

RECTOR

JOSÉ MARÍA TOJEIRA, S.J

SECRETARIO GENERAL

RENÉ ALBERTO ZELAYA

DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

EMILIO JAVIER MORALES QUINTANILLA

COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ROBERTO MAURICIO MERLOS LAÍNEZ.

DIRECTOR DEL TRABAJO

WALTER HERNÁNDEZ

LECTORA

MARY PATRICE MENDEZ

## AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer primero que todo a nuestro asesor Walter Hernández; quien más que un asesor ha sido como un compañero en este trabajo, ya que ha trabajado fervientemente a nuestro lado. Gracias por exigirnos para lograr dar lo mejor de nosotros no solo en este trabajo sino también en el ámbito profesional. Gracias por la paciencia brindada!

A la Ing. Patricia de Hasbun por los consejos brindados para que este trabajo quedara lo mejor posible y por su comprensión durante todo este tiempo.

A Dolores Ferrés por la información brindada acerca del Plan de La Laguna y a Geovanni Molina por el tiempo y la paciencia que nos manifestó durante el desarrollo de este trabajo.

Gracias a Walter García, Tania Morales y Néstor España por el apoyo, paciencia y consejos durante todo el tiempo que nos encontramos en el laboratorio realizando las distintas pruebas.

Gracias a nuestros amigos y compañeros, que nos ayudaron en las distintas facetas de este trabajo: Dorita, Silvia, Ana Maria, Tita, Ronald, Deyman, Wilfredo, Juan Carlos, Paco, Jean Pierre, Oscar David, Oscarito, Rojo, Jairo, Romelito y Mapache.

Le damos gracias al arquitecto Velázquez y al chino, por la cooperación brindada para la realización de los sondeos y toma de muestras en el edificio TACA, Santa Elena. Así como al ing. Figueroa, encargado de residencial los sueños y al ing. Mendez, encargado de urbanización la Florida.

Gracias al Ing. Hasbun por la ayuda brindada a lo largo de toda la carrera, por sus consejos y buen ejemplo.

Le dedico este logro a Dios principalmente, ya que su mano me ha sostenido a lo largo de toda mi carrera. Este triunfo es por él y para él.

A mis padres, quienes me han apoyado en todo y han luchado juntos por darme lo mejor; gracias por el amor y cuidados brindados a lo largo de toda mi vida y sobre todo por estar a mi lado en los momentos difíciles y también en los alegres como éste.

A mis hermanos (Lin y Clau), por ser mis cómplices en todo desde que éramos niños y por comprenderme en mis ratos de estudio y desvelo.

A mi novio Ronald le doy las gracias por apoyarme en todo lo relacionado con este trabajo, gracias por los gratos momentos que he pasado a su lado, por la comprensión y el amor que me brinda día con día.

Le doy gracias a mi compañero de tesis y amigo, por entenderme y ayudarme a realizar este trabajo, por las aventuras vividas y por los consejos brindados.

También le agradezco a la sra. Dorita Alvarado, por ser la que me impulso a tomar esta carrera, por haber influido grandemente mi vida académica y por exigir de mí la excelencia siempre.

Le agradezco al Ingeniero Carlos Hasbun, quien ha sido un docente que ha marcado mi vida universitaria, por creer en mí desde la primera materia que curse con él.

Gracias a mis amigos y compañeros por todos los gratos momentos compartidos y a todas las personas que por motivos de espacio no menciono; pero que han formado parte importante en mi vida.

A todos ellos agradezco y dedico este triunfo.

**Karla Lissette Marroquin Rivas**

Este trabajo es dedicado primeramente a Dios por la oportunidad que me regala de existir y que como padre amoroso me ha fortalecido y cuidado en cada momento de mi vida para alcanzar esta meta.

A mi madre quien me ha heredado el tesoro más valioso que puede dársele a un hijo: que es la confianza en Dios. Por su sacrificio, por su ejemplo de superación incasable, por su comprensión y confianza, por su amor y amistad incondicional, porque sin su apoyo no hubiera sido posible la culminación de mi carrera.

Agradezco a mis asesores de tesis, Geol. Walter Hernández e Ing. Patrice de Hasbund, quiero agradecerles especialmente por todos los conocimientos que compartieron y por su valioso tiempo dedicado a este trabajo de tesis.

A mi compañera de tesis Karla, por su valioso tiempo dedicado para poder lograr este triunfo en nuestras vidas como profesionales, y como amiga que me ha ayudado en los momentos difíciles de mi vida.

A mis hermanos, amigos, compañeros y todas las personas que han sido especiales para mí, al término de esta etapa de mi vida, quiero expresar un profundo agradecimiento a quienes con su ayuda, apoyo y comprensión me alentaron a lograr esta hermosa realidad.

Finalmente quiero agradecer a todas aquellas personas que de alguna manera hicieron posible la finalización de este trabajo y que no las he mencionado.

**Carlos Roberto Vásquez Ríos.**



## RESUMEN EJECUTIVO

**CAPÍTULO 1.** Este trabajo comprende la realización del estudio de la erupción freatomagmática del Plan de La Laguna, en la cual se busca caracterizar los materiales del depósito, tanto sus propiedades mecánicas como geotécnicas; ya que éste abarca gran parte de los municipios de Antiguo Cuscatlán, Nuevo Cuscatlán y Santa Tecla, en los cuales se está generando una alta expansión poblacional y económica. Es por ello, la necesidad de conocer acerca de la extensión de la erupción, espesores, propiedades y la relación estratigráfica de ésta con otras unidades geológicas.

**CAPÍTULO 2** En este capítulo se describe de manera general el origen de los volcanes en El Salvador; explicando la interacción de las tres placas tectónicas que controlan la geodinámica de Centro América, y su influencia en el sistema de fallas del país. También la geología general de El Salvador, mencionando los depósitos de éste, dónde se encuentran ubicados y la era geológica en que se formaron. Después se describe la geología de San Salvador, entorno del área de influencia de esta erupción.

**CAPÍTULO 3.** Este capítulo cuenta con todo lo relacionado con las erupciones volcánicas de manera generalizada; en él se describen tanto la génesis de los volcanes de manera breve, así como el magma, sus conformaciones y su forma de ascenso. También se presentan los tipos de actividad eruptiva, ya que para conocer los depósitos, primero debe conocerse el mecanismo de la erupción; así como los agentes externos que interactuaron al momento de la misma; ya que los depósitos varían de manera notable de un tipo de erupción a otra. En el

caso del Plan de la Laguna, se tiene una erupción de tipo hidrovulcánica, en la que hay interacción de agua subterránea con magma, lo que genera una alta explosividad y distintos pulsos eruptivos; lo que hace que el material expulsado por ella presente formas, tamaños y propiedades diferentes. Es por ello que en este apartado se presentan los distintos tipos de depósitos atendiendo a la erupción que les dio origen. En el caso de Plan de La Laguna, las oleadas piroclásticas representan el material característico de este tipo de erupción, así como el lapilli acrecional representa justamente los depósitos de la fase final de la erupción; para terminar así definiendo la morfología de los volcanes, dependiendo si son estos monogenéticos o poligenéticos, del tipo de actividad eruptiva y de los materiales que conforman el volcán.

**CAPÍTULO 4.** Este capítulo trata nuevamente sobre la erupción misma, el cual está relacionado al complejo volcánico de San Salvador, se hace una referencia entre el fallamiento y el ascenso magmático, así como, el proceso que da origen a la estructura volcánica "Maars". Se mencionan otros ejemplos en El Salvador de otros cráteres del mismo origen que el Plan de la Laguna. Además, se definen todas las características que presenta el Plan de la Laguna; así como la composición química de la lava que le dio origen. Las características morfológicas que presenta: como son diámetro, área y perímetro del cráter, altura de borde entre otras, realizándole las comparaciones con valores esperados de estos parámetros para el cráter tipo "Maars", que es como se clasifica.

También se describe el proceso eruptivo de una forma más detallada y específica para el caso en estudio; así como el grado de explosividad de la erupción.

**CAPÍTULO 5.** En este capítulo se condensan todos los resultados obtenidos del trabajo de campo; se presenta la metodología utilizada para la medición de cada uno de los afloramientos encontrados en la zona en estudio; delimitándose en diferentes zonas a lo largo de toda el área de erupción; definiéndose así la zona proximal que es la que posee una menor extensión y contener material escoriáceo de caída y balísticos. También se cuenta con una zona intermedia en la que se presenta una secuencia de todos los materiales expulsados en la erupción y la zona distal la cual se caracteriza por ser rica en lapilli acrecional y oleadas piroclásticas, por el alto grado de meteorización de sus materiales, por tener una granulometría fina y espesores pequeños, ya que son los materiales que llegaron mas lejos a través de la columna eruptiva. Presentándose así las distintas unidades que componen las zonas y la descripción de los materiales que se encuentran en ella, así como perfiles estratigráficos de afloramientos representativos en cada zona.

**CAPÍTULO 6.** Para caracterizar geotécnicamente la erupción de los depósitos de Plan de la Laguna se obtuvieron las propiedades mecánicas y geotécnicas que son: contenido de humedad, granulometría, resistencia al cortante, gravedad específica, peso volumétrico y relación de vacíos, para cada unidad.

Por lo que en este capítulo se describen estas propiedades y el procedimiento realizado para encontrarlo. Se presentan

también los puntos seleccionados para la extracción de las muestras, según el caso, es decir muestras alteradas e inalteradas. La descripción e interpretación de los resultados se realiza por zonas: proximal, intermedia y distal. Comparando en el caso de la zona intermedia los resultados, entre los puntos para la misma unidad.

También se presentan las Pruebas de Penetración Estándar, que por medio de correlaciones dan valores aproximados de resistencia al cortante y su consistencia; que ayudan a poder ver el comportamiento de cada unidad, según la zona en la que se encuentre. Y además, se pueden obtener valores aproximados de capacidad de carga para cada unidad.

**CAPÍTULO 7.** En este capítulo se incluyen las conclusiones del trabajo de graduación.

**CAPÍTULO 8.** Este capítulo contiene las recomendaciones del trabajo de graduación.

## ÍNDICE GENERAL

Resumen ejecutivo.....	i
Índice De Figuras.....	vix
Índice de Tablas .....	xiii
Siglas.....	xv
Abreviaturas.....	xvii
Simbología.....	xix
Prologo.....	xxi
<b>CAPITULO 1: Introducción</b>	
1.1 Definición del problema.....	1
1.2 Objetivos.....	1
1.2.1 Objetivos generales.....	1
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Límites y alcances.....	2
1.4 Antecedentes.....	3
1.5 Limitantes.....	4
<b>CAPÍTULO 2: Geología</b>	
2.1 Condición tectónica de Centroamérica.....	5
2.1.1 Tectónica de El Salvador.....	7
2.1.2 Formación cordillera volcánica de El Salvador..	8
2.2 Geología de El Salvador.....	9
2.3 Geología del área de El Salvador.....	11
2.3.1 Plan de la Laguna.....	14
2.3.2 Estratigrafía.....	18
<b>CAPÍTULO 3: Vulcanología. Tipos Eruptivos</b>	
3.1 Introducción.....	19
3.2 Volcanes y sus características Principales.....	20
3.3 El Magma.....	21
3.4 Tipos de actividad eruptiva.....	23
3.4.1 Erupciones efusivas.....	24

3.4.2	Erupciones explosivas.....	25
3.4.3	Erupciones hidrovulcánicas.....	28
3.5	Materiales producidos por erupciones.....	30
3.5.1	Coladas de lavas.....	31
3.5.2	Materiales fragmentarios.....	31
3.5.3	Gases y vapor de agua.....	34
3.6	Morfología de volcanes.....	34
3.6.1	Volcanes monogenéticos.....	35
<b>CAPÍTULO 4: Erupción freatomágmatica del Plan de la Laguna</b>		
4.1	Introducción.....	41
4.2	Relación con el complejo volcánico San Salvador .....	43
4.2.1	Cráter Plan de la Laguna.....	45
4.2.2	Química de roca del Plan de la Laguna.....	47
4.3	Morfología del Plan de la Laguna.....	48
4.4	Descripción de la erupción.....	49
<b>CAPÍTULO 5: Medición de Afloramientos</b>		
5.1	Introducción.....	55
5.2	Metodología.....	56
5.3	Zonificación de los depósitos del Plan de la Laguna..	56
5.3.1	Zona Proximal.....	56
5.3.2	Zona Intermedia.....	64
5.3.3	Zona Distal.....	74
5.4	Mapa de isopacas y volumen de la erupción.....	76
5.5	Correlaciones geológicas.....	79
<b>CAPÍTULO 6: Pruebas geotécnicas</b>		
6.1	Introducción.....	85
6.2	Programas de ensayos.....	85
6.3	Proceso de extracción de muestras.....	87
6.4	Resultados.....	89
6.4.1	Por zonas.....	89
6.4.2	Pruebas de penetración estándar.....	96

6.5	Análisis de resultados.....	106
6.5.1	Parámetros físicos.....	106
6.5.2	Parámetros mecánicos.....	118
6.5.3	Capacidad de carga.....	135
CAPÍTULO 7: Conclusiones.....		141
CAPÍTULO 8: Recomendaciones.....		147
GLOSARIO.....		151
BIBLIOGRAFÍA.....		157
ANEXO A: Planos		
ANEXO B: Puntos de afloramiento		
ANEXO C: Cálculo de volúmenes		
ANEXO D: Pruebas geotécnicas		
ANEXO E: Pruebas SPT		
ANEXO F: Capacidad de carga		





## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Interacción de las placas de Cocos, el Caribe y Norte América.....	5
Figura 2.2	Sección de la subducción de la placa de Cocos debajo de la de Guatemala .....	6
Figura 2.3	Sistemas de fallas asociadas a la formación y evolución del graben central en El Salvador.....	7
Figura 2.4	Mapa geológico simplificado.....	9
Figura 2.5	Mapa de isopacas de la erupción G2 del Boquerón.....	15
Figura 2.6	Mapa geológico .....	16
Figura 2.7	Secuencia estratigráfica del relleno del graben central en San Salvador.....	17
Figura 2.8	Esquema estratigráfico en el graben central y cordillera el bálsamo .....	18
Figura 3.1	Partes Principales de un volcán.....	20
Figura 3.2	Tipos eruptivos.....	23
Figura 3.3	Esquema de la columna Eruptiva.....	26
Figura 3.4	Esquema de la actividad freática.....	28
Figura 3.5	Esquema de la actividad freatomagmática.....	29
Figura 3.6	Esquema de los distintos tipos de materiales expulsados por un volcán.....	30
Figura 3.7	Esquema de los depósitos de caída.....	33
Figura 3.8	Cuadro resumen de la morfología de volcanes.....	35
Figura 3.9	Modelo de los parámetros de un Cono de escoria.....	37
Figura 3.10	Esquema de la morfología de un maar.....	40
Figura 4.1	Plano de Ubicación de área de estudio.....	42

Figura 4.2	Principales sistemas de fracturación que afecta al complejo volcánico San Salvador.....	44
	Fotografía del cráter del plan de la	
Figura 4.3	laguna.....	46
Figura 4.4	Esquema de cráteres de explosión.....	47
Figura 4.5	Variación de la explosividad con la relación entre el contenido agua-magma.....	50
Figura 4.6	Mapa de isofreaticas para la zona de Antigua Cuscatlán.....	51
Figura 4.7	Materiales de proyección balística.....	53
Figura 4.8	Oleadas piroclásticas y depósitos de caída.....	53
Figura 5.1	Materiales característicos de la zona proximal...	58
Figura 5.2	Afloramiento ubicado en Cumbres de Cuscatlán.....	59
Figura 5.3	Bomba juvenil en la porción inferior.....	60
Figura 5.4	Líticos encontrados en afloramientos de la zona Proximal.....	60
Figura 5.5	Estructura de carga presente en la porción Superior.....	61
Figura 5.6	Escorias con líticos abundantes .....	62
Figura 5.7	Brecha de explosión típica .....	63
Figura 5.8	Perfil estratigráfico de afloramiento ubicado en cumbres de Santa Elena.....	64
Figura 5.9	Afloramiento mostrando las tres unidades de Plan de la Laguna.....	65
Figura 5.10	Unidad 1 y sus divisiones.....	67
Figura 5.11	Afloramiento en edificio Taca.....	70
Figura 5.12	Unidad 2.....	71
Figura 5.13	Lapilli acrecional característica del techo de los depósitos de la zona intermedia.....	72
Figura 5.14	Perfil estratigráfico ubicado en el edificio TACA en Santa Elena.....	73

Figura 5.15 Perfil estratigráfico ubicado en Lomas de Santa Elena.....	73
Figura 5.16 Afloramiento característico de la Zona distal.....	74
Figura 5.17 Unidad 3 en zona distal.....	75
Figura 5.18 Perfil estratigráfico de punto ubicado en la Finca el Carmen, Nuevo Cuscatlán.....	76
Figura 5.19 Ubicación de secciones geológicas.....	81
Figura 5.20 Correlación geológica 1.....	82
Figura 5.21 Correlación geológica 2.....	83
Figura 5.22 Correlación geológica 3.....	84
Figura 6.1 Extracción de muestra.....	87
Figura 6.2 Mapa de ubicación de puntos de extracción de muestras.....	88
Figura 6.3 Proceso de extracción de muestra alterada.....	89
Figura 6.4 Mapa de ubicación de puntos de sondeo.....	96
Figura 6.5 Perfil de resultados de sondeo 1A.....	97
Figura 6.6 Perfil de resultados de sondeo 1B.....	98
Figura 6.7 Perfil de resultados de sondeo 1C.....	99
Figura 6.8 Perfil de resultados de sondeo 2.....	100
Figura 6.9 Perfil de resultados de sondeo 3.....	101
Figura 6.10 Perfil de resultados de sondeo 4.....	102
Figura 6.11 Perfil de resultados de sondeo 5.....	102
Figura 6.12 Perfil de resultados de sondeo 6.....	103
Figura 6.13 Perfil de resultados de sondeo 7.....	104
Figura 6.14 Perfil de resultados de sondeo 8.....	105
Figura 6.15 Distribución granulométrica de porción superior e inferior.....	107
Figura 6.16 Distribución granulométrica de la caída inicial.....	110
Figura 6.17 Gravedad específica de control.....	111

Figura 6.18	Variaciones de la unidad 1 con la distancia.....	113
Figura 6.19	Distribución granulométrica de la oleada piroclástica.....	114
Figura 6.20	Comparación granulométrica de la unidad 2.....	116
Figura 6.21	Comparación granulométrica de la unidad 3.....	118
Figura 6.22	Problemas de derrumbe en el agujero.....	128
Figura 6.23	Inclinación de la unidad 2.....	129
Figura 6.24	Factor de error por inclinación del penetrómetro.....	130
Figura 6.25	Problemas de inclinación de las pruebas de penetración estándar.....	130
Figura 6.26	Derrumbes en la unidad 2.....	132
Figura 6.27	Derrumbes de la unidad 3.....	134
Figura 6.28	Fallas en el suelo por capacidad de carga.....	136
Figura 6.29	Modelo de fallas en cimentaciones sobre arenas.....	137

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	4.1	Composición del Plan de la Laguna.....	48
Tabla	5.1	Variación de los espesores de unidad 1.....	68
Tabla	6.1	Ensayos realizados a las diferentes unidades de Plan de la Laguna.....	86
Tabla	6.2	Resumen de los valores obtenidos en la zona proximal.....	91
Tabla	6.3	Resumen de los valores obtenidos en la zona intermedia.....	93
Tabla	6.4	Resumen de los valores obtenidos en la zona distal.....	95
Tabla	6.5	Tabla de el lugar donde se realizaron los SPT.....	96
Tabla	6.6	Comparación de los resultados de la Unidad 1A.....	109
Tabla	6.7	Comparación de los resultados de la Unidad 1B.....	112
Tabla	6.8	Parámetros físicos de la unidad 2.....	115
Tabla	6.9	Valores de parámetros para corrección N.....	119
Tabla	6.10	Cuadro de valores de peso volumétrico.....	121
Tabla	6.11	Compacidad de un suelo granular.....	122
Tabla	6.12	Valores de D50 utilizados para hacer cálculos.....	123
Tabla	6.13	Valores de ángulos de fricción obtenidos de laboratorio con los calculados con correlaciones de SPT.....	125
Tabla	6.14	Parámetros mecánicos para la unidad 1.....	126
Tabla	6.15	Parámetros mecánicos representativos para la unidad 2.....	127
Tabla	6.16	Parámetros mecánicos para la unidad 3.....	131

Tabla 6.17 Capacidad de carga para la unidad 2.....133

Tabla 6.18 Capacidad de carga para la unidad 2 en el sondeo  
2.....139

Tabla 6.19 Capacidad de carga para la unidad 3 en el sondeo  
8.....141

## SIGLAS

ASTM	American Standard Testing Materials (Norma Americana para Prueba de Materiales)
BRE	Bulk Rock Equivalent Volume (volumen equivalente en roca)
LL	Límite Líquido
LP	Límite Plástico
Msnm	Metros sobre el nivel del mar
PVH	Peso volumétrico húmedo
PVS	Peso volumétrico seco
SNET	Servicio Nacional de Estudios Territoriales
SPT	Estándar Penetración Test (Prueba de Penetración Estándar)
SUCS	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
TBJ	Tierra Blanca Joven
UCA	Universidad Centroamericana José Simeón Cañas





## ABREVIATURAS

A.C	Antes de Cristo
D.C	Después de Cristo
E.C	Ecuación.
Fig	Figura
PL	Plan de la Laguna



## SIMBOLOGIA

c	Cohesión
$C_u$	Coefficiente de Uniformidad
$C_c$	Coefficiente de Curvatura
$D_{10}$	Diámetro de grano correspondiente al 10% mas fino en peso o masa
$D_{30}$	Diámetro de grano correspondiente al 30% mas fino en peso o masa
$D_{60}$	Diámetro de grano correspondiente al 60% mas fino en peso o masa
e	Relación de vacíos
$e_{max}$	Relación de vacíos máxima
$e_{min}$	Relación de vacíos mínima
$G_s$	Gravedad Específica
$M_a$	Masa del picnómetro lleno con agua a 20°C
$M_b$	Masa del picnómetro lleno con agua y suelo a 20°C
n	Porosidad
N	Número de golpes de penetración en 30 cm (SPT)
U1	Unidad 1
U2	Unidad 2
U3	Unidad 3
$\Phi$	Angulo de fricción interna



## PRÓLOGO

El principal objetivo de este trabajo, es el reconocimiento y caracterización del material producido por la erupción freatomgmática del Plan de La Laguna, tanto establecer el área del depósito como las propiedades geotécnicas del mismo.

Se menciona lo referente a la geología de manera general y específica para el área de estudio, además se explica lo relacionado con los procesos eruptivos y los materiales expulsados por los diferentes tipos de volcanes; para explicar así en el capítulo 4 el mecanismo de erupción del cráter de Plan de la Laguna, como la morfología y depósitos que fueron expulsados por él.

Se realiza una división por zonas, de acuerdo a los distintos materiales expulsados por el cráter a lo largo de todos sus pulsos eruptivos, dividiendo el depósito en un total de 3 unidades; a las cuales se les realizaron pruebas geotécnicas para determinar sus propiedades físicas y mecánicas.

También se presenta mapas de isopacas, con los que se calcula el área, longitud y volumen de la erupción; además de correlaciones geológicas en la zona de estudio.

## **CAPÍTULO 1**

### **1. INTRODUCCIÓN**

#### **1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Los municipios de Santa Tecla, Antiguo Cuscatlán y Nuevo Cuscatlán son lugares que cuentan con un gran desarrollo urbano y comercial en los últimos tiempos. La mayoría de suelos en el país son de origen volcánico y dichas zonas no son la excepción. En el país se realizan estudios de suelos en puntos específicos, atendiendo a intereses generados para el sitio de construcción. Para el caso de la erupción freatomagmática, del Plan de la Laguna, se realizarán pruebas de laboratorio en distintos lugares, para tener conocimiento mecánico del cuerpo de toda la erupción y conocer si existen cambios en las propiedades físicas y mecánicas.

Es por ello que surge la necesidad de estudiar los depósitos piroclásticos generados por dicha erupción; para tener conocimiento de todo el depósito, de cómo éste cambia sus propiedades mecánicas conforme a la variación granulométrica y la distancia que éste se encuentra del cráter de la erupción.

#### **1.2 OBJETIVOS**

##### **1.2.1. Objetivos generales**

Caracterizar el depósito piroclástico proveniente de la erupción del Plan de la Laguna, como un conjunto; a partir de afloramientos existentes, buscando definir sus propiedades

físicas y mecánicas; tanto en su parte proximal, intermedia y distal.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Medir los espesores del depósito en afloramientos para determinar el área de influencia.
- Conocer las propiedades físicas y mecánicas del depósito, a partir de ensayos de laboratorio y pruebas in situ.
- Delimitar el área de cobertura de la erupción y determinar el volumen de la misma (B.R.E : Bulk Rock Equivalent Volume); utilizando un mapa topográfico escala 1:25,000.

### **1.3 LÍMITES Y ALCANCES**

Límites:

- No se realizarán análisis químicos del depósito, ni está considerado hacer dataciones radiométricas, aun cuando ambos aspectos son importantes.

Alcances:

- Se incluirán aspectos como la geología y estratigrafía de la zona de San Salvador, Antiguo Cuscatlán y Santa Tecla; para conocer la relación de las distintas unidades geológicas del sector del Plan de la Laguna.
- Se mencionará aspectos generales de Vulcanología, profundizando más en el tipo de erupción, dentro de la que se encuentra el Plan de la Laguna; ya que, es necesario

comprender el tipo de erupción para poder caracterizar el depósito proveniente de la misma.

- Se incluirá mediciones de espesores que presenta el depósito, los cuales se estudiarán con más detalle ya que se analizará la variación de ellos con la distancia.
- En la parte de Geotecnia se harán análisis para determinar el tipo de suelo y las propiedades que este tenga para las distintas unidades que componen el depósito de la erupción.

#### **1.4 ANTECEDENTES**

En la Actualidad se cuenta con solo un estudio donde se menciona características generales de los depósitos del Plan de la Laguna; dicho estudio se titula: **History and Hazards of Volcan San Salvador, El Salvador** y fue escrito por Darrell Jay Sofield en 1998. Cabe recalcar que dicho estudio no es específico para el Plan de la Laguna; pero se menciona por pertenecer éste al complejo volcánico de San Salvador.

En el país se cuenta con un mapa geológico tectónico de El Salvador a escala 1:100,000 y 1:10,000 elaborado por la Misión Geológica Alemana y el Centro de investigaciones Geotécnicas, sin embargo ambos mapas no se encuentran acompañados de ningún documento explicativo.



## **1.5 LIMITANTES.**

Para la obtención de la capacidad de carga admisible se presentan problemas por el tipo de suelo y la profundidad a la que éste estrato se encuentre; ya que, con el SPT se encuentran resultados aproximados de la capacidad de carga, y también presenta problemas a la hora de realizarse; debido a que la profundidad a la que penetra el SPT es limitada, y los depósitos pueden encontrarse a profundidades mayores que las que cubre el SPT; dependiendo de la topografía del terreno.

Por otro lado, se presentaron problemas a la hora de buscar afloramientos, ya que mucha del área en la cual se encuentran los depósitos de Plan de la laguna está urbanizada o posee vegetación abundante; lo cual dificultó la observación y posterior medida del depósito.

El tipo de material escoriáceo de la zona proximal hizo imposible realizar ensayos in situ en este, por lo que se mencionan intervalos de valores máximos y mínimos, para algunas propiedades. También en esta zona no se pudieron realizar pruebas de penetración por la presencia de rocas de gran tamaño que impiden su realización.

## CAPÍTULO 2

### 2. GEOLOGIA

#### 2.1 CONDICIÓN TECTÓNICA DE CENTRO AMÉRICA

La interacción triple de convergencia de las placas litosféricas de Norteamérica, Cocos y del Caribe controlan las condiciones geodinámicas de Centroamérica. El movimiento interactivo se observa en la figura 2.1 y se resume a continuación:

- La placa de Cocos se mueve hacia el noreste relativo a la placa del Caribe, la cual la de Cocos se encuentra en movimiento de subducción bajo la placa del Caribe.
- La placa de Norteamérica se mueve hacia el oeste mientras la placa del Caribe se mueve al este, encontrándose la placa de Norteamérica en movimiento transcurrente sinistral en relación a la del Caribe.

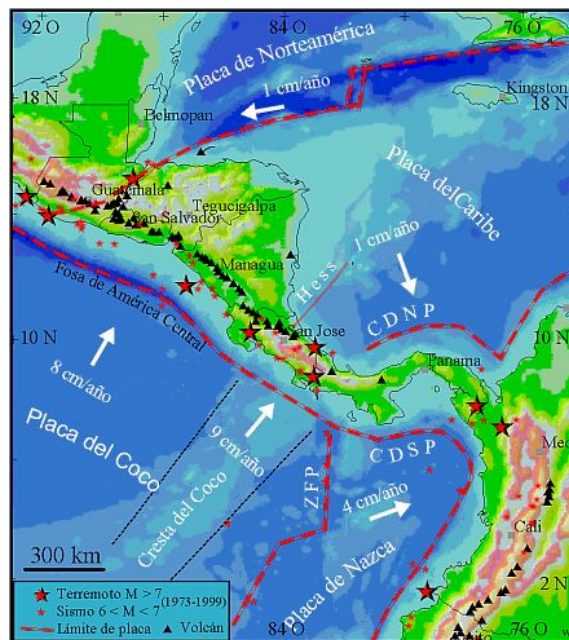


Figura 2.1. Interacción de las placas de Cocos, El Caribe y Norte América.

[<http://www.ineter.gob.ni>]

Los dos procesos anteriores han configurado los rasgos morfotectónicos de la región.

El fenómeno de subducción de la placa de Cocos y la placa del Caribe, ha generado la cadena de 30 volcanes activos que se extienden desde Guatemala hasta Costa Rica que es una de las de mayor densidad en el mundo.

La zona subducción es donde se genera la dinámica en la que la Placa Oceánica de Cocos se esta consumiendo debido a su fusión en profundidad, y la parte fundida se convierte en la fuente generadora de magmas para el cinturón volcánico como se muestra en la siguiente figura 2.2.

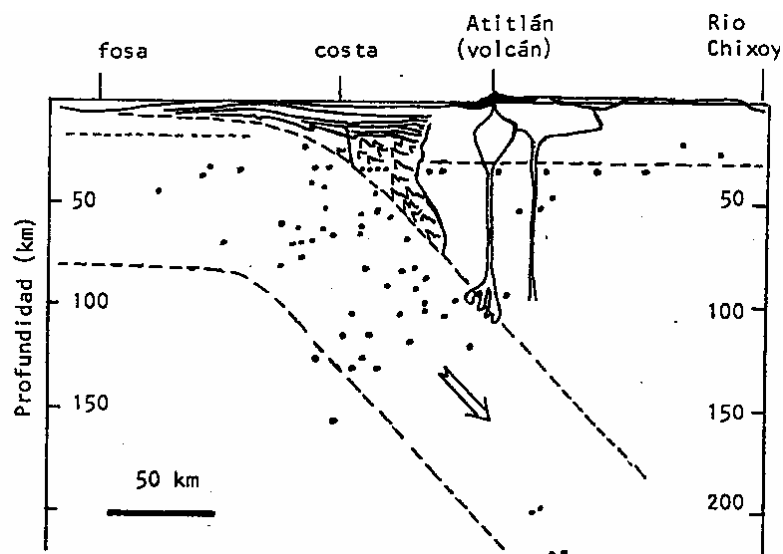


Fig. 2.2 Sección de la subducción de la placa de Cocos debajo de Guatemala. Puntos son focos de sismos. [Weyl, 1980]

Por efecto del fenómeno de subducción se establecieron esfuerzos distensivos sobre la litosfera, dando paso al desarrollo de fallas regionales a lo largo de las cuales se formó la estructura del Graben Centroamericano que inicia durante el Plioceno y el Pleistoceno.

El Graben Centroamericano en su parte central se encuentra hundida, pero se ha rellenado con productos lávicos y piroclásticos de los volcanes desarrollados en su interior, y con sedimentos lacustrinos y fluviales. Mientras los dos bordes externos al norte y sur permanecen elevados, y algunos segmentos del borde sur están parcialmente cubiertos por los edificios volcánicos.

### 2.1.1 Tectónica de El Salvador.

Este Graben en El Salvador (ver figura 2.3) tiene un ancho irregular que varía entre 15 y 30 kilómetros. Donde el vulcanismo cuaternario salvadoreño se ha desarrollado dentro de este graben y con tendencia migratoria hacia el borde sur del país.

