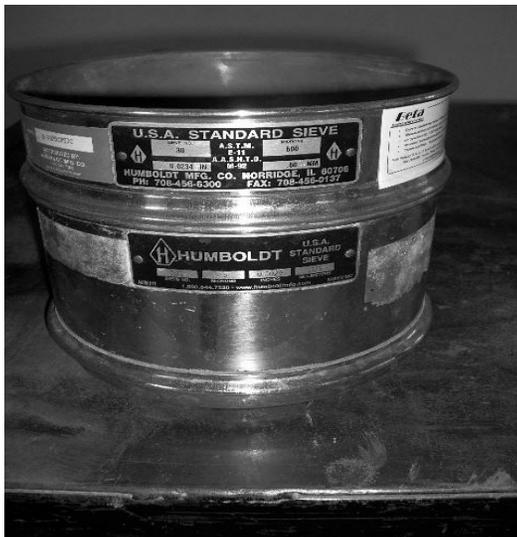
MUESTRA	PESO MUESTRA (gr)	PESO RETENIDO (gr)	% QUE PASA
1P	400	160	60
1ARIS	400	44	89
1R	400	27	93
1M	400	107	73
1S	400	32	92
2SC	387	40	90
1GC	400	48	88
1NPS	400	48	88
1SC	378	54	85

Fuente: elaboración propia.

2.2.6. Resultados del ensayo tamiz # 200

Este ensayo se realizó por el método húmedo que consiste en hacer pasar la muestra por el tamiz # 200. Esto se realiza colocando en un recipiente la muestra y luego se humedece hasta que cubra todo el material, se agita suavemente y se hacer pasar el agua por el tamiz # 200, se repite este procedimiento hasta que el agua que pase el tamiz sea clara.

Figura 24. Ensayo tamiz # 200



Tamiz # 200 y # 30 utilizado para el ensayo



Colocación de tamices debajo de manómetro utilizado para el ensayo

Fuente: Laboratorio de suelos del Centro de Investigaciones de Ingeniería con asesoría del Ing. Quiñónez de la Cruz.

Los resultados del porcentaje que pasa el tamiz # 200 (muestra en estado natural) se expresan en la tabla XIX:

Tabla XIX. **Porcentaje que pasa tamiz # 200**

MUESTRA	PESO MUESTRA (gr)	PESO RETENIDO (gr)	% QUE PASA
1P	400	316,7	20,83
1ARIS	358	268	25,14
1R	372	230	38,17
1M	289	257	11,07
1S	200	155	22,50
2SC	200	136	32,00
1GC	200	106	47,00
1NPS	358	245	31,56
1SC	200	125	37,50

Fuente: elaboración propia.

2.2.7. Molienda

La figura 25 muestra el procedimiento de la molienda de cada material.

Figura 25. **Proceso molienda**



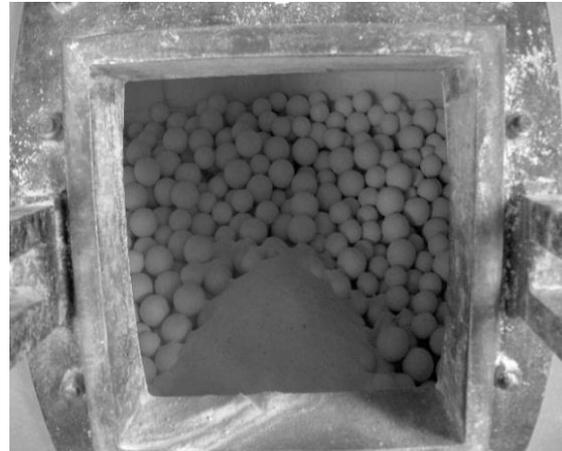
Molino previo a colocar el material



Molino al colocar el material a moler



Molino al colocar las bolas para moler



Molino con material y bolas

Fuente: Sección de Prefabricados del Centro de Investigaciones de Ingeniería con asesoría del Ing. Quiñónez de la Cruz.

2.2.8. Resultados del ensayo tamiz # 325

Realizando el procedimiento como se explicó en la metodología, se obtuvieron los resultados de la calibración así como los del ensayo de los materiales. Para la calibración del tamiz # 325 se utilizó cemento tipo 114Q que sirve para determinar el factor de corrección.

Figura 26. Ensayo tamiz # 325



Tamiz # 325 colocado debajo de manómetro a una presión de 10 psi

Balanza de precisión



Material pesado en balanza de precisión

Fuente: Laboratorio de Química del Centro de Investigaciones de Ingeniería con asesoría del Ing. Quiñónez de la Cruz

Calculando según el inciso 7 de la norma y utilizando el factor de corrección (C) obtenido de la calibración, se obtuvieron los datos siguientes:

Muestra: 1P
Horas de molido: 1

Peso de la muestra: 2.11 g
Peso retenido: 0,298 g

Factor de corrección (C): 20.27

$$R_c = R_s \times (100 + C)$$

Donde

R_c = Porcentaje retenido corregido

R_s = Material retenido de ensayo en g

C = Factor de corrección

$$R_c = (0,298 \text{ g}) \times (100 + 20,27) = 35,84 \%$$

$$F = 100 - R_c$$

Donde

F = Porcentaje del material que pasa el tamiz

R_c = Porcentaje retenido corregido

$$F = 100 - (35,84) = 64,16 \%$$

La tabla XX muestra los resultados obtenidos del tamiz # 325.

Tabla XX. Porcentaje que pasa tamiz # 325

MUESTRA	HORAS DE MOLIENDA	PESO MUESTRA (g)	PESO RETENIDO (gr)	C	Rc	F (% pasa)
1P	1	2,11	0,298	20,27	35,84	64,16
	2	2,024	0,003	20,27	0,36	99,64
	3	1,87	0,002	20,27	0,24	99,76
1 ARIS	1	2,226	0,163	20,27	19,60	80,40
	2	2,177	0,006	20,27	0,72	99,28
	3	2,077	0,005	20,27	0,60	99,40
1R	1	2,014	0,165	20,27	19,84	80,16
	2	2,019	0,1	20,27	12,03	87,97
	3	2,049	0,005	20,27	0,60	99,40
1M	1	2,208	0,45	20,27	54,12	45,88
	2	2,035	0,022	20,27	2,65	97,35
	3	2,138	0,007	20,27	0,84	99,16
1S	1	2,005	0,044	20,27	5,29	94,71
	2	1,98	0,041	20,27	4,93	95,07
	3	2,053	0,002	20,27	0,24	99,76
2SC	1	2,124	0,356	20,27	42,82	57,18
	2	2,103	0,114	20,27	13,71	86,29
	3	2,142	0,023	20,27	2,77	97,23
1GC	1	2,089	0,375	20,27	45,10	54,90
	2	2,000	0,004	20,27	0,48	99,52
	3	2,042	0,001	20,27	0,12	99,88
1NPS	1	1,814	0,127	20,27	15,27	84,73
	2	2,053	0,014	20,27	1,68	98,32
	3	2,331	0,006	20,27	0,72	99,28
1SC	1	2,028	0,662	20,27	79,62	20,38
	2	2,069	0,151	20,27	18,16	81,84
	3	2,083	0,012	20,27	1,44	98,56

Fuente: elaboración propia.

2.2.9. Resultados del ensayo de pérdida por ignición

Los resultados obtenidos en el procedimiento para determinar la pérdida por calcinación son mostrados en la tabla XXI.

Tabla XXI. Pérdida por ignición

MUESTRA	PÉRDIDA POR IGNICIÓN (%)	Desviación estándar (%)	Coefficiente de variación
1P	2,47	± 0,0848	1,94 %
1R	2,6	± 0,0079	0,3 %
1M	1,87	± 0,0461	2,47 %
1ARIS	3,03	± 0,3204	10,57 %
1S	2,65	± 0,0282	1,06 %
1SC	3,46	± 0,0427	1,23 %
2SC	3,1	± 0,2792	9,00 %
NPS	3,14	± 0,0596	1,9 %
1GC	2,35	± 0,0524	2,23 %

Fuente: elaboración propia.

2.2.10. Resultado del ensayo de fracción soluble en agua

Los resultados obtenidos en el procedimiento para determinar la fracción soluble en agua se encuentran en la tabla XXII, que contiene el porcentaje que puede ser diluido en agua.

Tabla XXII. Fracción soluble en agua

MUESTRA	PORCENTAJE SOLUBLE EN AGUA (%)	Desviación Estándar (%)	Coefficiente de Variación
1P	194	± 1,06	5,46 %
1R	12,9	± 2,40	18,6 %
1M	13,05	± 3,18	24,37 %
1ARIS	14,95	± 1,48	9,9 %
1S	12,25	± 1,63	13,31 %
1SC	17,25	± 3,32	19,25 %
2SC	15,65	± 3,25	20,77 %
NPS	18,25	± 0,78	4,27 %
1GC	12,40	± 3,25	26,21 %

Fuente: elaboración propia.

2.2.11. Resultado de ensayo peso específico

Los pesos específicos de cada muestra son mostrados la tabla XXIII, utilizando el equipo mostrado en la figura 27.

Figura 27. **Equipo ensayo peso específico**



Fuente: Laboratorio de Química del Centro de Investigaciones de Ingeniería con asesoría del Ing. Quiñónez de la Cruz.

Tabla XXIII. **Peso específico**

Muestra	Peso específico (g/cc)	Desviación estándar (g/cc)	Coficiente de variación
1ARIS	2,392	± 0,002	0,08 %
1S	2,457	± 0,0085	0,35 %
1M	2,548	± 0,0611	2,4 %
1R	2,376	± 0,0077	3,24 %
2SC	2,370	± 0,0002	0,01%
1GC	2,376	± 0,0081	0,34 %
1NPS	2,332	± 0,0532	2,28 %
1SC	2,374	± 0,0160	0,67 %
1P	2,383	± 0,0018	0,08 %

Fuente: elaboración propia.

2.2.12. Resultado del ensayo de finura Blaine

Según el inciso 4 de la norma ASTM C 204 – 00 “*Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by Air-Permeability Apparatus*” que especifica los pasos que se deben seguir para la calibración del aparato utilizando cemento estándar 114 Q, al realizar la calibración se obtuvieron los siguientes resultados:

Temperatura= 23,5 °C

De tabla 1 de la norma se determina la densidad del mercurio:

$$D_{\text{mercurio}} = 13,54 \text{ g / cc}$$

Realizando el procedimiento de calibración establecido en el inciso 4 de la norma, se obtienen los siguientes pesos:

$$W_{a1} = 104,052 \text{ g} \quad W_{b1} = 78,691 \text{ g}$$

Aplicando la fórmula (1) de la norma ASTM C 204 – 00 se obtiene:

$$V_1 = (W_a - W_b) / D_{\text{mercurio}} = (104,02 \text{ g} - 78,691 \text{ g}) / 13,54 \text{ g / cc} = 1,873 \text{ cc}$$

Tomando el tiempo que tarda el aceite en bajar de la segunda a la tercera marca se obtiene:

$$T_{s1} = 59,94 \text{ s}$$

Repitiendo el procedimiento anterior, se obtuvieron los datos de la segunda calibración, en la cual la diferencia de volumen obtenido no debe ser mayor que 0.005 cc.

$$W_{a2} = 104,053 \text{ g } W_{b2} = 78,673 \text{ g}$$

$$V_2 = (104,053 \text{ g} - 78,673 \text{ g}) / 13,54 \text{ g / cc} = 1,875 \text{ cc}$$

$$T_{s2} = 59,94 \text{ s}$$

$$\text{Diferencia de volumen} = |V_1| - |V_2| = 1,875 \text{ cc} - 1,873 \text{ cc} = 0,002 \text{ cc}$$

$$V_{\text{promedio}} = 1,874 \text{ cc } t_{\text{spromedio}} = 55,62 \text{ s}$$

Debido a que en uno de los ensayos el aceite se salió del manómetro, se procedió a su reparación y calibración nueva con los siguientes resultados:

$$W_{a1} = 104,043 \text{ g } W_{a2} = 104,001 \text{ g}$$

$$W_{b1} = 78,316 \text{ g } W_{b2} = 78,343 \text{ g}$$

$$D_{\text{mercurio}} = 13,54 \text{ g / cc } D_{\text{mercurio}} = 13,54 \text{ g / cc}$$

$$\text{Temperatura} = 24 \text{ } ^\circ \text{C } \text{Temperatura} = 24 \text{ } ^\circ \text{C}$$

$$V_1 = 1,899 \text{ cc } V_2 = 1,895 \text{ cc}$$

$$T_{s1} = 49,82 \text{ s } T_{s2} = 53,84 \text{ s}$$

$$\text{Diferencia de volumen} = |V_1| - |V_2| = 1,899 \text{ cc} - 1,895 \text{ cc} = 0,004 \text{ cc}$$

$$V_{\text{promedio}} = 1,897 \text{ cc } t_{\text{spromedio}} = 51,83 \text{ s}$$

Utilizando 4 porosidades distintas y se realizaron 3 veces cada porosidad, de todos estos ensayos se hizo un promedio del valor de superficie específica de cada uno y promediando a su vez cada uno de ellos, se obtuvo el valor final. (ver anexo)

Muestra 1NPS $V_{\text{celda}} = 1,874 \text{ cc}$

$D_{\text{material}} = 2,364 \text{ g / cc}$

Prueba 1

Porosidad (ϵ) = 0,56

$\text{Peso (W)} = D_{\text{material}} \times V_{\text{celda}} \times (1 - \epsilon) = (2,364 \text{ g / cc}) \times (1,874 \text{ cc}) \times (1 - 0,56) = 1,949 \text{ g}$

Tiempo de ensayo (t) = 102,29 s

Una vez obtenidos los resultados anteriores y realizando el mismo procedimiento con las distintas porosidades, se obtuvieron los resultados de la tabla siguiente:

Tabla XXIV. **Tiempos del ensayo superficie específica**

Prueba	Porosidad (ϵ)	V_{celda}	Peso (W)	Tiempo (t)
1	0,56	1,874	1,923	87,98
1	0,52	1,874	2,098	134,03
1	0,48	1,874	2,272	206,83
1	0,46	1,874	2,447	320,55

Fuente: elaboración propia.

Con estos datos y siguiendo con lo estipulado en el inciso 6.1.4 de la norma ASTM C 204 – 00 “*Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by Air-Permeability Apparatus*” que dicta que se debe obtener un coeficiente de correlación mayor a 0.9970 de los valores de la tabla XXIV. Este valor se obtiene graficando $\sqrt{\epsilon^3 \times t}$ versus ϵ . Si el valor del coeficiente de correlación está por encima del rango antes mencionado, puede determinarse el valor de b (ver apéndice).

El valor de b es el promedio de las 3 repeticiones que se realizan en el ensayo y este es el valor que intercepta el eje “y” en la gráfica $\sqrt{\epsilon^3 \times t}$ versus ϵ . Con los anteriores resultados complementados por los siguientes, se pudo determinar la superficie específica de la muestra en cada prueba. Se promedia el valor obtenido por cada porosidad y a su vez se busca el promedio de todas las repeticiones.

Se utiliza la fórmula (7) de la norma, que dicta lo siguiente:

$$\frac{S}{S_s} = \frac{D_{\text{material}}}{D_{\text{cemento}}} \left(\frac{\epsilon_s}{\epsilon} \right)^b \left(\frac{T}{T_s} \right)^b$$

Donde:

S = superficie específica del material

S_s = superficie específica del cemento estándar 114 Q

D_{cemento} = densidad del cemento estándar 114 Q

$b_s = 0.9$

ϵ = porosidad cemento estándar 114 Q

D_{material} = densidad del material

b = Valor determinado por gráfica (ver anexo)

ϵ_s = porosidad utilizada en muestra

T = tiempo detenido de ensayo

T_s = tiempo obtenido de calibración

Sustituyendo los siguientes datos en la fórmula, se determinó la superficie para la porosidad dada.

$$S_s = 3818 \text{ cm}^2 / \text{g} D_{\text{material}} = 2,364 \text{ g} / \text{cc}$$

$$D_{\text{cemento}} = 3,15 \text{ g} / \text{ccb} = 1,772$$

$$b_s = 0,9 \quad \epsilon = 0,56$$

$$\epsilon_s = 0,5 \quad T = 102,29 \text{ s}$$

$$T_s = 55,62 \text{ s}$$

$$S = 3115 \text{ cm}^2 / \text{g}$$

$$S_{\text{promedio}} = 3036 \text{ cm}^2 / \text{g}$$

El resultado de cada muestra se indica en la tabla XXV.

:

Tabla XXV. Superficie específica (finura Blaine)

Muestra	Superficie específica (cm² / g)	Desviación estándar (cm²/g)	Coficiente de variación
1ARIS	4212	± 7,02	0,16 %
1S	4712	± 6,68	0,14 %
1M	4612	± 12,10	0,26 %
1R	4274	± 8,62	0,20 %
2SC	6630	± 8,91	0,13 %
1GC	2922	± 1,97	0,07 %
1NPS	9463	± 66,93	0,71 %
1SC	6769	± 6,29	0,09 %
1P	5086	± 11,91	0,23 %

Fuente: elaboración propia.

3.ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Investigación geológica

De los documentos consultados se pudo determinar que las muestras son tobas producidas por cenizas volcánicas. Son necesarios ensayos más específicos para realizar una clasificación mineralógica, sin embargo, por una descripción macroscópica y por aportes de los distintos autores de los documentos consultados, se pudo identificar cuales son las características básicas pero no menos importantes de cada muestra.