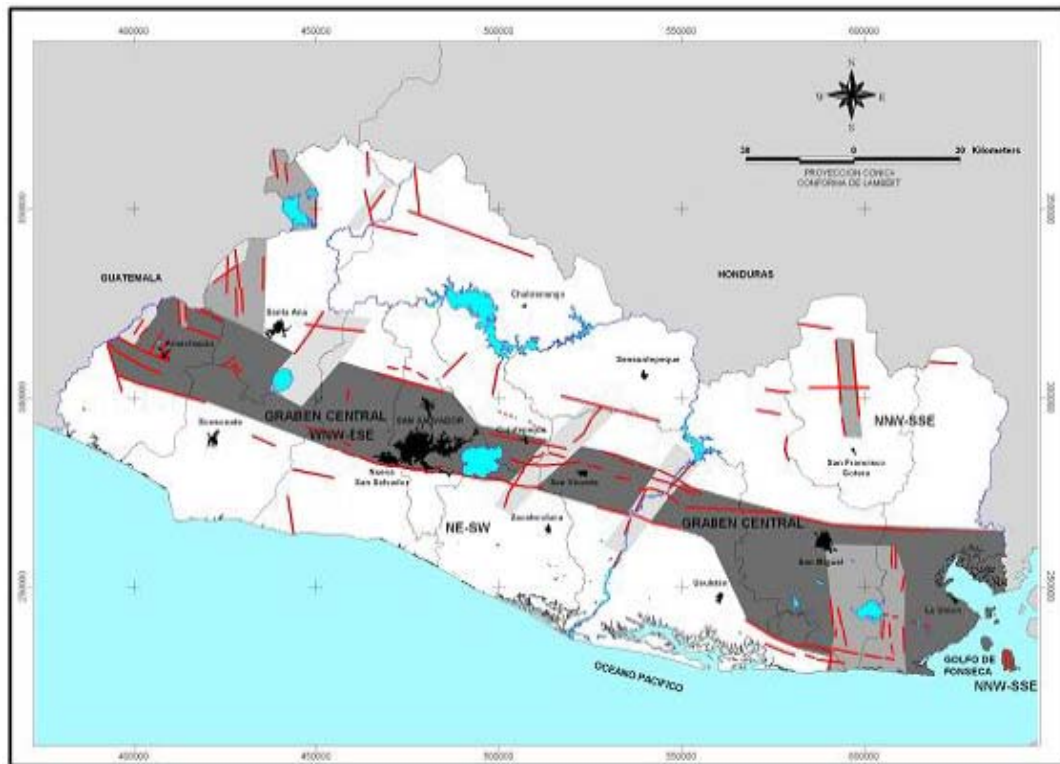


Figura 2.3: Sistemas de fallas asociadas a la formación y evolución del Graben Central en El Salvador [Hernández, 2004]

El Salvador está localizado en el cuarto segmento tectónico de Centroamérica que tiene una longitud de aproximadamente 230 Km. A continuación se presentan las tres familias de fallas dominantes:

- **Sistema de fallas WNW-ESE:** Es el sistema más importante en El Salvador y su rumbo aproximado es N 70° W. Las fallas de este sistema definen los límites norte y sur del Graben Central, donde se ha desarrollado el frente volcánico activo y donde han ocurrido los terremotos más destructivos.
- **Sistema de fallas NNW-SSE:** Este sistema se caracteriza por numerosas fallas normales y depresiones volcánicas tectónicas. Los volcanes activos Santa Ana, San Salvador y San Miguel son atravesados por esas fallas, a lo largo de las cuales se ha desarrollado actividad magmática reciente (Meyer - Abich, 1956).
- **Sistema de fallas NE-SW:** Este sistema de fallas predomina al oeste de El Salvador muy cerca de la frontera con Guatemala, donde las estructuras son normales

#### **2.1.2 Formación cordillera volcánica de El Salvador.**

El magma generado por los procesos de fusión en la zona de subducción asciende preferentemente a través de las fallas del sistema transversal NNW-SSE y WNW-ESE que comunican zonas profundas de la corteza con el borde sur del Graben Central.

Se formaron cámaras magmáticas someras en la litosfera en las que se depositó el magma, el cual después de acumular presiones por la presencia de gases, fue obligado a ascender hasta alcanzar la superficie dando inicio a la formación de la Cadena de Volcanes Jóvenes, cuya actividad se extiende desde el Plioceno hasta el Holoceno. Esta cadena se formó gradualmente y se caracteriza porque sus productos son de naturaleza andesítica y por las erupciones explosivas y efusivas.

## 2.2 GEOLOGÍA DE EL SALVADOR

Casi todo el territorio del país esta cubierto por formaciones constituidas por materiales de origen volcánico y por depósitos de aluviones, a excepción de una porción inferior del 5% en el extremo noroeste de El Salvador donde son rocas sedimentarias que son las mas antiguas de edad Jurásico-Cretácico.

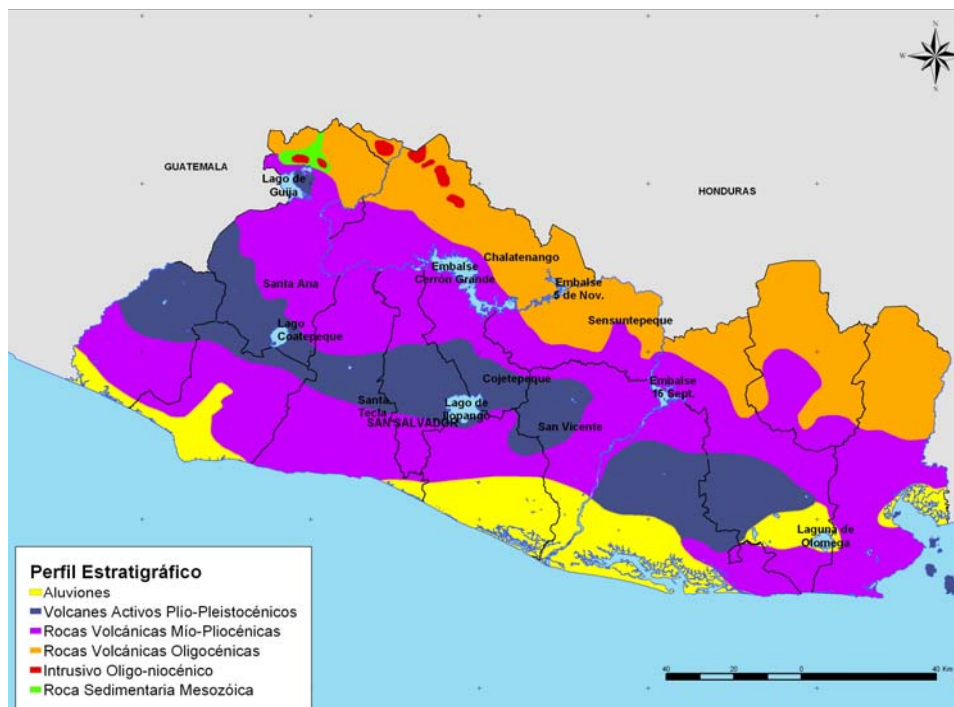


Figura 2.4 Mapa Geológico Simplificado.

Las formaciones geológicas de El Salvador se representan en la figura 2.4, que son seis principales unidades geológicas, que se describen a continuación:

- **Sedimentario Mesozoico:** Son las series de rocas sedimentarias más antiguas en el país, que afloran en la cercanía de Metapán y del Lago de Guija. Son de edad Jurásico-Cretácico y están constituidas por aglomerados de cuarzo, calizas, calizas margosas y capas rojas y areniscas.
- **Intrusivo oligo-miocénico:** Al noroeste del país afloran pequeños cuerpos intrusivos del tipo granodiorítico que parecen ser apófisis de un cuerpo granítico de mayor dimensión. Estas unidades cortan rocas sedimentarias Cretácicas como ocurren en la serie sedimentaria de Metapán, donde han producido metamorfismo de contacto.
- **Rocas volcánicas oligocénicas:** En el norte del país se localizan las rocas más antiguas existentes. Forman parte de la Cadena Volcánica del Norte o Montaña Frontera, en la cual los efectos tectónicos y erosivos han enmascarado los rasgos estructurales de los antiguos volcanes que formaron este cinturón montañoso.
- **Rocas volcánicas mio-pliocénicas:** Esta unidad ocupa la mayor parte de la superficie del país y conforma los altos estructurales del Graben Central y sobre los que descansan los aparatos volcánicos más modernos. Los materiales que constituyen esta unidad pertenecen a la Formación El Bálsamo.

- **Rocas volcánicas plio-pleistocénicas y holocénicas:** Son los edificios volcánicos que se han establecidos en el interior de la estructura del Graben Central, que se disponen paralelamente al eje del mismo. Además son aquellos localizados en la proyección hacia el sur del Graben de Ipalá en El Salvador, que se establecieron a lo largo de estructuras de rumbo norte-sur dando origen al complejo volcánico de Metapán- Candelaria de la Frontera.
  
- **Aluviones:** Comprende aquellas áreas donde operan los fenómenos de deposición de sedimentos procedentes de regiones topográficamente más altas, sometidas a desgaste por la erosión de las lluvias, transporte y deposición por los ríos en las áreas más bajas. La zona de mayor depósito de aluviones es la planicie costera.

### 2.3 GEOLOGÍA DEL ÁREA DE SAN SALVADOR

En medio del graben se construyó el volcán San Salvador, también conocido como Quetzaltepeque, el cual tiene su cráter Boquerón con 1800 msnm, sobresaliendo la ladera estructural más alta que el cráter que se conoce como Picacho (1980 m), que corresponde a una porción remanente del primitivo volcán Salvador. Los productos piroclásticos del volcán San Salvador se encuentran intercalados con los de la caldera de Ilopango, y se adelgazan en dirección al oriente, mientras que los del Ilopango se adelgazan al occidente. El edificio volcánico de San Salvador tiene asociados una serie de conos secundarios a su alrededor, cuya posición geográfica obedece a la presencia de estructuras tectónicas por las que el magma tuvo su camino preferencial de ascenso. Entre esas



estructuras menores están los conos cineríticos El Cerrito, El Playón y la Hoja y los conos de explosión como Chanmico y el Plan de la Laguna. A continuación se describen las formaciones geológicas del área de San Salvador, de la más antigua a la más joven.

#### ▪ **Formación Bálsamo**

La estructura geológica elevada del borde sur del graben Central está compuesta por las formaciones volcánicas más antiguas de esta zona, donde la formación Bálsamo del Terciario es la más antigua, en la que están presentes los miembros **b1** y **b3** con amplia cobertura. La formación Bálsamo está superpuesta por la formación Cuscatlán, del Pleistoceno, con sus miembros C1 constituido por ignimbritas y depósitos de cenizas ácidos de la Caldera de Ilopango y por las Ignimbritas de Zaragoza caracterizadas por su color gris claro y las estructuras de "fiammes". Además, yacen en el área las lavas básicas (C3) de la formación Cuscatlán.

#### ▪ **Formación Cuscatlán**

El área de San Salvador se encuentra entre las estructuras volcánicas de la Caldera de Ilopango al este, el volcán compuesto de San Salvador al oeste. Hacia el norte lo limita los conos volcánicos del El Carmen de composición básica (c3) y los domos ácidos de Cuscatancingo (c2). Al sur se limita por un bloque elevado que corresponde al borde sur de una depresión tectónica producto de los esfuerzos distensivos provocados por el fenómeno de subducción en la que la placas de Cocos subduce la placa del Caribe. Esa depresión es irregular con 20 a 30 km de ancho recorre todo el territorio

salvadoreño casi paralela a la línea de costa y se conoce como Graben Central, en cuyo interior se ha edificado el eje volcánico del sur, rellenando dicha depresión con la cordillera volcánica donde contrastan el paisaje formado por elevados volcanes y lagos de origen volcánicos.

#### ▪ **Formación San Salvador**

En relación a los depósitos de la Formación San Salvador, se observa una pequeña área del miembro más antiguo de esta formación, el cual es s1 constituido por piroclásticas ácidas **s1**. El miembro **s2**, constituida por lavas andesíticas básicas bastante escoriáceas en el techo con espesores variables entre 5 y 7 m, procedentes del cráter Boquerón. El miembro **s3a** conocido como "**tobas color café**" está compuesto por tefras de las erupciones de Ilopango intercaladas por una capa de escorias y oleadas piroclásticas color gris claro (Figura ---). El trabajo del Consorcio Salvador e (1988) separó este miembro en otras unidades, de la más antigua al más reciente en TB4, TB3, G1 y TB2, de las cuales, G1 proviene del volcán San Salvador y a ese conjunto denominó "**Tobas Superiores**".

El **s5b** corresponde a los depósitos freatomagmáticos del Plan de la Laguna (PL) que son más antiguos y subyacen la **s4** (TBJ), sin embargo, en el mapa de la Misión Geológica Alemana, aparece en la columna estratigráfica sobre **s4**.

El miembro **s4** está formado por las cenizas de la última erupción pliniana del Ilopango y se refiera a la "Tierra Blanca" compuesta por piroclastitas y epiclastitas ácidas. A este miembro Hart, W. y McIntire, V. (1983) llamarón **Tierra**

**Blanca Joven (TBJ).** Dull A. et al (2001) hicieron una datación de estas cenizas empleando C14 y determinaron una edad de 430 años DC. Los depósitos de esta erupción cubrieron completamente el país pasando las fronteras de Guatemala, Honduras y Nicaragua. En el sector del río Las Cañas la TBJ alcanza espesores de 60 m (Hernández, W. 2004).

### **2.3.1 Plan de la Laguna**

El borde sur de ese graben está basculado hacia el sur inclinación sostenida hasta alcanzar el Océano Pacífico. En el contacto de la ladera sureste del volcán San Salvador y el escarpe del graben, se ha emplazado el cráter de la explosión freatomagmática Plan de la Laguna (PL), cuyos productos en la zona proximal son superiores a los 6.6 m de espesor (espesor visible) y yacen sobre una ignimbrita color café oscuro denominado Ignimbrita Boquerón (IB). Esta ignimbrita está sobreyacente a su vez a una capa de escorias poco vesicular, gris del cráter Boquerón denominadas G2 (Hernández, W. 2007 en imprenta). En la parte intermedia y distal los depósitos PL se encuentran directamente sobre las escorias G2, debido al desaparecimiento de IB.

Debido a la pendiente de este bloque tectónico y a las altas precipitaciones de esta zona, la erosión es alta, por eso, los productos piroclásticos del Plan de la Laguna localmente descansan sobre TB4, debido a dos factores: el adelgazamiento de IB y de G2 por su distanciamiento del Boquerón y debido a la erosión de ambas (Figura 2.5). Hacia la parte más distal es frecuente que estén directamente sobre los paleosuelos rojos del Bálsamo y en el caso extremo también los mismos depósitos PL están erosionados (Afloramientos 78, 96 y 97).

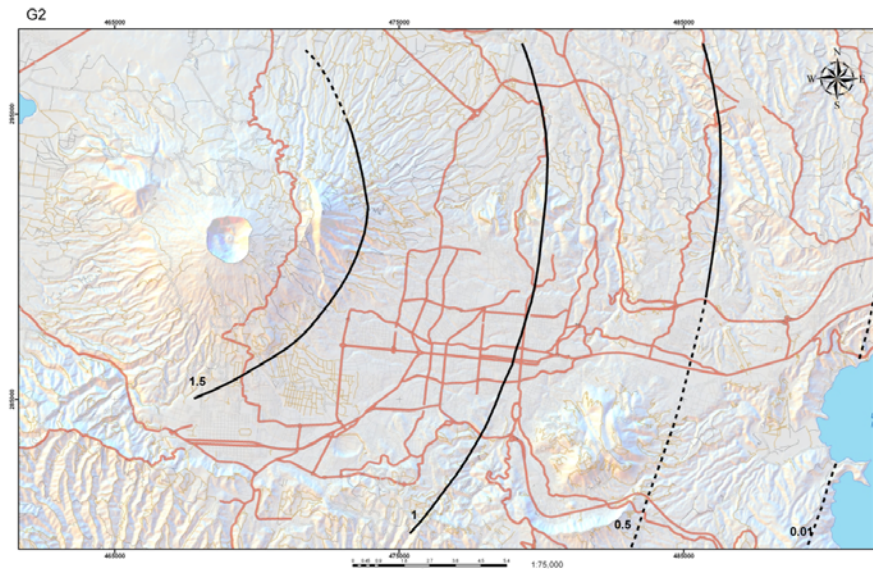


Figura 2.5 Mapa de isopacas de la erupción G2 del Boquerón. Muestra parte del área de cobertura en el área Metropolitana de San Salvador. Las escorias G2 está subyacente al depósito Plan de la Laguna. [Hernández, 2007]

Por otro lado, los depósitos PL en la parte del bloque hundido están subyacentes a la oleada piroclástica conocida por Talpetate (1200 D.C. Sofield, D.J. 1998) del Boquerón y esta a su vez está bajo la Tierra Blanca Joven (430 D.C. Dull, R.A. 2001).

El área de cobertura de la erupción del Plan de la Laguna es de 74 km<sup>2</sup> en la incluyen los municipios de Antiguo Cuscatlán, Nuevo Cuscatlán, parte de Santa Tecla. El área de influencia de esos productos tiene forma asimétrica, a causa de los vientos predominantes, con eje de dispersión hacia el suroeste donde los productos fueron depositados hasta una distancia de 11 km, llegando a las vecindades de Zaragoza

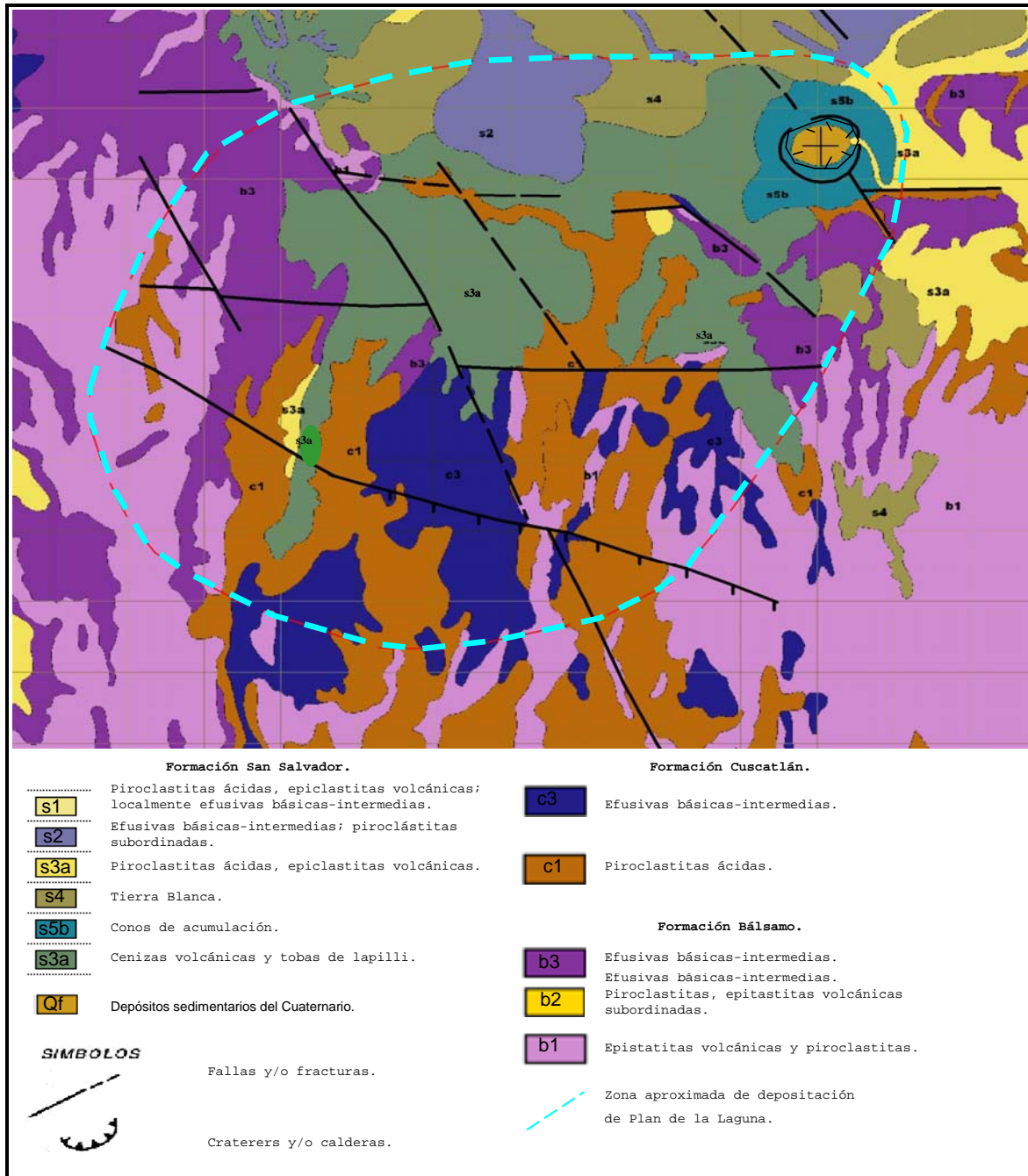


Figura 2.6. Mapa geológico. Muestra el área de influencia del depósito Plan de la Laguna, cubierto en la parte de la cordillera del Bálsamo por las cenizas de TBJ y en la parte del graben está cubierto parcialmente por la oleada piroclástica "Talpetate" y TBJ.

En la parte del graben se han acumulado la mayor parte de los productos volcánicos explosivos y efusivos del volcán San Salvador y la caldera de Ilopango, los cuales rellena esa depresión. Allí se encuentran además delgadas capas de las cenizas de la caldera de Coatepeque y otros materiales de procedencia desconocida. Además, de las partes altas del volcán San Salvador bajan productos de los procesos destructivos como son los lahares (Lahar Picacho) y sedimentos provenientes de la erosión.

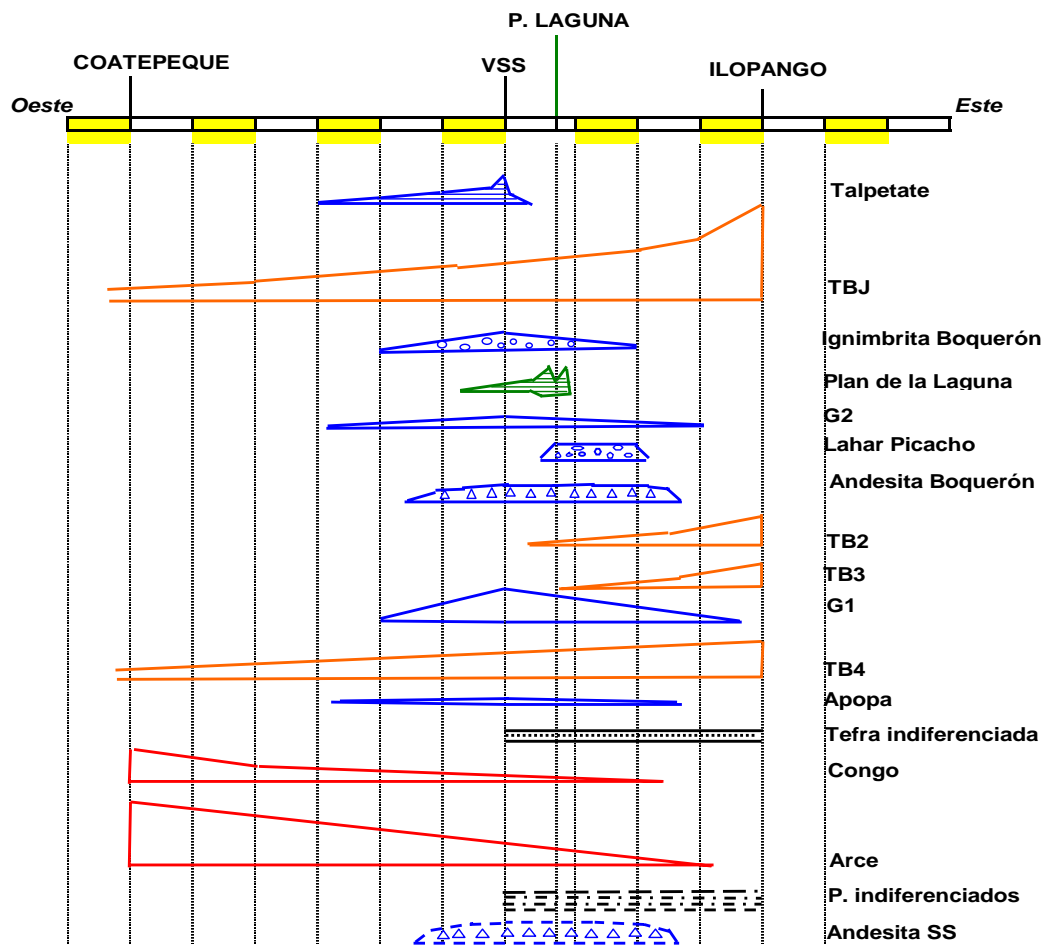


Figura 2.7. Secuencia estratigráfica (superior) del relleno del Graben Central en San Salvador. Muestra la relación espacio - temporal de los distintos depósitos volcánicos explosivos y efusivos asociados a sus respectivos centros de emisión. [Hernández, 2007]

### 2.3.2 Estratigrafía

Los suelos procedentes del Plan de la Laguna se localizan en dos partes estructurales distintas. La porción norte se encuentra en la zona del relleno del Graben Central, por eso, los depósitos PL yacen sobre unidades volcánicas jóvenes del Holoceno (menores de 10,000 años), mientras que la parte sur yace sobre la parte elevada que está sometida a procesos erosivos intensos, por esa razón, los materiales de la erupción PL se localizan sobre diversas unidades geológicas desde Holocénicas hasta del Terciario superior. Tal situación explica porqué los materiales del Plan de la Laguna entran en contacto con una diversidad de materiales de distintas unidades geológicas, desde las Ignimbritas del Boquerón en Santa Tecla hasta con los paleosuelos rojizos de la formación Bálsamo en Nuevo Cuscatlán (Véase figura 2.8).

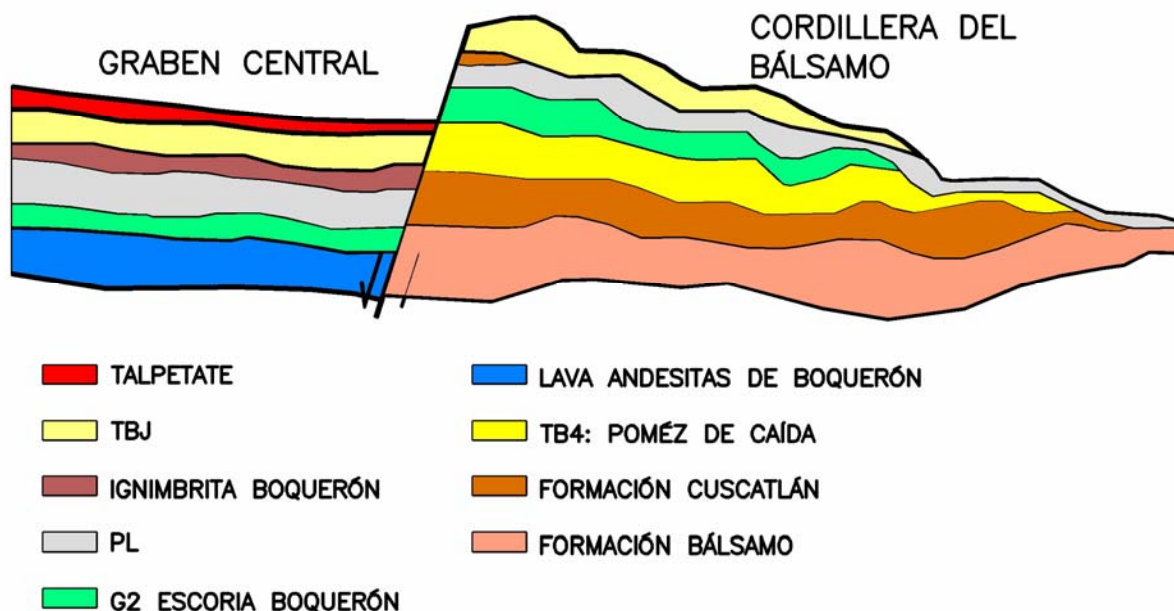


Figura 2.8. Esquema estratigráfico en el Graben Central y Cordillera el Bálsamo. En el se muestran las unidades en que descansa el depósito de Plan de la Laguna.

## CAPÍTULO 3

### 3. VULCANOLOGÍA. TIPOS ERUPTIVOS

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

Las erupciones volcánicas son las manifestaciones más impresionantes de los procesos internos dinámicos de la Tierra. Desde los orígenes de la Tierra ha sido esta dinámica interna la responsable de las formaciones de la corteza terrestre y oceánica; así como también la responsable de la liberación de los gases que formaron la atmósfera y las aguas de la superficie.

Desde los inicios de la tierra hasta hoy los procesos volcánicos se han llevado a cabo en distintas partes del mundo, modificando así el relieve, la topografía, estratigrafía y mantos acuíferos; incluso a kilómetros de distancia de la fuente donde se generó la actividad.

Las consecuencias generadas por los volcanes dependen de muchos factores, como por ejemplo: la composición del magma que originó la erupción, el tipo de volcán y erupción que se presentó, el contacto con el agua y la influencia del viento entre otros. Dichos parámetros influyen grandemente en el tipo de material expulsado por un volcán y el comportamiento que estos depósitos presentan; por ello es necesaria la comprensión de los procesos de formación de volcanes, su morfología, sus tipos de erupciones y los materiales generados por estos; ya que generan consecuencias ambientales, sociales y económicas en la región en la cual se encuentran.



### 3.2 VOLCANES Y SUS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Los volcanes se forman por la concentración de energía y la transferencia de masa en los límites de placas y se les define como un punto de la superficie terrestre que arroja al exterior material generado al interior de la Tierra.

Los edificios volcánicos poseen diversos componentes entre los que se encuentran: **el cráter**, el cual es una depresión generalmente en forma de embudo abierto, por la que se expulsa material volcánico y se encuentra en la parte superior o en los flancos de un cono volcánico; **chimenea**, es una fractura por donde el magma asciende a la superficie; **cono**, es una elevación en el borde del cráter formada por acumulaciones de productos volcánicos sólidos; **cámara magmática**, son reservorios de magma localizados al interior de la litosfera a profundidades de 1 a 60 Km, las cuales pueden ser alimentadas periódicamente de zonas de fusión; las partes mencionadas son representadas en la figura 3.1. [Martí et al., 2000]

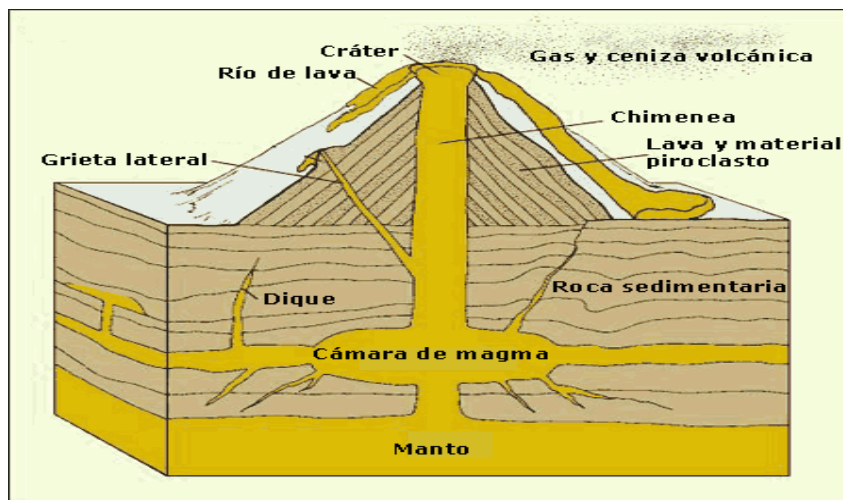


Figura 3.1. Partes principales de un volcán. [Valvanera, 2000  
[www.centros3.pntic.mec.es](http://www.centros3.pntic.mec.es)]

### 3.3 EL MAGMA

El magma son silicatos fundidos que se presentan en forma natural, que pueden tener cristales de silicato en suspensión, gases disueltos o ambos.

Dentro de las propiedades físicas del magma se encuentran la densidad, la viscosidad y la temperatura; las cuales condicionan de manera significativa los procesos de ascenso y erupción del magma.

La **Densidad** varía en función principalmente del contenido de sílice del magma, a medida aumenta el contenido de sílice la densidad del magma disminuye. Por otra parte la densidad del magma disminuye a medida baja la temperatura y dicho descenso se debe a la separación de las fases cristalinas más densas.

La **Viscosidad** de un magma está en relación directa con su composición química; por lo que, fundidos riolíticos tienen una viscosidad mucho mayor a la de los andesíticos. Por otra parte la temperatura afecta en gran manera la viscosidad, aumentando su valor a medida la temperatura decrece.

La **temperatura** es más alta en magmas básicos y puede tener valores hasta de 1100°C; mientras que los magmas ácidos tienen temperaturas de fusión alrededor de 700 y 800 °C

#### 3.3.1 Proceso de ascenso

El proceso de ascenso del magma tiene que ver con las propiedades que este presente y con las diferencias de presión entre el magma y las rocas que lo envuelven; la menor

densidad del líquido, es la que provoca un movimiento ascendente del magma.

El magma cuenta con materiales volátiles que deben ser capaces de ejercer una presión hacia la superficie a manera de un émbolo; dichos materiales son principalmente CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y SO<sub>2</sub> y la solubilidad de estas en el líquido es una función de la temperatura y la presión del sistema.

Para que el magma pueda ascender debe abrirse paso entre los materiales que se encuentran sobre este y lo puede realizar de dos maneras: a través de *fracturas existentes*; producidas por la presión que ejerce el magma a medida que avanza hacia la superficie, o por *movimiento diapírico*; que consiste en la ascensión de grandes bolsones de magma que son desplazados a causa de una fuerza de flotación, dicho movimiento es posible por la plasticidad relativa de las rocas situadas a mayor profundidad, las cuales se deforman al entrar en contacto con el magma a alta temperatura. El ascenso de tipo diapírico del magma es el que da origen a las rocas plutónicas.

En el caso de los complejos volcánicos el magma es acumulado en cámaras magmáticas (las cuales se forman por que la presión magmática se iguala a la confinante); y el ascenso es por grietas preexistentes. El magma se abre paso hacia la superficie por la chimenea y da lugar a una erupción volcánica.

### 3.4 TIPOS DE ACTIVIDAD ERUPTIVA

En la actualidad a lo largo del planeta se puede observar que cada complejo volcánico presenta distintos tipos de erupciones, desde erupciones tranquilas hasta las más violentas; lo cual depende de la temperatura de los magmas que las generan, de la cantidad de productos volátiles presentes en él, de la fluidez o viscosidad del magma; así como la existencia de gases y vapor de agua. De acuerdo a los criterios anteriores las erupciones pueden ser efusivas, explosivas e hidrovulcánicas. En la figura 3.2 se presentan los distintos tipos eruptivos pertenecientes a la clasificación antes descrita.

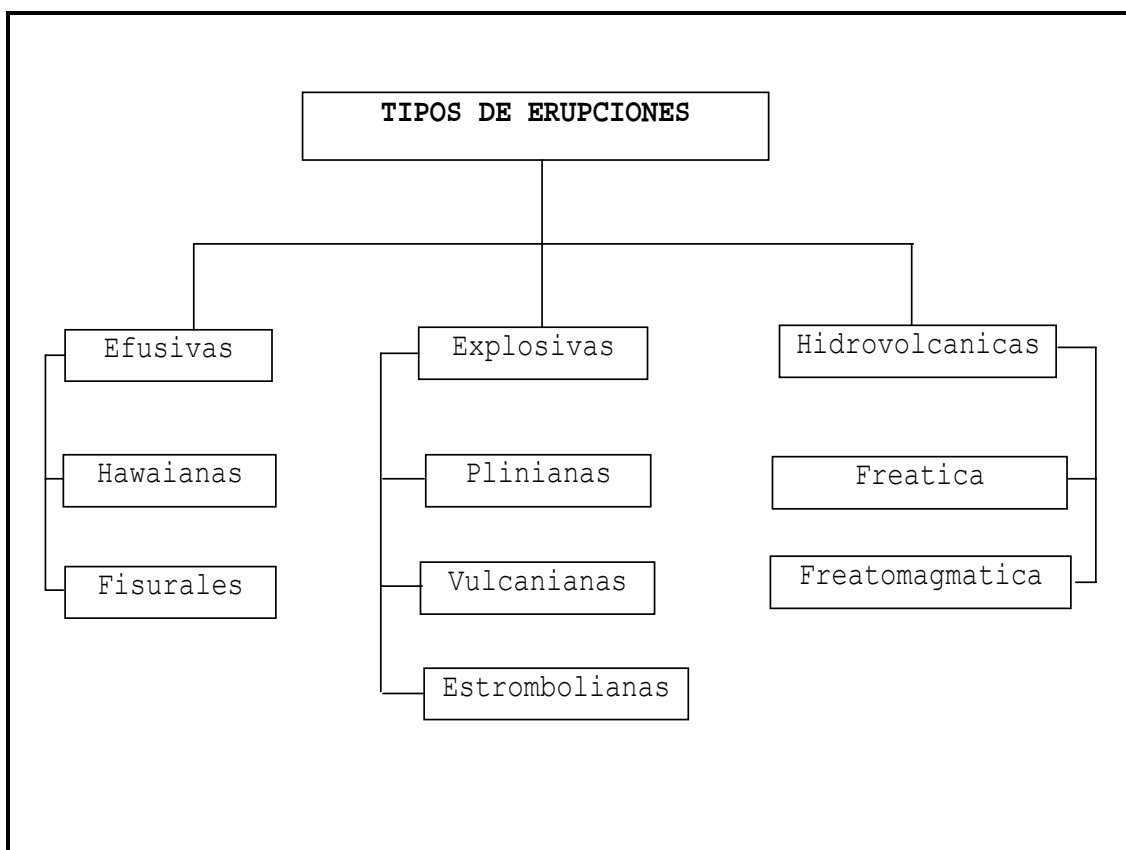


Figura. 3.2. Tipos eruptivos [Martí et al., 2000]

### **3.4.1 Erupciones Efusivas**

En este tipo de erupciones la presencia de gases y de vapor es casi nula, por lo que la lava sale de una manera fluida; aunque se tienen pequeñas explosiones la lava domina en este tipo de erupción y su viscosidad dependerá de su temperatura y composición; dependiendo de eso puede recorrer varios kilómetros si la temperatura de la lava expulsada es mayor a los 1000°C. Dentro de estas se encuentran las erupciones Hawaianas y fisurales.

#### a. Hawaiana

Son erupciones que se dan en lavas muy fluidas y no tienen desprendimientos gaseosos explosivos, pueden producirse a través de fisuras o por un cráter principal de un volcán en escudo; la presencia de magmas fluidos indica que los magmas que dan origen a este tipo de erupciones son de basálticos a intermedios y algunas partículas de su lava al ser arrastradas por el viento forman hilos cristalinos.

#### b. Fisurales

Son las originadas a lo largo de una dislocación en la corteza terrestre la cual puede tener varios kilómetros.

Las lavas en este tipo de erupción son generalmente fluidas y recorren grandes mesetas con un kilómetro o más de espesor, generalmente este tipo de erupciones no se presentan aisladas sino que están íntimamente ligadas a erupciones de tipo hawaiano.

### 3.4.2 Erupciones Explosivas

Son erupciones en las que se cuenta con una presencia significativa de gases y vapor de agua y están caracterizadas por sus explosiones y por la expulsión de cantidades de materiales piroclásticos aun cuando pueden contar con la presencia de lavas. Dentro de este tipo de erupción se encuentran las plinianas, vulcanianas, estrombolianas y peleanas.

#### a) Plinianas

Este tipo de erupción esta caracterizada por su alto grado de explosividad; libera una gran cantidad de energía en pocos segundos y ocurre como respuesta a la despresurización violenta de una cámara dacítica a riolítica o en magmas alcalinos muy evolucionados.

Se caracteriza por el desarrollo de una columna eruptiva vertical la cual consta de 3 zonas: *Zona de chorro*, en la que la velocidad de los vientos supera la velocidad del sonido, presentando una eyección balística de fragmentos de mayor tamaño hacia fuera de la columna de ascenso; *Zona de convección*, la cual es una zona en la que los piroclastos y gases entran en equilibrio con la temperatura atmosférica, por lo que existe una disminución paulatina de la densidad del conjunto piroclásto/gas; y zona de difusión, la cual comienza a partir del punto en el cual las temperaturas y densidades de la columna y la atmósfera se igualan, teniendo como resultado que los piroclastos que sobrepasan este nivel son dominados y dispersados por la acción del viento; en la

figura 3.3 se presentan las diferentes partes de una columna eruptiva. [Petrinovic, 2003:p9]



Figura 3.3. Esquema de la Columna Eruptiva [Breitkreuz et al., 2003:p7]

Las columnas eruptivas pueden alcanzar altitudes de mas de 30 km. y los fragmentos expulsados por la columna pueden caer en forma de lluvia de piroclástos alrededor del centro de la erupción y también pueden formarse flujos piroclásticos que bajan a gran velocidad por los flancos del cono volcánico.

#### b) Vulcanianas

Es un tipo de volcán que desprende grandes cantidades de gases de magmas poco fluidos que se consolidan con rapidez; es justo esta característica lo que origina una obstrucción del conducto volcánico por un tapón de roca, la cual puede estar formada por material magmático consolidado

instantáneamente o por una barrera de fragmentos derivados de una explosión anterior. Este tipo de erupciones puede evolucionar a vulcanianas si se dan las condiciones propicias.

La mayor cantidad de fragmentos expulsados en este tipo de erupción no corresponde a piroclastos sino a roca de caja que ha sido fragmentada por la explosión inicial. El grado de explosividad de este tipo de erupción es alto aunque la violencia de sus erupciones es de menor magnitud que la pliniana. Las columnas eruptivas son de baja altura debido a la alta densidad generada por la gran cantidad de fragmentos en expulsión; sus alturas son menores de 20 Km [Martí et al., 2001:p26].

#### c) Estrombolianas

Este tipo de explosiones son características de magmas basálticos, por lo que presentan lavas fluidas, con desprendimientos gaseosos grandes y violetos; la energía liberada en este tipo de erupción es mas baja que las anteriores por lo que las erupciones son mas tranquilas y se caracterizan por presentar explosiones separadas por cortos períodos de tiempo.

Aunque la lava es fluida esta no alcanza una extensión tan grande como en el de tipo Hawaiano. Los productos expulsados por este tipo de erupción son fragmentos de magma que se acumulan entorno del centro emisor después de seguir trayectoria balística, a su vez se liberan escorias, bombas, lapilli y cenizas de baja dispersión; sus columnas eruptivas se elevan distancias menores de 10 Km [Marti et al ,2000: p25].



### 3.4.3 Erupciones Hidrovolcánicas

Este tipo de erupciones son generadas por la interacción de magma con agua subterránea o superficial; son erupciones de carácter explosivo y bien pudieron incluirse en el apartado anterior pero decidieron tratarse por separado ya que se hablará de erupciones freáticas y freatomágmaticas como aisladas aunque cabe recalcar que cualquiera de las erupciones clasificadas anteriormente puede generar actividad hidrovolcánica al interactuar con corrientes de agua, provenientes de océanos, mares, agua superficial entre otras.

#### a) Freáticas

Este tipo de erupciones se da cuando el magma vaporiza un acuífero por conducción térmica; en ellas el magma no tiene contacto con el agua que le dio origen, véase en la figura 3.4 como el magma no entra en contacto con el acuífero. Las erupciones generadas son violentas y expulsan únicamente fragmentos preexistentes en el acuífero sin ninguna presencia de fragmentos juveniles [Martí et al., 2000:p25].

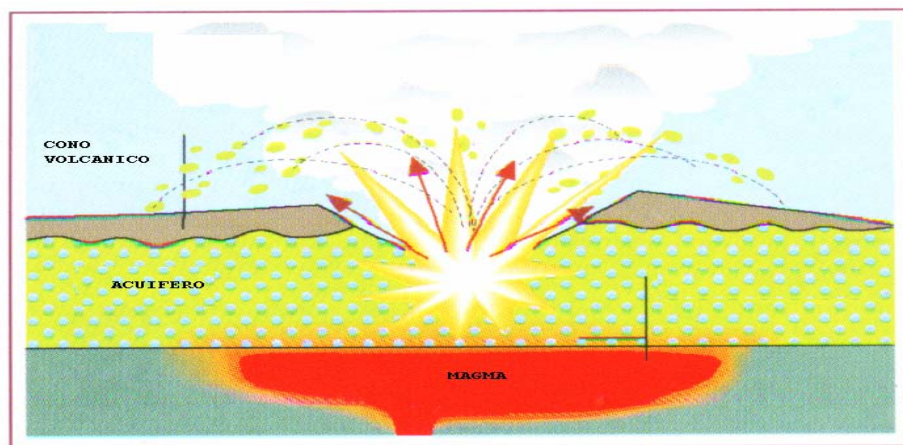


Figura 3.4. Esquema de la actividad freática [Martí et al., 2000:p30]

## b) Freatomágmaticas

Se dan cuando el agua subterránea que fluye en un acuífero entra en contacto con el magma; la cual se vaporiza instantáneamente, generando una alta explosividad; lo cual se puede observar en la figura 3.5.

La eficacia de estas explosiones depende de la relación de masas entre el magma y agua, la presión de confinamiento y del volumen de agua sobrecalentada, de la geometría del contacto entre ambos fluidos y de su diferencia de temperatura. Este tipo de erupciones se llevan a cabo tanto en magmas ácidos como básicos y el material expulsado por estos depósitos consta de material no juvenil (líticos), material piroclástico con intercalaciones de cenizas de caída. Las características varían dependiendo de la interacción magma- agua principalmente.

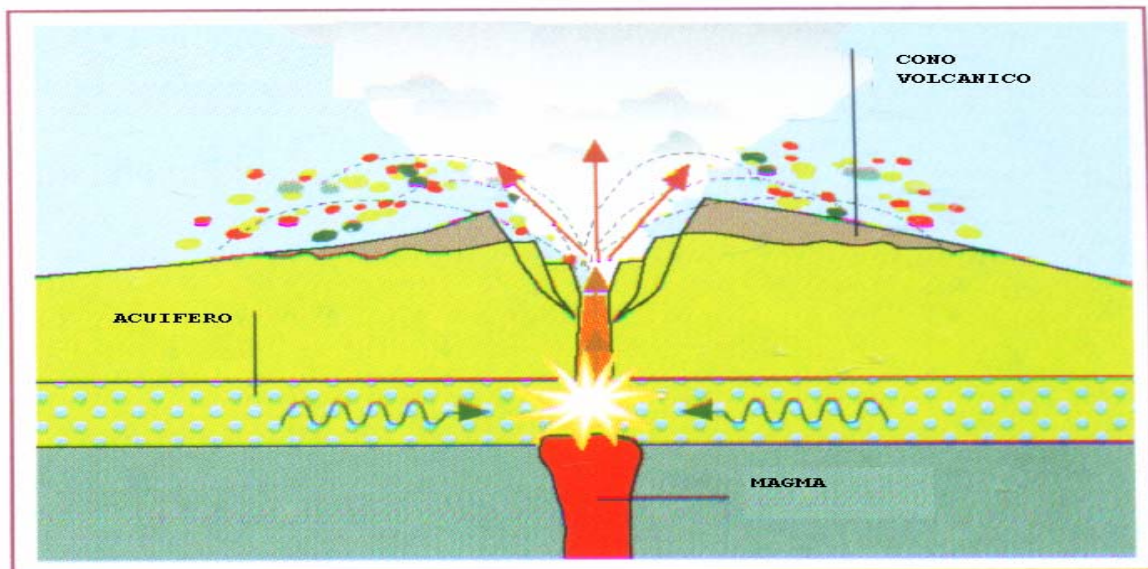


Figura 3.5. Esquema de la actividad freatomagmática [Martí et al., 2000:p30]

### 3.5. MATERIALES PRODUCIDOS POR ERUPCIONES

Estudiar las rocas volcánicas aporta información acerca del tipo de actividad eruptiva que las originó, la morfología del volcán, interacciones con agua y medio de transporte entre otras; lo cual tiene relación con la geometría y textura de las acumulaciones de material.

Se distinguen entre los materiales producidos por las erupciones volcánicas; las coladas de lavas, Los materiales fragmentarios, gases y vapor de agua y lahares. Los distintos tipos de materiales derivados de una erupción se presentan en la figura 3.6.

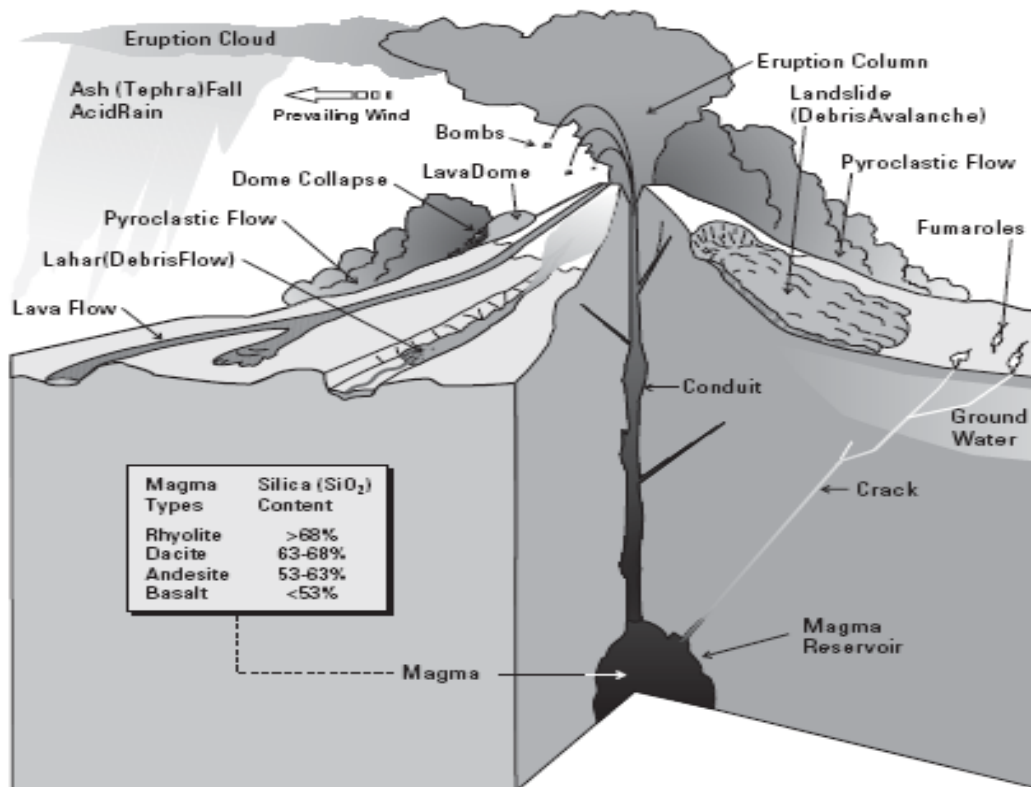


Figura 3.6. Esquema de los distintos tipos de materiales expulsados por un volcán. [Major et al., 2001:p3]

### **3.5.1. Coladas de Lavas**

La Lava se define como un magma líquido que emana a la superficie de la tierra sin explosiones y la velocidad a la que se mueve depende básicamente de la composición del magma que originó la erupción; así para lavas mas fluidas que poseen composición básica se tienen coladas de lava, las cuales son flujos de lava continuos, que descienden por las pendientes del volcán a zonas de mayor depresión, estas pueden llegar a recorrer mayores distancias. Por otro lado las lavas derivadas de magmas ácidos son más viscosos, por lo que generalmente se acumulan constituyendo domos volcánicos [Martí et al., 2000:p33].

Las coladas de lava forman parte de los edificios volcánicos y sus alrededores y tienen formas abruptas, lobuladas y tabulares; las cuales se depositan como relleno en zonas bajas. Las características que permiten diferenciar estos depósitos son: la litología del lugar, la morfología y la estructura interna y estos parámetros varían según la composición del magma; según el aspecto de la superficie estas se pueden clasificar en lisas y rugosas y su estructura interna puede presentarse de forma masiva, compactada o fracturada.

### **3.5.2. Materiales fragmentarios**

Es una acumulación de clastos generados en su mayoría por actividad de tipo explosiva; El magma es expulsado de manera violenta a la superficie generando así la fractura y dispersión de este tipo de material y en algunos casos este tipo de material puede contener partes de material que forma

el conducto o chimenea del volcán. Estos depósitos son también conocidos como depósitos piroclásticos.

Dentro de la naturaleza de los fragmentos se pueden distinguir dos tipos de clastos; los *fragmentos juveniles*; que también son denominados esenciales y provienen directamente del material magmático expulsado hacia la superficie; y también se encuentran los fragmentos líticos, los cuales son fragmentos de roca que formaban el conducto y que son arrancados durante la explosión por la erupción.

Otros fragmentos de importancia son las bombas, que son fragmentos de gran tamaño que poseen formas redondeadas; las escorias que son piroclastos juveniles de tamaño de lapilli o superior y poseen forma irregular, son generalmente de composición basáltica o basáltico andesítica; las pumitas los cuales son fragmentos de composiciones ácidas, caracterizados por presentar una gran vesiculación. Dentro de los tipos de piroclastos están: los depósitos de caída, las oleadas piroclásticas (surges) y los flujos piroclásticos.

- Depósitos de caída

Son formados cuando los fragmentos expulsados viajan por acción del viento a través de una columna eruptiva y se desprenden y caen verticalmente o con una trayectoria balística desde el cráter del volcán, estos depósitos poseen menores espesores a medida se alejan de su centro de emisión; véase figura 3.7 que muestra como se transportan dichos materiales.

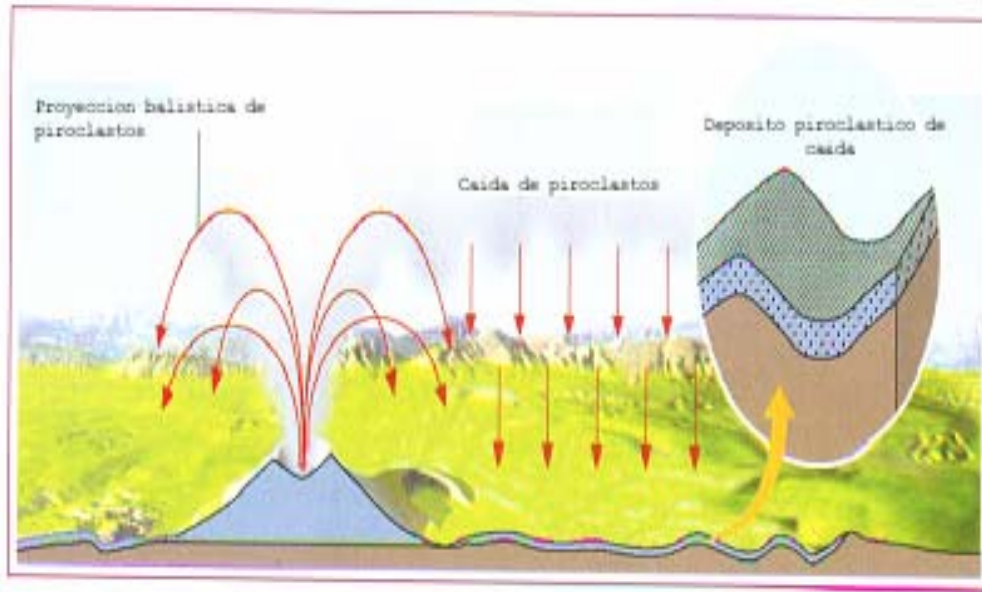


Figura 3.7. Esquema de los depósitos de caída [Martí et al., 2000:p36]

- *Oleada piroclástica*

Se originan en flujos gaseosos que transportan lateralmente piroclastos a velocidades altas; este tipo de depósitos se caracterizan por presentar estructuras sedimentarias unidireccionales. Generalmente presentan bajas densidades y son características de las erupciones hidromagmáticas. Las oleadas pueden ser secas, cuando el vapor de agua se escapa de ellas antes de su emplazamiento, y presentan escasa consolidación y estratificación en láminas finas o húmedas en las cuales se ve implicada una importante cantidad de agua en contacto con el magma.

- *Flujo piroclástico*

Consisten en flujos gaseosos ricos en piroclastos, los cuales tienen una gran temperatura y se desplazan a grandes velocidades; son generados por el colapso total o

parcial de una columna eruptiva. Normalmente este tipo de flujo no tiene una estratificación clara ni una estructura interna bien definida.

### **3.5.3. Gases y vapor de agua**

Todos los magmas contienen gases que son liberados a la hora de una erupción y en ellos dominan los componentes sulfurosos, con emisiones de gases nobles como el hidrógeno; el vapor de agua, aunque presente en menor medida, genera nubes colectivas y precipitaciones algunas veces de grandes magnitudes.

## **3.6 MORFOLOGÍA DE VOLCANES**

La acumulación de los materiales volcánicos expulsados en una erupción volcánica, genera la formación de diversos tipos de edificios volcánicos; los cuales generalmente poseen forma cónica y pueden ser de dimensiones variables.

La forma de las construcciones volcánicas esta íntimamente relacionada con el tipo de actividad eruptiva a lo largo de la historia del volcán y se pueden clasificar en dos tipos: Los monogenéticos y los poligenéticos; en la figura 3.8 se muestran los volcanes pertenecientes a cada uno de ellos.

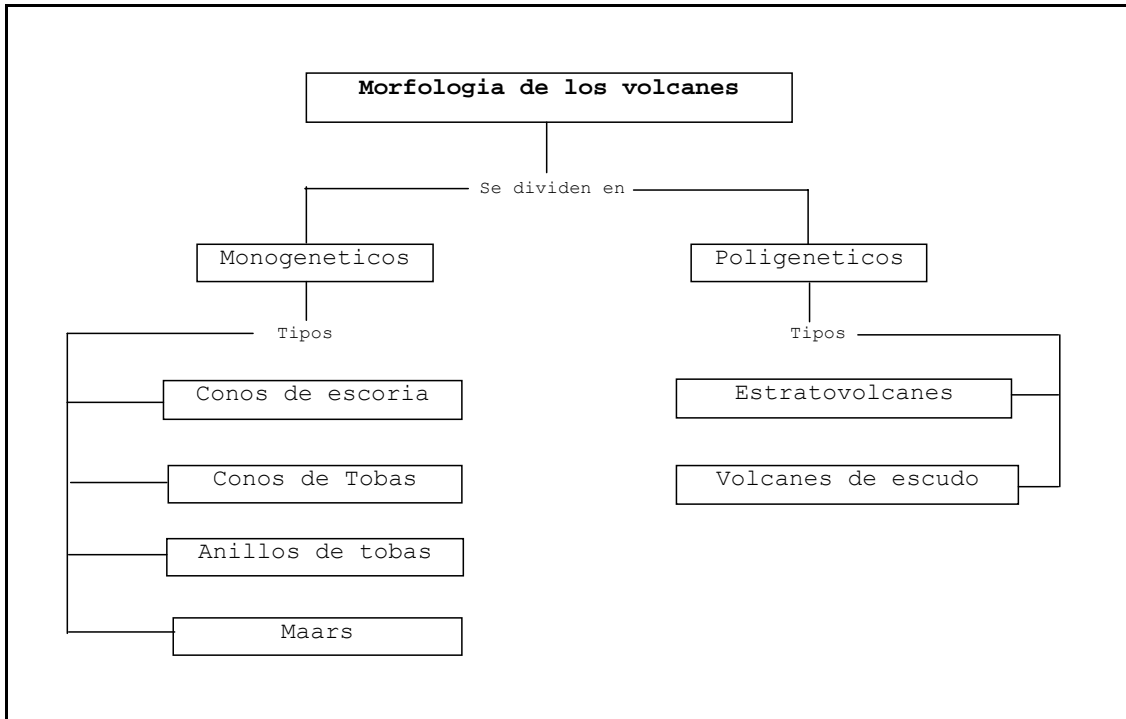


Figura 3.8. Cuadro resumen de la morfología de los volcanes [adaptado de Martí et al., 2000]

### 3.6.1. Volcanes Monogenéticos

Son aquellos que presentan erupciones de manera típica únicamente en intervalos de tiempo corto, este tipo de erupciones puede presentar diferentes pulsaciones. Una sucesión de diferentes fases eruptivas puede tener como resultado una combinación de edificios volcánicos. Entre este tipo de volcanes se tiene: los conos de escoria, conos de tobas, anillos de tobas y Maars [Major et al., 2001:p4].

#### a) Conos de escoria

Este es el tipo de volcanes más comunes en la tierra, están formados básicamente de materiales piroclásticos y fueron originados por erupciones de tipo estrombolianas o hawaianas, sus erupciones se atribuyen a magmas de baja viscosidad



generalmente de tipo basáltico. En las erupciones que los originan el contacto con el agua es casi nulo, por lo que la energía liberada es pequeña en comparación con los de origen hidrovulcánico; como lo son los anillos de tobas, conos de tobas y maars.

Los volcanes de este tipo son truncados en forma de cono y poseen cráteres en forma semiesférica en la parte superior; sus depósitos están formados por lapilli escoriáceo, bombas y cenizas en menor cantidad. La forma de los conos de escoria depende de numerosos factores como: el volumen total de material expulsado, rango de velocidad de expulsión, velocidad y dirección del viento, naturaleza y tamaño de partículas y geometría del conducto.

Los conos de escoria presentan un rango de 0.25 a 2 Km de diámetro en su base, con una media de 0.8 Km, sus alturas son iguales a 0.18 veces del diámetro de la base y los diámetros del cráter son iguales a 0.4 veces el diámetro de la base; el ángulo de inclinación esta entre rangos de 25° a 38° dependiendo de la naturaleza del material expulsado; dichos parámetros están representados en la figura 3.9. [Sigurdsson, 2000:p689].

De este tipo de volcanes presentes en el país se pueden mencionar el Conejal y San Marcelino del complejo de Santa Ana; el volcán el Playón y el Cerrito en Quezaltepeque y el complejo de conos cineríticos entre Aguilares y Guazapa. [Hernández, 2007]

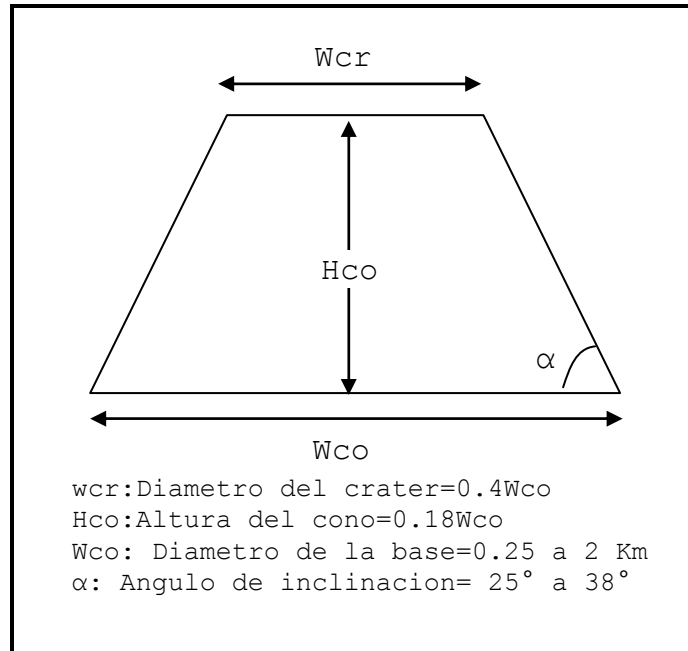


Fig. 3.9. Modelo de los parámetros de un cono de escoria. [Sigurdsson, 2000: p.688]

b) Conos de tobas

Estos son formados a partir de actividad hidrovulcaniana, lo que quiere decir que la erupción tuvo contacto con agua liberándose así grandes cantidades de energía de acuerdo con la erupción que le dio origen, aunque se formaron por el mismo tipo de actividad eruptiva que los anillos de tobas y maars, estos se diferencian de los primeros por alcanzar mayores alturas, las cuales varían entre 50 y 330 m y poseen diámetros de borde que varían de 100 m a 1.5 Km [Sigurdsson, 2000:p689]. Otra característica importante es que las bases (cimas) de los cráteres de estos se encuentran sobre la superficie del terreno circundante. Presentan relaciones altura/diámetro entre 0.5 a 0.2 y la inclinación de los bordes externos es mayor de  $25^\circ$  [Sigurdsson, 2000:p689].

Algunos conos de tobas pertenecientes al complejo San Salvador son el volcán Loma Caldera; que puede ser clasificado también como maar; Plan de la Hoya y cráter Aurora [Sofield, 1998:p47].

#### c) Anillos de tobas

Son pequeños volcanes con un cráter central muy ancho y un cono ancho y bajo, generalmente formados como consecuencia de erupciones freatomagmáticas; teniendo en cuenta que la cantidad de agua que participó en la erupción es menor que en el caso de los conos de tobas por lo que se libera una cantidad de energía mayor.

Son morfológicamente similares a los maars y tienen diámetros de cráter de 0.7 a 0.8 Km; son comúnmente menores de 50 m de alto y están definidos por cráteres con pequeñas relaciones de profundidad-espesor, tienen pendientes menores a 25° [Sigurdsson, 2000:P684].

Los materiales que lo constituyen consisten en una mezcla de materiales juveniles y clastos accidentales, siendo los piroclastos juveniles el principal constituyente de estos depósitos bien estratificados; también producen cenizas muy finas y sus bordes están rodeados por depósitos piroclásticos (tobas o lapilli) de diámetro similar a los de maars; son ejemplos de este tipo de volcán el Resumidero y el cráter de Quezaltepeque de complejo de San Salvador [Sofield, 1998:p47].