Las muestras son de origen volcánico extrusivo de la era Cuaternaria, esto se concluye haciendo la comparación de las coordenadas donde se extrajo el material, con el mapa geológico antes estudiado (Ver mapa en apéndice). En el recorrido se hizo una breve descripción de los bancos, pero para propósitos del estudio se realizó una descripción de cada muestra.

Las coordenadas obtenidas de los lugares exactos de donde se extrajeron las muestras coincidieron con la delimitación del material puzolánico realizado de los mapas geológicos. La única muestra que no coincidió con esto es la 1NPS; esto se debe a que el banco es de un volumen por debajo del rango, para que el mapa geológico lo contenga.

Los mapas realizados tienen un rango de error bastante amplio comparado con lo visto en campo. Esto es debido a que en el proceso de escaneo, manejo en los programas de computación y en la toma de coordenadas en los lugares, existe un grado de precisión bastante pequeño. En el escaneo de los mapas fue necesario utilizar una resolución baja (300 ppp) ya que resoluciones más grandes son imposibles de manejar en computadoras de uso doméstico. La precisión de las coordenadas obtenidas depende del número de satélites que se lograron captar en el lugar, esto también da un rango de error al momento de ubicar los puntos en los mapas.

Pómez del periodo cuaternario abarca gran parte de la región central del país, distribuido en estratos de distintos tamaños y con diferentes características. Se dificulta obtener los tamaños exactos de estos estratos por región, con lo cual el volumen obtenido de 270.017 km^3 es un valor que plenamente está fuera de la realidad; sin embargo, da una idea de la cantidad tan abundante de material que existe en el país.

La muestra de San Cristóbal Verapaz identificada como 1SC, es una ceniza volcánica pomácea de color rosado; tiene este color característico probablemente por la presencia de feldespato potásico. Este material posiblemente corresponde al mismo estrato de la muestra de El Rancho (1R), asimismo con la del banco de Guastatoya (1GC).

En estos materiales, al ser ensayados en el tamiz # 30, se identificó una tendencia en el tamaño del grano que va de norte hacia este, es decir que el tamaño de grano va disminuyendo conforme se va acercando hacia la parte este. Este material puede tener su origen en una explosión volcánica que abarcó gran parte de la región noreste, ya que el mismo estrato fue visto en varios lugares en los cuales se sale de la delimitación de este documento.

El estrato de material de color rosado, se encuentra cercano al municipio de San Francisco el Alto del departamento de Totonicapán, también en los alrededores del municipio de Salcajá del departamento de Quetzaltenango.

La muestra de Palencia (1P) pertenece a una gran área de pómez que abarca aproximadamente 500 km². Este material de color blanco es de grano bastante grueso, ya que pasa un porcentaje bastante bajo en los tamices # 30 y # 200. Por su parte, la muestra de Salamá (1S) tiene similares características que la 1P, pero con la diferencia que tiene más fineza. (Ver tabla XXIII, XIX)

La muestra de la aldea El Niño Perdido Salamá (1NPS) es de color beige y es un banco que tiene un área bastante pequeña, por lo cual en el mapa geológico no aparece. Estos depósitos de pómez están repartidos en pequeñas porciones en zonas cercanas. Esta muestra es de grano bastante fino ya que pasa en un 88 % el tamiz # 30 y en un 31.56 % en el tamiz # 200.

3.2. Ensayos de laboratorio

Las características físicas de cada material proporcionan información importante para una identificación previa de las muestras que finamente divididas, darán mejor reactividad puzolánica. Estos parámetros no son condicionantes de que las muestras en mejor estado físico vayan a tener una mejor reactividad, sino que se requiere de estudios químicos, mineralógicos e incluso mecánicos, para tener una mejor decisión respecto de las mejores muestras.

El porcentaje máximo que debe ser retenido en el tamiz # 325 es 34 % para una muestra tipo N (puzolana natural) según la norma ASTM C 618-08a "*Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan*

for Use as a Mineral Admixture in Concrete, 2008". Algunas muestras tienen una fineza bastante alta a la primera hora de molienda; se puede decir que el material llega a una fineza adecuada después de 2 horas de molienda, sin embargo, depende del volumen de material introducido en el molino y de la carga de choque y desgaste en el proceso.

Esta característica es de mucha importancia, y en las muestras procesadas se interpreta que no se necesita mucha energía para llegar a una fineza adecuada. La muestra identificada como 1S muestra los mejores valores de fineza, obteniendo un valor del 94 % que pasa el tamiz # 325. En la muestra 1S que presenta una fineza alta con 1 hora de molienda, se espera una reactividad puzolánica alta. Esta muestra, que en su estado natural presenta una fineza adecuada, se espera que al ser ensayada mecánicamente, muestre propiedades por encima de los requisitos mínimos recomendados por las normas internacionales.

El ensayo de Pérdida por ignición dio resultados favorables para su uso; el rango de resultados oscila entre 1.5 – 3.15 de un valor máximo de diez por ciento según la norma ASTM C 311 – 11a "*Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use as a Mineral Admixture in Portland – Cement Concrete*". Cabe destacar que la muestra 1S tiene un 2.65 % que es un valor muy cercano al promedio de todas las muestras, que es de 2.74 %. En este ensayo la mejor muestra es la identificada como 1M, lo cual podría ser indicativo de que posee poca cantidad de materia orgánica.

La muestra 1R que posee un valor alto de fineza con poco tiempo de molienda y tiene un valor aceptable en la pérdida de peso por ignición, se espera que tenga una reactividad puzolánica alta y que mejore propiedades

ingenieriles al ser mezclada con cemento portland, aunque ello depende también de su mineralogía.

El porcentaje del material soluble en agua es más alto que el máximo propuesto por la norma C 114 – 11a “*Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement*”, que no debe ser mayor al 10%. Este parámetro tiene importancia en las características del material pero no tiene influencia directamente en las propiedades mecánicas de este; sin embargo, al tener otros parámetros desfavorables a la reactividad puzolánica este valor podría toma mayor importancia.

La muestra 1S que tiene características favorables tanto en fineza como en pérdida por ignición, tiene un valor cercano al 10% de fracción soluble en agua. Los valores de superficie específica se encuentran entre los 2 900 y 9 500 cm^2/g , teniendo un promedio de 5 408 cm^2/g , aunque el valor de 9 500 cm^2/g está sujeto aún a revisión.

Muchos autores difieren entre cuál es el mejor rango para esta propiedad que dé como resultado mejor reactividad; pero siguiendo los ensayos mecánicos que se están realizando al momento de redactar este documento, se pudo observar que la muestra 1S tiene un alto grado de reactividad al ser mezclada con cemento portland; los resultados de estos ensayos se encuentran en la tesis del investigador Pablo José Bautista Gallardo.

El rango de superficie específica debe ser comparado con ensayos mecánicos para poder determinar un rango apropiado que beneficie esta propiedad. Las demás muestras, aunque han tenido valores bajos o medios en los ensayos físicos, han tenido resultados más altos de lo esperado en los

ensayos mecánicos realizados según especificaciones de las normas internacionales.

CONCLUSIONES

1. En el país existen grandes estratos de material pomáceo de origen volcánico, debido a que Guatemala se encuentra ubicada en una región que tuvo y aún tiene alta actividad volcánica.
2. Los documentos encontrados y analizados fueron de gran ayuda para la redacción de este documento. Autores como Sapper, Dengo, Bohnenberger y Weyl que realizaron estudios geológicos de la región en distintas ramas (vulcanología, estratigrafía, etc) son aún utilizados como base para estudios posteriores; sin embargo, algunas obras han sido olvidadas en bibliotecas o centros de estudio que no las tienen almacenadas y clasificadas adecuadamente.
3. Las distintas investigaciones geológicas, y específicamente en el documento que lleva por nombre “Geology of Central America” realizado por Richard Weyl, fue el inicio del mapa geológico de Guatemala que se conoce actualmente. Posteriormente, se realizaron mapas específicos de cada región, sin embargo, el estudio fue inconcluso por razones desconocidas.
4. Puzolana es un término muy general, que especifica un grupo de materiales cementantes. Tomando en cuenta esto se delimitaron las regiones donde se encontraba pómez en toda Guatemala, utilizando como base los mapas geológicos por región ubicados en el Instituto Geográfico Nacional. Este tipo de material abundante tanto en la región oeste, central,

oriente y en pequeña parte la región norte, demuestra tener características físicas aceptables para su uso en la construcción.

5. El estudio se enfocó en la región nororiente y las Verapaces de Guatemala, ya que los mapas geológicos de algunas regiones del oriente son inexistentes. En esta región se pudo determinar que el material se encontró en abundancia, ya que pómez cuaternaria abarca gran parte de la región central del país. En las Verapaces, el material se encuentra en menores proporciones; siguiendo mapas geológicos, sin embargo, el material encontrado en esta región es de alto valor, siendo caracterizado de forma física.
6. El estrato de material de color rosado identificado en el mapa como 1R, 1SC y 1GC (ver apéndice), se pudo haber originado de erupciones de gran magnitud, ya que el mismo se encuentra en la región occidente del país.
7. La presencia de material puzolánico se encuentra en toda la franja volcánica de Guatemala, concentrándose en gran parte en la región central. Esta región abarca departamentos como Guatemala, Sacatepéquez, Chimaltenango, Suchitepéquez, donde existe en abundancia, pero a medida que se recorre hacia el norte, este material es más escaso.
8. La muestra 1P, que se encuentra dentro de un área de 1385 km², es una pómez de color blanco siendo este su color característico. Esta muestra, por su tamaño de grano, es una ceniza que posiblemente forma una toba volcánica. Este material presenta 2,47 por ciento de pérdida por ignición,

este es un valor por debajo del 10 por ciento máximo requerido por las normas internacionales.

9. La muestra 1GC, que tiene un área aproximada de 93.7 km² de material expuesto, es una ceniza volcánica de color rosado, el cual puede ser producto de la presencia de feldespato potásico. Este material tiene un peso específico de 2 376 g/cc; dicho valor es el mismo en cierto rango para la muestra 1R y 1SC.
10. La muestra 1R, que se encuentra dentro de un área de 93.7 km², muestra un color rosado con características parecidas a la muestra 1GC y 1SC. Estas 3 muestras tienen finezas parecidas en los distintos tamices.
11. La muestra de Marujama (1M) se encuentra dentro de la misma área que 1R y 1GC, pero pertenece a un estrato distinto ya que es de color beige, con un peso específico distinto. Este material es una ceniza pómez.
12. La muestra 1ARIS presenta características parecidas a 1M; se diferencia en el color, pero sigue siendo ceniza pomácea blanca. Haciendo una comparación en fineza entre ambas, se puede concluir que la muestra 1ARIS es más fina que 1M.
13. La muestra 1S se encuentra dentro de un área de 155,3 km² aproximadamente de material expuesto. Este material de color blanco tiene varias características que indican ser una toba formada por una ceniza pomácea. Este material presenta una fineza alta en estado natural debido a que pasa un 92 % el tamiz # 30; también al ser molido durante 1 hora, presenta una fineza al ser pasado por malla # 325 de 94,71 por ciento.

14. Las muestras 1SC y 2SC son consideradas estratos distintos pero con características similares. Ambas son pómez y tanto en peso específico como en superficie, presentan similares resultados.
15. El banco identificado como 1NPS no se encuentra dentro de un área delimitada por los mapas geológicos, debido a que es un área muy pequeña o que no se halla expuesta para ser delimitada por los mapas geológicos. Este material pomáceo, de color beige, es una ceniza. Presenta una superficie específica altísima esperando una reactividad puzolánica alta.
16. Algunas muestras como 1S y 1R, utilizadas en estado natural, presentan una fineza adecuada para la fabricación de cementos de albañilería o para ser mezcladas con cemento portland, esto deberá ser evaluado con ensayos mecánicos.
17. La superficie específica es de vital importancia para la reactividad de este material; claramente la muestras estudiadas presentan superficies de gran tamaño.
18. Los resultados obtenidos en la evaluación física son satisfactorios en relación con los requerimientos de las normas *American Society for Testing and Materials* (ASTM).
19. En términos generales, las características físicas de los materiales muestran tener un valor alto para ser considerado como aglomerante de bajo costo, así como para una adición positiva en la fabricación de cementos portland modificado.

20. El uso de este material es de beneficio para las comunidades cercanas a los bancos muestreados, ya que se pueden producir cementos de albañilería a bajo costo.
21. La participación como estudiante en este tipo de proyectos, le crea un ambiente laboral y a su vez le prepara e invita para que al egresar, siga con esta clase de proyectos y así fomentar la investigación en Guatemala. La participación de estudiantes practicantes crea un ambiente de aprendizaje significativo.
22. En la investigación, es necesaria la participación de profesionales con experiencia en las distintas áreas (Química, Mineralogía, Petrografía y Mecánica), con el fin de obtener resultados confiables y así tener participación de estudiantes de otras disciplinas.
23. Para la realización de todos los ensayos se recibió capacitación en la empresa Cementos Progreso y en el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, a cuyas instituciones se agradece el valor de esta experiencia.

RECOMENDACIONES

1. Deben realizarse estudios mineralógicos, químicos, petrográficos y mecánicos para establecer y comprender de mejor manera la reactividad de cada muestra; tomando en cuenta que los estudios mineralógicos determinan los minerales contenidos en las muestras y los petrográficos, con en base en esos minerales, permiten clasificar el tipo de roca y su posible formación.
2. Utilizar este estudio para futuras expediciones en busca de otros bancos de puzolanas en regiones no exploradas. Esto debe realizarse con base en las investigaciones geológicas ya realizadas.
3. Utilizar *software* más avanzado para el manejo de los mapas e información importante; entre estos se pueden mencionar actualizaciones más recientes de Autocad u otros programas para el manejo de mapas.
4. Se propone utilizar el equipo apropiado en la realización de este tipo de experimentos, para obtener resultados confiables; aunque los datos obtenidos de la molienda del material pueden variar dependiendo de la cantidad molida, y de otros parámetros como la carga en el molino.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARRIVILLAGA, Manuel. *Evaluación de bancos de puzolana y calizas en el occidente de Guatemala*. Guatemala: Centro de Investigaciones de Ingeniería, 1993. 19 p.
2. BOHNENBERGER, Otto. *Los focos eruptivos cuaternarios de Guatemala*. Guatemala: Instituto centroamericano de investigación y tecnología industrial, 1969. 75 p.
3. BOHNENBERGER, Otto; BLOUNT, Denis. *Libreto guía de la excursión "A" Guatemala-Salamá-Huehетенango-Guatemala*. Guatemala: Segunda Reunión de Geólogos de América Central, 1966. 20 p.
4. BONIS, Samuel. *A summary of the geology of Guatemala*. Guatemala: Instituto Geográfico Nacional, 1966. 71 p.
5. ————. *Excursion guide book for Guatemala*. Guatemala: Geological Society of America, 1967. 76 p.
6. Book of Standars. *Normas C-618, C-311, C-593, C-204, Cement, Concrete and Concrete Aggregates Committees*. USA: ASTM, 2009. 254 p.
7. Centro de Estudios de Energía y Minas. *Apuntes de geología*. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2005, 99 p.

8. DENGO, Gabriel. *Estructura geológica, historia tectónica y morfología de américa central*. México: Centro Regional de Ayuda Técnica, 1968. 52 p.
9. MARTINEZ, Edgar. *Evaluación de la ceniza volante producida por la combustión de carbón en la planta generadora San José Power Station, para utilizarse como puzolana artificial*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008. 150 p.
10. MELLA, Alejandro. *Estudio, caracterización y evaluación de puzolanas locales en la masa cerámica del ladrillo*. Tesis de Ing. Civil. Universidad del Bio Bio, Colombia, 2004. 186 p.
11. MEYER, Harold. *Los volcanes activos de Guatemala y El Salvador*. USA: U.S. Geological Survey, 1976, 190 p.
12. MILLER, Randolf. *Potencial de los minerales industriales en Centro América*. USA: U.S. Geological Survey, 1976, 190 p.
13. PASOTTI, Palma. *Placas Tectónicas*. Argentina: Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad de Buenos Aires, 1977. 30 p.
14. QUINTANA, Ernesto. *Relación entre las Propiedades Geotécnicas y los Componentes Puzolánicos de los Sedimentos Pampeanos*. Tesis de Ing. Civil. Universidad Nacional de Córdoba, Colombia, 2005. 198 p.

15. QUIÑONEZ, Francisco. *Estado del arte de puzolanas naturales volcánicas como adiciones activas en la producción de cementos*. Guatemala: Centro de Investigaciones de Ingeniería, 2010. 95 p.
16. SALTOS, Carlos. *Efectos de la adición de zeolita en las propiedades mecánicas de un hormigón convencional de cemento Portland tipo I*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2005. 165 p.
17. WEYL, Robert. *Geology of Central America*. Inglaterra: Geologisch-Palaontologisches Institut der Universität Gießen, 1980. 333 p.
18. WILLIAMS, Harold; MCBIRNEY, Armand; DENGGO, Gabriel. *Geologic Reconnaissance of Southeastern Guatemala*. USA: University of California Publications in Geological Sciences, 1964. 63 p.