#### d) Maars

Se generan por fases de actividad freatomagmática y presentan características similares a las de los anillos de tobas; la diferencia principal entre estos radica que en el caso de los maars los cráteres son excavados en la superficie topográfica previa a la explosión que los generó, mientras que en anillos de tobas el cráter está por encima la topografía inicial del terreno. Generalmente se forman en áreas húmedas y pobremente drenadas, lo que facilita el acceso de agua al magma, ya que el nivel freático se encuentra relativamente superficial; cabe recalcar que el contenido de agua en el tipo de erupción que los origina, es limitada por lo que se libera gran cantidad de energía. Alrededor del borde del cráter se forman bordes bajos de piroclastos de grano fino, mayormente consolidados, que en el caso de los conos de tobas. En la figura 3.10 se muestra un esquema general de este tipo de volcán.

Generalmente los maars expulsan flujos similares a los de los anillos de tobas, pero estos contienen abundantes detritos no juveniles que fueron arrancados del estrato previo a la erupción. En el siguiente capítulo se abordará con un poco más de detalle este tipo de forma volcánica. En el complejo San Salvador se tienen como ejemplo de este La Puerta la Laguna (mejor conocido como Plan de la Laguna), Laguna de Chanmico y el cráter de las Granadillas [Sofield, 1998:p47]; también la Laguna de Cuscashapa ubicada en Chalchuapa y laguna de Apastepeque en San Vicente son ejemplos de este tipo.

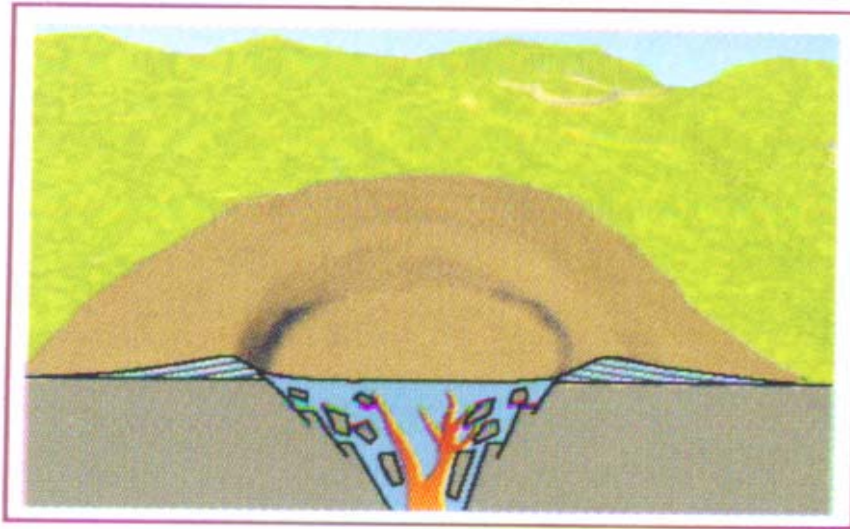


Figura 3.10. Esquema de la morfología de un maar [Martí et al., 2000:p39]

## CAPÍTULO 4

### 4. ERUPCIÓN FREATOMÁGMATICA DEL PLAN DE LA LAGUNA

#### 4.1 INTRODUCCIÓN

El Salvador es un país que cuenta con numerosos volcanes, que desde la antigüedad han sido protagonistas de violentas erupciones; las cuales han originado la mayoría de suelos de nuestro país.

El complejo volcánico San Salvador se encuentra en el corazón de la capital salvadoreña; y cuenta con volcanes derivados de este. Entre ellos se encuentra el Plan de la Laguna, el cual es un cráter de explosión, situado a 7 Km al SE del Volcán San Salvador. Véase la figura 4.1

Los depósitos y la distancia recorrida por éstos, depende en gran manera, del tipo de erupción que los genera; entre otros factores. Es por ello que en este capítulo se abordará a fondo todo lo relacionado con el Plan de la Laguna y el tipo de erupción que éste presentó.

### Mapa de Ubicación de Área de Estudio

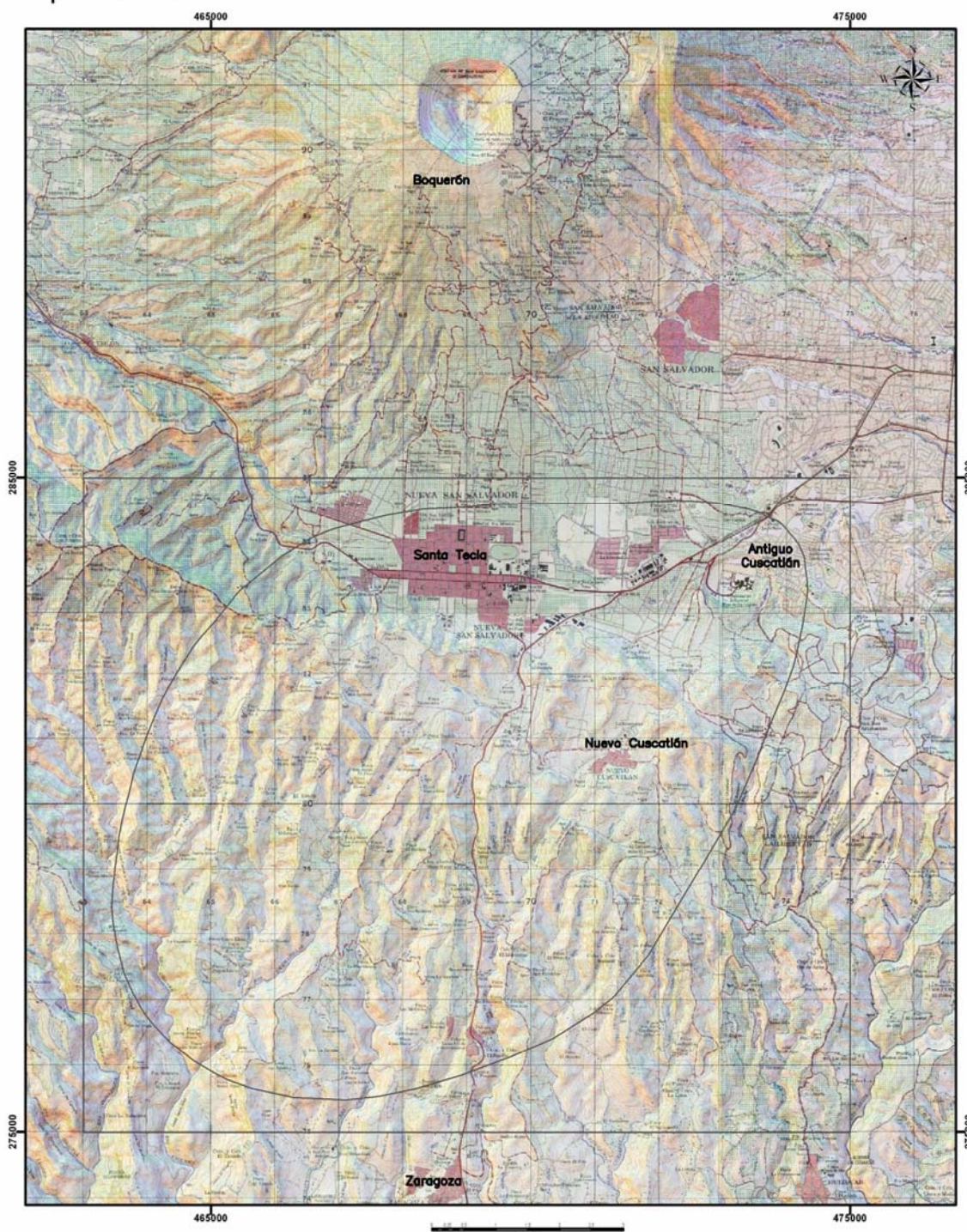


Figura 4.1. Plano de ubicación de área de estudio.

#### 4.2 RELACIÓN CON EL COMPLEJO VOLCÁNICO SAN SALVADOR

El complejo volcánico San Salvador se encuentra ubicado en los municipios de San Juan Opico, Colón, Nueva San Salvador y Quezaltepeque y es parte del Cinturón Volcánico de América Central.

El complejo volcánico comprende tres picos: Jabalí, el Boquerón y el Picacho; así como un número de cráteres monogenéticos de ladera o flanco [Sofield,1998:p4], los cuales se encuentran a lo largo de tres fallas volcánicas; la primera extendiéndose con rumbo nor-oeste, desde el Boquerón hasta el volcán Loma Caldera, pasando por el volcán Playón; ambos pertenecientes a un cordón de por lo menos catorce volcanes pequeños llamados los chinitos; la segunda falla sigue el rumbo nor-oeste desde el Boquerón pasando por el Jabalí, hasta la Laguna de Chanmico; y la última falla se extiende con rumbo sur-este desde el Boquerón hasta el Plan de la Laguna al sur-este de Antigua Cuscatlán.

En la figura 4.2 puede observarse la distribución de las tres fallas descritas, así como los cráteres que se encuentran en cada una de ellas.



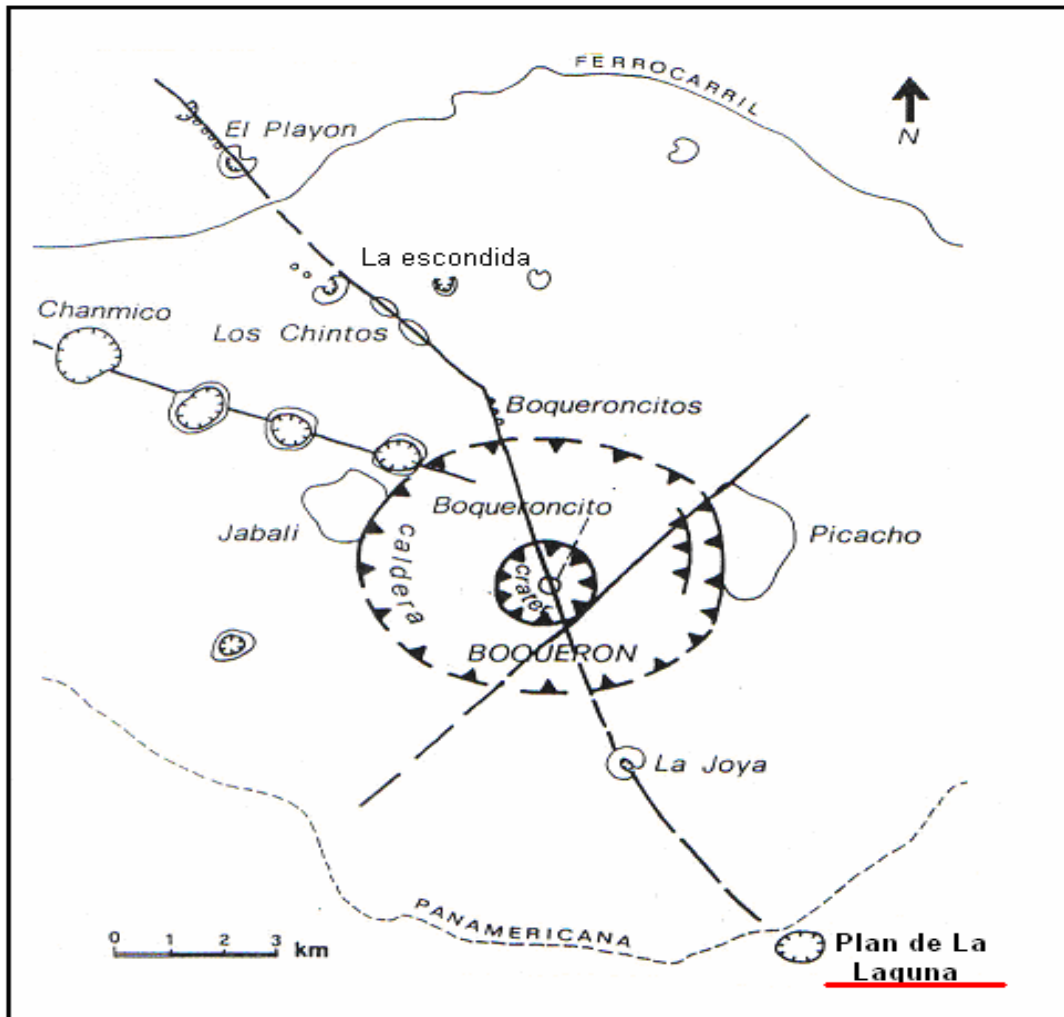


Figura 4.2. Principales sistemas de fracturación que afectan al complejo volcánico San Salvador [Sofield, 1998]

El complejo volcánico San Salvador cuenta con depósitos originados por actividad hidromagmática; la cual ocurre por la interacción de magma caliente con agua subterránea o superficial; generando así las erupciones muy violentas.

Dentro de los cráteres hidrovulcánicos que se encuentran en el complejo se puede mencionar:

- *Laguna de Chanmico*: Es un lago circular de 1.2 K.m de diámetro, y se sitúa al noroeste del cráter Boquerón como se muestra en la figura 4.2 [Sofield, 1998:p38]
  
- *Cráter La Escondida*: La ubicación de este se puede ver en las figuras 4.2 y 4.4 y es un ejemplo de cráter que fue parcialmente cubierto por cenizas y coladas de lava, y está asociado a la falla N40W.[Sofield, 1998:p40,47]

#### **4.2.1. Cráter Plan de la Laguna**

El cráter del Plan de la Laguna es un cráter tipo maar; y las paredes del cráter cuentan con una buena vegetación, a excepción de los cortes que sostienen un parque industrial en el piso del cráter, como se muestra en la figura 4.3.

Al comparar los depósitos de la Laguna de Chanmico y La Escondida; se pueden considerar a los depósitos del Plan de la Laguna, los de mayor extensión en distancia de los otros cráteres hidrovulcánicos. [Sofield, 1998:p44]



Figura 4.3. Cráter de Plan de La Laguna y su complejo industrial, mostrando en el fondo el borde sur del mismo.

La edad de los depósitos de Plan de la Laguna, no puede ser precisada con exactitud, lo único que puede decirse con respecto al tema es que el depósito es más antiguo que el de Tierra Blanca Joven que se encuentra sobre el depósito de Plan de la Laguna y esta fue datada al año 430 D.C [Dull et al., 2001]. Cabe recalcar que en el trabajo de campo se encontró material arqueológico (tiestos) los cuales se entregaran a Concultura para una datación posterior.

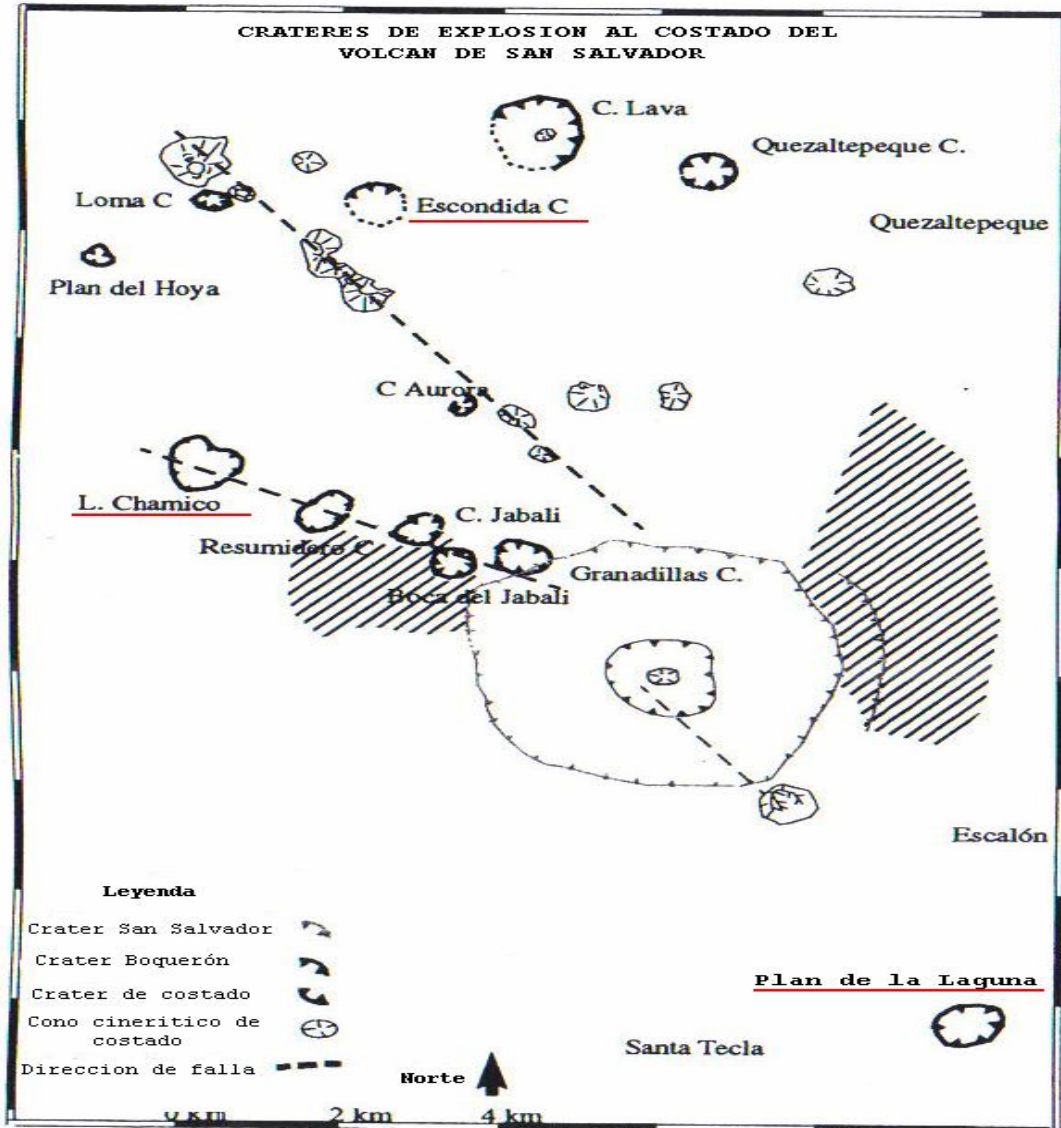


Figura 4.4. Cráteres de explosión, y conos cineríticos relacionados con complejo volcánico San Salvador. [Sofield, 1998:p35]

#### 4.2.2 Química de Rocas de Plan de la Laguna

Sofield (1998) realizó un análisis químico a una bomba juvenil proveniente del Plan de la Laguna, arrojando los resultados siguientes:

Tabla 4.1: Composición del Plan de la Laguna.

Composición Química	
componente	contenido
SiO <sub>2</sub>	56%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.60%
MgO	2.50%
K <sub>2</sub> O	1.30%

En la tabla 4.1 se presenta la composición química y el contenido de los componentes para la erupción del Plan de La Laguna, donde se observa un contenido de sílice de 56%, lo que clasifica al magma que le dio origen a la erupción como andesítico, ya que magmas andesíticos presentan contenidos de sílice de 53 a 63 %[Sofield,1998:p44]

#### 4.3. MORFOLOGÍA DEL PLAN DE LA LAGUNA

El Cráter del Plan de la Laguna, es de tipo Maar, el cual se define como un pequeño volcán de cono central muy ancho; en el cual, la base del cráter central se encuentra por debajo de la superficie previa a la erupción. [White, 1991:p157].

Este tipo de cráter se forma por actividad hidrovulcánica, en el caso del Plan de la Laguna por actividad freatomagmática, es decir, que el magma entro en contacto directo con el agua.

La forma y tamaño de este tipo de cráter esta definida por parámetros, como lo son; el diámetro del borde, la altura máxima, la relación altura/ diámetro de borde y la profundidad de excavación.

En el caso de los Maars los diámetros de cráter oscilan entre 0.7 a 0.8 Km, con perímetros de 0.2 a 3.0 Km y presentan bordes menores de 50 m; por otro lado la relación altura/diámetro de borde oscila entre 0.13 y 0.05 [Sigurdsson, 2000: p689]

El cráter del Plan de la Laguna mide aproximadamente 0.7 Km, y la base del cráter se encuentra 35 m debajo de la superficie del terreno; cuenta con un área de 0.48 Km<sup>2</sup>, un perímetro de 2.55 km, y una altura máxima del borde sur del cráter de 55 m debido a la acción predominante del viento en esa dirección. La relación altura entre diámetro del borde es de 0.08; encontrándose así que todos los parámetros medidos del cráter están dentro del rango de valores esperados para este tipo de volcanes; las medidas presentadas fueron tomadas directamente del plano topográfico de la zona en estudio.

#### **4.4. DESCRIPCIÓN DE LA ERUPCION**

El Plan de la Laguna presentó uno de los mecanismos eruptivos más violentos que existen entre los volcanes de su categoría; ya que el magma al interactuar con el agua subterránea proveniente de la ladera sur del volcán San Salvador, liberó grandes cantidades de energía lo que generó una gran explosividad. Este tipo de erupciones recibe el nombre de freatomagmática, y en ellas el magma caliente (1100°C) interactúa con el agua subterránea (a 26° C aproximadamente) de manera directa. La eficacia de estas depende de la relación de masas entre magma y agua, de la presión de confinamiento y volumen de agua sobrecalentada, de la geometría de contacto entre ambos fluidos y de su diferencia de temperatura.

La forma, disposición y dimensiones los cráteres de explosión y de los depósitos; esta determinada por la relación de masas en la que se produce la interacción del agua con el magma, como se muestra en la figura 4.5.

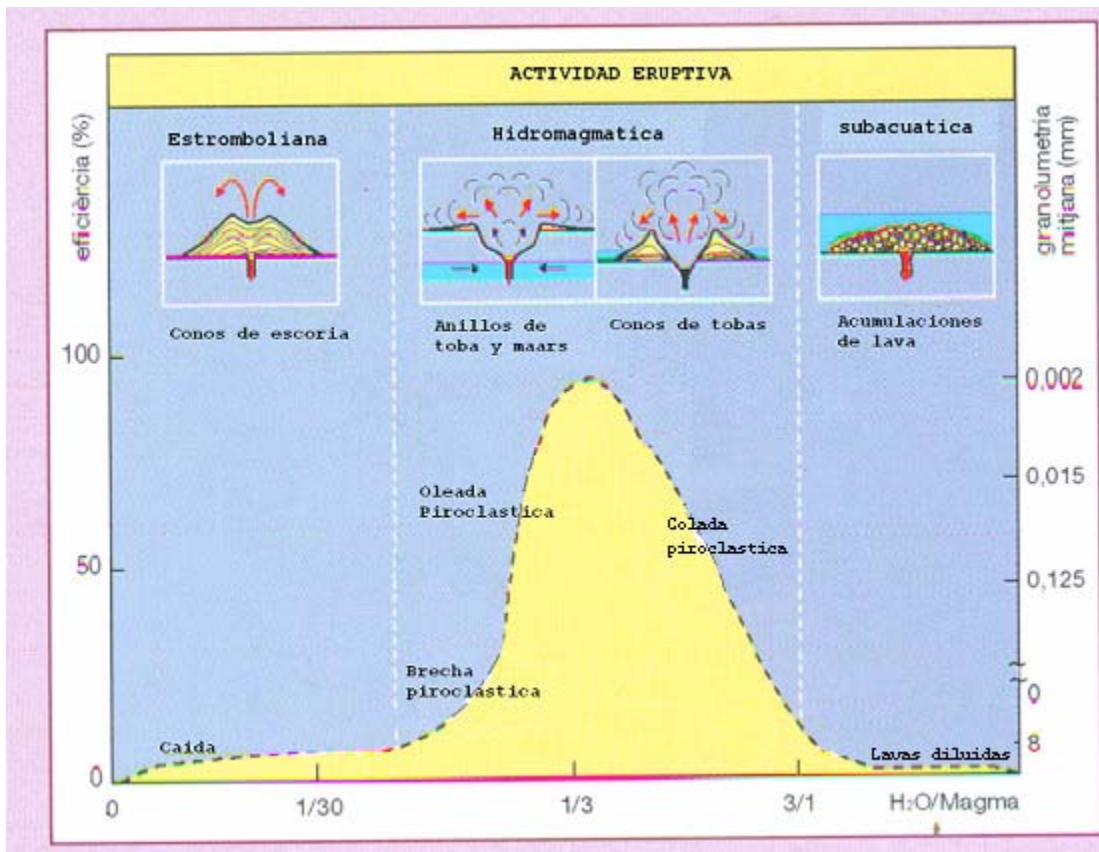


Figura 4.5. Variación de la explosividad con la relación entre el contenido de agua y magma; [Martí et al., 2000:p29]

La figura 4.5 muestra gráficamente una relación agua/magma óptima para que se produzca una explosividad mayor; y esta es cercana a 0.33. En el caso del Plan de la Laguna este se clasifica como un maar, el cual tiene relaciones agua magma entre 0.33 y 0.033

La profundidad a la que el agua subterránea se encuentra en la actualidad en la zona de Plan de La Laguna, es de



aproximadamente 100 m, que se determinó en base a un mapa de isofreáticas del sector. En la Figura 4.6 se presentan las curvas isofreáticas y la dirección del flujo en la zona aledaña al Plan de la Laguna. Esa profundidad pudo haber sido algo distinta antes de la erupción. Desafortunadamente no se contó con información relacionada a perfiles litológicos de pozos de agua, que informarían sobre el material que sirve como acuífero.

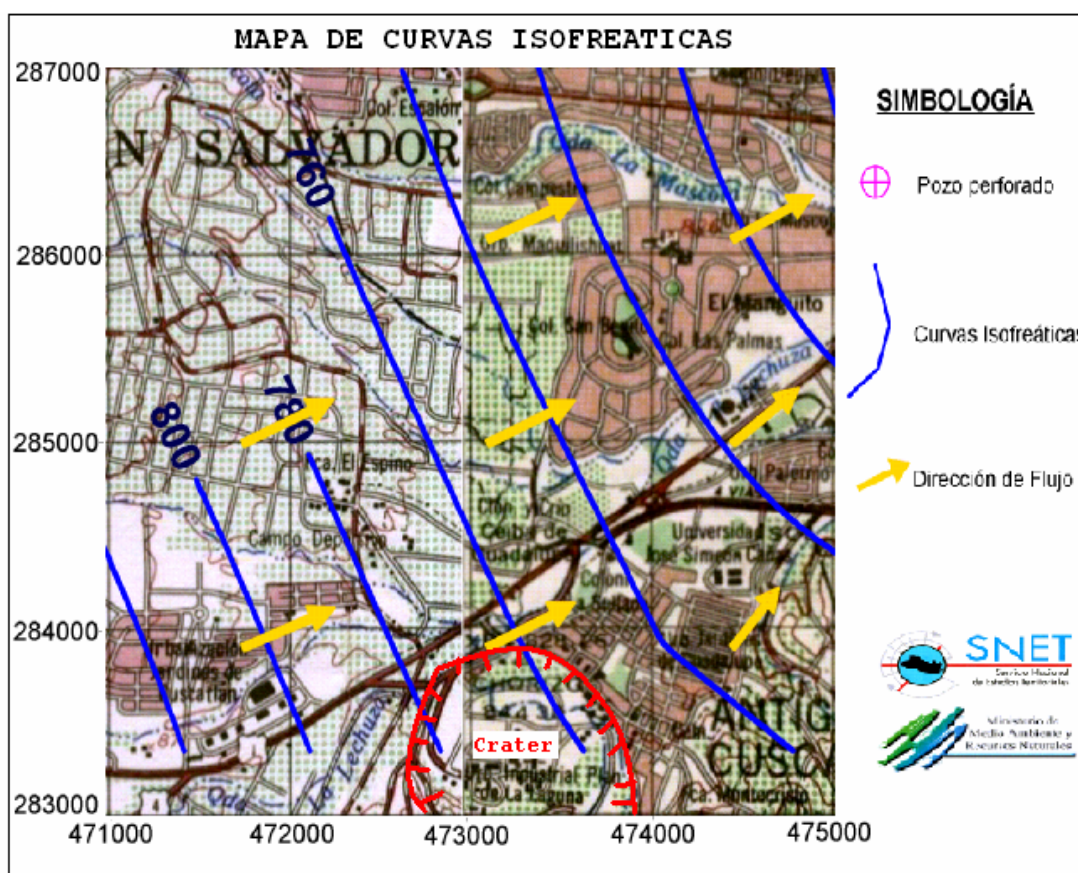


Figura 4.6. Mapa de isofreáticas para la zona de Antigua Cuscatlán

Los depósitos generados por este tipo de erupción son de brecha piroclástica basal y oleadas piroclásticas con depósitos de caída intercalados. Los depósitos cercanos al cráter están compuestos por material juvenil, con abundantes



líticos (no juveniles) y bombas de proyección balística y un ejemplo de ella se presenta en la figura 4.7, en la que puede observarse gran tamaño que presenta dicho material.

En este tipo de erupción predominan principalmente las oleadas, las cuales son controladas por la gravedad durante su transporte. Existe una secuencia de oleadas y depósitos de caída, la cual implica altas concentraciones de oleadas turbulentas cerca del conducto principal, lo que puede observarse en la figura 4.8; mientras que más lejos las oleadas se convierten en más diluidos a través de la deposición de clastos y mezclas con el aire del ambiente; formando pequeños depósitos estratificados y laminados; muy característicos de la unidad 2 en la erupción de Plan de la Laguna, en el caso de la erupción de Plan de La Laguna el techo esta compuesto por lapilli acrecional; la cual se forma a partir de un agregado concéntrico de capas de ceniza volcánica, por medio de gotas de lluvia que caen a través de una columna eruptiva. [Sigurdsson, 2000: p687]

Las oleadas basales son características de edificios volcánicos tipo maar y la forma en como estas se depositan es básicamente por gravedad (véase figura 4.8); por otra parte también se presentan depósitos de caída, los cuales rellenan uniformemente la topografía con espesores continuos en decenas de kilómetros. [Petrinovic, 2003]



Figura 4.7. Materiales de proyección balística, característicos de la zona proximal, con bombas juveniles.

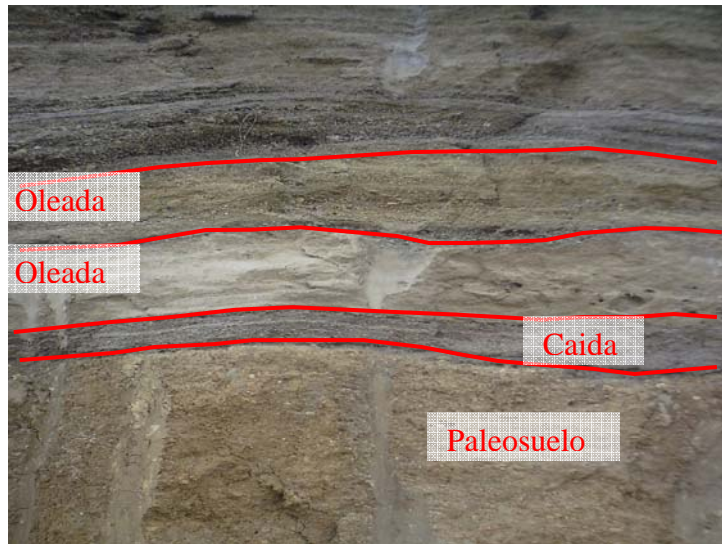


Figura 4.8. Oleadas piroclásticas y depósitos de caída.



## CAPÍTULO 5

### 5. MEDICIÓN DE AFLORAMIENTOS

#### 5.1 INTRODUCCIÓN.

Los depósitos provenientes de una erupción son de gran ayuda para entender el mecanismo que les dio origen; y a su vez entender la relación de un evento aislado con la estratigrafía de la zona.

Es necesario conocer las características que presentan en campo, cada uno de los materiales que componen el depósito e identificar los cambios a medida se alejan del cráter.

Por otra parte la medida de los espesores del depósito en distintos puntos, da una medida del tamaño de la erupción. Las medidas de espesores se realizan en afloramientos donde hay una exposición de los distintos estratos del suelo, debido a un corte en carretera, construcciones o en quebradas y ríos.

Se presenta entonces, un resumen de lo visto en campo, describiendo los detalles más representativos del depósito, apoyado en imágenes, perfiles estratigráficos, así como también se incluye el mapa de isopacas, (líneas de igual espesor) del depósito de Plan de la Laguna.

## **5.2 METODOLOGIA**

Para el mapa de isopacas es necesario medir los espesores del depósito. Para la medida de los espesores, se limpió primero la cara del talud para encontrar la base, (inicio de la erupción); y el techo de la misma, (final de la erupción), luego se procedió a tomar las medidas con una cinta métrica, tanto del depósito en estudio, como también de los depósitos que se encuentran en la parte inferior y superior del mismo, con la finalidad de obtener la estratigrafía de la zona. En cada punto visitado se realizó una descripción de los depósitos encontrados, lo cual ayudó a delimitar tres zonas: proximal, intermedia y distal, en las cuales los afloramientos encontrados presentan aproximadamente las mismas características. Cada punto de afloramiento fue ploteado con mapa topográfico a escala 1:25,000

## **5.3 ZONIFICACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE PLAN DE LA LAGUNA**

Para caracterizar el depósito se dividió la extensión de éste en tres zonas, de las cuales se seleccionaron puntos representativos de los demás pertenecientes a la misma zona; dicha división atendió básicamente a principios de observancia de los distintos depósitos y sus características tanto en su forma de ser depositados, como en el tipo de depósitos que estos presentan de manera predominante (Véase plano de zonas en Anexo A).

### **5.3.1 Zona Proximal**

Esta zona se encuentra cercana al cráter, cuenta con una longitud de aproximada de 1 km y un área de 4 km<sup>2</sup>, es la que

posee menor área debido al recorrido del material en proyecciones balísticas; sus depósitos son caracterizados por escorias, líticos, bombas en proyección balística y brechas de explosión en la base. La extensión de esta zona es pequeña ya que los balísticos no alcanzan grandes distancias y presentan en la parte superior del depósito un aspecto masivo, mientras que en la parte baja se observa cierta estratificación. Esta zona no cuenta con depósitos de oleadas piroclásticas ni lapilli acrecional. En la figura 5.1 se presentan los depósitos característicos de la zona, en ella se observan la porción superior de aspecto masivo y la inferior que presenta una escasa estratificación.

Los depósitos de esta zona están caracterizados por poseer abundantes bombas, lo cual se refiere a fragmentos exclusivamente juveniles que han sido arrojados desde la boca eruptiva en condiciones parcialmente fundidas y las cuales han sido parcialmente solidificadas durante el vuelo. Estas pueden deformar sus características aerodinámicas típicas si al caer están plásticas; así se pueden mencionar la estructura de **corteza de pan**, la cual se forma por expansión de volátiles en el interior de la bomba, expandiendo la corteza ya sólida o semisólida, dichas estructura ocurren generalmente en magmas de composición intermedia a ácida. También se presentan las **bombas en coliflor**, las cuales se forman por enfriamiento brusco en condiciones subácneas o muy húmedas y estas son indicativas de erupciones hiodrovolcánicas; generalmente este tipo de material produce estructuras de carga en el suelo, las cuales lo deforman, por la velocidad de impacto y tamaño. [Petrinovic, 2003:p8]



Figura 5.1: Materiales característicos de la zona proximal, en el borde norte del cráter. Obsérvese abundantes escorias con líticos en la parte inferior, con ligera estratificación y depósitos de escoria masiva con bombas en la parte superior.

- Descripción de los componentes característicos de la zona

En esta zona, el afloramiento situado al borde sur del cráter, en la Residencial Cumbres de Cuscatlán, Santa Elena; muestra un corte inferior a 7 m (véase figura 5.2), cuyo deposito se describe a continuación.



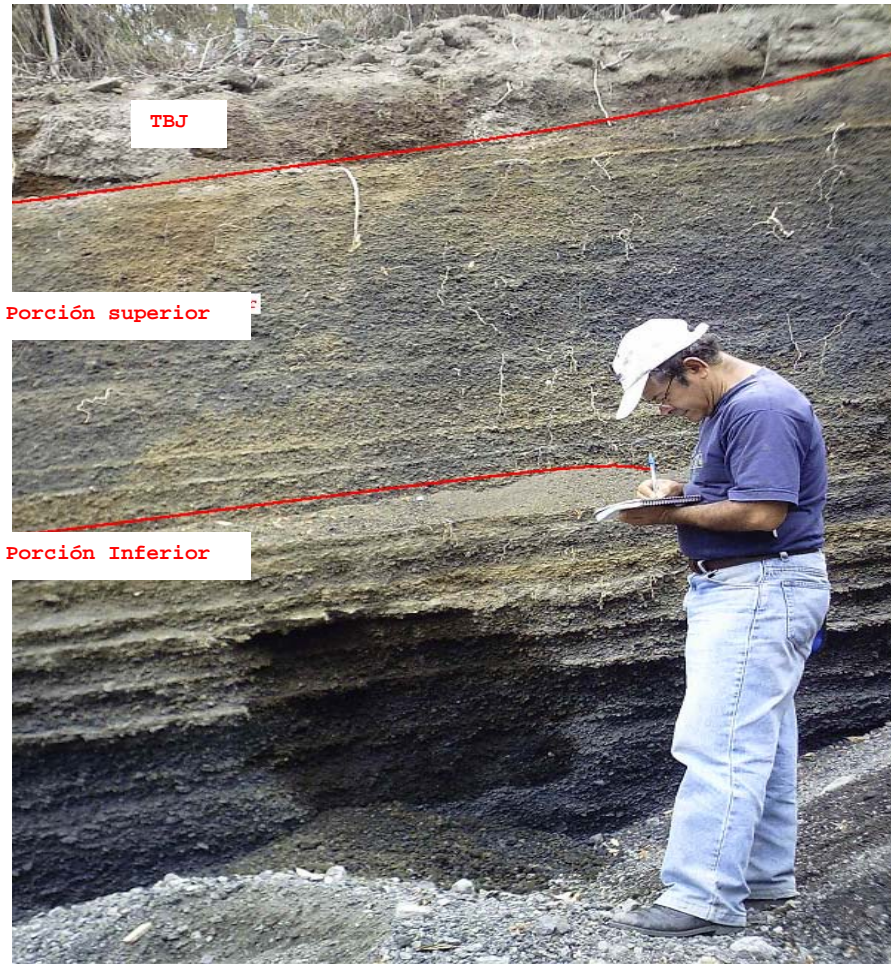


Figura 5.2: Afloramiento ubicado en Residencial Cumbres de Cuscatlán, en el borde sur del cráter. Obsérvese la estratificación mas definida de la porción inferior y el aspecto masivo de la superior, con relación al lado norte del cráter. Afloramiento 34.

### Porción Inferior

Es una escoria estratificada, con formas irregulares, presenta un estado suelto y a su vez una mala graduación, es de color gris oscuro y adelgaza al igual que la porción superior en distancias menores de 1 km; contiene bombas hasta de 76cm de largo y líticos de tamaños variados (6 cm a 50 cm); ver ejemplo de estos en figura 5.3 y 5.4 respectivamente. La estratificación que presenta esta porción



es formada en gran parte, por la unión lateral de escorias muy calientes que se unen entre sí.

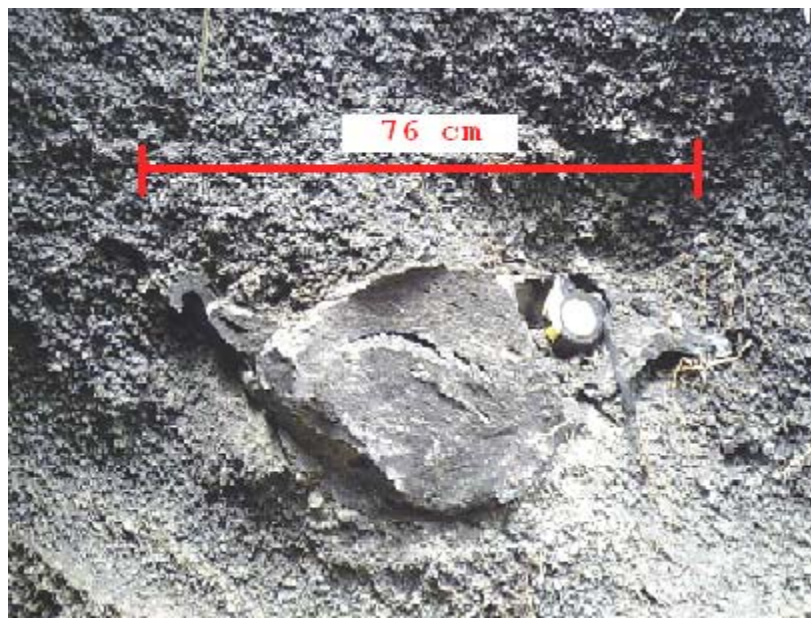


Figura 5.3: Bomba juvenil presente en la porción inferior. Presenta una estructura en forma de coliflor

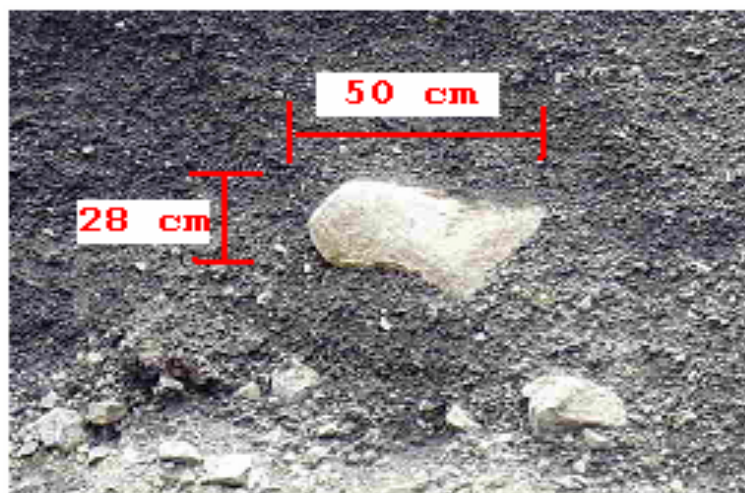


Figura 5.4: Líticos encontrados en afloramientos de la zona proximal

### Porción superior

Escoria sin estratificación, con morfologías irregulares, presenta un estado suelto, color gris oscuro con manchas amarillas producto de una oxidación heterogénea.

Se observa que esta unidad presenta una mala graduación y se adelgaza hasta desaparecer en distancias menores a 1 km; y se estima que se que adelgaza a razón de 10 cm por metro; sobre este material se encuentra el depósito de Tierra Blanca Joven. En esta porción se observan estructuras de carga como lo presenta la fig 5.5; debido a la presencia de una bomba en la zona que deforman por impacto donde caen.

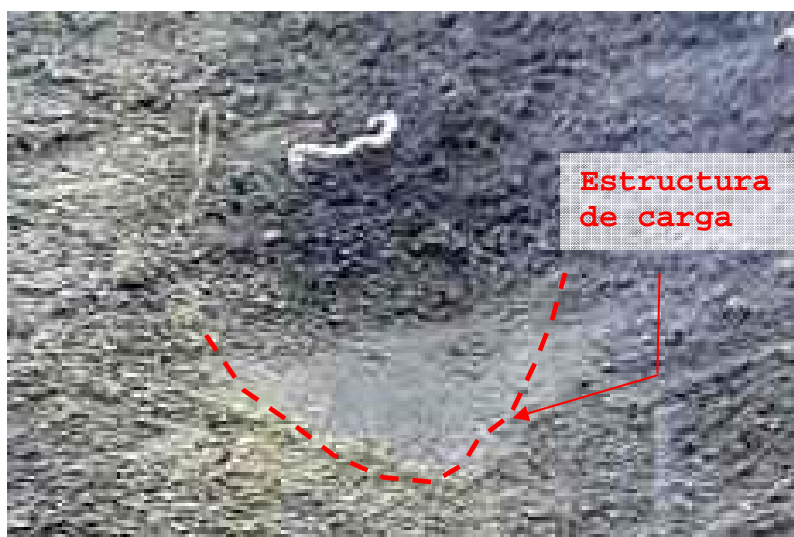


Figura 5.5. Estructura de carga. Se encuentra presente en la porción superior, debido al impacto de la proyección balística de una bomba.

La figura 5.6 se presenta la abundancia de líticos encontrados en la zona proximal del borde sur, en este punto no se logro observar la brecha de explosión por estar más profunda.



Figura 5.6: Escorias con líticos abundantes. Tienen diversos tamaños y fueron encontrados en una construcción contiguo al borde sur del cráter.

### Brecha de Explosión

Se encuentra ubicado debajo de la unidad 1 y esta compuesta por una matriz de arena cementada que encierra abundantes líticos de composición andesítica, es de color gris y los líticos que posee son angulares y sus tamaños van de 5 a 8cm en su mayoría y el tamaño de lítico máximo esta entre 16 a 24 cm. Presenta pocas bloques angulares de tamaños variados de 22cm; en la parte inferior cuenta con una arena solidificada. No se observo la base del estrato. Cabe recalcar que la brecha propiamente dicha no se observó, ya que se encuentra a una profundidad mayor que la excavada en este punto en particular. En la figura 5.7 se presenta una porción de la brecha de explosión que se observo en el centro comercial Multiplaza.



Figura 5.7: Brecha de explosión típica. Se encontró en Multiplaza y sobre ella se depositó el material fratomágmatico.

En la figura 5.8 se presenta el perfil estratigráfico de un afloramiento seleccionado para la zona proximal; dicho punto está ubicado en Cumbres de Cuscatlán, Santa Elena.

## PERFIL ESTRATIGRAFICO DE PUNTO 1.A

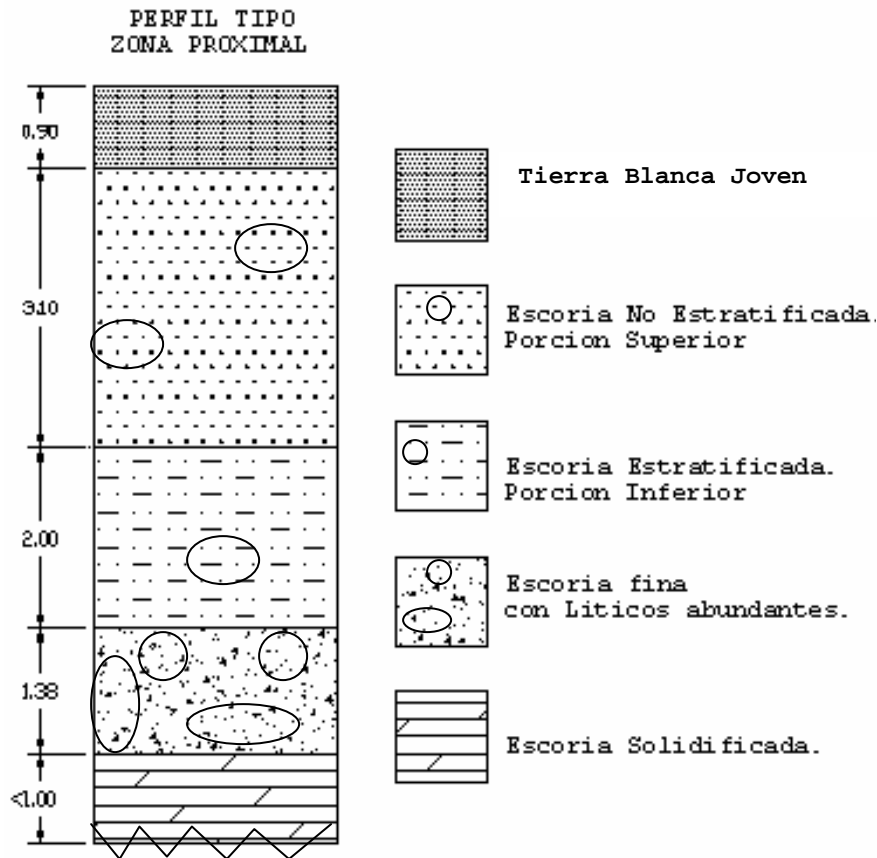


Figura 5.8: Perfil estratigráfico de afloramiento ubicado en Cumbres de Santa Elena, Antiguo Cuscatlán. Afloramiento 34

### 5.3.2 Zona Intermedia

Tiene una distancia de 4 Km aproximadamente y un área de 19 Km<sup>2</sup>; sus depósitos inician con material de caída escoriáceo, que disminuye su espesor hasta desaparecer en la parte distal del cráter; y luego de esta hay presencia de oleadas piroclásticas básicas, seguidas por intercalaciones de depósitos de caída con intercalaciones de oleadas piroclásticas de menor espesor. El techo del depósito Plan de la laguna esta constituido por una secuencia de lapilli



acrecional y oleadas en menor proporción; subyaciendo a las cenizas de caída de Tierra Blanca Joven (TBJ).

Cabe recalcar que en esta zona se encuentra el perfil tipo de toda la erupción, ya que en ella se presenta la secuencia completa de todos los materiales expulsados por la misma: oleadas basales y lapilli escoriáceo intercalados, secuencia rítmica de caída y oleadas y en el techo, lapilli acrecional, los cuales se han separado en 3 unidades como lo muestra la figura 5.9.

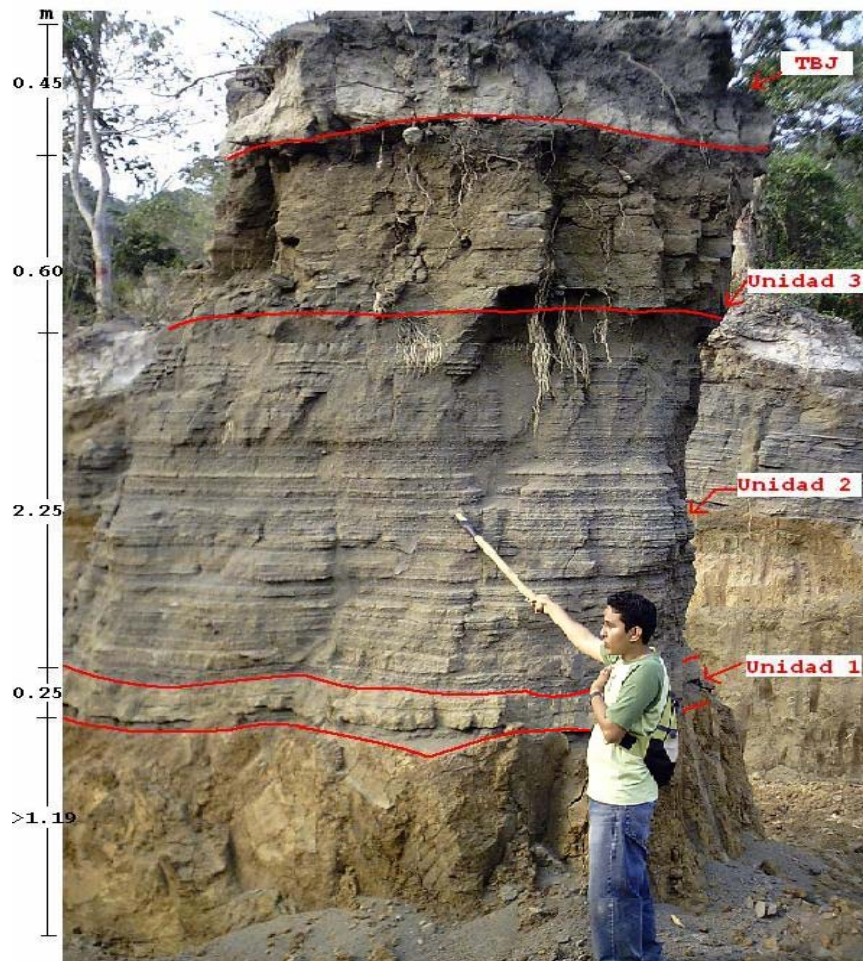


Figura 5.9: Afloramiento mostrando las tres unidades de Plan de la Laguna. Ubicado en Lomas de Santa Elena a 2250 km del cráter; Afloramiento 17.

- Unidades de Plan de la Laguna.

Para la zona intermedia se seleccionaron 2 puntos representativos de ella, de los cuales se extrajeron también muestras a las que se le realizaron pruebas geotécnicas que se presentarán en el capítulo 6. A continuación se presenta la descripción de las distintas unidades características de la zona.

#### Unidad 1

Consiste en un depósito de caída inicial que para fines de este apartado se le ha llamado **1A**, y es un depósito de caída de cenizas y gravas escoráceas de color gris, con presencia de líticos color café, densos. Se presenta en estado suelto y posee buena graduación; es decir, mal seleccionados del punto de vista Vulcanológico. Véase figura 5.10, en la que cuenta con un espesor de 10 cm.

Este juega un papel muy importante como capa guía en la identificación del resto de las unidades de Plan de la Laguna, ya que marca el inicio de la erupción y su grosor disminuye a medida se aleja del cráter hasta desaparecer, dando inicio a la frontera de la parte distal.

Sobre las escorias yace una oleada piroclástica a la cual se le ha llamado **1B** y consiste en una oleada basal, compuesta por arena limosa no plástica de color café claro, no consolidada. Las oleadas son el resultado de la interacción agua-magma y el grano fino es una respuesta a la fragmentación magmática.

Por otro lado la Unidad 1 cuenta con otros dos horizontes, 1C y 1D los cuales son una caída y una oleada respectivamente y poseen características similares a 1A y 1B respectivamente; en algunos puntos se puede observar claramente la división entre estas cuatro pero a medida la distancia al cráter es mayor las dos oleadas (1C y 1D) se unen para formar una sola con una caída (1C) casi imperceptible en medio de las dos; y hay un adelgazamiento de la caída inicial.

En la figura 5.10, se puede distinguir la separación entre las dos oleadas; pero en puntos más alejados esa separación ya ni siquiera se toma en cuenta; es por que en la mayoría de los puntos se optó por llamarle a la suma de **1B** y **1D** como **1B**, ya que el horizonte **1C** ya no es distinguible. Sobre esta unidad se observa una laminación rítmica, que corresponde a la unidad 2.

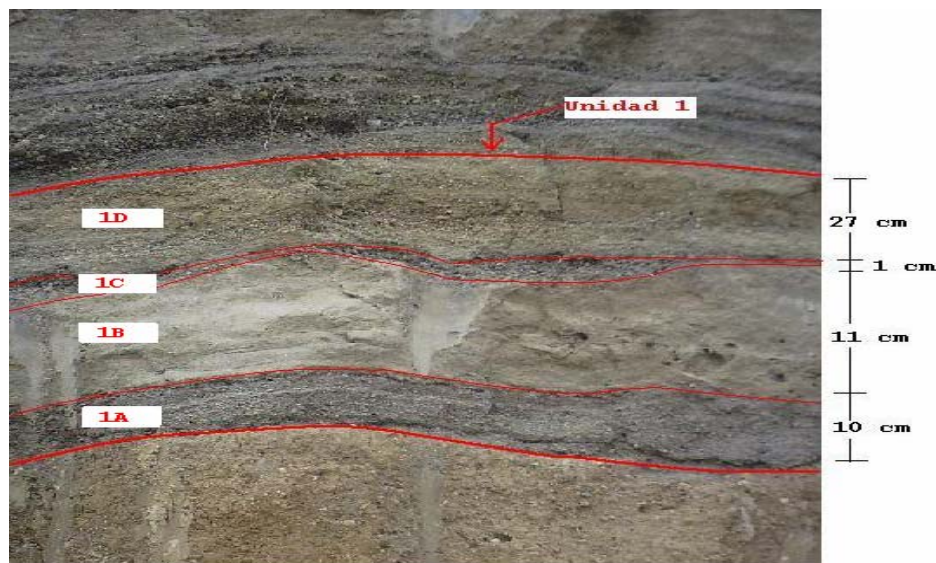


Figura 5.10. Unidad 1 y sus divisiones en zona de lomas de Santa Elena; afloramiento 16.



Tabla 5.1: Variación de espesores de Unidad 1

Numero de Afloramiento	Punto	Espesor (cm)		Total	Distancia al Cráter (m)	Elev. (m)
		Unidad 1				
		1A	1B	(cm)		
<b>3</b>	<b>Taca 1</b>	<b>20</b>	<b>24</b>	<b>122</b>	<b>1570</b>	<b>907</b>
<b>16</b>	<b>Lomas 1</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>49</b>	<b>2014</b>	<b>990</b>
17	Lomas 2	8	17	25	2250	956.25
15	Lomas 3	5	20	25	2366	935
14	Florida 1	0.5	12.5	13	3749	972.5
19	Los Sueños 1	0	5	5	4839	994
30	L.Tenerife 1	0	4.5	4.5	4956	1038

En la tabla 5.1 se presenta la variación de la subunidades 1A y 1B, de algunos puntos importantes de la zona intermedia, ya que estas deben ser bien definidas para la identificación de ellas en campo. A una distancia de 1570 m del cráter se cuenta con un espesor de Unidad 1 de 1.22m correspondiendo al mayor espesor de esa unidad de los afloramientos observados. Este punto está ubicado en el edificio TACA en Santa Elena (ver figura 5.11); el cual contiene una caída inicial (1A) de 20 cm de espesor, seguida de una oleada basal (1B) de 24 cm, después le sigue otro depósito de caída (1C) de 46 cm de aspecto laminado, terminando con una oleada (1D) de 32 cm. Cabe recalcar que este punto es de los pocos en los cuales se encontraron los cuatro horizontes de dicha unidad. La tabla 5.1 muestra la variación de los espesores de los depósitos de caída inicial y las oleadas dependiendo de la distancia. Entre los puntos de TACA 1 y lomas 1 se observa una clara variación entre los horizontes 1A, 1B, 1C y 1D por lo que estos puntos pueden ser comparados entre sí; observándose que la caída inicial (1A) representa una disminución del 50% en aproximadamente 500 m, con lo que se verifica la rapidez con que los depósitos de caída disminuyen a medida la distancia

al cráter aumenta, no así las oleadas, las cuales se acoplan a la topografía del terreno. La topografía en TACA presenta una menor elevación, por eso hay un mayor espesor de oleada basal (1B) que en el de Lomas 1 ya que el mecanismo en que se depositan las oleadas (en estado húmedo), hace que estas sean mayores en las depresiones por efecto de la gravedad que actúa sobre ellas, debido a eso pueden existir oleadas de gran espesor aún en distancias grandes con respecto al cráter dependiendo de la topografía del lugar. También entre estos dos puntos se observa una diferencia grandísima en el depósito de caída 1C ya que en TACA este presenta un espesor de 46 cm y en Lomas 1 el mismo tiene un espesor de 1 cm; lo cual representa una disminución del 97% en una distancia de 500 m; dicho fenómeno explica por que a distancias mayores este depósito desaparece y se unen las dos oleadas como un solo horizonte.

En los demás puntos se observa como la caída inicial disminuye a distancias pequeñas entre ellas con respecto al cráter hasta obtenerse la mínima observada de 0.5 cm en Urbanización La Florida en Nuevo Cuscatlán, luego en puntos ubicados a más de 5 km no se encontró caída inicial pero si la presencia de oleadas las cuales son las únicas que forman parte de la unidad 1. Por lo que puede delimitarse la caída inicial de espesores desde 20 cm a 0.5 cm.

En el caso de las oleadas existe una gran diferencia, ya que como se sabe estas se depositan dependiendo de la topografía del terreno; así en el punto de Lomas 3, se observa un espesor de oleada de 20 cm, el cual es grande debido que la elevación es de 935 m, esta es menor que la que presentan los demás puntos en los cuales se observa una disminución en el

espesor de la oleada basal (surge); así en el punto de Lomas 2 la oleada cuenta con 17 cm de espesor a pesar que se encuentra más cercano al cráter que el de Lomas 3 y entre estos dos puntos se observa como la oleada basal depende exclusivamente de la topografía y no tanto de la distancia a la fuente de emisión; con lo que se explica que las oleadas se encuentren a distancias muy lejanas al cráter, e incluso formen pequeñas intercalaciones con lapilli acrecional correspondiente a la Unidad 3. Los espesores de las oleadas para formar parte de la unidad 1 varían entre 24cm a 4 cm, y estos representan los máximos y mínimos que se observan en el campo. Es de hacer notar que en la zona distal se presentan también oleadas, pero estas ya no forman parte de la unidad 1, sino de la unidad 3 por predominar en esta zona lapilli acrecional intercalada con estas.

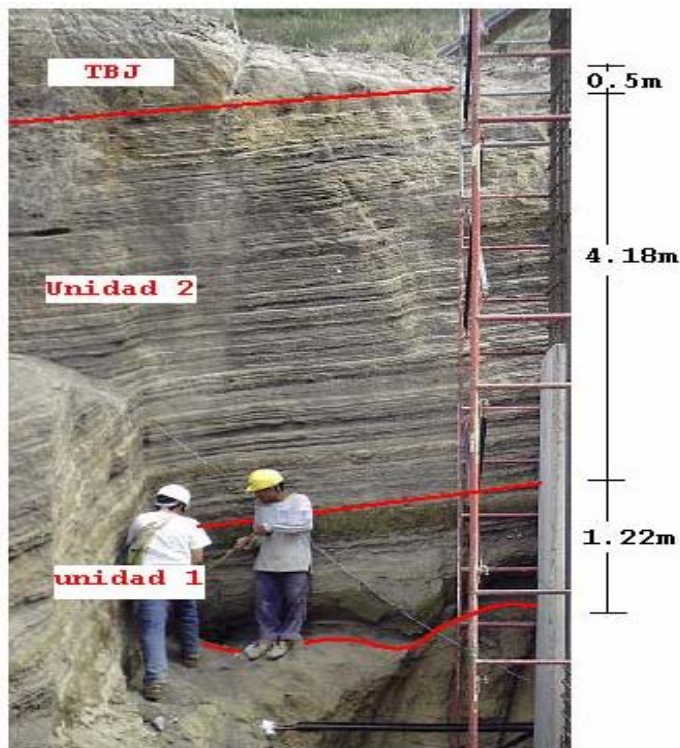


Figura 5.11. Afloramiento en edificio TACA, Santa Elena. Afloramiento 3, en el se observa el mayor espesor de la unidad 1

## Unidad 2

Esta unidad se caracteriza por presentar intercalaciones rítmicas de oleadas piroclásticas y depósitos de caída, de forma laminada los cuales se presentan en la figura 5.12. Las oleadas iniciales van disminuyendo su espesor y logran láminas delgadas entre ambos materiales a medida que avanza la erupción, los depósitos de caída están constituidos por arenas y gravas escoriáceas, siendo las gravas de menor proporción; y a su vez por cenizas en cantidades menores y cuenta con escasa presencia de lapilli. Se observa en algunos casos y dependiendo de la cercanía al cráter, líticos de tamaños pequeños.

Estos depósitos no presentan una clara variación que se pueda precisar con exactitud a medida la distancia al cráter se hace mayor, sólo se puede decir que se distribuyen uniformemente en la topografía del terreno, la distancia a la cual estos alcanzan depende del viento ya que estos son transportados por la columna eruptiva, es por ello que la mayoría de la unidad 2 ya no se encuentra en la zona distal.}

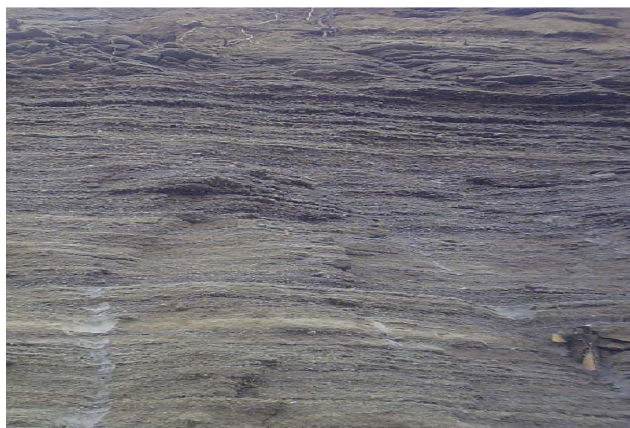


Figura 5.12: unidad 2, intercalación entre oleadas y caídas. Obsérvese la laminación que dicha unidad presenta.

### Unidad 3

Es el techo de la erupción del Plan de la Laguna y esta compuesto por partículas de grano fino, color gris con estado de cementación alta y se caracteriza por la presencia de lapilli acrecional, la cual es un agregado de cenizas finas, que forman estructuras concéntricas; originadas a través de gotas de agua cayendo a través de la columna eruptiva. Presenta alta resistencia al tacto y coloración gris claro o café en el caso de estar meteorizada. Véase la figura 5.13.

Es en el techo de esta unidad que se forma el suelo debido a la acción del intemperismo, que depende de factores como el clima, los organismos, el relieve, la roca madre y el tiempo [Jenny, 1941:p.15]. Esta capa formó parte de la superficie del terreno hasta que fue cubierta por los materiales de otra erupción, pasó a formar paleosuelo, en el caso de Plan de la Laguna fueron las cenizas de TBJ.



Figura 5.13. Lapilli acrecional característica del techo de los depósitos de la zona intermedia. Residencial Los Sueños carretera a la Libertad, afloramiento 20.

En las figuras 5.14 y 5.15 se presentan los perfiles estratigráficos de los puntos 2.A y 2.B respectivamente; seleccionados como representativos de la zona intermedia.

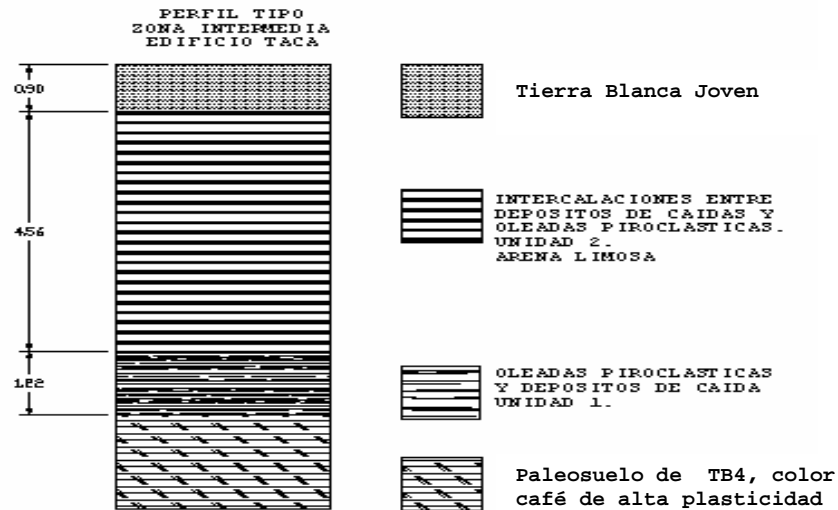


Figura 5.14. Perfil estratigráfico ubicado en el edificio TACA en Santa Elena; afloramiento 3. Muestra las 3 unidades de Plan de la Laguna, con PL subyaciendo a TBJ y sobreyaciendo a TB4 (base de las tobas color café)

Figura 5.15. Perfil estratigráfico ubicado en Lomas de Santa Elena; afloramiento 15.