APÉNDICE

MUESTRA 1GC

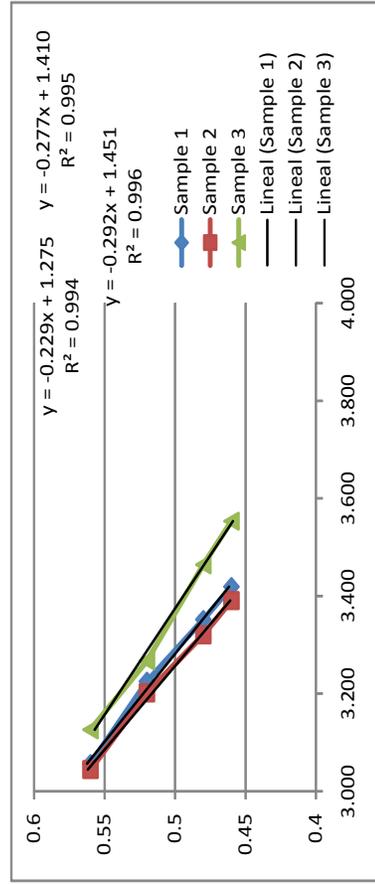
Densidad muestra 2,376 g/cc Vcelda 2 1,8967 g / cc
 Vcelda 1,874 cc

Sample	Porosidad (ε)	Peso (W)	Tiempo (t)	$\sqrt{(\epsilon \cdot t)}$	Correlación	b	Ss	Densidad cemento	bs	εs	Ts	$\sqrt{(\epsilon_s \cdot T_s)}$	S
1	0,56	1,959	53,21	3,057	-0,9976		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	2866
1	0,52	2,137	73,99	3,225	-0,9976		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	2883
1	0,48	2,315	101,6	3,352	-0,9976		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	2863
1	0,46	2,404	120,12	3,419	-0,9976	1,275	3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	2857
2	0,56	1,959	52,78	3,045	-0,9981		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	2854
2	0,52	2,137	72,91	3,202	-0,9981		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	2862
2	0,48	2,315	99,71	3,321	-0,9981		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	2836
2	0,46	2,404	118,12	3,391	-0,9981	1,41	3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	2833
3	0,56	1,983	55,66	3,126	-0,9973		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	3037
3	0,52	2,163	75,94	3,268	-0,9973		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	3026
3	0,48	2,343	108,53	3,464	-0,9973		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	3065
3	0,46	2,434	129,72	3,553	-0,9973	1,451	3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	3076

ε	S promedio por porosidad
0,54	2919
0,52	2924
0,5	2922
0,48	2922

S promedio 2922 cm²/g

b promedio 1,379



DE 1,97

Fuente: elaboración propia.

MUESTRA 1R

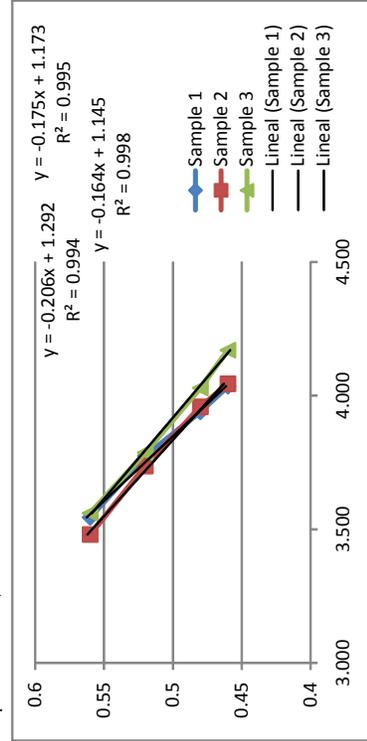
Densidad muestra 2,376 g/cc Vcelda nuevo 1,8967 g/cc
 Vcelda 1,874 cc

Sample	Porosidad (ε)	Peso (W)	Tiempo (t)	√(ε□*)	Correlación	b	Ss	Densidad cemento	bs	εs	Ts	√(εs□Ts)	S
1	0,56	1,959	71,55	3,545	-0,9971		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	4233
1	0,52	2,137	101,35	3,775	-0,9971		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	4244
1	0,48	2,315	140,35	3,940	-0,9971		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	4184
1	0,46	2,404	167,26	4,035	-0,9971	1,292	3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	4170
2	0,56	1,959	68,98	3,481	-0,9978		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	4156
2	0,52	2,137	99,29	3,736	-0,9978		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	4201
2	0,48	2,315	141,66	3,958	-0,9978		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	4204
2	0,46	2,404	168,02	4,044	-0,9978	1,173	3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	4179
3	0,56	1,983	72,18	3,560	-0,9993		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	4404
3	0,52	2,163	102,03	3,788	-0,9993		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	4411
3	0,48	2,343	146,75	4,029	-0,9993		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	4432
3	0,46	2,434	178,66	4,170	-0,9993	1,145	3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	4465

ε	S promedio por porosidad
0,54	4265
0,52	4285
0,5	4273
0,48	4271

b promedio 1,203

cm²/g



DE 8,62

Fuente: elaboración propia.

MUESTRA 1GC

Densidad muestra 2,376 g/cc Vcelda 2 1,8967 g / cc
 Vcelda 1,874 cc

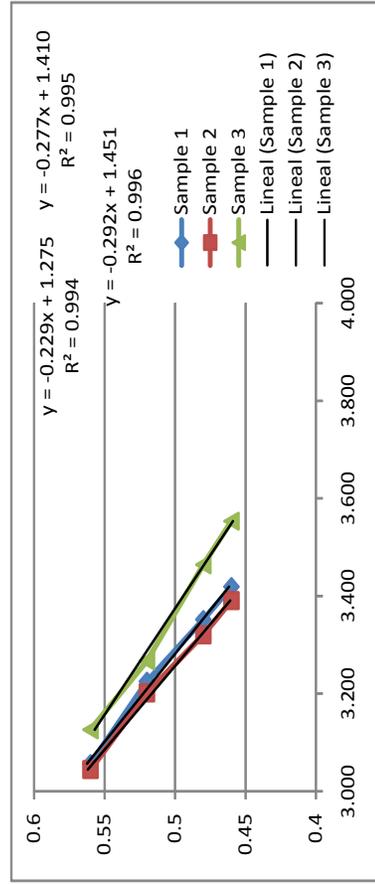
Sample	Porosidad (ε)	Peso (W)	Tiempo (t)	$\sqrt{(\epsilon \cdot t)}$	Correlación	b	Ss	Densidad cemento	bs	Es	Ts	$\sqrt{(\epsilon_s \cdot T_s)}$	S
1	0,56	1,959	53,21	3,057	-0,9976		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	2866
1	0,52	2,137	73,99	3,225	-0,9976		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	2883
1	0,48	2,315	101,6	3,352	-0,9976		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	2863
1	0,46	2,404	120,12	3,419	-0,9976	1,275	3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	2857
2	0,56	1,959	52,78	3,045	-0,9981		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	2854
2	0,52	2,137	72,91	3,202	-0,9981		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	2862
2	0,48	2,315	99,71	3,321	-0,9981		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	2836
2	0,46	2,404	118,12	3,391	-0,9981	1,41	3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	2833
3	0,56	1,983	55,66	3,126	-0,9973		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	3037
3	0,52	2,163	75,94	3,268	-0,9973		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	3026
3	0,48	2,343	108,53	3,464	-0,9973		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	3065
3	0,46	2,434	129,72	3,553	-0,9973	1,451	3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	3076

ε	S promedio por porosidad
0,54	2919
0,52	2924
0,5	2922
0,48	2922

S promedio 2922 cm²/g

DE 1,97

b promedio 1,379



Fuente: elaboración propia.

MUESTRA 1P

Densidad muestra Voelda 2,383 g/cc 1,874 cc Voelda nueva 1,8967

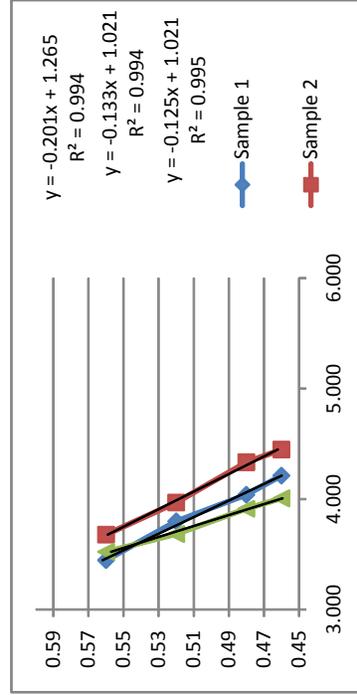
Sample	Porosidad (ε)	Peso (W)	Tiempo (t)	$\sqrt{(\epsilon \cdot t)}$	Correlación	b	Ss	Densidad cemento	bs	εs	Ts	$\sqrt{(\epsilon_s \cdot T_s)}$	S
1	0,56	1,965	67,66	3,447	-0,9970		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	4869
1	0,52	2,144	102,58	3,798	-0,9970		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	4996
1	0,48	2,322	147,56	4,040	-0,9970		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	4972
1	0,46	2,412	182,3	4,212	-0,9970	1,265	3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	5024
2	0,56	1,965	77,03	3,678	-0,9980		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	5195
2	0,52	2,144	111,97	3,968	-0,9980		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	5220
2	0,48	2,322	169,82	4,334	-0,9980		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	5334
2	0,46	2,412	203,26	4,448	-0,9980	1,021	3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	5304
3	0,56	1,989	70,63	3,522	-0,9973		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	5154
3	0,52	2,170	96,50	3,684	-0,9973		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	5020
3	0,48	2,350	138,35	3,912	-0,9973		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	4988
3	0,46	2,441	165,00	4,008	-0,9973	1,021	3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	4951

ε	S promedio por porosidad
0,54	5073
0,52	5078
0,5	5098
0,48	5093

S promedio 5086

cm²/g

b promedio 1,102



DE 11,91

Fuente: elaboración propia.

MUESTRA 2SC

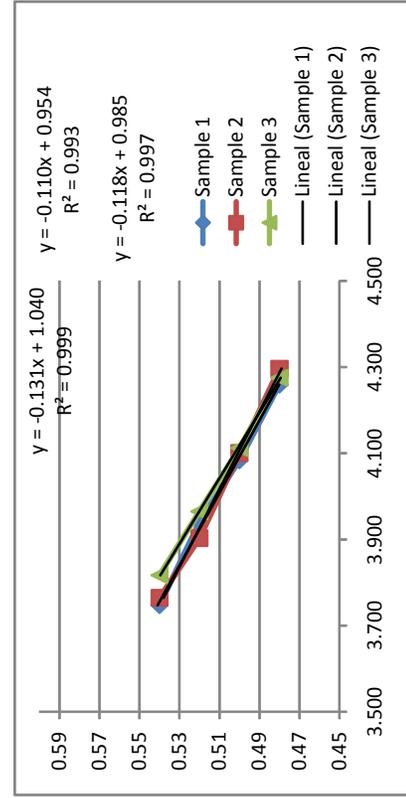
Densidad muestra 2,37 g/cc
Vcelda 1,904 cc

Sample	Porosidad (ε)	Peso (W)	Tiempo (t)	$\sqrt{(\epsilon \cdot t)}$	Correlación	b	Ss	Densidad cemento	bs	εs	Ts	$\sqrt{(\epsilon_s \cdot T_s)}$	S
1	0,54	2,076	89,19	3,748	-0,9985		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	6586
1	0,52	2,166	110,44	3,941	-0,9985		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	6633
1	0,5	2,256	133,44	4,084	-0,9985		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	6595
1	0,48	2,346	164,06	4,260	-0,9985	0,985	3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	6610
2	0,54	2,076	90,00	3,765	-0,9969		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	6616
2	0,52	2,166	108,34	3,903	-0,9969		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	6569
2	0,5	2,256	134,53	4,101	-0,9969		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	6622
2	0,48	2,346	166,93	4,297	-0,9969	0,954	3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	6668
3	0,54	2,076	92,53	3,817	-0,9997		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	6708
3	0,52	2,166	111,82	3,965	-0,9997		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	6674
3	0,5	2,256	135,31	4,113	-0,9997		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	6641
3	0,48	2,346	165,29	4,275	-0,9997	1,04	3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	6635

ε	S promedio por porosidad
0,54	6637
0,52	6625
0,5	6620
0,48	6638

DE 8,91
Media 6629,86561
CV 0,13

b promedio 0,993



Fuente: elaboración propia.

MUESTRA 1ARIS

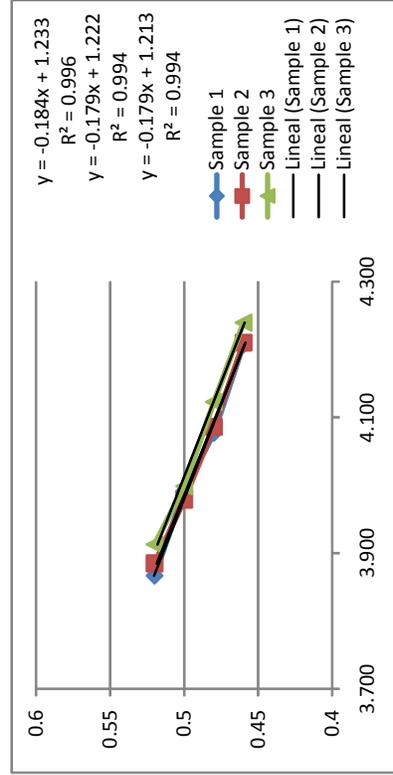
Densidad muestra 2,392 g/cc
Vcelda 1,874 cc

Sample	Porosidad (ε)	Peso (W)	Tiempo (t)	$\sqrt{(\epsilon \square t)}$	Correlación	b	Ss	Densidad cemento	bs	εs	Ts	$\sqrt{(\epsilon_s \square Ts)}$	S
1	0,52	2,152	106,34	3,867	-0,9971		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	4195
1	0,5	2,241	127,46	3,992	-0,9971		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	4211
1	0,48	2,331	150,31	4,077	-0,9971		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	4185
1	0,46	2,421	181,9	4,208	-0,9971	1,233	3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	4206
2	0,52	2,152	107,34	3,885	-0,9980		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	4215
2	0,5	2,241	126,63	3,979	-0,9980		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	4197
2	0,48	2,331	150,97	4,086	-0,9980		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	4195
2	0,46	2,421	182,09	4,210	-0,9980	1,213	3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	4209
3	0,52	2,152	108,88	3,913	-0,9972		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	4245
3	0,5	2,241	127,90	3,998	-0,9972		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	4218
3	0,48	2,331	153,69	4,123	-0,9972		3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	4232
3	0,46	2,421	184,67	4,240	-0,9972	1,222	3818	3,15	0,9	0,5	55,62	2,637	4238

ε	S promedio por porosidad
0,54	4219
0,52	4209
0,5	4204
0,48	4218

S promedio 4212 cm²/g

b promedio 1,223



DE 7,02

Fuente: elaboración propia.

MUESTRA 1M

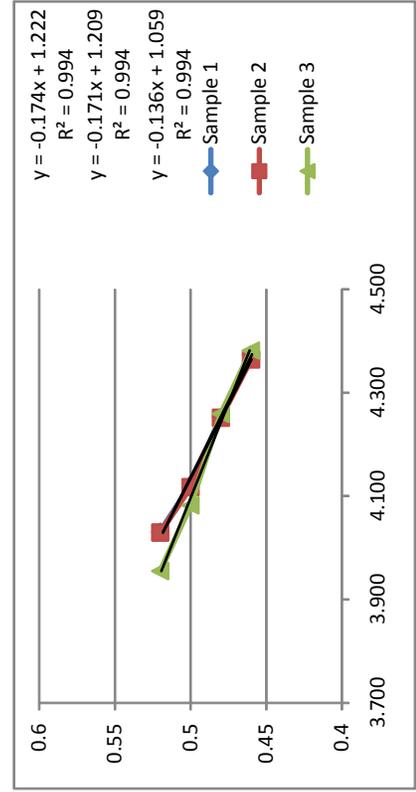
Densidad muestra 2,548 g/cc
 Vcelda 1,897 cc

Sample	Porosidad (ε)	Peso (W)	Tiempo (t)	$\sqrt{(\epsilon \cdot t)}$	Correlación	b	Ss	Densidad cemento	bs	εs	Ts	$\sqrt{(\epsilon_s \cdot T_s)}$	S
1	0,52	2,320	115,56	4,031	-0,9974		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	4650
1	0,5	2,417	135,91	4,122	-0,9974		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	4611
1	0,48	2,513	163,53	4,253	-0,9974		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	4619
1	0,46	2,610	196,53	4,374	-0,9974	1,222	3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	4615
2	0,52	2,320	115,47	4,029	-0,9971		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	4648
2	0,5	2,417	135,62	4,117	-0,9971		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	4606
2	0,48	2,513	163,43	4,251	-0,9971		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	4617
2	0,46	2,610	195,66	4,364	-0,9971	1,209	3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	4605
3	0,52	2,320	111,25	3,955	-0,9973		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	4563
3	0,5	2,417	133,28	4,082	-0,9973		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	4567
3	0,48	2,513	164,03	4,259	-0,9973		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	4626
3	0,46	2,610	197,19	4,381	-0,9973	1,059	3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	4623

ε	S promedio por porosidad
0,54	4620
0,52	4595
0,5	4620
0,48	4614

DE 12,10

b promedio 1,163



S promedio 4612 cm²/g

Fuente: elaboración propia.

MUESTRA 1S

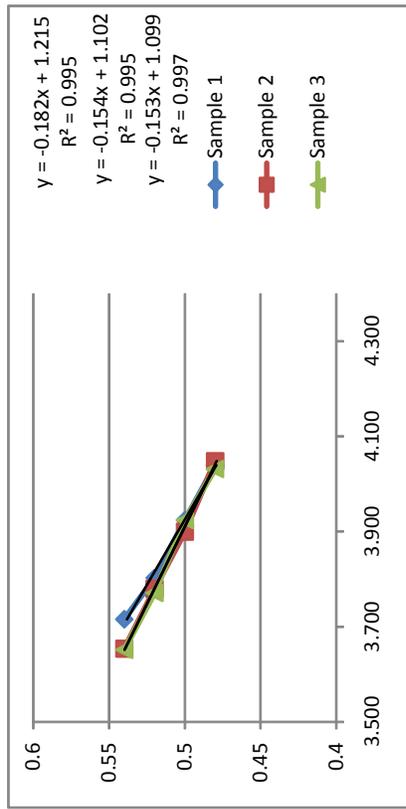
Densidad muestra 2,457 g/cc
 Vcelda 1,897 cc

Sample	Porosidad (ε)	Peso (W)	Tiempo (t)	$\sqrt{(\epsilon \cdot t)}$	Correlación	b	Ss	Densidad cemento	bs	εs	Ts	$\sqrt{(\epsilon_s \cdot T_s)}$	S
1	0,54	2,144	87,69	3,716	-0,9976		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	4772
1	0,52	2,237	102,84	3,803	-0,9976		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	4726
1	0,5	2,330	123,19	3,924	-0,9976		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	4724
1	0,48	2,424	147,53	4,039	-0,9976	1,215	3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	4715
2	0,54	2,144	84,78	3,654	-0,9989		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	4692
2	0,52	2,237	101,59	3,779	-0,9989		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	4697
2	0,5	2,330	121,66	3,900	-0,9989		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	4694
2	0,48	2,424	148,15	4,048	-0,9989	1,102	3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	4725
3	0,54	2,144	84,69	3,652	-0,9978		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	4690
3	0,52	2,237	101,12	3,771	-0,9978		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	4686
3	0,5	2,330	123,19	3,924	-0,9978		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	4724
3	0,48	2,424	146,94	4,031	-0,9978	1,099	3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	4705

ε	S promedio por porosidad
0,54	4718
0,52	4703
0,5	4714
0,48	4715

DE 6,68

b promedio 1,139



Fuente: elaboración propia.

MUESTRA 1SC

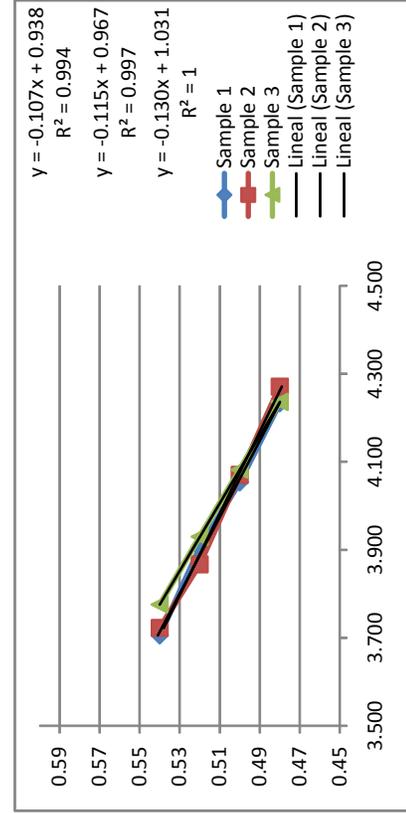
Densidad muestra 2,374 g/cc
 Veelda 1,897 cc

Sample	Porosidad (ε)	Peso (W)	Tiempo (t)	$\sqrt{(\epsilon \cdot t)}$	Correlación	b	Ss	Densidad cemento	bs	εs	Ts	$\sqrt{(\epsilon_s \cdot T_s)}$	S
1	0,54	2,072	87,19	3,705	-0,9986		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	6720
1	0,52	2,162	108,44	3,905	-0,9986		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	6773
1	0,5	2,252	131,44	4,053	-0,9986		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	6737
1	0,48	2,342	162,06	4,234	-0,9986	0,938	3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	6754
2	0,54	2,072	88,00	3,722	-0,9971		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	6751
2	0,52	2,162	106,34	3,867	-0,9971		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	6707
2	0,5	2,252	132,53	4,070	-0,9971		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	6765
2	0,48	2,342	164,93	4,271	-0,9971	0,967	3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	6814
3	0,54	2,072	90,53	3,776	-1,0000		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	6847
3	0,52	2,162	109,82	3,930	-1,0000		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	6816
3	0,5	2,252	133,31	4,082	-1,0000		3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	6785
3	0,48	2,342	162,29	4,237	-1,0000	1,031	3818	3,15	0,9	0,5	51,83	2,545	6759

ε	S promedio por porosidad
0,54	6772
0,52	6765
0,5	6762
0,48	6776

DE 6,29

b promedio 0,979



S promedio 6769 cm²/g

Fuente: elaboración propia.



Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
 Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología
 Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología



**EXPLORACIÓN BANCOS DE PUZOLANA
 MARZO 2011**

FECHA: 25 de marzo de 2011

NOMBRE DE LOS EXPLORADORES	Ingeniero civil:	Javier Quiñonez
	Ingeniero civil inferi:	Victor Rosales
	Ingeniero civil inferi:	Luis Ochoa

NOMBRE DEL BANCO	El Rancho (1R)
COORDENADAS	Longitud: W90° 01' 12.6" Latitud: N14° 54' 46.4"
ALTITUD (msnm)	350
No. DE FOTOGRAFÍAS	J 1-9
Referencia del lugar:	Km. 84

OBSERVACIONES CON RESPECTO DEL MAPA GEOLÓGICO:	

OTRAS OBSERVACIONES:	<u>Capa rosada expuesta con una altura</u>
	<u>Aproximadamente de 4 m. sobre la superficie fácilmente extraíble. En la</u>
	<u>Parte superior hay sedimentos, capas que oscilan entre 0.5 y 2 m.</u>

Fuente: elaboración propia.



Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
 Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología
 Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología



**EXPLORACIÓN BANCOS DE PUZOLANA
 MARZO 2011**



FECHA: 25 de marzo de 2011

NOMBRE DE LOS EXPLORADORES	Ingeniero civil:	Javier Quiñonez
	Ingeniero civil infieri:	Victor Rosales
	Ingeniero civil infieri:	Luis Ochoa

NOMBRE DEL BANCO	Los Aristondos (IAris)
COORDENADAS	Longitud: W90° 07' 33.1" Latitud: N14° 56' 4.4"
ALTITUD (msnm)	356
No. DE FOTOGRAFÍAS	L 55-57
Referencia del lugar:	_____

OBSERVACIONES CON RESPECTO DEL MAPA GEOLÓGICO:	_____

OTRAS OBSERVACIONES:	Muchos cerros de ceniza con cortes
	Expuestos de 15 m. de altura. No se observa la capa rosada. La capa
	Vegetal es de aproximadamente 15 cm. Material fino con fragmentos de
	Arena pómez.

Fuente: elaboración propia.



Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
 Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología
 Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología



**EXPLORACIÓN BANCOS DE PUZOLANA
 MARZO 2011**



FECHA: 25 de marzo de 2011

NOMBRE DE LOS EXPLORADORES	Ingeniero civil:	Javier Quiñonez
	Ingeniero civil infieri:	Victor Rosales
	Ingeniero civil infieri:	Luis Ochoa

NOMBRE DEL BANCO	Marajuma (1M)
COORDENADAS	Longitud: W90° 06' 27.8" Latitud: N14° 55' 46.8"
ALTITUD (msnm)	368
No. DE FOTOGRAFÍAS	J 18-32, L 58-61
Referencia del lugar:	<u>Cementerio de Marajuma, orilla de carretera.</u>

OBSERVACIONES CON RESPECTO DEL MAPA GEOLÓGICO:	_____

OTRAS OBSERVACIONES:	_____

Fuente: elaboración propia.



Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología
Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología

**EXPLORACIÓN BANCOS DE PUZOLANA
MARZO 2011**



FECHA: 25 de marzo de 2011

NOMBRE DE LOS EXPLORADORES	Ingeniero civil:	Javier Quiñonez
	Ingeniero civil infieri:	Victor Rosales
	Ingeniero civil infieri:	Luis Ochoa

NOMBRE DEL BANCO	Salamá (1S)
COORDENADAS	Longitud: W90° 18' 53.9" Latitud: N15° 05' 53.7"
ALTITUD (msnm)	941
No. DE FOTOGRAFÍAS	J 37-39
Referencia del lugar:	Barrio Santa Elena, Salamá.

OBSERVACIONES CON RESPECTO DEL MAPA GEOLÓGICO:	

OTRAS OBSERVACIONES:	<u>Ceniza que aflora sobre la superficie 5m.</u>
	<u>con capa vegetal que oscila entre 15-20 cm. construcciones sobre el</u>
	<u>Depósito. Se observan conos del mismo material desde Salamá y San</u>
	<u>Miguel Xicaj.</u>

Fuente: elaboración propia.



Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
 Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología
 Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología



**EXPLORACIÓN BANCOS DE PUZOLANA
 MARZO 2011**



FECHA: 25 de marzo de 2011

NOMBRE DE LOS EXPLORADORES	Ingeniero civil:	Javier Quiñonez
	Ingeniero civil infieri:	Victor Rosales
	Ingeniero civil infieri:	Luis Ochoa

NOMBRE DEL BANCO	Niño Perdido (INPS)
COORDENADAS	Longitud: W90° 10' 39" Latitud: N15° 08' 8.8"
ALTITUD (msnm)	1494
No. DE FOTOGRAFÍAS	J 47-50
Referencia del lugar:	Comunidad Niño Perdido, cuenca del río San Jerónimo Km. 147+200. Se vende: tel. 4114-5891

OBSERVACIONES CON RESPECTO DEL MAPA GEOLÓGICO:

OTRAS OBSERVACIONES:	Ceniza con muy poca cantidad de arena Pómez, con capa vegetal de 10 cm. debajo de la cual hay un limo de Aproximadamente 1 m. de alto. Cerro de aproximadamente ½ manzana.

Fuente: elaboración propia.



Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
 Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología
 Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología



**EXPLORACIÓN BANCOS DE PUZOLANA
 MARZO 2011**



FECHA: 25 de marzo de 2011

NOMBRE DE LOS EXPLORADORES	Ingeniero civil:	Javier Quiñonez
	Ingeniero civil infieri:	Víctor Rosales
	Ingeniero civil infieri:	Luis Ochoa

NOMBRE DEL BANCO	San Cristobal Verapaz (1 Sc y 2 Sc)
COORDENADAS	Longitud: W90° 27' 4.2" Latitud: N15° 22' 20.4"
ALTITUD (msnm)	1393
No. DE FOTOGRAFÍAS	
Referencia del lugar:	

OBSERVACIONES CON RESPECTO DEL MAPA GEOLÓGICO:	

OTRAS OBSERVACIONES:	

Fuente: elaboración propia.



Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
 Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología
 Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología



**EXPLORACIÓN BANCOS DE PUZOLANA
 MARZO 2011**



FECHA: 25 de marzo de 2011

NOMBRE DE LOS EXPLORADORES	Ingeniero civil:	Javier Quiñonez
	Ingeniero civil infieri:	Victor Rosales
	Ingeniero civil infieri:	Luis Ochoa

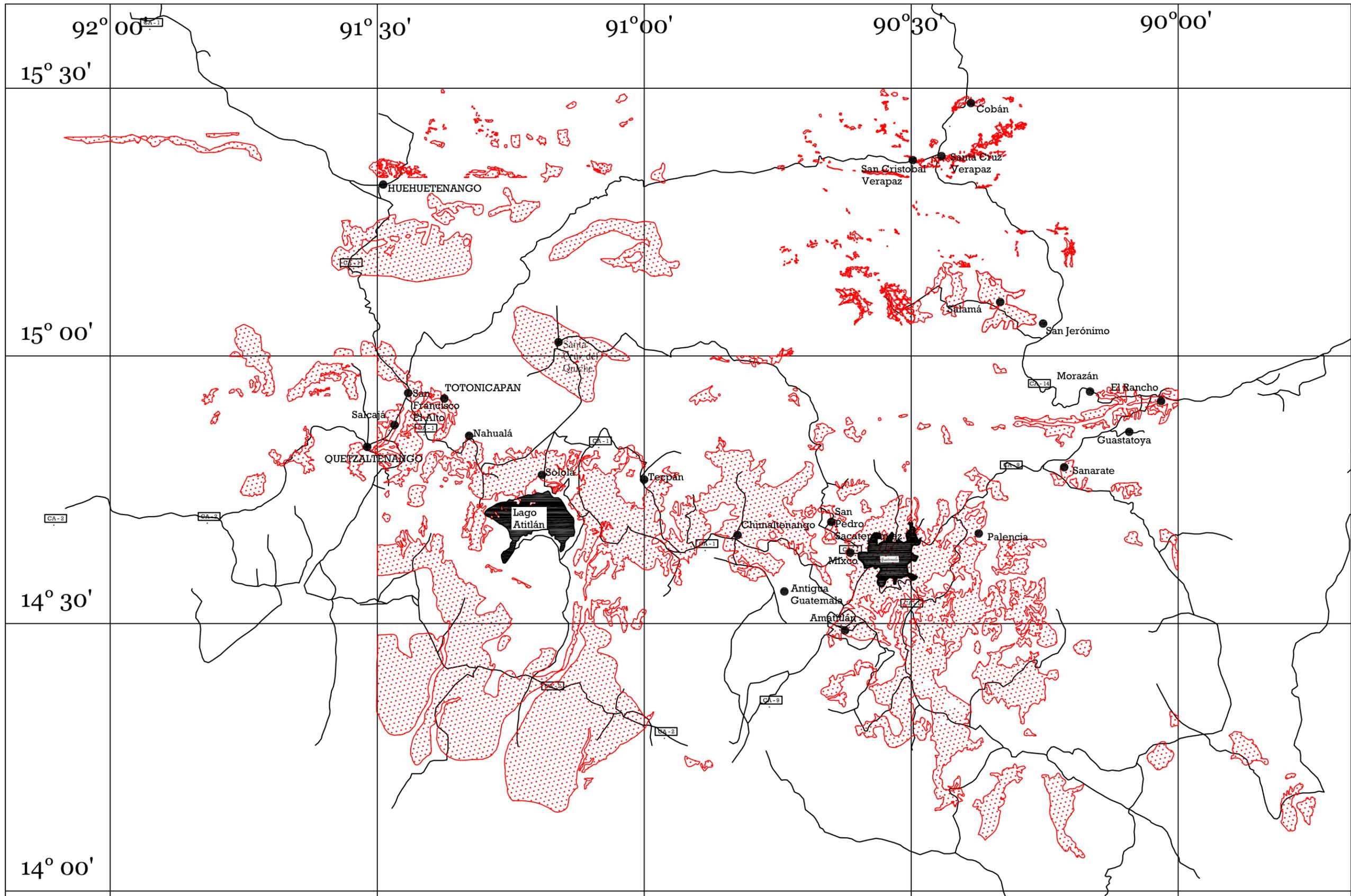
NOMBRE DEL BANCO	Guastatoya (1GC)
COORDENADAS	Longitud: W90° 04' 42.3" Latitud: N14° 51' 24.6"
ALTITUD (msnm)	538
No. DE FOTOGRAFÍAS	J 59-61
Referencia del lugar:	Detrás del cementerio de Guastatoya.