### 5.3.3 Zona Distal

Este depósito ya no presenta la caída inicial característica de la zona intermedia. En esta zona se pierden las Unidades 1 y 2 y sólo cuenta con la unidad 3 (ver figura 5.16), constituida por lapilli acrecional y oleadas de espesores pequeños. La zona distal está ubicada entre los municipios de nueva San Salvador, La Libertad y Comasagua; La longitud de esta zona es de 7 km y cuenta con una extensión de 52 km<sup>2</sup> por lo que se observa que los depósitos de esta zona cubren la mayor área de toda la erupción, debido a que son depositados en estado húmedo.

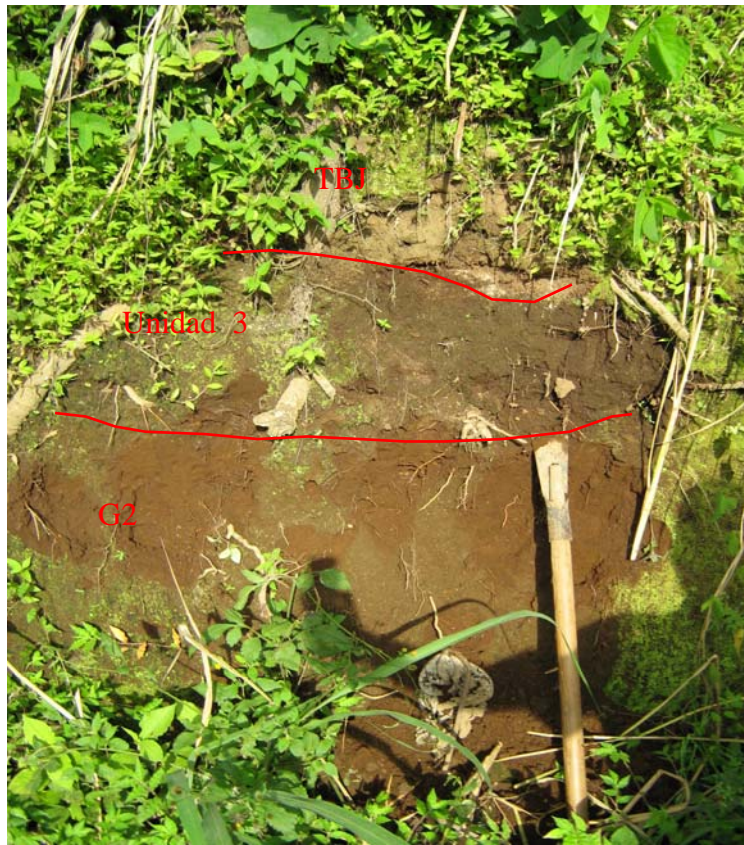


Figura 5.16. Afloramiento característico de la zona distal. Ubicado en carretera a la Libertad, Afloramiento 99.

### Unidad 3

Esta unidad se caracteriza por no presentar depósitos de caída sueltos y esta formada por intercalaciones de oleadas piroclásticas y lapilli acrecional. Presenta espesores de gran tamaño en zonas muy lejanas al cráter (mayores de 5 Km) esta acumulación en zonas más alejadas, obedece al hecho de que se encuentran formados por partículas muy finas, las cuales recorren mayores distancias a través de la columna eruptiva, las cuales se unen por acción del agua, presentando una cementación muy alta. En la zona distal la meteorización se agudiza, afectando en gran manera a la unidad 3, la cual presenta un alto grado de meteorización en el municipio de Nuevo Cuscatlán (ver figura 5.17); lo cual puede deberse a la gran actividad agrícola que se observa en la zona y genera una velocidad de descomposición mucho mayor, en cambio en la carretera a Comasagua se observa que el grado de meteorización es menor.



Figura 5.17. Unidad 3 en zona distal. Se observa la alta meteorización, que se presenta en los depósitos más alejados al cráter, la identificación del depósito en esta zona se hace mas difícil por la meteorización. Afloramiento numero 79



Un perfil característico de la zona distal se presenta en la figura 5.18.

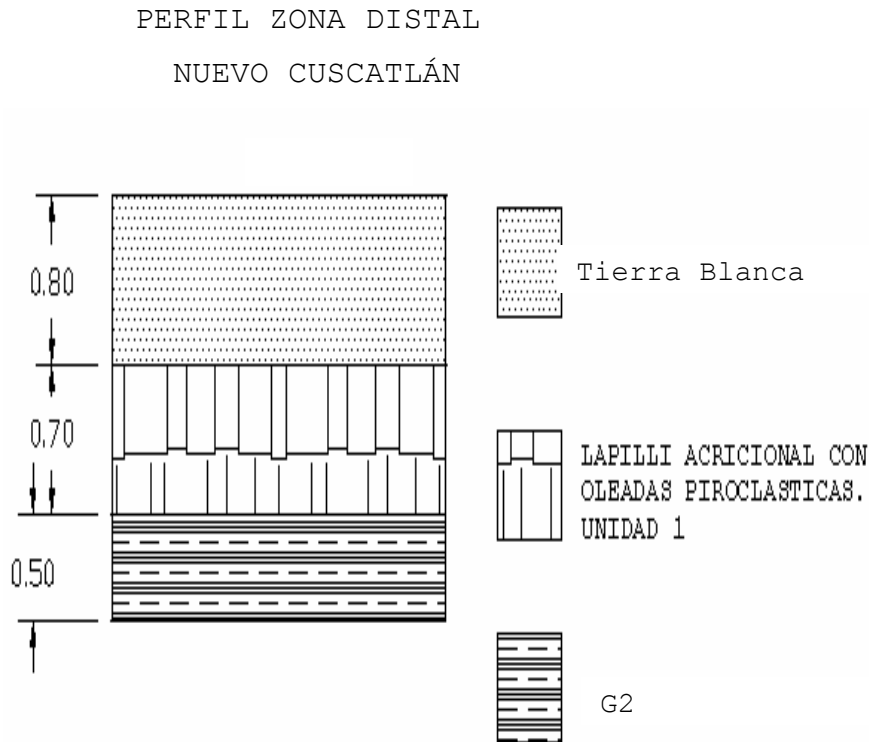


Figura 5.18. Perfil estratigráfico del punto ubicado en la Finca el Carmen, Nuevo Cuscatlán. Punto 83.

#### 5.4 MAPA DE ISOPACAS Y VOLUMEN DE LA ERUPCIÓN.

Como ya se dijo, la medición de afloramientos es de vital importancia, ya que esta permite además de la creación de perfiles estratigráficos y correlaciones; la elaboración de mapas de isopacas, el cual es un recurso gráfico muy útil para representar las variación de espesores que presenta todo el depósito y consiste en un conjunto de líneas que unen puntos de igual espesor.

Dentro de la metodología a seguir se realiza como primer paso la colocación de todos los puntos medidos en campo, en un

mapa a escala adecuada con sus respectivos espesores; se realiza así el trazo del contorno del depósito con puntos que fueron tomados a medida de referencia, donde no se encontró el material de Plan de La Laguna, para así trazar el eje de dispersión con el que cuenta la erupción; que en este caso coincide con la dirección del viento en la época que se llevo a cabo la erupción. Se delimitan las partes altas y bajas en el plano y se van trazando curvas que cuenten con aproximadamente los mismos espesores, esto en cada zona (depresiones o crestas topográficas); tomando en cuenta los espesores de mayor magnitud, ya que este método es utilizado con los máximos espesores de todo el depósito; teniendo en cuenta que si los espesores son pequeños en puntos cercanos a otro de espesor grande, se debe a la erosión mayor en ese lugar.

Del mapa de isopacas puede obtenerse la longitud de todo el depósito, el área de cobertura; esto ultimo siguiendo el procedimiento que se describe a continuación:

Las isopacas fueron trazadas para espesores de 1 metro, los que aumentan de 1 a 1 a medida se acercan del cráter, por lo que como paso inicial se procede al cálculo del área que existe entre las isopacas de un espesor y la que le sigue; este proceso se realiza para todas las áreas que se han dividido del depósito. Luego para cada área calculada, se obtiene un espesor promedio entre las dos isopacas que enmarcan el área. Con estos dos parámetros ya puede obtenerse el volumen para cada espesor.

Es necesario el cálculo de la masa de lava, la cual se obtiene a partir del volumen calculado y de la densidad del

depósito. En el caso del Plan de la Laguna no se tiene un valor de densidad característico, ya que cuenta con 3 zonas de materiales diferentes, además de tener tres unidades que presentan valores de densidad distintos entre sí; por esta razón, para la zona intermedia, se optó por obtener un promedio ponderado con respecto a los porcentajes (de espesor) que cada unidad presentaba en campo, con la densidad de cada una de ellas. En las zonas distal y proximal la ponderación no fue necesaria por que se cuenta con un solo tipo de material (escorias y lapilli acrecional respectivamente). Dichos valores serán utilizados para el cálculo de la masa en cada área, para lo cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Masa} = \rho * V$$

$\rho$ : Densidad de la zona **(Ec 5.1)**

V: Volumen Calculado

Teniendo en cuenta que la masa total del depósito será la suma de las masas individuales. Con esta masa se procede al cálculo del volumen equivalente en roca (Bulk Rock Equivalent Volume, BRE); lo cual se logra dividiendo la masa total obtenida, entre la densidad de la roca que dio origen a la erupción, en este caso se utilizó un valor para andesita de 2350 kg/m [González et. al 2002; p128]; ya que el análisis químico de Sofield (1998) indicó que se trataba de una andesita.

Del mapa de isopacas se obtiene que el área del depósito del Plan de la Laguna es de aproximadamente 74 Km; y su máximo desplazamiento fue de 11 Km, con rumbo de 54° en dirección

sur-oeste y cuenta con un BRE de 0.069 Km<sup>3</sup>. (Véase mapa de isopacas y resultados obtenidos en el anexo C)

### **5.5 CORRELACIONES GEOLOGICAS.**

Como ya se hablo anteriormente es necesario el trabajo de campo, no solo para conocer la naturaleza del deposito, sino también para conocer como este se relaciona con otros estratos de la zona de interés; para lo que se utilizan correlaciones geológicas, que son perfiles que registran la geología que existe a diferentes niveles debajo de la superficie del terreno.

La primera etapa en el dibujo de una sección es obtener el perfil del terreno a lo largo de la línea de acción, delimitándose así cada estrato presente en el suelo; se obtienen al menos dos perfiles para cada correlación, los cuales se unen mediante una línea continua que representa la superficie del terreno; muchas veces es necesario hacer extrapolaciones entre estos puntos, con el fin de acomodar las variaciones locales en la topografía del terreno.

Se realizaron correlaciones entre 8 afloramientos medidos; que fueron los mismos puntos en los que se realizaron los sondeos SPT (Ver mapa de ubicación en anexo B: Mapas)

Se observa que sobre los depósitos de Plan de la Laguna, existe el material de Tierra Blanca Joven; expulsado por la Caldera Ilopango; el cual se encuentra presente en todas las correlaciones. Por otra parte el deposito que se encuentra en contacto con el inicio de Plan de la Laguna, varia según la ubicación; ya que en algunos afloramientos, se observa la presenta del deposito de TB4 y en otros se encuentra escorias

de caída del Boquerón, los cuales fueron tratados en el capítulo 2. Un ejemplo de ello se presenta en la correlación 1 que presenta TB4 como estrato inferior a Plan de la Laguna en el punto de Taca, en cambio en la finca la labranza se encontró una escoria del Boquerón (G2) en contacto con PL; debido a las altas pendientes puede atribuirse su desaparición a la alta erosión que estas generan.

Existen puntos en los cuales no se logro medir el espesor completo, por lo que en los esquemas aparecen cortados.

Las correlaciones son importantes por que dan una idea no solo del depósito en estudio, sino también de la geología de la zona. Véase la figura 5.19 en la que se presenta el mapa de ubicación de las secciones geológicas y las correlaciones en las figuras 5.20, 5.21, 5.22.

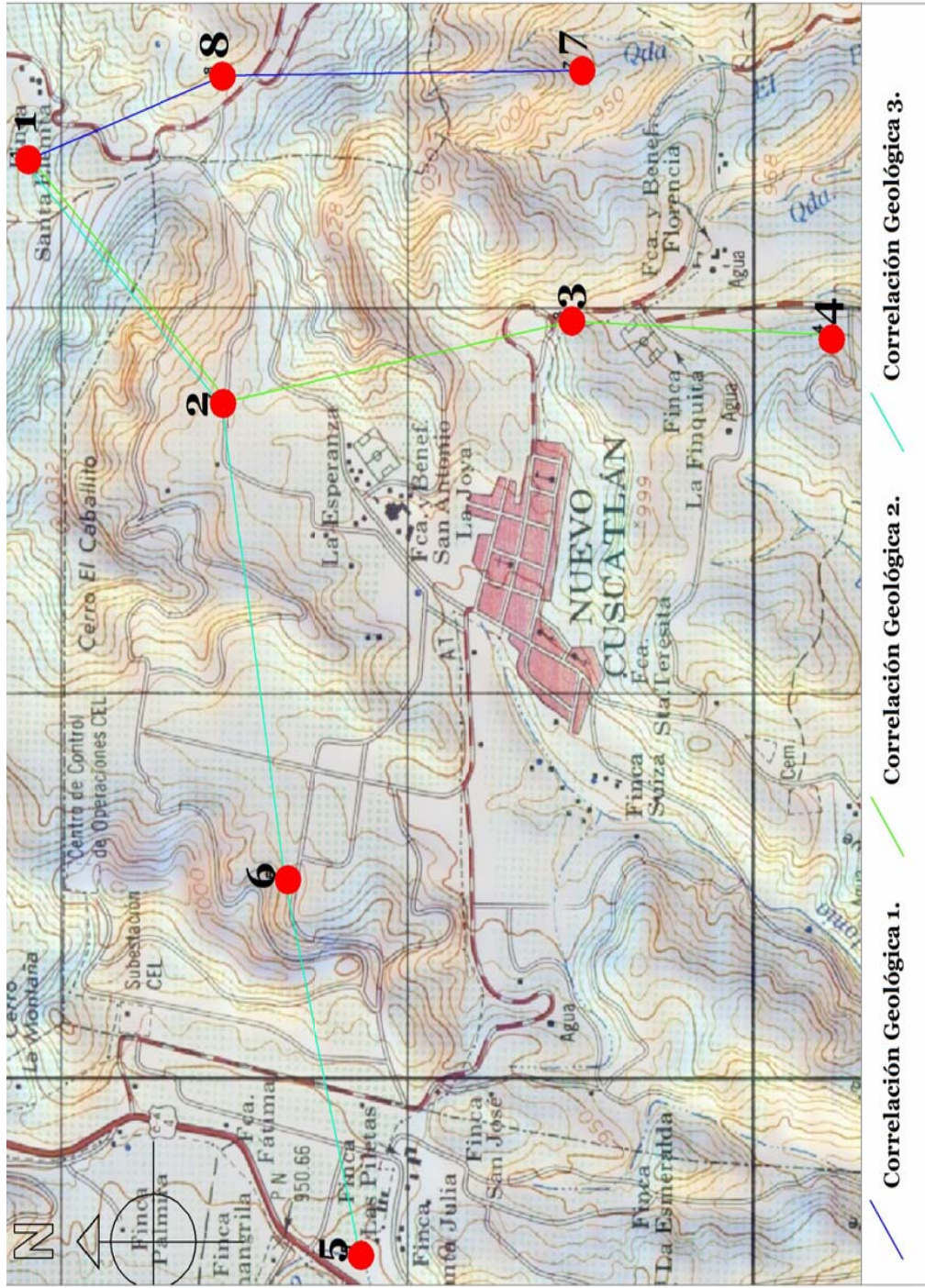


Figura 5.19. Ubicación de secciones geológicas

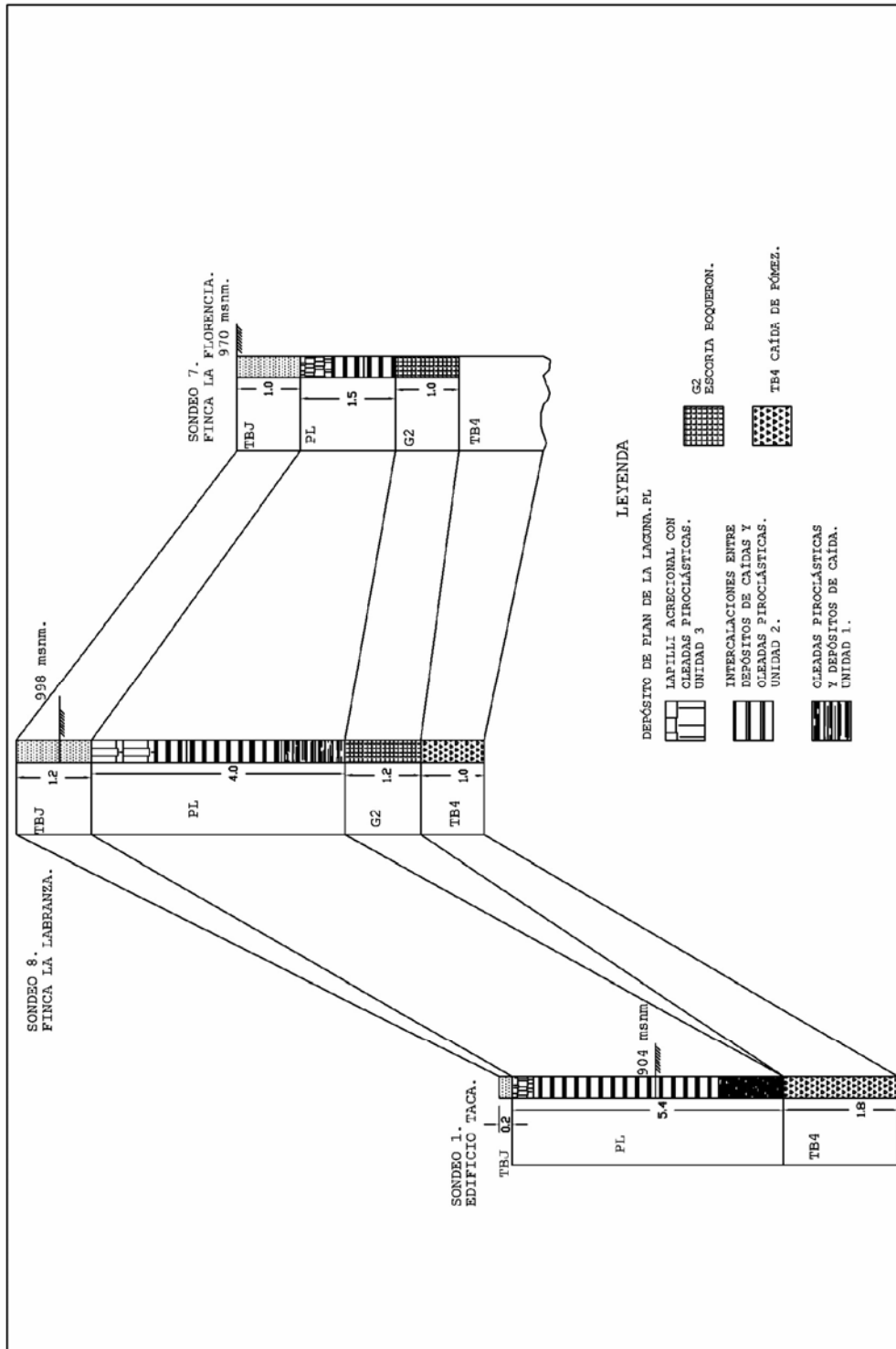


Figura 5.20. Correlación geológica 1

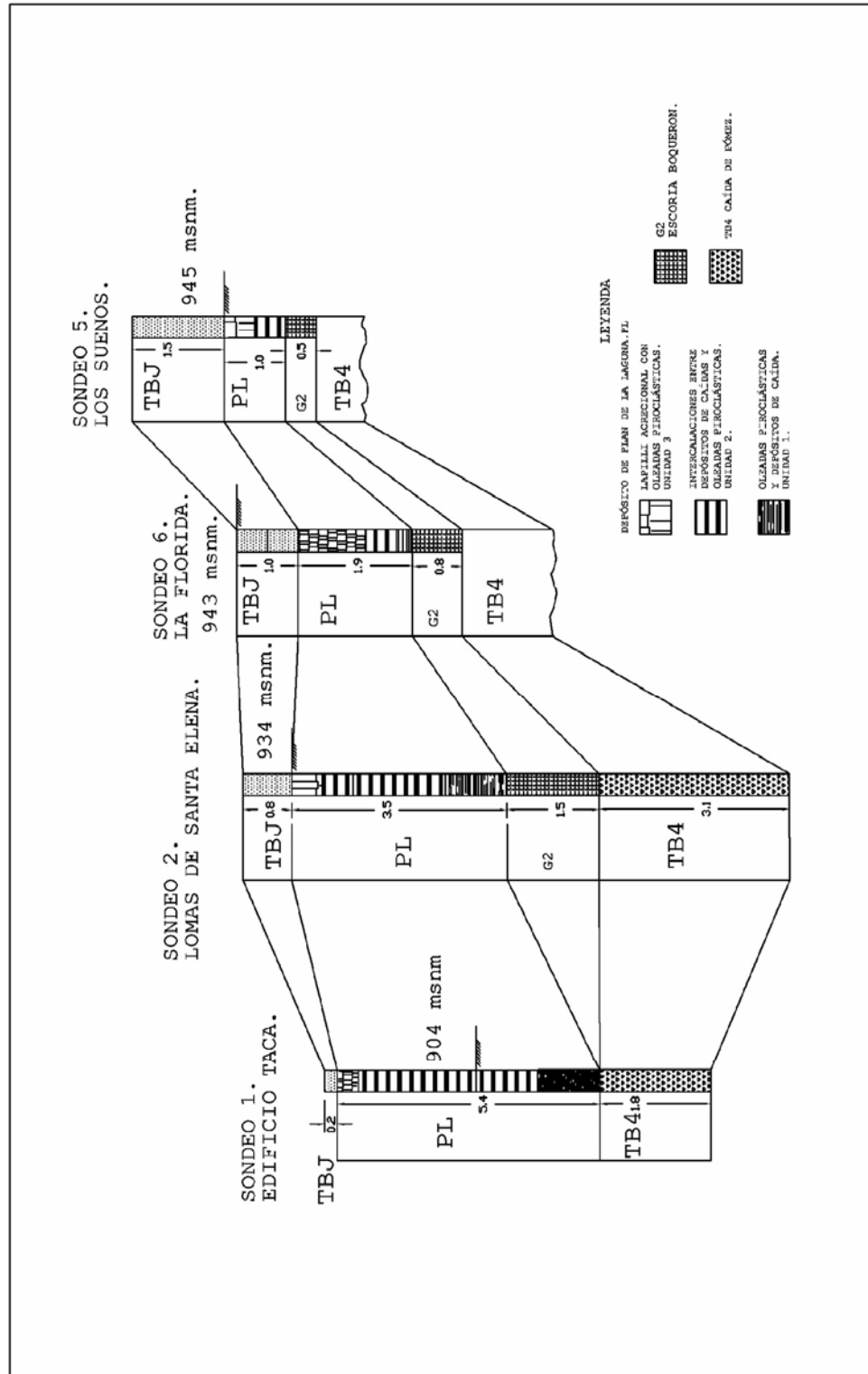


Figura 5.21. Correlación geológica 2



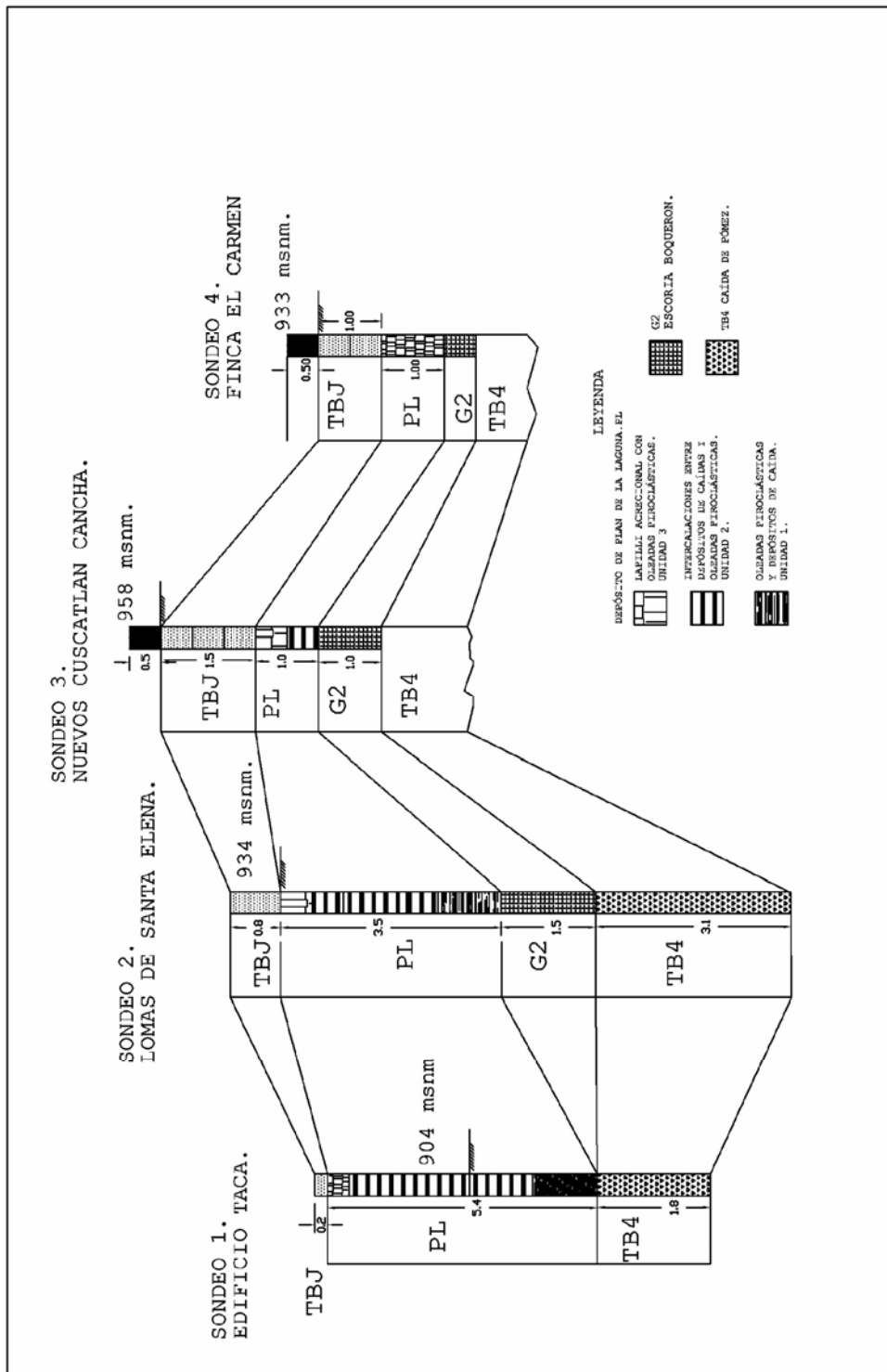


Figura 5.22. Correlación geológica 3

## CAPÍTULO 6

### 6. PRUEBAS GEOTECNICAS

#### 6.1 INTRODUCCIÓN

Una vez delimitada cada unidad de la erupción de Plan de la Laguna, es necesario conocer las propiedades físicas y mecánicas de cada una de ellas, para así poder caracterizarla geomécanicamente.

Las propiedades físicas encontradas son comparadas entre unidades iguales para poder conocer cuales de ellas cambian o mantienen de un punto a otro a medida se alejan del cráter. Mientras que las propiedades mecánicas son mostradas en conjunto para cada unidad, para así saber cuales de los resultados son confiables o cuales son aparentes por diferentes factores, ya sea a la hora del ensayo o condiciones características de las propias unidades que hacen que los valores obtenidos se alejen de la realidad.

#### 6.2 PROGRAMAS DE ENSAYOS

En la tabla 6.1 se muestran los diferentes ensayos realizados para poder determinar las propiedades tanto físicas como mecánicas de los depósitos de Plan de la Laguna, mostrando su norma y el objetivo para cual se utilizo dentro de este trabajo de investigación.

Tabla 6.1 Ensayos realizados a las diferentes unidades de Plan de la Laguna.

Ensayo	Norma	Objetivo de realizar el ensayo dentro de la investigación.
Análisis granulométrico (Método mecánico)	ASTM D-422 98	Conocer la distribución granulométrica para cada unidad
Determinación del contenido de humedad	ASTM D-2216 98	Determinar el contenido de humedad de los estratos de PL
Límite líquido y plástico de los suelos	ASTM D-4318 00	Determinar los límites atterberg a las unidades que tienen porcentaje de fino
Gravedad específica	ASTM D-854 02	Determinar la densidad de los sólidos de los sólidos de los estratos de PL. Calcular la relación de vacíos y porosidad
Ensayo de corte directo	ASTM D-3080 98	Determinar el ángulo de fricción y la cohesión de las unidades
Ensayo de prueba triaxial no consolidada no drenada	ASTM D-2850	Determinar el ángulo de fricción y la cohesión de las unidades
Prueba de penetración estándar	ASTM D-1586 99	Determinación de parámetros mecánicos mediante correlaciones
Densidad in-situ	ASTM D-1556 00	Determinar el peso volumétrico de las unidades que presentan consistencia suelta
Pesos volumétricos secos máximos y mínimos	ASTM C-29	Determinar pesos volumétricos secos máximos y mínimos para gravas y arenas. Calcular la relación de vacíos y porosidad
Densidad in-situ aproximado	No normado	Determinar el peso volumétrico húmedo y seco de las unidades que no se lograron de una manera normada

De los ensayos mostrados en la tabla 6.1, el procedimiento realizado para cada prueba puede ser leído en la respectiva norma. El método aproximado y su aplicación se describen a continuación:

El depósito de caída de la unidad 1 que tiene un espesor pequeño, no se encuentra en la superficie del terreno; por lo que para conocer su densidad in situ fue necesario realizar un proceso aproximado que consiste en lo siguiente: con una charola de aluminio con altura de 3.8cm y diámetro de 6.0cm se extrajo una cantidad de material, introduciendo esta

perpendicular al corte donde se encontró el depósito. Así, se obtiene el volumen del hueco que es aproximadamente el volumen interno de la charola, y la masa que es el material sustraído de la unidad; conociendo así la densidad in situ. El valor presentado con este método es el promedio de 5 valores calculados.



Figura 6.1. Extracción de muestra.

### **6.3 PROCESO DE EXTRACCIÓN DE MUESTRAS**

Una vez delimitada la zona proximal, la zona intermedia y la zona distal, se procedió a escoger los puntos de los cuales serían extraídas las muestras alteradas e inalteradas según el tipo de prueba a realizar. En cada punto tuvo que encontrarse la estratigrafía completa de la zona a la que pertenecían. Los puntos seleccionados se muestran en la figura 6.2 y se enumeran a continuación:

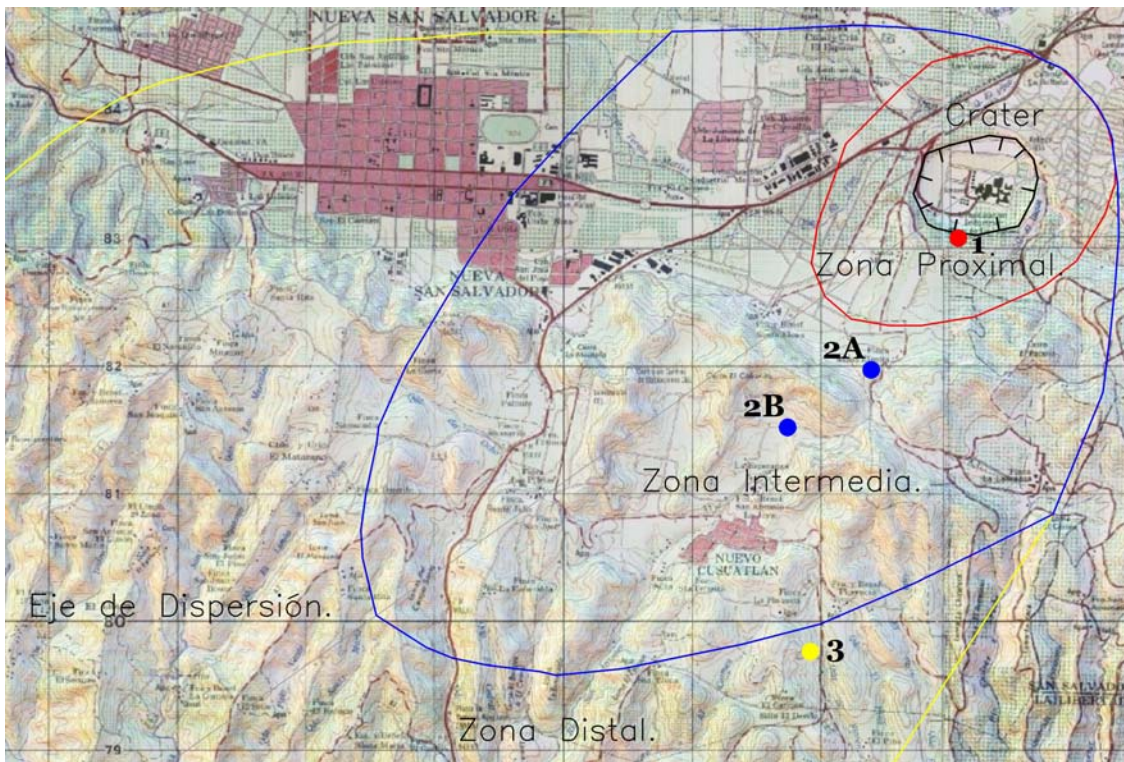


Figura 6.2. Mapa de ubicación de puntos de extracción de muestras.