OBSERVACIONES CON RESPECTO DEL MAPA GEOLÓGICO:

OTRAS OBSERVACIONES:

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

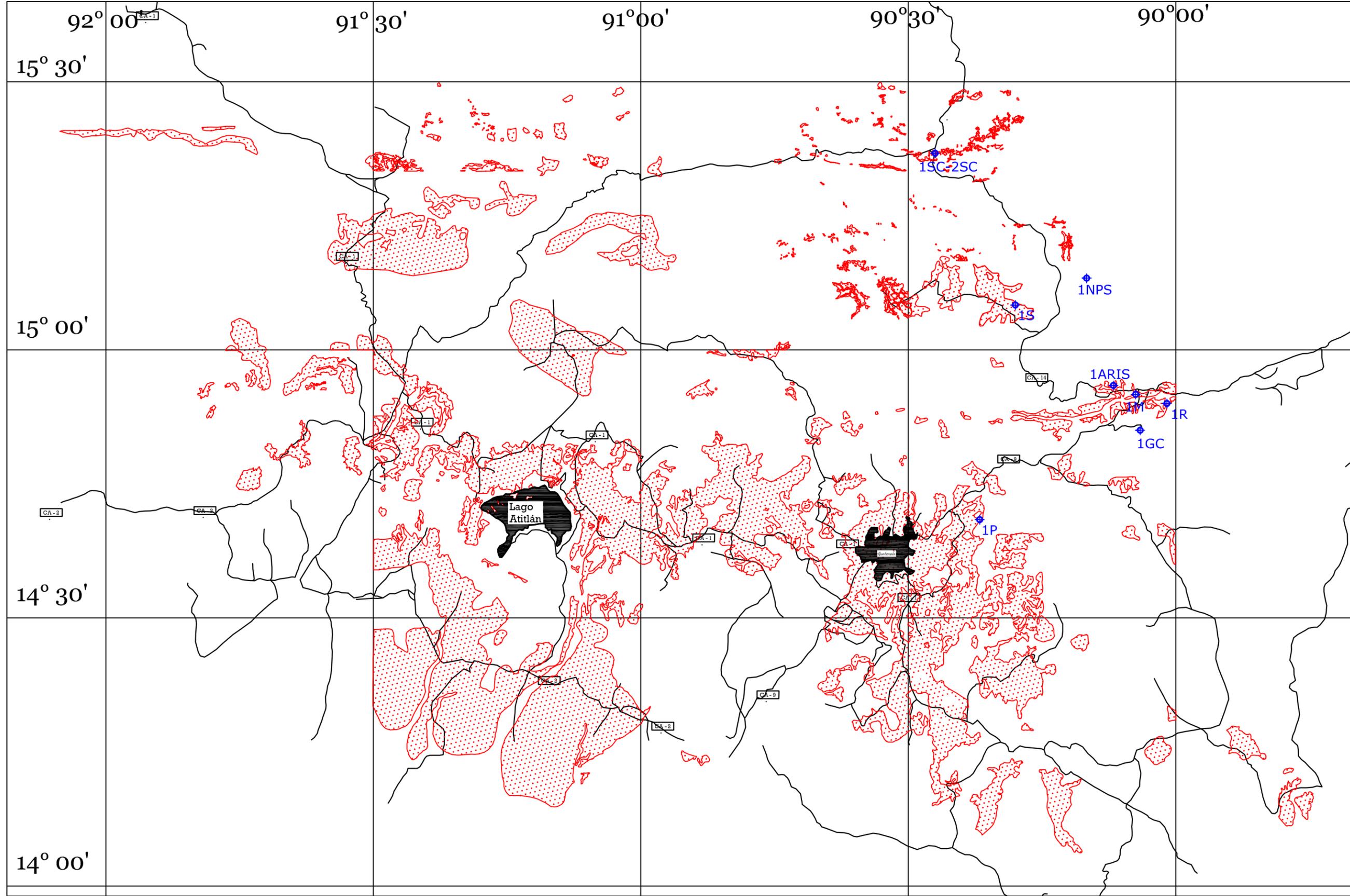


ESCALA: 1:775,000

FECHA: OCTUBRE, 2011

UBICACIÓN MATERIAL PUZOLANICO

DIBUJO: VICTOR ROSALES

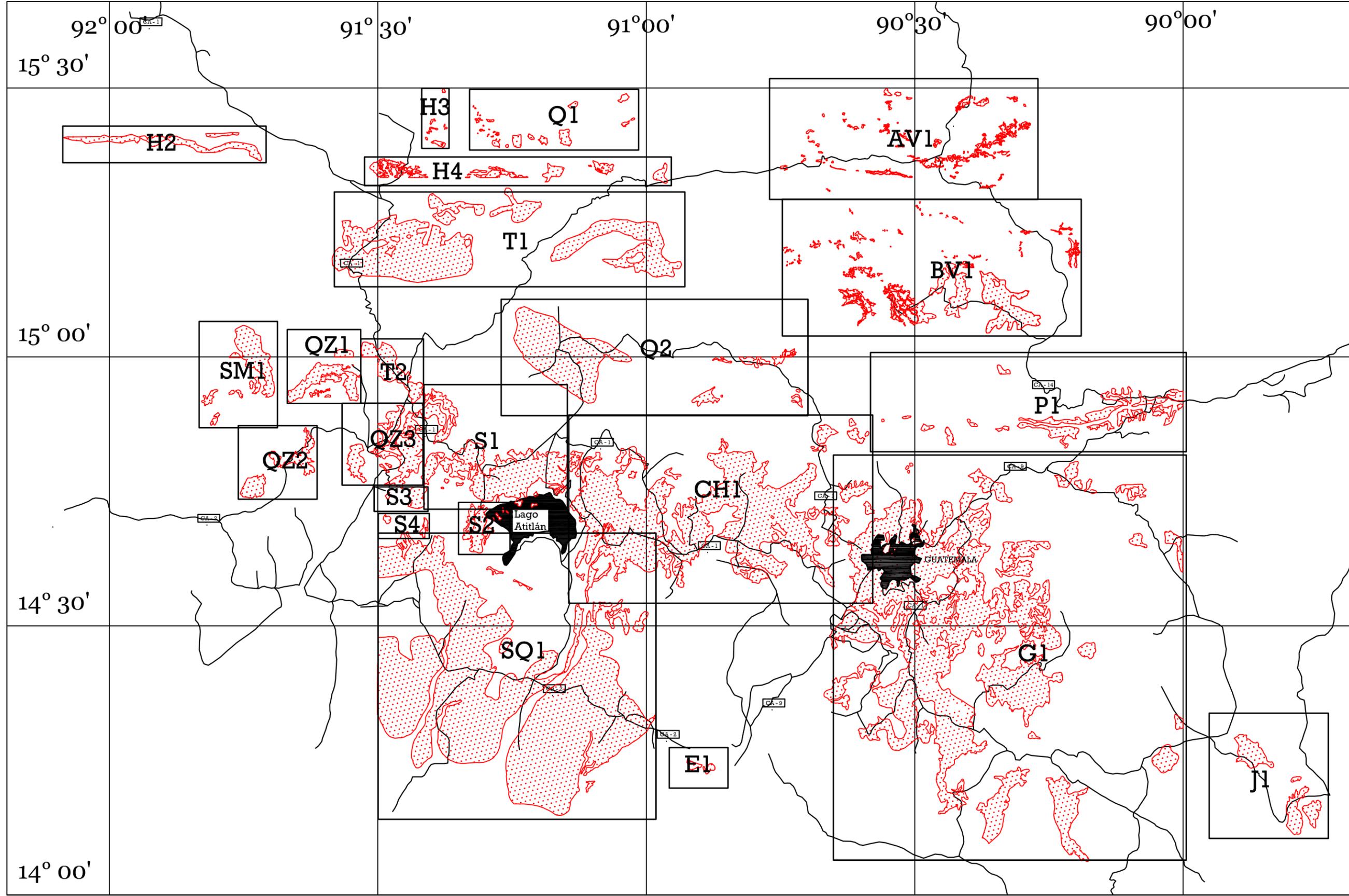


**UBICACIÓN MUESTRAS EN MATERIAL
PUZOLANICO**

ESCALA: 1:775,000

PROYECTO FODECYT 023-2010

FECHA: OCTUBRE, 2011



ESCALA: 1:775,000

FECHA: OCTUBRE, 2011

IDENTIFICACIÓN MATERIAL PUZOLANICO

DIBUJO: VICTOR ROSALES

TABLA DE FOCOS ERUPTIVOS DE GUATEMALA

No.	Nombre por el cual se conoce * nombre aquí propuesto	Tipo de volcán	Petrografía predominante	Coordenadas geográficas		Coordenadas U. T. M.		Altura sobre el nivel del mar (m)	Altura relativa del volcán (m)	Nombre de la hoja topográfica	Departamento
				Latitud N	Longitud W	E	N				
1	Volcán Tacaná 14.2-1	Cono grande estrato volcán	andesita piroxénica hornbléndica	15°07'54"	92°06' 30"	595.8	1673.0	4 092	2300	Sibinal	San Marcos
2	Volcán Tajumulco 14.2-2	Cono gemelo med. Estrato volcán, sobrepuesto a altiplano volcánico	andesita hornbléndica piroxénica.	15 02 33	91 54 14	617.8	1663.2	4 220	1 200	Tajumulco	San Marcos
3	Volcán Chicabal	Estrato volcán con laguna en el cráter	andesita piroxénica y hornbléndica	14 47 13	91 39 22	644.7	1635.1	2 900	900	Colomba	Quezaltenango
4	Volcán Siete orejas	Estrato volcán fuertemente erosionado.	andesita piroxénica hornbléndica	14 48 50	91 37 03	648.8	1638.0	3 370	1 100	Colomba	Quezaltenango
5	Volcán Santa maría 14.2-3	Cono grande estrato volcán	andesita piroxénica olivínica	14 45 23	91 33 06	655.9	1631.8	3 772	1 500	Colomba	Quezal tenango
6	Volcán Santiaguito 14.2-3	Domo de lava complejo	andesita hipersténico hornbléndica	14 44 30	91 34 10	653.9	1630.2	2 500	250	Colomba	Quezal tenango
7	Cerro Quemado 14.2-4	Domo de lava grande, complejo	andesita hornbléndica biotítica	14 47 45	91 31 07	659.4	1636.1	3 197	800	Calomba	Quezaltenango
8	La Pedrera	Domo de lava	riodacita vítrea hornbléndica	14 48 45	91 31 25	658.9	16380.0	2 740	300	Colomba	Quezaltenango
9	La Pedrera Oriente *	Domo de lava	riodacita vítrea biot	14 49 15	91 30 40	660.1	1638.9	2 560	200	Colomba	Quezaltenango

Fuente: WEYL, Richard. Geology of Central America. p. 66-97.

10	Cerro Tecún Umán, El baúl	Domo de lava	andesita hornbléndica	14 49 40	91 29 40	661.9	1639.8	2 620	140	Sta. Catarina	Quezaltenango
11	Cerro Almolonga *	Domo de lava	riodacito vitrofírica	14 49 25	91 29 40	662	1639.3	2 665	250	Ixtahuacón	Quezaltenango
12	Cerro Las Delicias *	Domo de lava	Riodacita	14 49 25	91 29 00	663.2	1639.3	2 652	250	Sta. Catarina	Quezaltenango
13	Cerro Huitán	Domo de lava	Riodacita	14 49 30	91 28 10	664.6	1639.5	2 690	280	Ixtahuacán	Quezaltenango
14	Cerro de Coxóm *	Cono grande antiguo de estrato volcán	basalto alivínico	14 53 15	91 23 52	672.3	1646.4	3 045	500	Totonicapán	Totonicapán
15	Cerro de Oro (Totonicapán)	Cono de escorias pequeño	dacita piroxénica pomácea	14 52 50	91 22 50	674.2	1645.7	2 720	120	Totonicapán	Totonicapán
16	Volcán San Pedro	Estrato volcán	andesita piroxénica	14 39 22	91 16 01	686.6	1620.9	3 020	1 500	Chicacao	Sololá
17	Cerro Chuichumil	Cono de lava y escoria, parásito de V. San Pedro	andesita piroxénica ?	14 38 50	91 17 15	684.5	1620	2 460	300	Chicacao	Sololá
18	Cerro Paquixtén	Cono de lava y escoria, parásito de V. San Pedro	andesita piroxénica ?	14 38 30	91 17 02	684.8	1619.3	2 455	300	Chicacao	Sololá
19	Cerro Chuicinivit	Domo de lava, parásito del volcán San Pedro	andesita piroxénico?	14°39' 05"	91 °14' 20"	689.6	1620.4	1 695	40	San Lucas Tolimán	Sololá
20	Cerro (Cerrito) de Oro	Domo de lava, parásito del Volcán Tolimán	andesita piroxénico	14 39 50	91 10 35	696.4	1621.9	1 892	200	San Lucas Tolimán	Sololá
21	Volcán Tolimán 14.2-7	Cono gemelo grande, estrato-volcán	andesita piroxénico porfirítica	14 36 45	91 11 20	695.1	1616.2	3 158	1 600	San Lucas Tolimán	Sololá
22	Volcán Atitlán 14.2-6	Cono grande, estrato volcán	andesita piroxénico	14 34 57	91 11 11	695.4	1612.9	3 537	2 000	San Lucas Tolimán	Sololá
23	Volcán Acatenongo 14.2-8	Cono grande, triple, estrato volcán	andesita piroxénica	14 30 02	90 52 32	728.9	1603.9	3 976	2 500	Alotenango	Chimaltenango Sacatepéquez

Fuente: WEYL, Richard. Geology of Central America. p. 66-97.

24	Volcán de Fuego 14.2-9	Cono grande, estrato volcán	andesita basáltica olivínica	14 28 54	90 52 54	728.4	1601	3 763	2 400	Alotenango	Sacatepéquez Escuintla
25	Cerrito Lo Reunión *	Cono de escorias y lavo gemelo, parásito del volcán de Fuego	andesita?	14 26 25	90 50 10	733.3	1597.3	1 360	40	Alotenango	Escuintla
26	Volcán de Agua 14.2-10	Cono grande, estrato volcán	andesita piroxénica	14 27 52	90 44 33	743.3	1600.2	3 766	2 400	Amatitlán	Sacatepéquez Escuintla
27	Cerro del Jaboncillo	Cono de escorias parásito del volcán de Agua	andesita piroxénica?	14 25 15	90 43 25	745.5	1595.3	1 520	100	Amatitlán	Escuintla
28	Cerro Chino (del Pacaya)	Cono de escorias parásito del volcán de Pacaya	basalto olivínico	14 23 25	91 36 25	758	1592.1	2 260	200	Amatitlán	Escuintla
29	Volcán de Pacaya 14.2-11	Complejo volcánico con cono grande de estrato volcán	basalto olivínico porfirítico	14 22 50	90 36 00	758. 8	1591. 1	2 552	1 000	Amatitlán	Escuintla Guatemala
30	Cerro Grande (del Pacaya)	Domo de lava con agujas	andesita piroxénica porfirítica	14 23 23	90 35 10	760.3	1592.1	2 560	400	Amatitlán	Guatemala
31	Sitio Arqueológico Amatitlán	Domo de lava pequeño	riodacita vítrea biotítica	14 28 50	90 36 40	757.5	1602.1	1 220	30	Amatitlán	Guatemala
32	Cerro Lo Mariposa	Domo de lava	riodacita vítrea biot.?	14 27 40	90 36 35	757.7	1600	1 630	400	Amatitlán	Guatemala
33	Cerro Limón	Domo de lava	riodacita vítrea biot.?	14 27 10	90 36 20	758. 1	1599. 1	1 680	300	Amatitlán	Guatemala
34	Cerro Mal Paso	Domo de lava	riodacita vítrea biot.?	14°27' 10"	90°35' 20"	759.9	1599.1	1 540	300	Amatitlán	Guatemala
35	Cerro El Durazno	Domo de lava peq.	riodacita vítrea biot.?	14 26 15	90 35 10	760.2	1597.3	1 534	230	Amatitlán	Guatemala
36	Cerrito Planta Térmica *	Domo de lava peq.	riodacita vítrea biot.?	14 27 40	90 34 45	760.9	1600.1	1 250	60	Amatitlán	Guatemala
37	Cerro Gordo	Cono de escorias	basalto olivínico?	14 23 00	90 30 50	768.2	1591. 5	1 300	150	Amatitlán	Guatemala
38	Cerro El Jocotillo *	Cono de escorias	basalto olivínico?	14 22 25	90 29 45	770	1590.4	1 240	50	Nueva Santa Rosa	Guatemala

Fuente: WEYL, Richard. Geology of Central America. p. 66-97.

39	Cerro Alto	Cono de escorias y lava	basalto olivínico?	14 21 35	90 28 45	771. 8	1588.9	1 368	250	Nueva Santa Rosa	Guatemala
40	Cerrito Brasil *	Cono de escorias y lava pequeño	basalto olivínico?	14 21 15	90 28 50	771. 8	1588.3	1 180	50	Nueva Santa Rosa	Guatemala
41	Cerrito la Vega *	Cono de escorias pequeño	basalto olivínico?	15 21 15	91 28 40	772. O	1588.2	2 180	51	Nueva Santa Rosa	Guatemala
42	Volcán Cerro Redondo	Cono de escorias	basalto olivínico	14 22 55	90 25 50	777. 1	1591. 4	1 220	120	Nueva Santa Rosa	Santa Rosa
43	Cerro de los Bueyes	Conito de escorias	basalto olivínico ?	14 22 05	9025 20	777.9	1589.9	1 098	40	Nueva Santa Rosa	Santa Rosa
44	Cerro Cementerio Cerro Redondo	Cono de escorias y lava	basalto olivínico	14 21 45	90 25 25	777.8	1589.3	1 080	50	Nueva Santa Rosa	Santa Rosa
45	Caldera Cerro Redondo *	Pequeña caldera casi circular	basalto	14 21 15	90 25 20	778.0	1588.3	1 000	30	Nueva Santa Rosa	Santa Rosa
46	Cerrito las Viñas *	Conito cinerítico	basalto	14 21 00	90 25 05	778.5	1587.9	1 060	50	Nueva Santa Rosa	Santa Rosa
47	Cerrito El Pino *	Conito cinerítico	basalto	14 20 10	90 23 50	780.8	1586.5	2 060	50	Nueva Santa Rosa	Santa Rosa
48	Cerro Don Gregario *	Cono cinerítico	basalto?	14 22 10	90 21 15	785.3	1590	1 259	160	Nueva Santa Rosa	Santa Rosa
49	Cerro De Brita *	Cono cinerítico	basalto?	14 21 50	90 21 00	785.8	1589.4	1 270	80	Nueva Santa Rosa	Santa Rosa
50	Cerro del Cementerio Brito	Cono cinerítico	basalto?	14 21 00	90 20 40	786.5	1589.0	1 240	30	Nueva Santa Rosa	Santa Rosa
51	Cerro El Junquillo Norte *	Cono cinerítico	basalto?	14 21 35	90 20 40	786.5	1588.0	1 359	70	Nueva Santa Rosa	Santa Rosa
52	Cerro El Junquillo Sur *	Cona cinerítico	basalto?	14 19 40	90 20 45	786.3	1585.6	1 454	100	Cuilapa	Santa Rosa
53	Cerro los Vega	Cono de escorias y lava	basalto?	14 19 00	90 21 00	785.8	1584.3	1 412	130	Cuilapa	Santa Rosa

Fuente: WEYL, Richard. Geology of Central America. p. 66-97.

54	Cerrito de Barberena *	Cono de escorias y lava	basalto?	14 18 15	90 20 40	786.4	1583.0	1 300	70	Cuilapa	Santa Rosa
55	Cerro El Porvenir	Cono de escorias	basalto?	14 17 25	90 20 50	786.1	1581.4	1 285	90	Cuilapa	Santa Rosa
56	Cerro La Providencia*	Cono de escorias y lava	basalto?	14 °17' 05"	90°20' 25"	786.9	1580. 8	1 241	50	Cuilapa	Santa Rosa
57	Volcón de Cuilapa *	Cono de escorias y lava de 4 focos	basalto?	14 16 45	90 17 30	792.2	1580. 2	1080	120	Cuilapa	Santa Rosa
58	Cerrito de Santa Elena *	Cono de escorias y lava	basalto?	14 16 30	90 17 05	793.0	1579.7	1060	100	Cuilapa	Santa Rosa
59	Cerrito Joyo de Limón *	Cono de escorias y lava	basalto?	14 16 20	90 16 55	793.3	1579.4	1 040	100	Cuilapa	Santa Rosa
60	Cerrito Joya de Limón Sur *	Cono de escorias y lava	basalto?	14 16 10	90 16 45	793.6	1579.1	1 000	140	Cuilapa	Santa Rosa
61	Cerrita Las Esclavos I *	Cono de escorias	basalto?	14 16 10	90 17 10	792.9	1579.1	950	50	Cuilapa	Santa Rosa
62	Cerrito Los Esclavos II *	Cono de escorias	basalto?	14 16 05	90 17 05	793.0	1578. 9	940	40	Cuilapa	Santa Rosa
63	Cerrito Los Esclavos III *	Cono de escorias	basalto?	14 16 00	90 17 00	793.2	1578. 8	930	40	Cuilapa	Santa Rosa
64	Cerrito Los Esclavos IV *	Cono de escorias	basalita?	14 15 50	90 17 00	793.2	1578.6	880	50	Cuilapa	Santa Rosa
65	Cerro Cuilapa Sur I *	Cono de escorias	basalto?	14 15 55	90 17 25	792.4	1578.6	900	60	Cuilapa	Santa Rosa
66	Cerro Cuilapa Sur II *	Cono de escorias	basalto?	14 15 45	90 17 20	792.5	1578. 3	870	80	Cuilapa	Santa Rosa
67	Volcón Jumaytepeque	Escudo de lava	basalto	14 20 20	90 16 15	794.4	1586.9	1 815	800	Nueva Santa Rosa	Santa Rosa
68	Cerro Monte Redondo *	Cono de escorias y lava, parásito del V. La Gobio	-	14 14 25	90 32 50	764.7	1575.6	830	80	Guanagazapa	Santa Rosa

Fuente: WEYL, Richard. Geology of Central America. p. 66-97.

69	Cerro El Guznayal *	Cono de escorias y lava, parásito del V. La Gobio	-	14 13 00	90 33 30	763.4	1573.0	940	100	Guanagazapa	Santa Rosa
70	Volcán La Gabia	Cono grande, estrato volcán muy erosionado	-	14 11 55	90 30 00	769.8	1571	1 860	850	Cuilapa	Santa Rosa
71	Volcán Tecuamburro 14.2-12	Cono grande, estrato volcán muy erosionado	basalto?	14 09 45	90 25 15	778.6	1567	1 840	700	Chiquimulilla	Santa Rosa
72	Conito San Francisco Tecuamburro 14.2-12	Cono principal del V. Tecuamburro	basalto	14 09 20	90 25 00	778.9	1566.4	1 600	350	Chiquimulilla	Santa Rosa
73	Cerro Soledad de Tecuamburro 14.2-12	Cráter de un cráter mayor del V. Tecuamburro	basalto	14 09 10	90 24 00	780.7	1566.0	1 680	600	Chiquimulilla	Santa Rosa
74	Cerro Tatascamita I *	Domo de lava?	-	14 10 40	90 12 45	800.9	1569.1	1 200	200	Oratorio	Santa Rosa
75	Cerro Tatascamita II *	Cono de lava?	-	14 10 30	90 13 30	799.7	1568.7	1 360	260	Oratorio	Santa Rosa
76	Cerro Los Achiotés	Ruina erosionada de cono compuesto	-	14 09 45	90 13 50	799	1567.5	1 360	400	Mayuta	Santa Rosa
77	Cerro Chino El Pital	Cono de escorias y lava?	-	14 °08' 55"	90°13' 45"	800.8	1565.8	1 180	280	Moyuta	Santa Rosa
78	Volcancito Margaritas *	Cono de escorias y lava?	-	14 04 25	90 11 35	803.2	1557.6	520	120	Moyuta	Santa Rosa
79	Cerrito Las Lomitas I *	Conito de lava	-	14 03 55	90 08 25	808.8	1556.7	660	60	Moyuta	Santa Rosa
80	Cerrito Las Lomitas II *	Conito de lava	-	14 03 55	90 08 15	809.2	1556.8	670	70	Moyuta	Santa Rosa
81	Cerro Buena Vista *	Conito de escorias y lava	basalto?	14 02 45	90 05 15	814.6	1554.7	1 380	180	Moyuta	Jutiapa
82	Volcán Moyuta	Estrato volcán con 3 conos-de lava	andesita piroxénica porfirítica	14 01 40	90 05 40	813.9	1552.6	1 662	500	Moyuta	Jutiapa
83	Volcán Myriam	Estrato volcán complejo muy erosionado	-	13 59 50	90 07 10	811.1	1549.2	1 440	900	Pasaco	Jutiapa

Fuente: WEYL, Richard. Geology of Central America. p. 66-97.

84	Cerro Gordo	Cono de escorias y lava, parásito del V. Myriam	-	13 58 00	90 06 30	812.4	1545.8	700	250	Pasaco	Jutiapa
85	Cerro de las Hilas *	Cono de escorias, parcialmente erosionado, parásito del V. Myriam	-	13 59 40	90 04 25	816.2	1549	880	180	Pasaco	Jutiapa
86	Cerrito Las Cofradías *	Conito de escorias y lava?	-	13 57 35	90 04 15	816.5	1545.1	560	80	Pasaco	Jutiapa
87	Cerro Del Jute	Cono de escorias afallado	-	13 58 00	90 02 30	819.6	1545.9	680	160	Pasaco	Jutiapa
88	Cerrito La Coyoto *	Conito de escorias	-	14 00 40	90 02 50	819.1	1550.9	880	60	Moyuta	Jutiapa
89	Cerro San Rafael *	Cono de escorias y lava	-	14 04 20	90 00 40	822.8	1557.7	1 052	150	Moyuta	Jutiapa
90	Cerrito del Barro *	Conito de escorias y lava, parásito del Volcán Bonete	-	14 03 45	90 01 00	822.1	1556.6	1 120	100	Moyuta	Jutiapa
91	Cerro de Conquoco *	Cráter antiguo de estrato volcán complejo, El Bonete	-	14 02 50	90 00 50	822.6	1554.9	1 300	150	Moyuta	Jutiapa
92	Cerro El Bonete	Pico mayor de estrato volcán complejo, erosionado	-	14 02 55	90 00 00	824.0	1555.0	1 390	300	Comapa	Jutiapa
93	Cerro del Plátano *	Conito parásito del Volcán Bonete	-	14 01 35	90 00 00	824.0	1552.6	880	100	Comapa	Jutiapa
94	Cerrito Platanillo *	Conito de escorias	-	14 01 00	89 59 15	177.3	1551.5	730	30	Comapa	Jutiapa
95	Cerro Tecolote	Cono de escorias y lava?	-	14°01'30"	89°58' 30"	178.8	1552.4	845	150	Comapa	Jutiapa
96	Cerro Gigante Norte *	Cono de escorias y lava afallado	-	14 00 45	89 58 25	178.8	1551	919	180	Comapa	Jutiapa
97	Cerro Gigante 111 *	Cono de escorias	-	14 00 25	89 59 35	176.7	1550.5	820	170	Comapa	Jutiapa
98	Cerro Gigante 11 *	Cono de escorias afallado	-	14 00 10	89 58 55	177.8	1550.0	900	200	Comapa	Jutiapa

Fuente: WEYL, Richard. Geology of Central America. p. 66-97.

99	Cerro Gigante	Cono de escorias?	-	14 00 15	89 58 30	178.5	1550.1	918	220	Comapa	Jutiapa
100	Cerrito Los Hornos *	Cono de escorias afallado.	-	14 00 00	89 58 05	179.4	1549.7	780	80	Comapa	Jutiapa
101	Cerro Talpetatillo *	Cono de escorias afallado.	-	13 59 45	89 59 05	177.5	1549.2	760	100	Comapa	Jutiapa
102	Cerrito El Escondido *	Conito de escorias?	-	13 59 40	90 00 20	823.4	1549.1	677	100	Posaco	Jutiapa
103	Cerro El Volcancito	Cono de escorias?	-	14 21 40	90 10 45	804.3	1589.4	1 740	140	Laguna de Ayarza	Santa Rosa
104	Laguna de Ayarza	Caldera gemela en intersección de dos conos desaparecidos	andesita piroxénica	14 25 00	90 07 00	811	1595.6	1 409	300	Laguna de Ayarza	Santa Rosa
105	Cerro El Naranio	Cono cinerítico	basalto	14 24 25	90 03 30	817.2	1594.7	1 920	120	Laguna de Ayarza	Santa Rosa
106	Cerrito Poso Bueno *	Conito cinerítico	-	14 24 00	90 02 25	819.2	1593.9	1 820	100	Laguna de Ayarza	Jutiapa
107	Cerro Enramadas*	Cono de escorias y lava?	-	14 24 15	90 00 30	822.6	1594.3	1 860	80	Laguna de Ayarza	Jutiapa
108	Cerro La Muralla	Cráter circular o caldera?	-	14 22 20	90 01 05	821.7	1590. 8	1 800	40	Laguna de Ayarza	Jutiapa
109	Cerro Suruy	Cono compuesto de lava	basalto?	14 20 40	90 03 10	817.9	1587.8	1 980	400	Laguna de Ayarza	Jutiapa
110	Cerro Suruyito	Cono de escorias y lava	basalto?	14 19 55	90 03 15	817.8	1586. 4	1 460	60	Oratoria	Jutiapa
111	Volcón de Los Flores	Estrato volcán	basalto olivínico	14 1820	89 59 45	176.8	1583.5	1 600	600	Jutiapa	Jutiapa
112	Cerro El Carnera *	Cono de escorias y lava, parásito del V. Los Flores	basalto olivínico?	14 17 55	90 00 35	822.6	1582.7	1 238	50	Oratorio	Jutiapa
113	Cerro de Argelia I *	C0:10 de escorias parásito del volcán Los Flores	basalto olivínico?	14 17 20	89 59 25	177.5	1581. 6	1 180	140	Jutiapa	Jutiapa

Fuente: WEYL, Richard. Geology of Central America. p. 66-97.

114	Cerro de Argelia II*	Cono gemelo de escorias, parásito del V. Las Flores	basalto olivínico?	14°17'20"	89°59' 25"	177.4	1581. 4	1 175	120	Jutiapa	Jutiapa
115	Cerro La Pajarita I*	Cono de escorias, parásito del volcán Las Flores	basalto olivínico ?	14 18 00	89 58 40	178.8	1582.9	1 280	170	Jutiapa	Jutiapa
116	Cerro La Pajarita II *	Cono de escorias, parásito del Volcán Las Flores	basalto olivínico?	14 17 45	89 58 15	179.4	1582.3	1 202	100	Jutiapa	Jutiapa
117	Cerrito La Pajarita III *	Conito de escorias, parásito del volcán Las Flores	basalto olivínico	14 18 10	89 58 40	178. 8	1583.3	1 190	30	Jutiapa	Jutiapa
118	Cerro Bueno Vista	Cono cinerítico grande	basalto olivínico ?	14 15 35	90 00 45	822.4	1578.4	1 140	140	Oratorio	Jutiapa
119	Cerro Las Yeguas	Cono de escorias y lava	basalto?	14 13 10	90 01 55	820.3	1574	1 200	120	Oratorio	Jutiapa
120	Cerrito El Brasil * *	Montículo de lava	basalto?	14 11 55	90 00 00	176.2	1571. 7	990	30	Jutiapa	Jutiapa
121	Cerrito El Caulote *	Conito cinerítico en depresión circular	basalto?	14 17 00	89 58 15	179.5	1581	1 080	100	Jutiapa	Jutiapa
122	Cerro Gordo de Jutiapa	Cono de escorias y lava	basalto?	14 16 50	89 56 10	183.2	1580.6	1 080	140	Jutiapa	Jutiapa
123	Cerrito La Morena*	Conito cinerítico en depresión circular	basalto?	14 15 40	89 56 45	182.1	1578. 9	960	50	Jutiapa	Jutiapa
124	Cerrito El Peñoncito *	Conito cinerítico en depresión circular	basalto?	14 15 20	89 56 25	182.7	1577.9	1 113	80	Jutiapa	Jutiapa
125	Cerrito El Cóbano *	Conito e inerítico en depresión circular	basalto?	14 14 45	89 55 58	183.8	1576.8	1 030	50	Jutiapa	Jutiapa
126	Cerrito de Lomitas *	Ccnito cinerítico en depresión circular	basalto?	14 14 15	89 54 55	185.5	1575.6	1 092	30	Jutiapa	Jutiapa
127	Cerrito Chiltepe *	Conito de lavo	basalto?	14 16 00	89 53 50	187.3	1579.1	890	20	Jutiapa	Jutiapa
128	Cerrito Los Chi lamates *	Canito de lava	basalto?	14 14 35	89 52 30	189.7	1576. 4	940	50	Jutiapa	Jutiapa

Fuente: WEYL, Richard. Geology of Central America. p. 66-97.

129	Cerrito de Lagunilla *	Conito de lava	basalto?	14 12 15	89 50 20	193.6	1572.1	1 228	30	Jutiapa	Jutiapa
130	Cerrito de Yupiltepeque *	Cono de escorias y lava erosionado	basalto?	14 12 50	89 47 40	198.3	1573. O	1 300	180	Jutiapa	Jutiapa
131	Cerro Redondo	Cono de escorias y lava afallado	basalta ?	14 °08' 55"	89°48' 40"	196.6	1566	1 050	150	Comapa	Jutiapa
132	Cerrito de Borbollón *	Conito de lava	bcsclro ?	14 08 25	89 48 30	196.8	1565	920	60	Comapa	Jutiapa
133	Cerro Cunistepeque	Cono de escorias y lava	basalto?	14 08 00	89 47 30	198.5	1564.2	1 242	200	Comapa	Jutiapa
134	Volcán Chingo	Cono grande, estratavolcán	basalto olivínico	14 07 00	89 43 35	205.6	1562.3	1 775	900	Jerez	Jutiapa
135	Cerro Colmenar I	Cono de escorias y lava	basalto?	14 08 05	89 44 25	204.2	1564.3	970	30	Jerez	Jutiapa
136	Cerro Cal menar II *	Conito de lava	basalta ?	14 08 15	89 44 40	203.8	1564.6	940	40	Jerez	Jutiapa
137	Cerro de las Guacamayas	Cono de escorias y lava	basalto?	14 08 45	89 44 15	204.5	1565.5	920	130	Jerez	Jutiapa
138	Cerro Compañía	Cono de escorias	basalto?	14 09 15	89 43 55	205	1566. 4	902	200	Jerez	Jutiapa
139	Cerro de Los Castillo	Cono de escorias	basalto?	14 09 20	89 44 15	204.5	1566. 4	862	160	Jerez	Jutiapa
140	Cerro El Rosario *	Cono de escorias	basalto?	14 10 00	89 45 05	203.0	1567.9	950	130	Jutiapa	Jutiapa
141	Cerrito La Gloria *	Cono de escorias afollado	basalto?	14 09 55	89 44 10	204.6	1567.6	700	40	Jerez	Jutiapa
142	Cerrito de Atescatempa *	Cona de escorias y lava	basalto?	14 10 15	89 43 55	205.2	1568.3	700	100	Lago de Güija	Jutiapa
143	Cerro de Apantes *	Cono de escorias y lava	basalto?	14 22 50	89 53 05	188.9	1591. 6	1 260	160	Laguna de	Jutiapa

Fuente: WEYL, Richard. Geology of Central America. p. 66-97.