Debido al tipo de suelo que presenta el depósito de Plan de La Laguna, se extrajeron muestras alteradas, en los materiales que presentaban un estado suelto. El procedimiento de extracción de las muestras alteradas fue el siguiente:

- Se trazó un cuadrado en el talud de extracción del material, con dimensiones aproximadas de 1m x 1m.
- Luego a este se le trazaron unos segmentos entre las mitades de sus lados; dividiendo el cuadrado en cuatro partes.
- De las cuatro partes se extrajo una cierta cantidad de muestra (fina y gruesa), hasta obtener la cantidad necesaria para la realización de las pruebas. Véase la figura 6.3, la cual ilustra el procedimiento.



Figura 6.3. Proceso de extracción de muestra alterada por cuarteo; en zona proximal.

## 6.4 RESULTADOS

### 6.4.1 Por zonas

#### a) Zona proximal

La zona proximal observada con los afloramientos esta compuesta de escorias que se han subdividido en porción superior y porción inferior, además se observa un estrato que contiene abundantes líticos de diversos tamaños y debido al alto porcentaje de material no juvenil del que esta compuesto, las propiedades no serían valores representativos de la erupción. El depósito completo no se ha observado, solamente los primeros 6m desde la parte superior. En esta zona solo se realizo granulometría, gravedad específica, pesos volumétricos máximos y mínimos. Las muestras para esta

zona se tomaron alteradas debido a que presentan un estado suelto. No se realizaron límites de consistencia, por tratarse de escorias del tamaño de grava, en ellas no aplica la prueba. En la tabla 6.2 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 6.2. Resumen de los valores obtenidos en la zona proximal.

Pto No.	Distancia al Cráter m.	Descripción	Profundidad de Extracción. m.	Clasificación del Suelo SUCS	Granulometría.			W %	Gs g/cm3	PVSmáx g/cm3	PVSmín g/cm3	Relación de Vacíos		Porosidad n máx. n mín.	
					Porcentajes	Cc	Cu					Emáx.	Emin.		
1	580	Escoria Estratificada Porción Inferior.	5.00	<b>GW</b> Grava bien graduada con arena.	Grava : 54.12 % Arena : 43.76 % Fino : 1.92 %	1.3	5.6	21.86	1.78	0.83	0.73	1.14	1.44	0.53	0.59
		Escoria No Estratificada Porción Superior	2.00	<b>GW</b> Grava bien graduada con arena.	Grava : 55.21 % Arena : 44.04 % Fino : 0.48 %	1.2	6.2	26.12	1.66	0.79	0.69	1.10	1.41	0.52	0.58

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

Cc: Coeficiente de curvatura.

Gs: Gravedad Especifica

W: Contenido de Humedad.

Cu: Coeficiente de uniformidad.

PVSmáx: Peso Volumétrico Máximo

PVSmín: Peso Volumétrico Mínimo.



## b) Zona intermedia

La zona intermedia se caracteriza por tener tres unidades que son: una caída inicial; seguida de una oleada piroclástica; una caída intermedia que desaparece rápidamente a medida que se aleja del cráter y arriba de esta una oleada piroclástica (todas pertenecientes a la Unidad 1), arriba de la unidad 1 se encuentra un estrato de oleadas piroclásticas y depósitos de caída escoriácea intercalados, los cuales presentan un aspecto laminar (Unidad 2) y la unidad 3 que se encuentra en el techo del depósito, es una intercalación entre oleadas piroclásticas y lapilli acrecional.

Para la unidad 1 se realizaron pruebas a la unidad 1A (caída inicial) y a la unidad 1B (oleada), tomando para la primera una muestra alterada y para la segunda una inalterada. Para la unidad 2 se extrajeron muestras inalteradas por el estado suelto que presenta. Para la unidad 3 se extrajeron muestras inalteradas, debido a que la cementación que presenta la unidad lo hace posible. En la zona intermedia se seleccionaron 2 puntos, para analizar si hay variaciones entre sus propiedades a medida la distancia al cráter se aumenta. Los resultados obtenidos para cada una de las unidades en los dos puntos se presentan a en la tabla 6.3.

Tabla 6.3. Resumen de valores obtenidos en Zona Intermedia.

Pto	Distancia al Cráter m.	Descripción	Profundidad m.	Clasificación de Suelo SUCS	Granulometría.			W %	Límites Atterberg		Gs	PVH g/cm3	PVS g/cm3	Relación de Vacíos e.	Porosidad n.
					Porcentajes	Cc	Cu		LL	PL					
2A	1550	Deposito de Caída Inicial Unidad 1A	6.60	SW Arena bien graduada.	Grava : 9.99 %	1.5	6.2	8.65	NA	NA	2.61	1.44	1.32	0.98	0.49
					Arena : 84.95 %										
					Fino : 4.82 %										
2A	1550	Oleada Piroclastica Unidad 1B	6.10	SM Arena limosa.	Grava : 0.00 %	0.4	6.9	12.34	NP	NP	2.72	1.70	1.47	0.85	0.46
					Arena : 83.04 %										
					Fino : 16.85 %										
2A	1550	Intercalación de Oleadas y Depósitos Unidad 2	3.40	SW Arena bien graduada.	Grava : 11.22 %	1.9	7.7	9.94	NP	NP	2.71	1.61	1.40	0.94	0.48
					Arena : 84.77 %										
					Fino : 3.78 %										
2B	2380	Deposito de Caída Inicial Unidad 1A	4.15	SP Arena mal graduada.	Grava : 1.04 %	1.1	3.1	6.11	NA	NA	1.78	-	máx. 1.38 mín. 1.23	0.29 0.45	0.22 0.31
					Arena : 95.45 %										
					Fino : 3.33 %										
2B	2380	Oleada Piroclastica Unidad 1B	4.10	SM Arena limosa.	Grava : 0.00 %	0.3	6.4	17.64	NP	NP	2.55	1.40	1.20	1.13	0.53
					Arena : 80.71 %										
					Fino : 19.00 %										
2B	2380	Intercalación de Oleadas y Depósitos Unidad 2	2.85	SP Arena mal graduada.	Grava : 3.89 %	0.6	5.1	8.74	NP	NP	2.63	1.46	1.32	0.99	0.50
					Arena : 91.29 %										
					Fino : 4.68 %										
2B	2380	Lapilli Acrecional y Oleadas. Unidad 3	1.30	SM Arena limosa.	Grava : 0.00 %	0.8	14.3	10.02	NP	NP	2.71	1.59	1.35	1.01	0.50
					Arena : 85.47 %										
					Fino : 14.34 %										

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

W: Contenido de Humedad.

φ: Angulo de fricción interna.

C: Cohesión aparente.

LL: Límite Líquido

LP: Límite Plástico

NP: No Plástico.

NA: No aplica.

Gs: Gravedad Especifica

PVS: Peso Volumétrico Seco.

PVH: Peso Volumétrico Húmedo.

c) Zona distal

En la zona distal solo se encuentra lapilli acrecional con oleadas piroclásticas, la cual se define como unidad 3 de Plan de la Laguna.

A esta se le extrajo una muestra inalterada debido a que presenta una cohesión aparente. Se le realizaron pruebas de granulometría, contenido de humedad, gravedad específica, corte directo y límites de consistencia. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 6.4.

Tabla 6.4. Resumen de valores obtenidos en Zona Distal.

Pto	Distancia al cráter m.	Descripción	Profundidad m.	Clasificación de Suelo SUCS	Granulometría.			W %	Límites Atterberg		$\phi$ (grados)	C kPa	PVH g/cm <sup>3</sup>	PVS g/cm <sup>3</sup>	Relación de Vacíos e.	Porosidad n.
					Porcentajes	Cc	Cu		LL	PL						
3	3840	Lapilli Acrecional y oleada piroclástica. Unidad 3	1.40	SM Arena Limosa	Grava : 7.41 % Arena : 73.75 % Fino : 18.60 %	0.4	42	27.5	N.P.	N.P.	26.56	100.0	1.37	1.03	1.60	0.62

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

Cc: Coeficiente de curvatura.

LL: Límite Líquido

Gs: Gravedad Específica

W: Contenido de Humedad.

Cu: Coeficiente de uniformidad.

LP: Límite Plástico

PVS: Peso Volumétrico Seco.

$\phi$ : Ángulo de fricción interna.

NP: No Plástico.

PVH: Peso Volumétrico Húmedo.

C: Cohesión aparente.

MA: No aplica.

### 6.4.2 Pruebas de penetración estándar

En la tabla 6.5 y la figura 6.4 se presentan la ubicación de los sondeos realizados.

Tabla 6.5. Tabla de lugar donde se realizaron los SPT.

SONDEOS	LUGAR	Profundidad Perforación.
1	Edificio Taca	4.00 m
2	Lomas Sta Elena.	3.50 m
3	Nuevo Cuscatlan.	3.00 m
4	Finca El Carmen	2.50 m
5	Los sueños	1.50 m
6	Florida	2.00 m
7	Finca la Florencia	3.00 m
8	Labranza	4.50 m

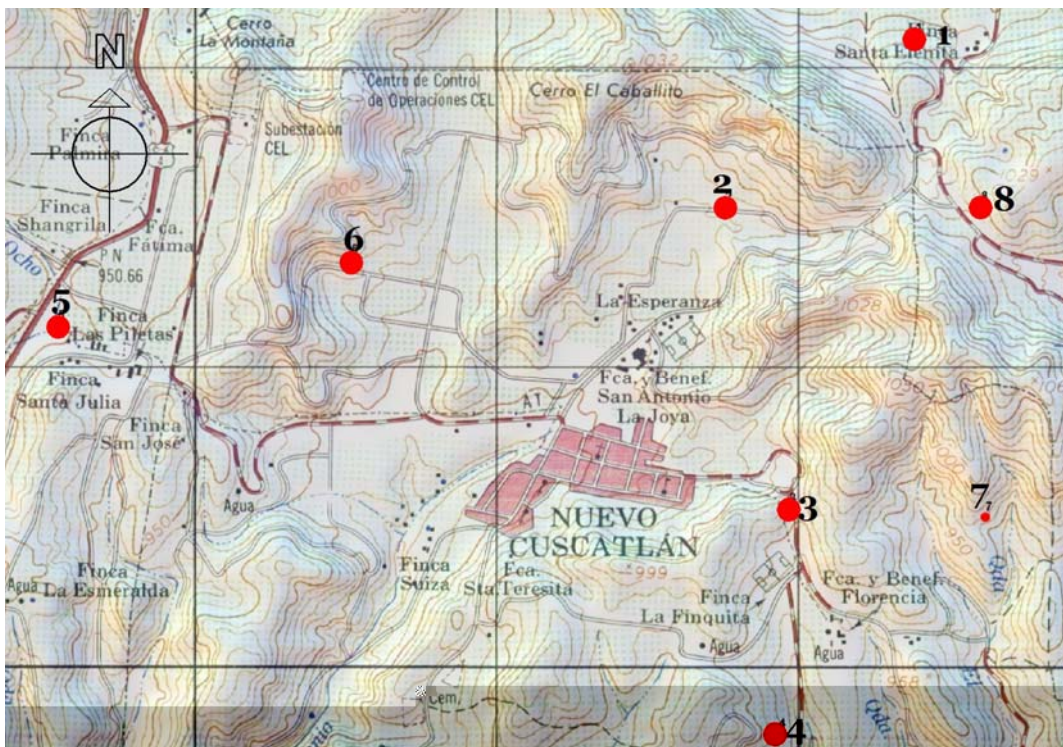


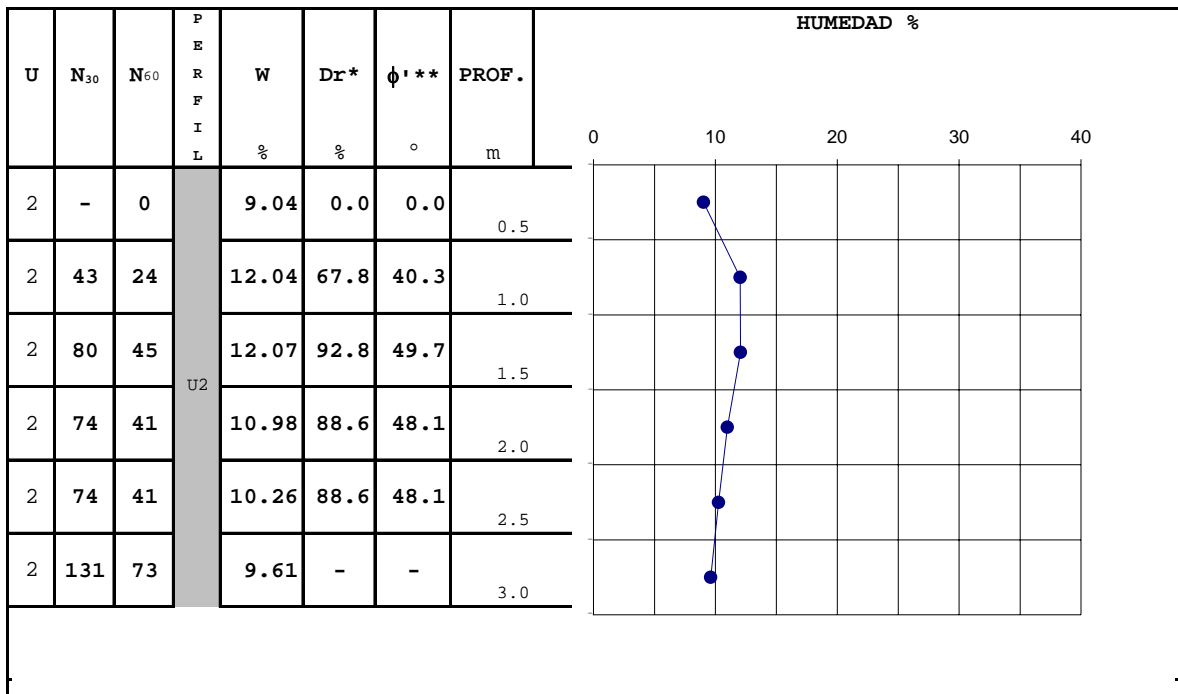
Figura. 6.4. Mapa de ubicación de puntos de sondeos.

A continuación se presentan los perfiles de los sondeos realizados con sus respectivos valores de N medidos en la prueba de penetración estándar.

NUMERO DE SONDEO 1

FECHA: 25 Mayo 2007.

PUNTO : A



Simbología.

\* Densidad relativa obtenido con correlación.

\*\* Angulo de fricción obtenido con correlación.

TBJ Tierra Blanca.

U1 Depósitos de caída y oleadas piroclásticas.

U3 Lapilli acrecional.

U2 Intercalaciones de oleadas y caídas.

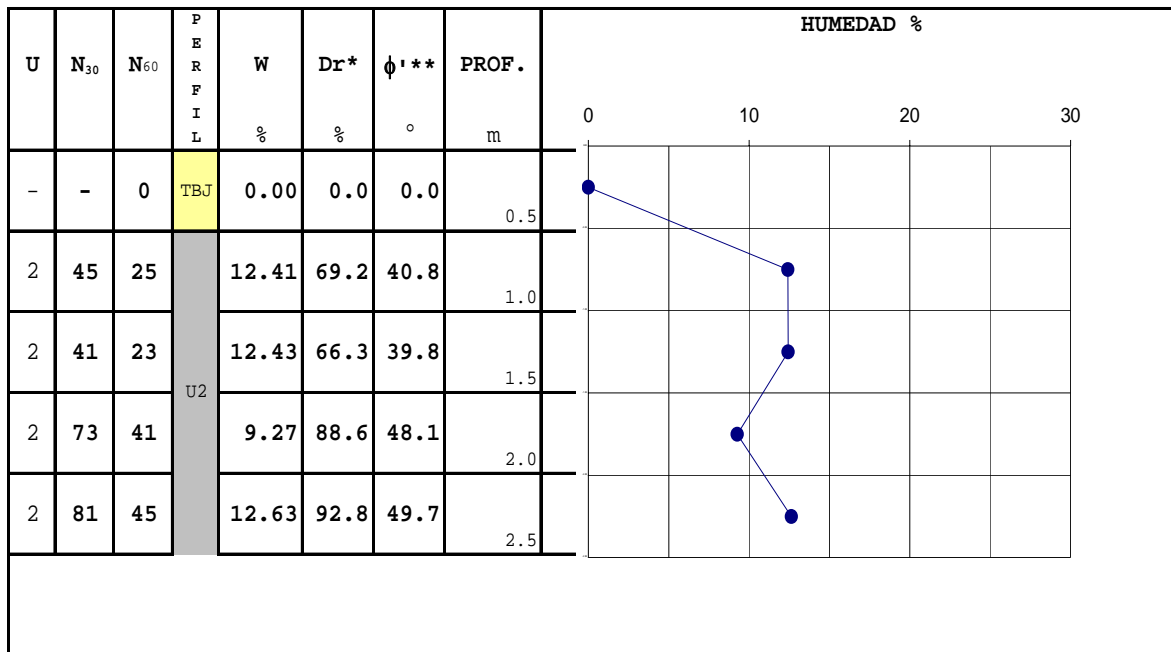
G2 G2 Escorias del boquerón.

Figura 6.5. Perfil de resultados de sondeo 1A.

NUMERO DE SONDEO: 1

FECHA: 25 Mayo 2007.

PUNTO: B



Simbología.

\* Densidad relativa obtenido con correlación.

\*\* Angulo de fricción obtenido con correlación.

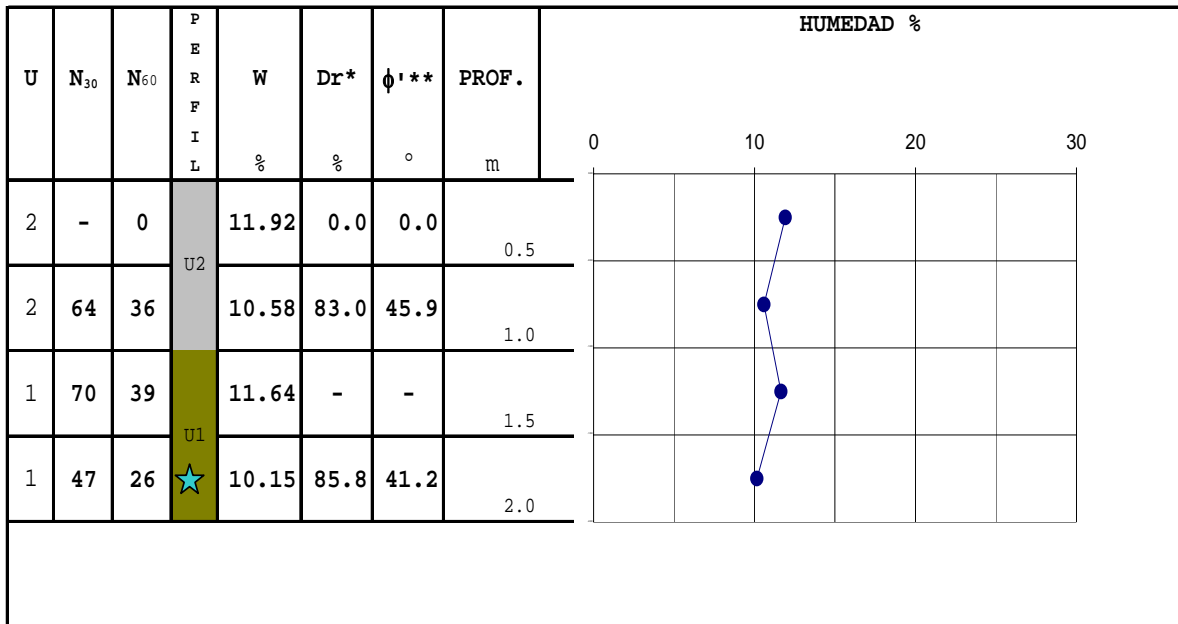
TBJ	Tierra Blanca.	U1	Depósitos de caída y oleadas piroclásticas.
U3	Lapilli acrecional.		
U2	Intercalaciones de oleadas y caídas.	G2	G2 Escorias del boquerón.

Figura 6.6. Perfil de resultados de sondeo 1B.

NUMERO DE SONDEO: 1

FECHA: 16 Junio 2007.

PUNTO: C



Simbología.

\* Densidad relativa obtenido con correlación.

★ Extracción de muestra inalterada

\*\* Angulo de fricción obtenido con correlación.

TBJ Tierra Blanca.

U1 Depósitos de caída y oleadas piroclásticas.

U3 Lapilli acrecional.

U2 Intercalaciones de oleadas y caídas.

G2 G2 Escorias del boquerón.

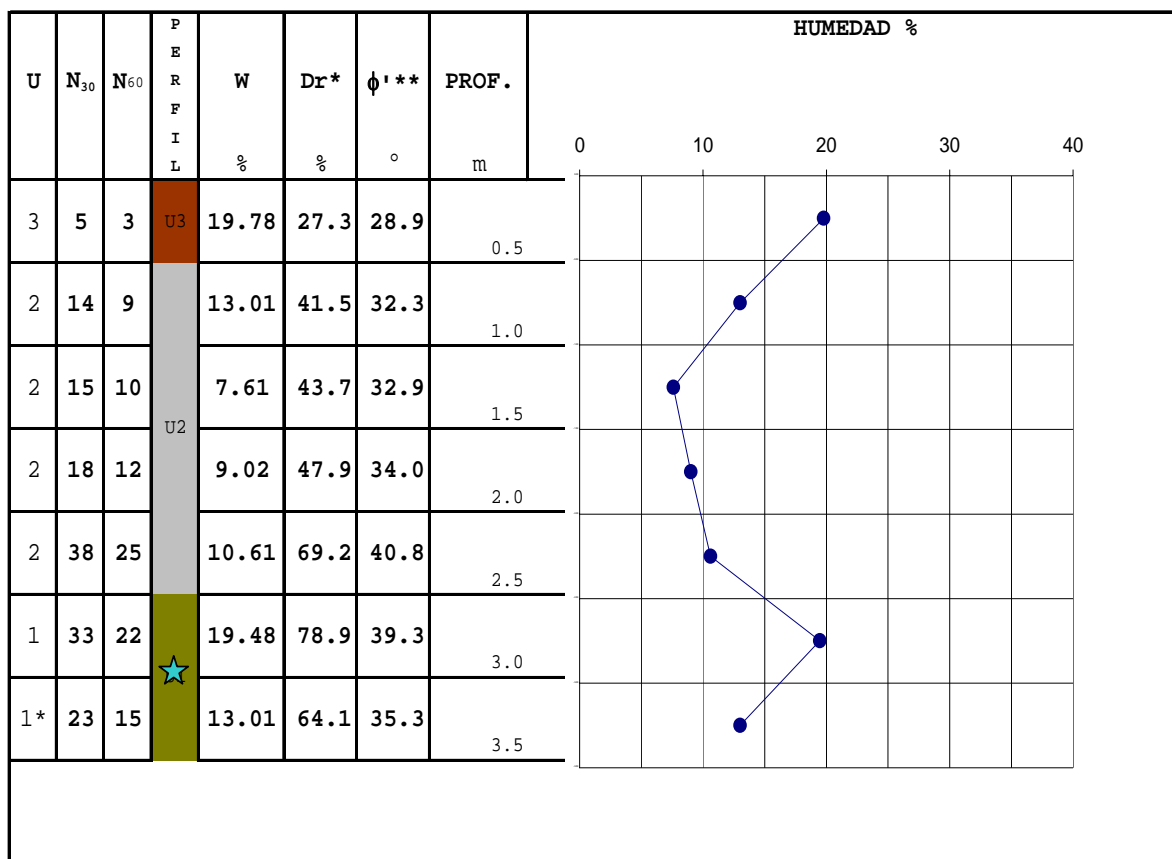
Figura 6.7. Perfil de resultados de sondeo 1C.



LOCALIZACIÓN: Lomas de Sta Elena.

NUMERO DE SONDEO: 2

FECHA: 19 Junio 2007.



Simbología.

\* Densidad relativa obtenido con correlación.

★ Extracción de muestra inalterada

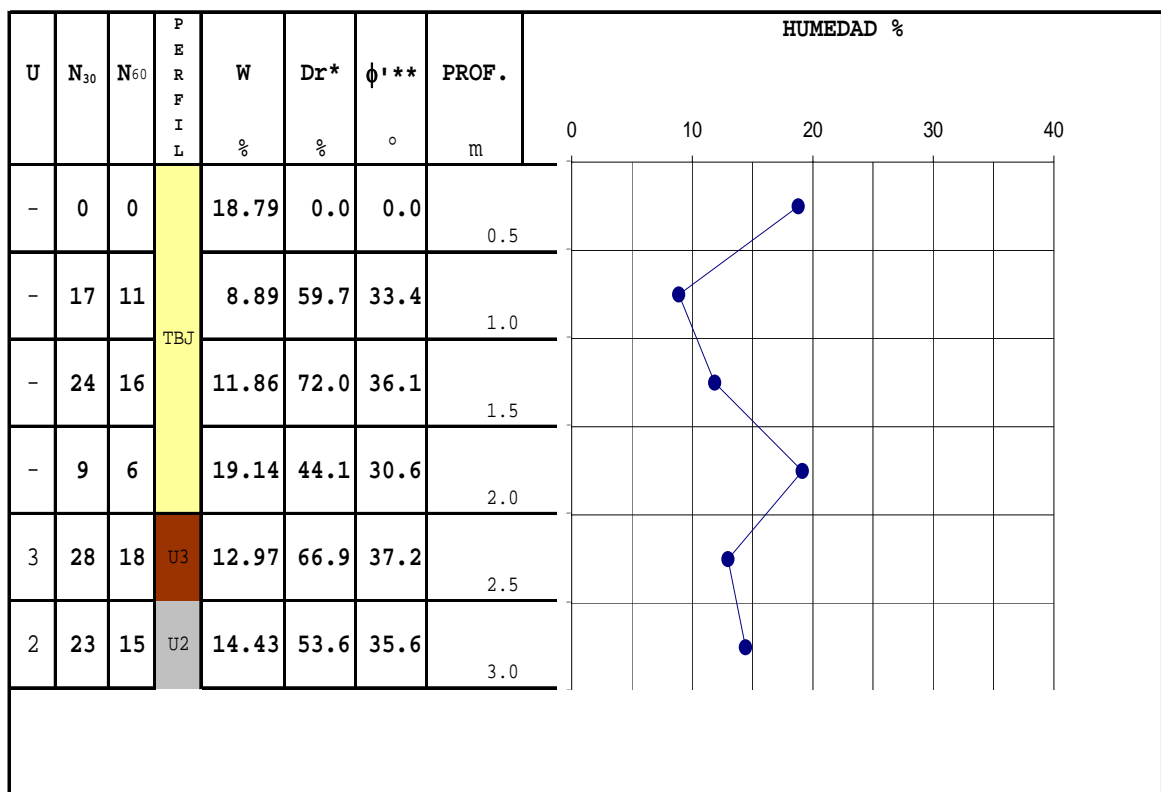
\*\* Angulo de fricción obtenido con correlación.

TBJ	Tierra Blanca.	U1	Depósitos de caída y oleadas piroclásticas.
U3	Lapilli acrecional.	G2	G2 Escorias del boquerón.
U2	Intercalaciones de oleadas y caídas.		

Figura 6.8. Perfil de resultados de sondeo 2.

NUMERO DE SONDEO: 3

FECHA: 26 Junio 2007.



Simbología.

\* Densidad relativa obtenido con correlación.

\*\* Angulo de fricción obtenido con correlación.

TBJ

Tierra Blanca.

U1

Depósitos de caída y oleadas piroclásticas.

U3

Lapilli acrecional.

U2

Intercalaciones de oleadas y caídas.

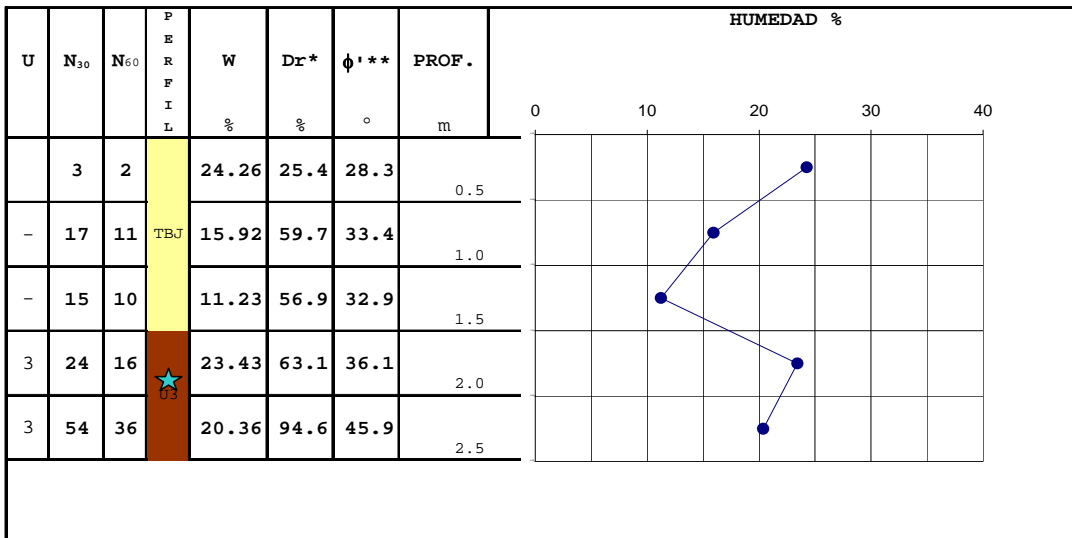
G2

G2 Escorias del boquerón.

Figura 6.9. Perfil de resultados de sondeo 3.

NUMERO DE SONDEO: 4

FECHA: 26 Junio 2007.



Simbología.

\* Densidad relativa obtenido con correlación.

★ Extracción de muestra inalterada

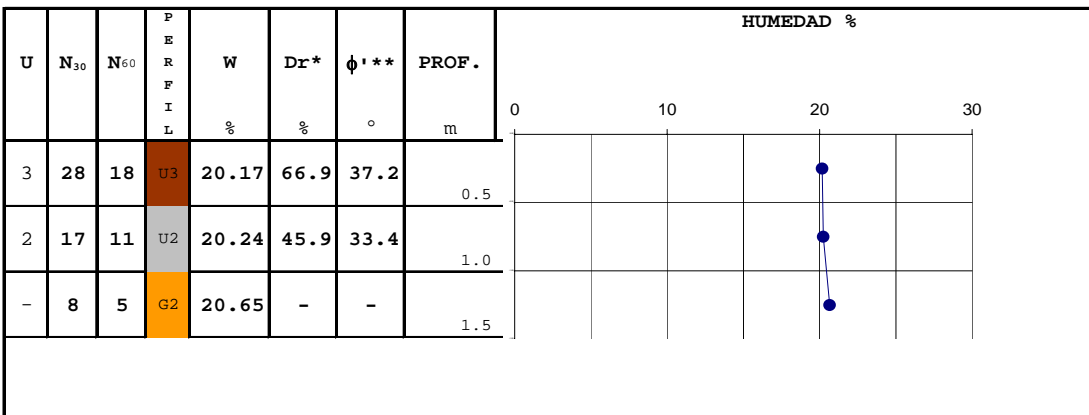
\*\* Angulo de fricción obtenido con correlación.

TBJ	Tierra Blanca.	U1	Depósitos de caída y oleadas piroclásticas.
U3	Lapilli acrecional.	G2	G2 Escorias del boquerón.
U2	Intercalaciones de oleadas y caídas.		

Figura 6.10. Perfil de resultados de sondeo 4.

NUMERO DE SONDEO: 5

FECHA: 30 Junio 2007.



Simbología.

\* Densidad relativa obtenido con correlación.