144	Cerro Las Aradas	Cono de escorias	basalto?	14 20 45	89 52 10	190.5	1587.8	1 160	150	Laguna de Retana	Jutiapa
145	Cerrito Las Aradas II *	Conito de escorias	basalto?	14 20 40	89 51 40	191.5	1587.6	1 030	50	Laguna de Retana	Jutiapa
146	Cerro Santiago	Cono de escorias	basalto?	14 20 20	89 52 10	190.4	1587	1 192	190	Laguna de Retana	Jutiapa
147	Cerro San Antonio I *	Cono de escorias y lava	basalto?	14 19 35	8952 40	189.5	1585.4	1 095	160	Jutiapa	Jutiapa
148	Cerro San Antonio II *	Cono de escorias y lava	basalto?	14 1920	89 52 20	190.1	1585.1	1 045	80	Jutiapa	Jutiapa
149	Volcán Culma I	Cono de escorias y lava	basalto?	14 17 45	89 53 00	1Ba9	1582.3	960	60	Jutiapa	Jutiapa
150	Volcán Culma II *	Cono de escorias y lava	basalto?	14 17 50	89 52 40	189.5	1582.5	1 027	130	Jutiapa	Jutiapa
154	Cerro La Asunción II *	Cono de escorias y lava	basalto?	14 20 30	89 4620	200.9	1587.2	1 055	110	Laguna de Retana	Jutiapa
155	Cerro La Asuncioncita *	Cono de escorias y lava	basalto?	14 20 15	89 45 55	201.8	1586.8	1 060	80	Laguna de Retana	Jutiapa
156	Cerrito de Chavarría •	Conito cinerítico en depresión circular	basalto?	14 19 25	89 47 00	199.7	1585.2	910	30	Jutiapa	Jutiapa
157	Cerrito Las Canoas *	Conito de lava	basalto?	14 18 50	89 48 20	197.4	1584.2	870	20	Jutiapa	Jutiapa
158	Cerro Tultepeque	Cono de escorias y lava	basalto?	14 19 30	89 43 15	206.6	1585.2	630	130	Lago de Güija	Jutiapa
159	Cerro Son Jerónimo *	Cono de escorias y lava	basalto?	14 16 10	89 42 45	207.3	1579.1	600	100	Lago de Güijo	Jutiapa
160	Cerro Mongoy	Cono de escorias y lava	basalto?	14 14 10	89 42 15	208.2	1575.2	940	350	Lago de Güija	Jutiapa
161	Cerro Son Bartolo	Cono de escorias y lava	basalto?	14 13 40	89 45 15	202.8	1574.5	840	140	Jutiapa	Jutiapa

Fuente: WEYL, Richard. Geology of Central America. p. 66-97.

162	Volcán Las Víboras	Escudo volcán coronado de cono de escorias	basalto?	14 12 45	89 43 35	205.7	1572. 8	1 100	500	Lago de Güija	Jutiapa
163	Cerro Lo Isla	Conito de lavo	basalto?	14 11 40	89 42 10	208. 2	1570.9	630	30	Lago de Güija	Jutiapa
164	Cerro de Las Yeguas	Dama de lava pequeño	-	14 12 45	89 41 20	209.8	1572. 8	620	40	Lago de Güija	Jutiapa
165	Lomo Del Tablón	Domo de lava grande	-	14 14 30	89 39 10	213.8	1576	873	250	Lago de Güija	Jutiapa
166	Cerro Granada	Cono de escorias	-	14 15 30	89 39 35	213.1	1577.8	715	120	Lago de Güija	Jutiapa
167	Cerro Gordo	Cono de escorias	-	14 15 55	89 39 20	213.5	1578. 7	750	150	Lago de Güija	Jutiapa
168	Cerro El Rosario *	Cono de escorias	-	14 16 30	89 39 35	213.1	1579.7	637	110	Lago de Güija	Jutiapa
169	Cerro Santo Elena *	Cono de escorias	-	14 16 00	89 38 50	214.4	1578. 7	632	90	Lago de Güija	Jutiapa
170	Cerrito de Ujuté *	Conito de lava	-	14 17 10	89 39 15	213.7	1580.9	520	50	Lago de Güija	Jutiapa
171	Cerro Redondo	Cono de escorias	-	14 16 20	89 36 30	218.7	1579.2	768	100	Lago de Güija	Jutiapa
172	Cerro Largo I	Cono gemelo de escorias	-	14 15 50	89 36 30	218.5	1578.4	768	120	Lago de Güija	Jutiapa
173	Cerro Largo II *	Cono gemelo de escorias	-	14°15' 40"	89°36' 35"	218.5	1578	760	130	Lago de Güija	Jutiapa
174	Loma Pe raza *	Domo de lavo con dos agujas	-	14 16 00	89 36 00	219.5	1578. 5	660	60	Lago de Güija	Jutiapa
175	Cerrito Los Filines *	Domo de lava peq.	-	14 15 00	89 34 55	221. 4	1576.8	510	30	Lago de Güija	Jutiapa
176	Loma Redonda *	Domo de lavo	-	14 15 30	89 34 40	221. 8	1577.6	592	100	Lago de Güija	Jutiapa

Fuente: WEYL, Richard. Geology of Central America. p. 66-97.

177	Cerro de Güija 1 *	Cono de escorias	-	14 15 25	89 33 25	224. 1	1577.5	557	100	Lago de Güija	Jutiapa
178	Cerro de G'úija II *	Domo de lava peq.	-	14 15 35	89 33 10	224.8	1577	460	40	Lago de Güija	Jutiapa
179	Cerro de Güija 111 *	Domo de lavo peq.	-	14 15 10	89 33 00	224.6	1577.9	430	30	Lago de Güija	Jutiapa
180	Lomo El Conejo *	Domo de lava con tres agujas	-	14 18 00	89 35 00	221. 3	1582.3	560	60	Lago de Güija	Jutiapa
181	Cerrito El Platanar *	Cono de escorias	-	14 18 25	89 34 45	221. 8	1583.2	560	60	Lago de Güija	Jutiapa
182	Loma El Platanar *	Domo de lava	-	14 18 15	89 34 15	222.7	1582.9	548	100	Lago de Güija	Jutiapa
183	Cerro Chimaltepeque	Conito de escorias y lava	-	14 18 00	89 36 45	218.2	1582.5	475	30	Lago de Güija	Jutiapa
184	Cerro Amajoque	Cono de escorias y lava	-	14 19 50	89 37 10	217.5	1585.6	632	130	Lago de Güija	Jutiapa
185	Cerro El Junquillo	Cono de escorias	-	14 20 10	89 35 25	220.6	1586.3	650	150	Asunción Mita	Jutiapa
186	Cerrito de Juan Martín *	Conito de escorias en depresión circular	-	14 20 15	89 36 55	217.9	1586.5	510	30	Asunción Mita	Jutiapa
187	Cerro Estanzuela 11 *	Cono de escorias y lava	-	14 20 55	89 43 50	205.5	1587.9	740	180	Asunción Mita	Jutiapa
188	Cerro Estanzuelo 111 *	Cono de escorias y lava	-	14 21 00	89 44 30	204.3	1588.1	875	100	Asunción Mita	Jutiapa
189	Cerro Estanzuela I	Cono de escorias y lava	-	14 21 15	89 43 55	205.3	1588.5	750	80	Asunción Mita	Jutiapa
190	Cerrito Estanzuela IV *	Conito de escorias y lava	-	14 21 05	89 43 40	205.8	1588.2	660	100	Asunción Mita	Jutiapa
191	Cerro de Ayucinapa I *	Cono de escorias en depresión	-	14 22 00	89 42 30	207.9	1589.8	680	120	Asunción Mita	Jutiapa

Fuente: WEYL, Richard. Geology of Central America. p. 66-97.

192	Cerrito de Ayucina II *	Conito de lava	-	14 22 30	89 42 15	208.2	1590.7	700	30	Asunción Mita	Jutiapa
193	Cerro El Cerrón	Cono de escorias y lava	-	14 22 10	89 41 55	208.9	1590.2	815	200	Asunción Mita	Jutiapa
194	Cerro Las Pozas	Cono de escorias y lava	basalto?	14 22 15	89 41 00	210.6	1590.3	845	150	Asunción Mita	Jutiapa
195	Cerro Blanco 1	Cono cinerítico	-	14°21'50"	89°40' 35"	211. 3	1589.6	780	80	Asunc ión Mita	Jutiapa
196	Cerro Blanco 11 *	Cono de escorias y lava	-	14 21 45	89 40 00	212.4	1589.4	740	80	Asunción Mita	Jutiapa
197	Cerro Blanco 111 *	Conito de escorias y lava	-	14 21 30	89 39 55	212.6	1589. 9	660	40	Asunción Mita	Jutiapa
198	Cerro Santa Rita 11*	Conito de escorias y lava	-	14 22 00	89 38 50	214.4	1589.8	700	50	Asunción Mita	Jutiapa
199	Cerro Santa Rita	Cono de escorias	-	14 22 20	89 38 45	214. 6	1590. 4	795	120	Asunción Mita	Jutiapa
200	Cerro El Cóbano	Cono de escorias	-	14 22 00	89 37 30	216. 9	1589.7	742	140	Asunción Mita	Jutiapa
201	Volcán Alzatate	Cono de escorias y lava	basalto?	14 29 00	90 02 15	819.3	1603.1	2 045	350	Laguna de Ayarza	Jalapa
202	Volcancito Al zatate 11 *	Cono parásito del anterior	basalto?	14 28 35	90 02 30	81a. 9	1602.4	1 940	150	Laguna de Ayarza	Jalapa
203	Cerro Canoítas *	Cono de lava	basalto?	14 28 50	89 58 45	17a. 8	1602.8	1 390	30	Laguna de Ayarza	Jalapa
204	Volcán Tahual	Estrato volcán	basalto olivínico	14 26 05	89 54 15	186.8	1597.7	1 716	500	Laguna de Ayarza	Jalapa – Jutiapa
205	Cerro las Olivas *	Cono de lava parásito del Volcán Tahual	basalto olivínico ?	14 27 00	89 53 25	188. 3	1599.4	1 345	150	Laguna de Ayarza	Jalapa – Jutiapa
206	Cerro El Ovejero *	Cono de lava parásito del Volcán Tahual	basalto olivínico ?	14 26 05	89 52 40	189.6	1597.6	1 240	160	Laguna de Ayarza	Jutiapa

Fuente: WEYL, Richard. Geology of Central America. p. 66-97.

207	laguna Del Hoyo	Cono parásito del V, Tahual con laguna en el cráter	basalto 01 ivínico	14 27 50	89 53 25	188. 4	1600. 9	1 000	120	Laguna de Ayarza	Jalapa
208	Cerrito Del Salto Del Arenal*	Cono de escorias y lava?	basalto?	14 23 20	8953 45	187.7	1592.6	1 300	100	Laguna de Ayarza	Jutiapa
209	Depresión de'Monjas *	Depresión de colapso?	-	14 30 05	89 51 40	191. 6	1605	950	10	Jalapa	Jalapa
210	Cerrito Jocote Dulce *	Conito de escorias?	basalto?	14 28 55	894940	195.2	1602.7	1 040	30	Laguna de Ayarza	Jutiapa
211	Laguna San Pedro	Mar	-	14 28 00	89 51 20	192.1	1601	950	15	Laguna de Ayarza	Jutiapa
212	Cerrito San Pedro'	Conito de lava?	basalto?	14 27 35	89 50 55	192.9	1600.4	990	15	Laguna de Ayarza	Jutiapa
213	Cerrito Guachipilín	Cono cinerítico	basalto?	14 26 50	89 51 05	192.6	1599.0	1 060	60	Laguna de Ayarza	Jutiapa
214	Cerrito de Las Moritas *	Cono cinerítico	basalto ?	14°26' 25"	89°51' 05"	192.5	1598.2	1 095	100	Laguna de Retana	Jutiapa
215	Laguna de Retana	Caldera grande	dacita y basalto	14 24 55	89 50 05	194.3	1595.4	1 040	200	Laguna de Retana	Jutiapa
216	Cerro Cuesta del Guayabo *	Cono cinerítico	basalto ?	14 23 10	89 49 25	195.5	1592.1	1 140	140	Laguna de Retana	Jutiapa
217	Volcán Suchitán	Cono grande, estrato volcán erosionado	dacita y basalto	14 23 50	89 46 45	200.3	1593.4	2 042	1 200	Laguna de Retana	Jutiapa
218	Cerro Mataltepe	Cono parásito del volcán Suchitán	basalto	14 24 40	89 46 50	200.1	1594.9	1 854	250	Laguna de Retana	Jutiapa
219	Cerro Tierra Colorada I *	Cono parásito del volcán Suchitán	basalto	14 25 40	89 46 50	200.2	1596.7	1 320	50	Laguna de Retana	Jutiapa
220	Cerro Tierra Colorada II *	Cono parásito del volcán Suchitán	basalto	14 25 55	89 46 55	200.0	1597.2	1 230	60	Laguna de Retana	Jutiapa
221	Cerro de Horcones *	Cono parásito del volcán Suchitán	basalto	14 26 05	89 46 20	201.0	1597.5	1 110	60	Laguna de Retana	Jutiapa

Fuente: WEYL, Richard. Geology of Central America. p. 66-97.

222	Cerro El Reparó	Cono parásito del volcán Suchitán	basalto	14 22 35	89 44 30	204.2	1591.1	1 020	200	Asunción Mita	Jutiapa
223	Cerro Güistepeque	Cono de escorias y lava	basalto ?	14 33 35	89 46 30	200.9	1611.3	1 358	260	Jalapa	Jalapa
224	Cerro del Carrizal I	Cono de escorias y lava	basalto ?	14 32 35	89 45 45	202.2	1609.4	1152	150	Jalapa	Jalapa
225	Cerro del Carrizal II *	Cono de escorias y lava	basalto ?	14 32 20	89 45 40	202.4	1609.1	1 090	50	Jalapa	Jalapa
226	Cerro El Guineo	Cono de escorias y lava	basalto ?	14 31 25	89 46 35	200.8	1607.3	1 012	80	Jalapa	Jalapa
227	Cerro La Paja I	Cono cinerítico	basalto ?	14 30 25	89 46 25	201.1	1605.5	1 040	100	Jalapa	Jalapa
228	Cerro La Paja II *	Cono cinerítico	basalto ?	14 30 15	89 46 40	200.6	1605.3	980	30	Jalapa	Jalapa
229	Cerro La Paja III *	Cono de lava	basalto ?	14 30 10	89 46 55	200.1	1605	966	30	Jalapa	Jalapa
230	Cerro La Paja IV *	Conito de lava	basalto ?	14 30 05	89 46 40	200.5	1604.9	960	30	Jalapa	Jalapa
231	Cerro Amarillo	Cono de escorias y lava	basalto	14 30 55	89 44 55	203.7	1606.4	1 022	120	Ipala	Jalapa
232	Cerro Fortuna	Cono de escorias y lava	basalto ?	14 30 50	89 44 10	205.1	1606.2	1 007	140	Ipala	Jalapa
233	Cerro El Gallo	Cono de escorias y lava	basalto ?	14 30 25	89 45 00	203.6	1605.5	980	140	Ipala	Jalapa
234	Cerro Natividad	Cono de escorias y lava	basalto?	14 °29' 20"	89°45'05"	203.4	1603.4	918	120	Laguna de Retana	Jalapa
235	Cerro Buena Vista *	Cono de escorias y lava	basalto?	14 28 40	89 44 05	205.2	1602.1	780	50	Asunción Mita	Jutiapa
236	Cerro Tablón Del Conacaste	Cono de escorias y lava	basalto?	14 28 05	89 43 25	206.3	1601.1	915	150	Asunción Mita	Jutiapa

Fuente: WEYL, Richard. Geology of Central America. p. 66-97.

237	Cerro El Tablón El Rodeo	Cono de escorias	basalto?	14 28 35	89 42 40	207.8	1602.1	1 015	100	Asunción Mita	Jutiapa
238	Cerro de Chinchilla *	Cono de escorias y lava	basalto?	14 27 25	89 43 45	205.8	1599.9	770	50	Asunción Mita	Jutiapa
239	Cerro La Pereza	Cono de escorias y lava	basalto olivínico	1425 10	89 43 05	206.9	1595.8	920	170	Asunción Mita	Jutiapa
240	Volcán I xtepeque	Domo muy grande de obsidiana	obsidiano riolítico	14 25 25	89 41 00	210.7	1596.1	292	500	Asunción Mita	Jutiapa
241	Cerro El Voladero I	Cono de escorias	basalto?	1424 10	89 41 25	209.9	1593.8	1 035	180	Asunción Mita	Jutiapa
242	Cerrito El Voladero II *	Conito de escorias	basalto?	14 23 50	89 41 15	210.2	1593.3	920	30	Asunción Mita	Jutiapa
243	Cerrito El Voladero III*	Conito de escorias	basalto?	14 23 50	89 41 05	210.5	1593.2	940	40	Asunción Mita	Jutiapa
244	Cerro El Gentes I	Cono de escorias	basalto?	14 23 25	89 41 25	209.8	1592.5	940	120	Asunción Mita	Jutiapa
245	Cerrito El Gentes II*	Conito de escorias	basalto?	14 23 35	89 41 15	210.2	1592.8	960	80	Asunción Mita	Jutiapa
246	Cerro Iguanero	Cono cinerítico grande	basalto?	14 24 20	89 39 55	212.5	1594.0	1 040	160	Asunción Mita	Jutiapa
247	Cerrito Tancushapa *	Conito de lava?	basalto?	14 21 10	89 42 30	207.9	1588.4	525	15	Asunción Mita	Jutiapa
248	Cerrito De Osúa *	Conito cinerítico?	basalto?	14 20 45	89 42 15	208. 3	1587.6	480	15	Asunción Mita	Jutiapa
249	Cerro El Pocho	Conito de escorias	basalto?	14 23 00	89 41 15	210.1	1591.7	820	50	Asunción Mita	Jutiapa
250	Cerro De Los Hoyos	Domo de lava amplio en depresión	basalto?	14 23 15	89 38 05	215.9	1592.1	885	160	Asunción Mita	Jutiapa
251	Cerro Chileno	Conito de escorias	basalto?	14 24 55	89 38 40	214.8	1595.1	945	40	Asunción Mita	Jutiapa

Fuente: WEYL, Richard. Geology of Central America. p. 66-97.

252	Cerro Camposanto	Cono cinerítico	basalto olivínico parf.	14 25 15	89 38 50	214.5	1595.8	1 060	180	Asunción Mita	Jutiapa
253	Cerro Las Piedras	Volcán de escudo coronado de cano de escorias	basalto olivínico	14 25 25	89 37 35	216.8	1596.1	975	160	Asunción Mita	Jutiapa
254	Cerrito de Santa Gertrudis *	Conito de escorias	-	14 24 45	89 36 50	218.1	1594.9	830	30	Asunción Mita	Jutiapa
255	Cerro de Las Iguanas	Cono de escorias y lava	basalto?	14 24 55	89 36 10	219.3	1595.2	955	150	Asunción Mita	Jutiapa
256	Cerro Pino Redondo	Domo de lava vítreo	Obsidiana riolítica vesicular	14 26 15	89 39 30	213.4	1597.7	1 070	140	Asunción Mita	Jutiapa
257	Cerro Chagüitillo	Domo de obsidiana	obsidiana riolítica	14°26'35"	89°39'05"	214.1	1598.2	1 115	170	Asunción Mita	Jutiapa
258	Laguna Obrojuelo	Cono con cráter grande	riolita vítrea y además basalto	14 27 00	89 38 45	214.8	1599.1	878	100	Asunción Mita	Jutiapa
259	Cerrito Brujillo Sur *	Cono de lava	basalto	14 27 20	89 37 20	217.3	1599.6	980	70	Asunción Mita	Jutiapa
260	Cerro Dos Cerros	Cono cinerítico gemelo	basalto	14 26 35	89 37 00	218.0	1598.3	1 020	140	Asunción Mita	Jutiapa
261	Cerro De Los Cedros	Cono cinerítico	basalto	14 26 05	89 37 00	217.9	1597.4	975	130	Asunción Mita	Jutiapa
262	Cerro Gordo	Cono cinerítico	basalto	14 26 05	89 36 05	219.4	1597.4	1 035	170	Asunción Mita	Jutiapa
263	Cerrito Lencho Sur *	Cono cinerítico	basalto	14 26 35	89 36 10	219.4	1598.3	1 000	100	Asunción Mita	Jutiapa
264	Cerro Lencho	Cono cinerítico	basalto	14 26 50	89 36 10	219.4	1598.6	1 020	100	Asunción Mita	Jutiapa
265	Cerrito Lencho Norte *	Cono cinerítico	basalto	14 26 55	89 36 10	219.5	1598.9	990	60	Asunción Mita	Jutiapa
266	Cerro Matasano	Cono de escorias y lava	basalto olivínico	14 27 25	89 36 15	219.3	1599.8	1 040	120	Asunción Mita	Jutiapa

Fuente: WEYL, Richard. Geology of Central America. p. 66-97.

267	Cerro Brujillo	Cono de lava	basalto	14 28 00	89 37 35	216.8	1600.8	1 212	300	Asunción Mita	Jutiapa
268	Cerro De Pinos Norte *	Cono cinerítico	basalto	14 28 15	89 38 55	214.4	1601.3	970	30	Asunción Mita	Jutiapa
269	Cerro Colorado	Cono cinerítico	basalto	14 24 40	89 38 40	214.8	1594.8	1 005	100	Asunción Mita	Jutiapa
270	Cerro Panalvía	Domo de lava vítrea	obsidion	14 28 40	89 38 20	215.6	1602.1	1 160	180	Asunción Mita	Jutiapa
271	Cerro Del Llano *	Cono cinerítico	basalto	14 29 20	89 39 05	214.3	1603.4	940	60	Asunción Mita	Jutiapa
272	Cerro Tempisque	Domo de lava vítrea	absidiana	14 29 50	89 38 10	215.9	1604.2	1 050	150	Asunción Mita	Jutiapa
273	Cerrito La Ceiba Este *	Cono de escorias	basalto	14 30 15	89 37 25	217.2	1605.0	968	70	Ipala	Jutiapa
274	Cerro Pedregoso *	Cono de escorias y lava	basalto	14 31 05	89 36 20	219.1	1606.6	942	50	Ipala	Jutiapa
275	Cerrito La Ceiba Norte *	Cono de escorias	basalto	14 30 50	89 37 40	216.8	1606.1	975	70	Ipala	Jutiapa
276	Cerrito de Agua Blanca *	Cono de escorias	basalto	14 30 20	89 38 40	214.9	1605.2	988	90	Ipala	Jutiapa
277	Cerro Colorado Norte *	Cono de escorias	basalto	14 30 15	89 39 40	213.2	1605.0	950	40	Ipala	Jutiapa
278	Cerro Palo Blanco *	Cono de escorias	basalto	14 35 20	89 41 50	209.3	1614.5	852	50	Ipala	Jutiapa
279	Volcán Ipala	Cono grande, estratovolcán con un lago amplio en el cráter	basalto olivínico	14 33 25	89 38 25	215.5	1610.8	1 650	800	Ipala	Chiquimula-Jutiapa
280	Cerro Las Ruedas	Cono parásito del Volcán Ipala	basalto olivínico	14 35 50	89 38 45	214.9	1615.4	1 027	170	Ipala	Chiquimula
281	Cerro Los Pintos	Cono parásito del Volcán Ipala	basalto olivínico	14 35 15	89 38 50	214.8	1614.2	1 020	140	Ipala	Chiquimula

Fuente: WEYL, Richard. Geology of Central America. p. 66-97.

282	Cerro de Monte Rico	Cono parásito del Volcán Ipala	basalto olivínico	14°31'55"	89°38' 20"	215.5	1608	1 285	200	Ipala	Jutiapa
283	Cerrito Chinchintor I *	Cono parásito del Volcán Ipala	basalto olivínico	14 31 35	89 38 40	214.9	1607.5	1 050	20	Ipala	Jutiapa
284	Cerrito Chinchintor II *	Cono parásito del Volcán Ipala	basalto olivínico	14 31 30	89 38 50	214.8	1607.3	1 030	20	Ipala	Jutiapa
285	Cerro Zacaríos I1 *	Cono parásito del Volcán Ipala	basalto olivínico	14 31 50	89 37 15	217.5	1607.9	1 065	100	Ipala	Jutiapa - Chiquimula
286	Cerro Zocarios I	Cono parásito del Volcán Ipala	basalto olivínico	14 32 10	89 37 10	217.7	1608.5	1 140	50	Ipala	Jutiapa - Chiquimula
287	Cerri to La Parada *	Cono parásito del Volcán Ipala	basalto olivínico	14 32 35	89 37 15	217.5	1609.3	1 162	30	Ipala	Chiquimula
288	Cerro El Poxte *	Cono parásito del Volcán Ipala	basalto olivínico	14 33 45	89 37 15	217.6	1611.4	1 130	50	Ipala	Chiquimula
289	Cerro La Esperanza *	Conito de escorias y lava	basalto?	14 35 15	89 36 10	219.3	1614.2	928	40	Ipala	Chiquimula
290	Cerro de La Tuna *	Conito de escorias y lava	basalto?	14 34 50	89 35 10	221. 4	1613.4	1 012	80	Ipala	Chiquimula
291	Cerrito Conchas I *	Conito de lava	basalto?	14 35 55	89 36 10	219.6	1615.4	952	50	Ipala	Chiquimula
292	Cerrito Conchas II *	Conito de lava	basalto?	14 36 00	89 35 55	220.0	1615.5	945	30	Ipala	Chiquimula
293	Cerro Colorado	Cono de escorias	basalto?	14 36 45	89 37 25	217.3	1617.0	922	80	Ipala	Chiquimula
294	Cerrito del Calvario *	Cono de escorias	basalto?	14 37 15	89 36 30	219.1	1618.0	927	50	Ipala	Chiquimula
295	Cerro de Obraje *	Conito de lava	basalto?	14 37 40	89 37 40	216.8	1618.7	840	30	Ipala	Chiquimula
296	Cerrito Pongisüis *	Cono de lava	basalto	14 40 40	89 43 05	207.3	1624.3	720	60	Chiquimula	Chiquimula

Fuente: WEYL, Richard. Geology of Central America. p. 66-97.

297	Cerro Redondo	Cono cinerítico	basalto	14 40 55	89 42 45	207.8	1624.9	732	50	Chiquimula	Chiquimula
298	Cerro de Zarzona *	Cono de lava	basalto	14 40 05	89 36 35	218.9	1623.1	990	60	Chiquimula	Chiquimulo
299	Cerro Mal Paso *	Conito de escorias y lava	basalto?	14 33 05	89 56 20	183.2	1610.7	1 297	80	Jalapa	Jalapa
300	Cerro Nana Cunda *	Conito de escorias y lava	basalto ?	14 34 00	89 57 00	182.1	1612.4	1 320	60	Jalapa	Jalapa
301	Cerro Los Tablones *	Conito de lava	basalto?	14 34 15	89 58 30	179.3	1612.8	1 400	50	Jalapa	Jalapa
302	Cerro Mojón Sur *	Cono cinerítico	basalto?	14 34 55	89 57 35	181.1	1614.1	1 520	60	Jalapa	Jalapa
303	Cerro Mojón	Cono de escorias y lava	basalto?	14 35 40	89 57 20	181.5	1615.4	1 552	170	Jalapa	Jalapa
304	Cerro Las Lomitas *	Cono de escorias con cráter grande	basalto?	14 36 30	89 57 10	181.8	1616.9	1 550	60	Jalapa	Jalapa
305	Cerro Cuo] ilote *	Cono de escorias y lava	basalto?	14 °36' 00"	89°54' 25"	186.7	1616	1 209	110	Jalapa	Jalapa
306	Cerrito El Cipresal I *	Conito de escorias y lava	basalta ?	14 36 05	89 53 30	188.5	1616.1	1 180	40	Jalapa	Jalapa
307	Cerrito El Cipresal II *	Conito de escorias y lava	basalto?	14 36 05	89 53 20	188.8	1616.2	1 170	30	Jalapa	Jalapa
308	Cerrito El Cipresal III *	Conito de escorias y lava	basolto ?	14 36 15	89 53 25	188.5	1616.4	1 194	50	Jalapa	Jalapa
309	Volcán Jumoy	Cono grande, estratovolcán	basalto olivínico augítico porfirítico	14 41 35	89 59 35	177.7	1626.4	2 176	600	San Diego	Jalapa
310	Cerro Las Ollas	Cono parásito del Volcán Jumay?	basalto olivínico?	14 42 35	90 01 10	821.1	1628.2	1 775	200	Sanorate	Jalapa
311	Cerrito de Toco Arriba *	Conitode lava	basalto	14 47 20	89 36 50	218.6	1636.5	1 192	90	Chiquimula	Chiquimula

Fuente: WEYL, Richard. Geology of Central America. p. 66-97.

312	Cerrito de Los Vidal *	Conito de lava	basalto	14 46 25	89 29 55	231.0	1634.8	640	30	Jocotán	Chiquimula
313	Cerrito El Asti llero *	Conito de lava	basalto	14 46 40	89 30 10	230.6	1635.2	650	50	Chiquimula	Chiquimula
314	Cerrito El Si llón Aba [o *	Conito de levo	basalto	14 47 00	89 29 50	231. 2	1635.8	640	30	Jocotán	Chiquimula
315	Cerrito El Sillón I *	Conito de lava	basalto	14 47 30	89 29 40	231.4	1636.6	550	40	Jocotán	Chiquimula
316	Cerrito El Sillón II *	Conito de lavo	basalto	14 47 55	89 29 15	232.2	1637.4	617	100	Jocotán	Chiquimula
317	Cerrito El Otro Lodo I *	Conito cinerítico	basalto	14 49 15	89 32 45	226.0	1640	470	50	Chiquimula	Chiquimula
318	Cerro El Otro Lado II *	Cono cinerítico	basalto	14 49 45	89 32 50	225.8	1640.8	616	130	Chiquimula	Chiquimula
319	Cerro Guo t o] ón	Cono de escorias y lava	basalto	14 50 05	89 33 00	225.6	1641. 5	740	200	Zacapa	Chiquimula
320	Cerro Paxapó "	Cono amplio de lava	basalto	14 51 15	89 36 05	220.0	1643.8	1 069	70	Zacapa	Chiquimula
321	Cerro Ananopa	Cono de lava	basalto	14 54 20	89 55 50	184.7	1649.8	386	100	San Agustín Acas.	El Progreso
322	Cerro de Antornb rón *	Cono de lava	basalto	14 56 25	89 44 25	205.2	1653.4	269	50	Zacapa	Zacapa
323	Cerro Lo Parado Norte *	Calla parásito del volcán Ipala	basalto	14 32 55	89 37 05	217.9	1609.9	1 180	50	Ipala	Chiquimula
324	Cerro Son Gosper	Cono cinerítico	basalto olivínico	14 25 55	89 39 55	212.5	1597.1	1 090	110	Asunción Mita	Jutiapa

Fuente: WEYL, Richard. Geology of Central America. p. 66-97.

MAPA GEOLÓGICO ELABORADO EN 1970

Beiträge zur Regionalen Geologie der Erde, Band 15: WEYL, Central America

ad p. 73

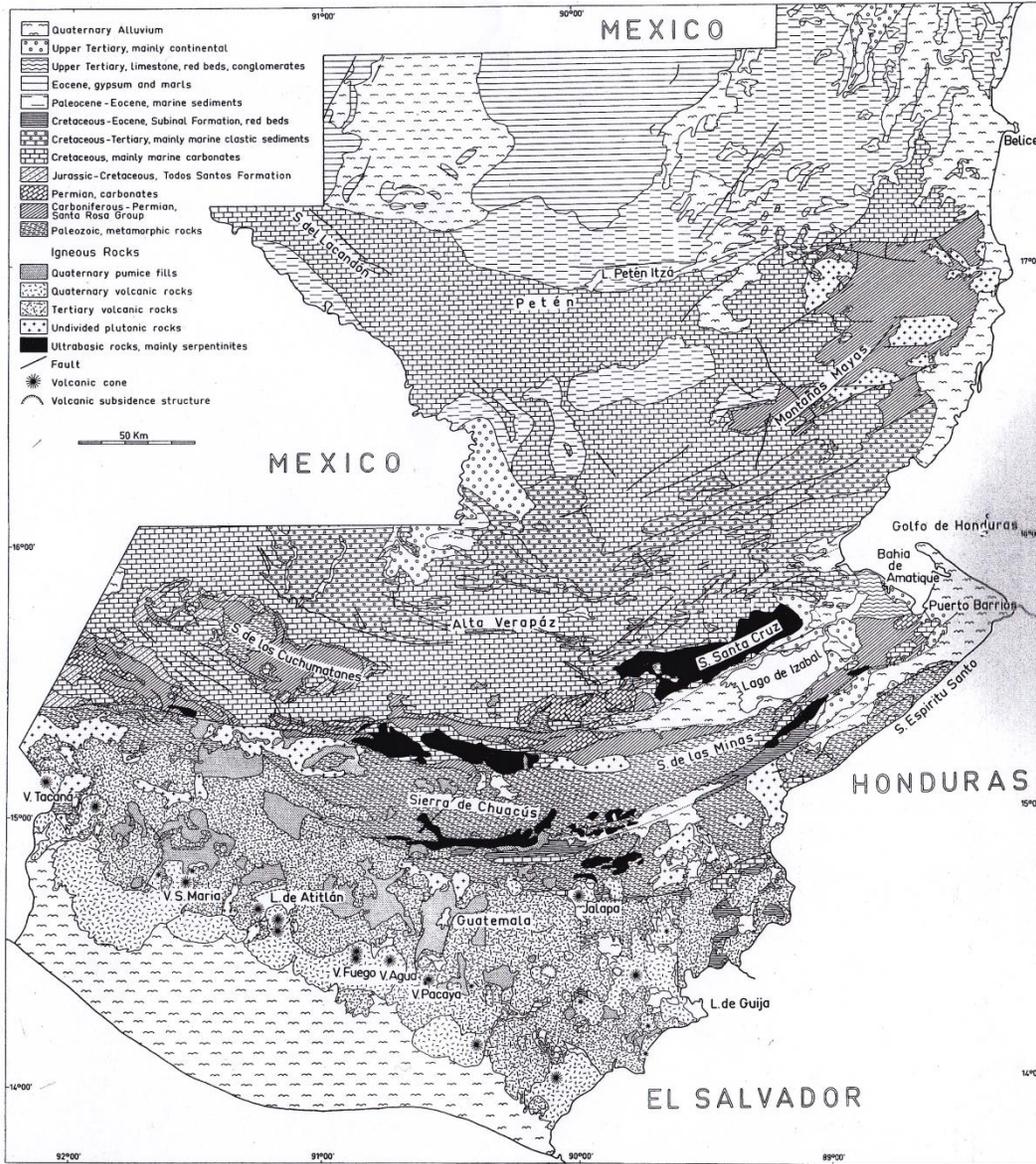


Fig. 43. Geological map of Guatemala. (Slightly modified redrawing from "Mapa Geológico de la República de Guatemala 1 : 500,000", Primera Edición,

Fuente: WEYL, Richard. Geology of Central America. p. 54.

Fuente: WEYL, Richard. Geology of Central America. p. 66-97.