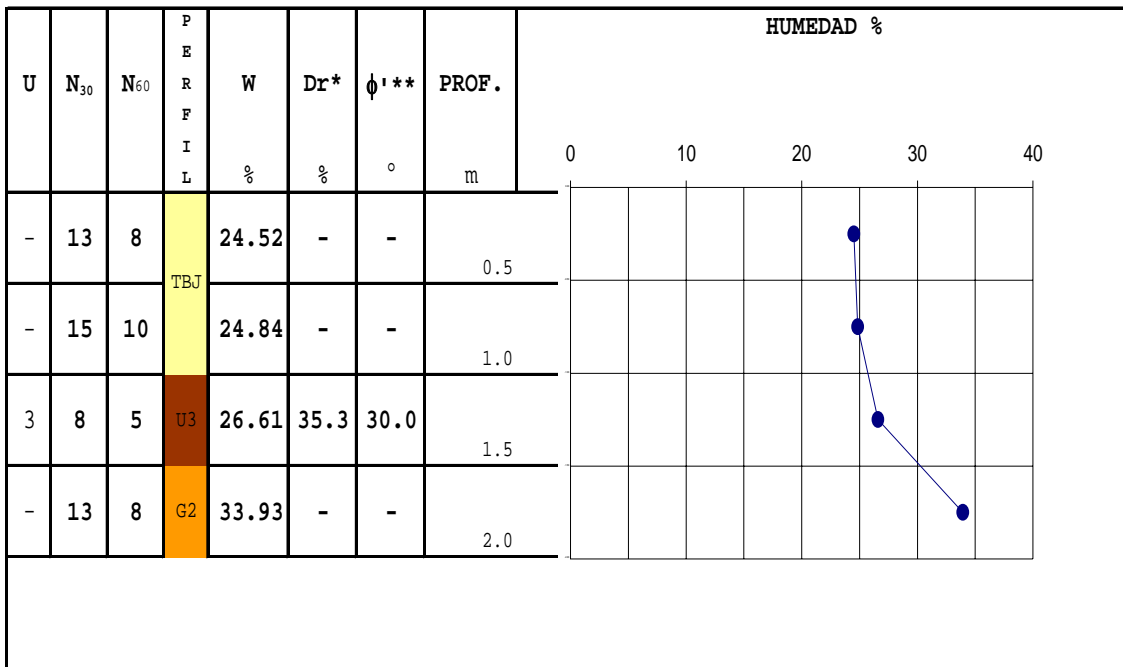
\*\* Angulo de fricción obtenido con correlación.

TBJ	Tierra Blanca.	U1	Depósitos de caída y oleadas piroclásticas.
U3	Lapilli acrecional.	G2	G2 Escorias del boquerón.
U2	Intercalaciones de oleadas y caídas.		

Figura 6.11. Perfil de resultados de sondeo 5.

NUMERO DE SONDEO: 6

FECHA: 11 Julio 2007.



Simbología.

\* Densidad relativa obtenido con correlación.

\*\* Angulo de fricción obtenido con correlación.

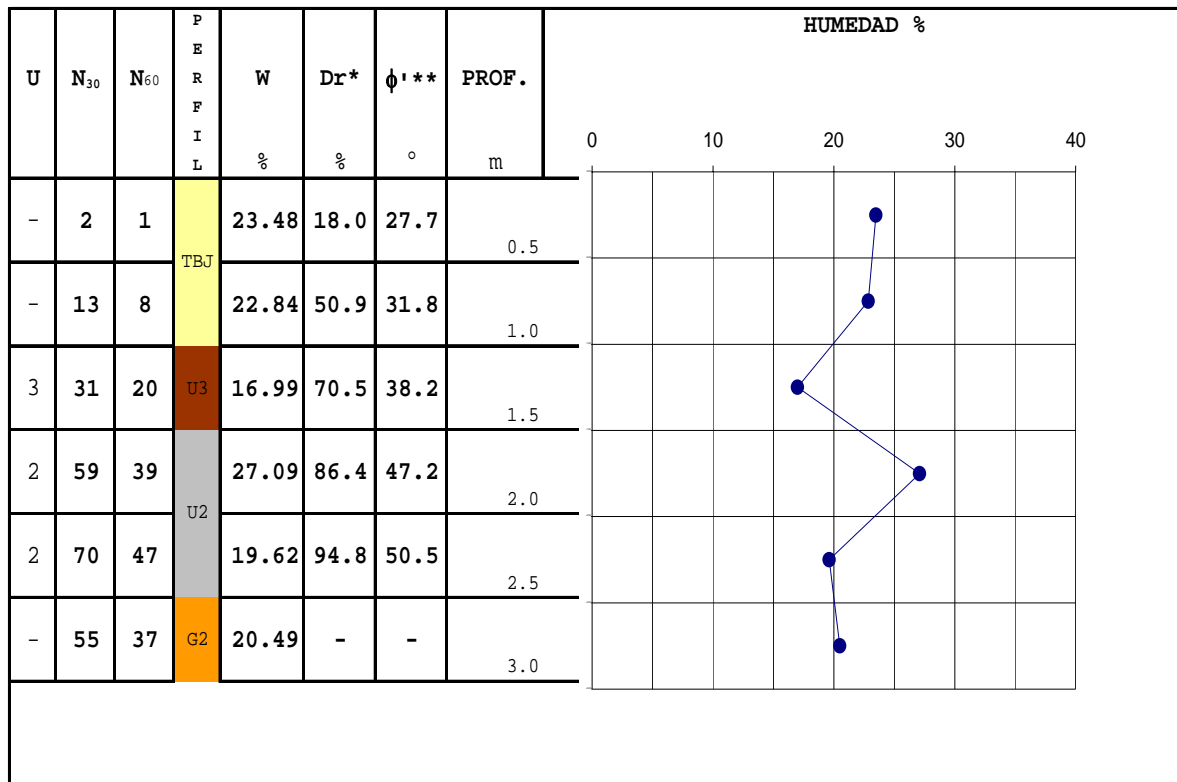
TBJ	Tierra Blanca.	U1	Depósitos de caída y oleadas piroclásticas.
U3	Lapilli acrecional.		
U2	Intercalaciones de oleadas y caídas.	G2	G2 Escorias del boquerón.

Figura 6.12. Perfil de resultados de sondeo 6.

NUMERO DE SONDEO:

7

FECHA: 11 Julio 2007.



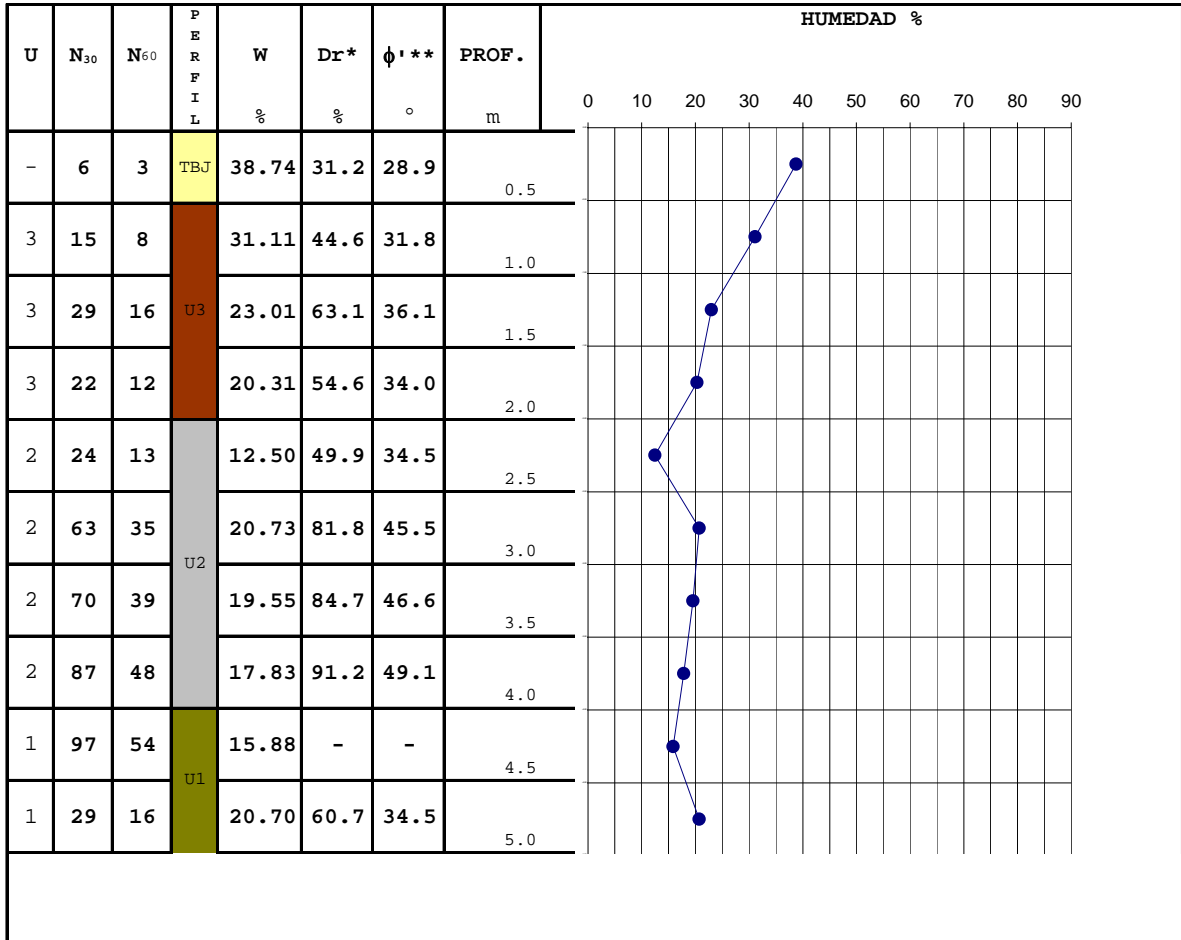
Simbología.

\* Densidad relativa obtenido con correlación.

\*\* Angulo de fricción obtenido con correlación.

TBJ	Tierra Blanca.	U1	Depósitos de caída y oleadas piroclásticas.
U3	Lapilli acrecional.		
U2	Intercalaciones de oleadas y caídas.	G2	G2 Escorias del boquerón.

Figura 6.13. Perfil de resultados de sondeo 7.



Simbología.

\* Densidad relativa obtenido con correlación.

\*\* Angulo de fricción obtenido con correlación.

TBJ	Tierra Blanca.	U1	Depósitos de caída y oleadas piroclásticas.
U3	Lapilli acrecional.		
U2	Intercalaciones de oleadas y caídas.	G2	G2 Escorias del boquerón.

Figura 6.14. Perfil de resultados de sondeo 8

## **6.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Para los resultados obtenidos de las distintas unidades del depósito, es necesaria la interpretación y análisis de los datos y ver si estos son coherentes con los esperados para cada tipo de suelo; además se realiza una comparación de las propiedades de cada unidad a medida aumenta la distancia con respecto al cráter. El análisis de resultados se hace para los parámetros físicos, mecánicos y para la capacidad de carga y son los que se presentan en este apartado.

### **6.5.1 Parámetros físicos**

#### a) Zona Proximal

En esta zona se encontraron 2 porciones, la superior y la inferior; se decidió tomarlas por separado debido a que la inferior presentaba estratificación y la superior un aspecto masivo. Las dos porciones se clasifican como una grava bien graduada con arena, ya que sus tamaños, como puede apreciarse en la figura 6.15, no presentan ninguna variación y los porcentajes tanto de grava, arena y finos son bastante cercanos entre las dos porciones; los coeficientes de uniformidad y curvatura tampoco presentan una variación considerable.

Cabe recalcar que la clasificación del suelo de la zona se realiza en términos ingenieriles y que desde el punto de vista vulcanológico un material bien graduado representa un material mal seleccionado de acuerdo al trabajo del viento.

Se debe tener en cuenta para las unidades posteriores, que su clasificación se realiza desde una perspectiva ingenieril.

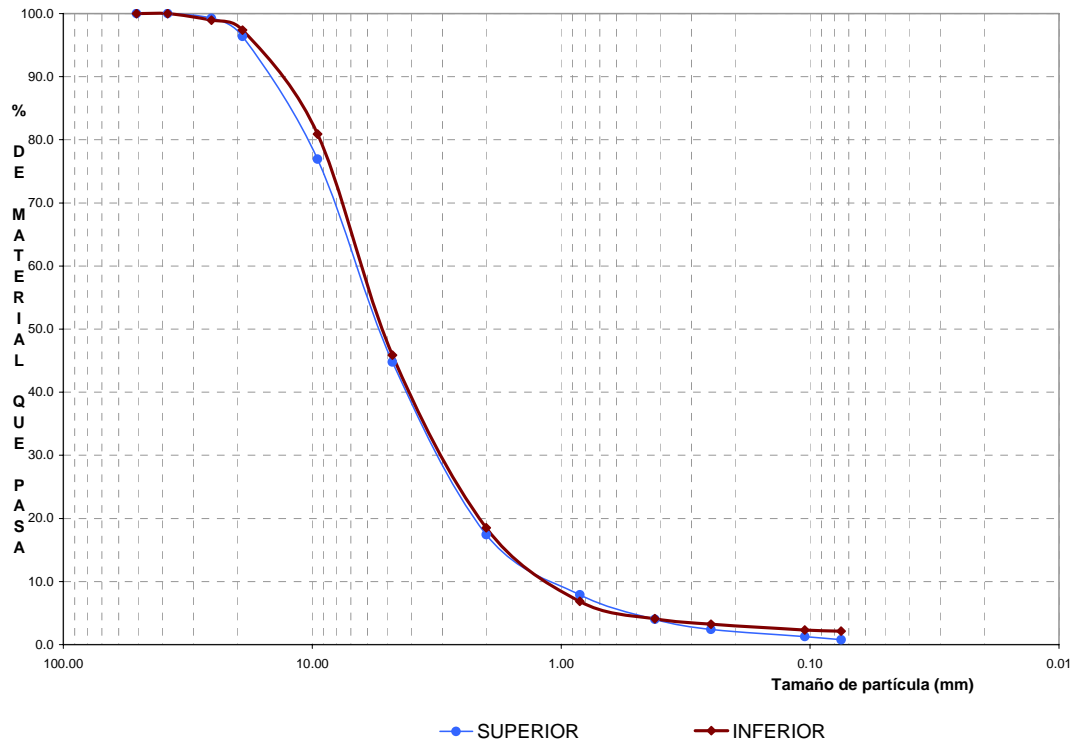


Figura 6.15. Distribución granulométrica de la porción inferior y superior

En esta zona se encontraron los contenidos de humedad más altos de todo el depósito, ya que presenta humedades mayores del 20%, lo cual se debe a que el material que la compone presenta una alta vesicularidad y esto hace que el material retenga una mayor humedad, especialmente en época lluviosa.

En cuanto a la gravedad específica esta presenta variaciones entre una porción y otra debido a que el grado de vesicularidad de la porción superior es mayor que la de la inferior, que se da por un mayor contenido de gases a la hora de la erupción en esos materiales; a su vez puede observarse que en la porción más vesiculada se obtiene un peso



volumétrico ligeramente menor que el de la porción inferior. Por lo que puede atribuirse los bajos pesos volumétricos a la vesicularidad del material.

Las relaciones de vacíos y porosidad no presentan una variación considerable entre las dos porciones y en vista que las demás características físicas son similares pueden considerarse las dos porciones como un solo estrato.

#### b) Zona intermedia

En esta zona se presenta la mejor exposición de los depósitos de Plan de la Laguna, ya que cuenta con todos los materiales expulsados a lo largo de toda la erupción. A continuación se presenta el análisis de resultados para los dos puntos seleccionados en las tres unidades muestreadas.

- UNIDAD 1

En esta unidad se realizaron pruebas para la caída inicial (1A) y para la oleada (1B).

En la tabla 6.6 se presenta un análisis de los resultados obtenidos para la caída inicial (1A); la cual disminuye su espesor a medida de aleja del cráter.

Tabla 6.6. Comparación de resultados de la unidad 1A.

Descripción	Clasificación del Suelo SUCS	Granulometría.			W %	Gs	PVS <sub>máx</sub> g/cm <sup>3</sup>	PVS <sub>mín</sub> g/cm <sup>3</sup>	Relación de Vacíos		Porosidad	
		Porcentajes	Cc	Cu					e <sub>máx.</sub>	e <sub>mín.</sub>	n máx.	n mín.
Escoria No Estratificada Porción Superior	<b>GW</b> Grava bien graduada con arena.	Grava : 55.21 %			26.12	1.66	0.79	0.69	1.10	1.41	0.52	0.58
		Arena : 44.04 %	1.2	6.2								
		Fino : 0.48 %										
Escoria Estratificada Porción Inferior.	<b>GW</b> Grava bien graduada con arena.	Grava : 54.12 %			21.86	1.78	0.83	0.73	1.14	1.44	0.53	0.59
		Arena : 43.76 %	1.3	5.6								
		Fino : 1.92 %										

Como puede observarse la granulometría varía de una arena bien graduada (SW) en el punto más cercano al cráter, a una arena mal graduada en el punto con una distancia mayor. Esta variación la hacen los líticos, ya que en el punto 2A se cuenta con un mayor porcentaje de ellos, lo cual ayuda a generar una buena graduación en el suelo.

Por otro lado el tamaño de las partículas disminuye a medida se alejan del cráter, lo cual puede observarse en la grafica 6.16, donde las partículas de menor tamaño se presentan en el punto ubicado en Lomas de Santa Elena (2B), se observa que el material en los dos puntos sigue la misma tendencia variando únicamente los tamaños entre ellos.

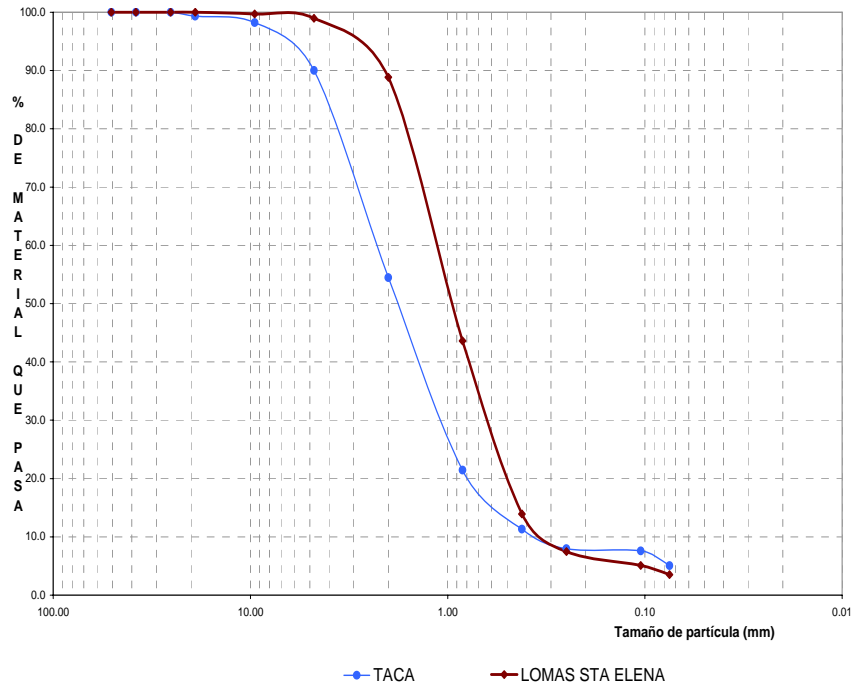


Figura 6.16. Distribución granulométrica de la caída inicial en el punto 2A y 2B.

Puede observarse que la gravedad específica presenta una variación considerable de un punto a otro, la cual se atribuye a la presencia de líticos; ya que a medida los líticos aumentan hacen que la gravedad específica aumente debido a la alta densidad de dicho material. Así en el punto más cercano al cráter se obtuvo una gravedad específica de 2.61 y en el punto más lejano de 1.78; para corroborar dicho razonamiento, se realizó una gravedad específica de control en un punto ubicado entre los dos, obteniendo un valor de 2.41, lo cual corrobora que a distancias mayores del cráter la gravedad específica disminuye debido a que los líticos también disminuyen; además los líticos más densos recorren menores distancias, lo cual es un factor que también influye en este fenómeno. Véase figura 6.17.

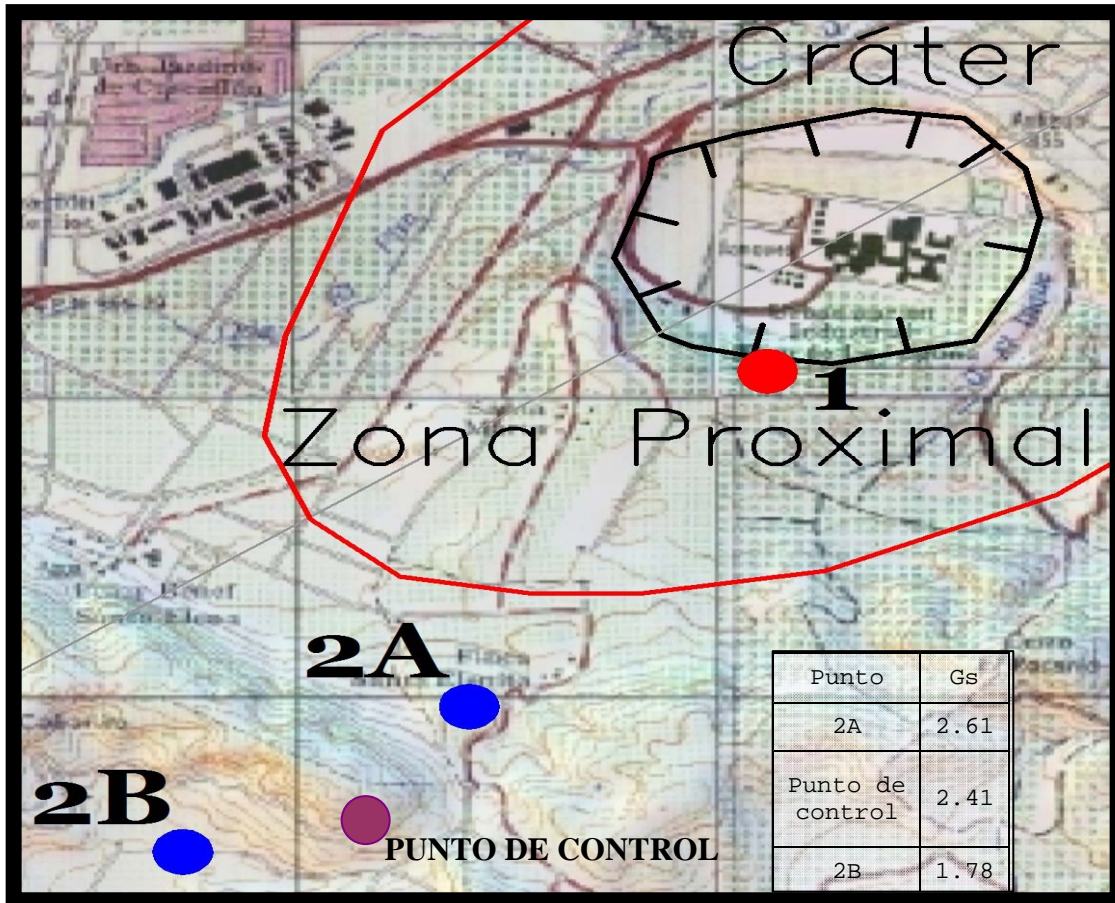


Figura 6.17. Gravedad específica de control. Esquema de ubicación en el que se presenta la variación de la gravedad específica a medida se aleja del cráter.

Los contenidos de humedad son bajos debido a que no presentan vesicularidad como en el caso de las escorias de la zona proximal.

Se observa que los pesos volumétricos son bajos por tratarse de material escoriáceo y la relación de vacíos varía considerablemente de un punto a otro por que esta depende en gran manera de la gravedad específica y como ya se explicó esta presenta variaciones altas de un punto a otro. Se calcularon los pesos volumétricos máximos y mínimos por el estado suelto que presenta la unidad.

También se realizaron pruebas en la oleada (1B), presentándose el análisis de resultados en la tabla 6.7.

Tabla 6.7. Comparación de resultados de la unidad 1B.

Pto	Distancia al Cráter	Clasificación de Suelo	Granulometría.			W	Gs	PVH	PVS	Relación de Vacíos	Porosidad	
			Porcentajes	Cc	Cu							%
	m.	SUCS										
2A	1550	SM	Grava :	0.00 %	0.4	6.9	12.34	2.72	1.70	1.47	0.85	0.46
		Arena limosa.	Arena :	83.04 %								
			Fino :	16.85 %								
2B	2380	SM	Grava :	0.00 %	0.3	6.4	17.64	2.55	1.40	1.20	1.13	0.53
		Arena limosa.	Arena :	80.71 %								
			Fino :	19.00 %								

Para analizar los resultados obtenidos, es necesario tener claro las diferencias que presentan las muestras tomadas de un punto a otro. Dichas diferencias se muestran en la figura 6.18, la que muestra como varia el espesor de la caída intermedia 1C en puntos ubicados a distancias más alejadas del cráter.

La muestra del punto 2A, corresponde a la oleada 1B, mientras que la muestra analizada para el punto 2B, corresponde a la suma de las dos oleadas 1B y 1D, debido a que en este punto la caída intermedia desaparece, véase la figura 6.18a y 6.18c respectivamente.

En el análisis posterior se toma en cuenta que para el punto 2A es solo una oleada la que se analiza y para el punto 2B es la suma de las dos.

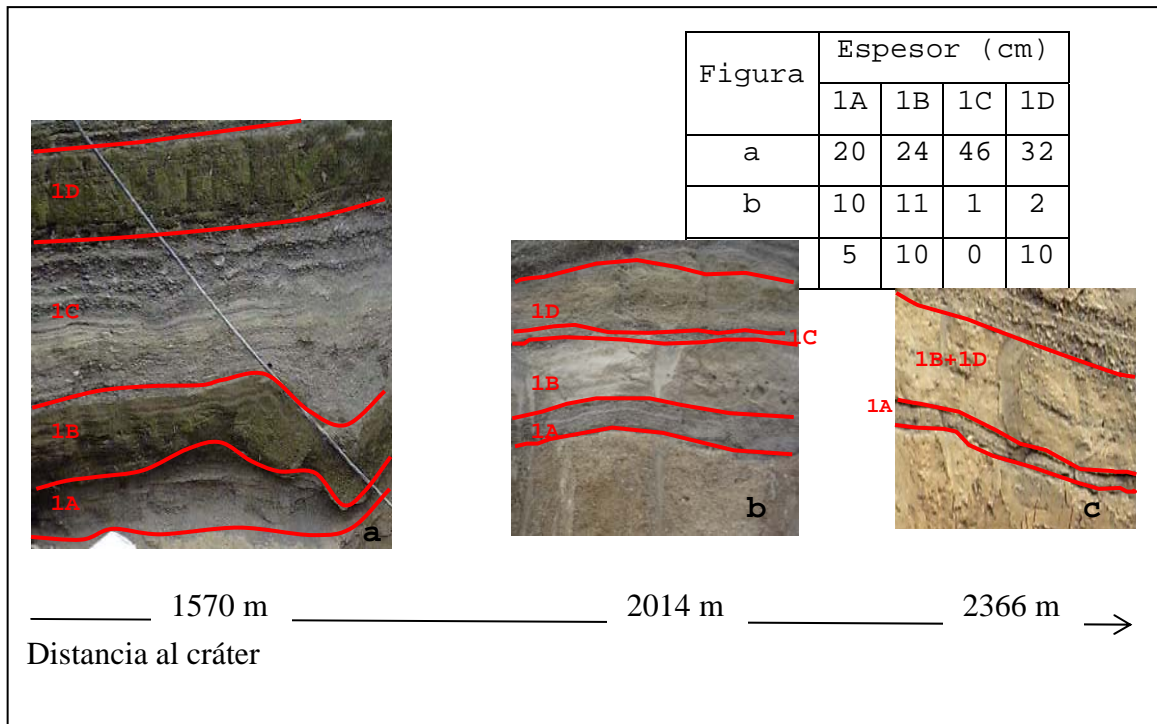


Figura 6.18. Variaciones de la unidad 1 con la distancia. a) unidad 1 en el punto de TACA (2A) afloramiento 3; b) unidad 1 en lomas de Santa Elena, nótese como disminuyen de espesor los depósitos de caída; afloramiento 16 c) Unidad 1 Punto 2B, nótese que el depósito de caída intermedia (1C) ya no es distinguible, afloramiento 15.

En ambos puntos las oleadas se clasifican como una arena limosa y se puede decir que el tamaño de sus granos es similar en ambos puntos, lo cual se observa en la figura 6.19

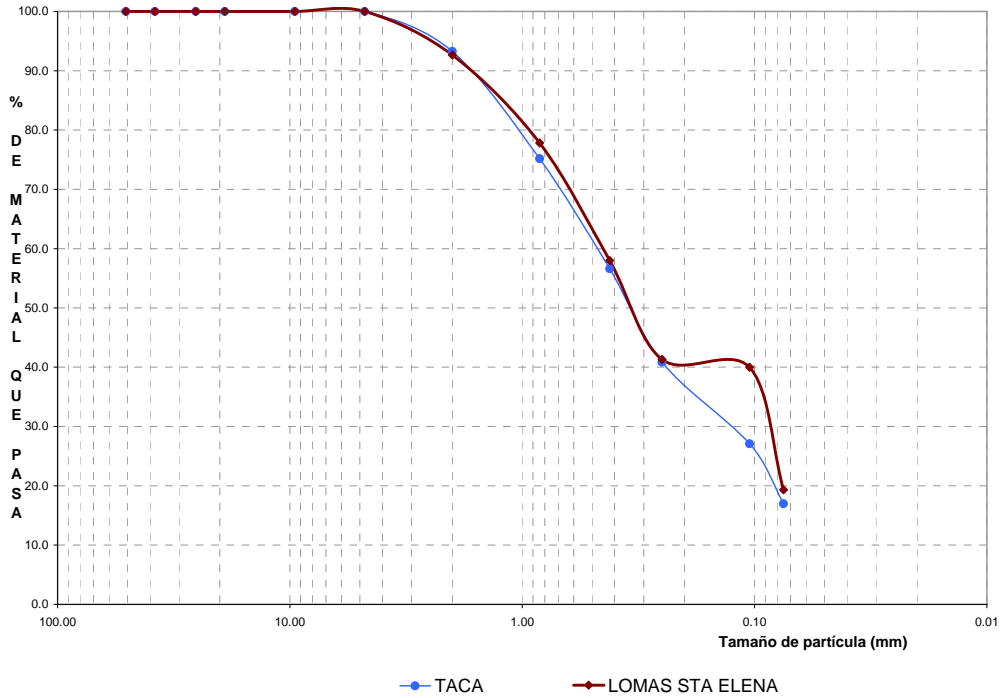


Figura 6.19. Distribución granulométrica de la oleada piroclástica en el punto 2A y 2B.

La gravedad específica varía de 2.72 a 2.55 en el punto de TACA y Lomas respectivamente, esta diferencia es debida a la unión de las 2 oleadas en el punto de Lomas; ya que cada oleada se genera en pulsos eruptivos distintos, en las cuales las condiciones de temperatura, cantidad de agua, cantidad de magma pudieron haber cambiado haciendo que las partículas sólidas sean distintas.

Se realizaron también límites de consistencia encontrándose que en ambos casos, los finos presentes eran no plásticos.

Por otro lado puede notarse que el peso volumétrico disminuye cuando las dos oleadas se unen, debido a que la consolidación entre ellas es menor que cuando solo se cuenta con una; este

hecho afecta directamente la relación de vacíos la cual disminuye cuando se unen las dos oleadas.

Cabe señalar que en campo solo se observó el punto de TACA que presentaba un alto espesor de la unidad 1 y se distinguía la separación de las dos oleadas; en los demás puntos observados la caída que las separaba era casi nula, por lo que se toman a las dos como una sola.

## UNIDAD 2

La unidad 2 son intercalaciones entre oleadas y caídas y es la unidad que presenta un mayor espesor de las tres con las que cuenta la zona, en la tabla 6.8 se presenta un cuadro comparativo entre los dos puntos de muestreo.

Tabla 6.8. Parámetros físicos unidad 2

Pto	Distancia al Cráter m.	Clasificación de Suelo SUCS	Granulometría.			W %	Gs	PVH g/cm <sup>3</sup>	PVS g/cm <sup>3</sup>	Relación de Vacíos e.	Porosidad n.
			Porcentajes	Cc	Cu						
2A	1550	SW Arena bien graduada.	Grava : 11.22 % Arena : 84.77 % Fino : 3.78 %	1.9	7.7	9.94	2.71	1.61	1.40	0.94	0.48
2B	2380	SP Arena mal graduada.	Grava : 3.89 % Arena : 91.29 % Fino : 4.68 %	0.6	5.1	8.74	2.63	1.46	1.32	0.99	0.50

Se observa que en el punto más cercano al cráter se clasifica como una arena bien graduada (SW), mientras que en el punto más retirado se clasifica como una arena mal graduada (SP); dicha diferencia se da debido al depósito de caída, ya que la presencia de líticos más grandes hace que en el punto 2A se cuente con una buena graduación. Véase figura 6.20.



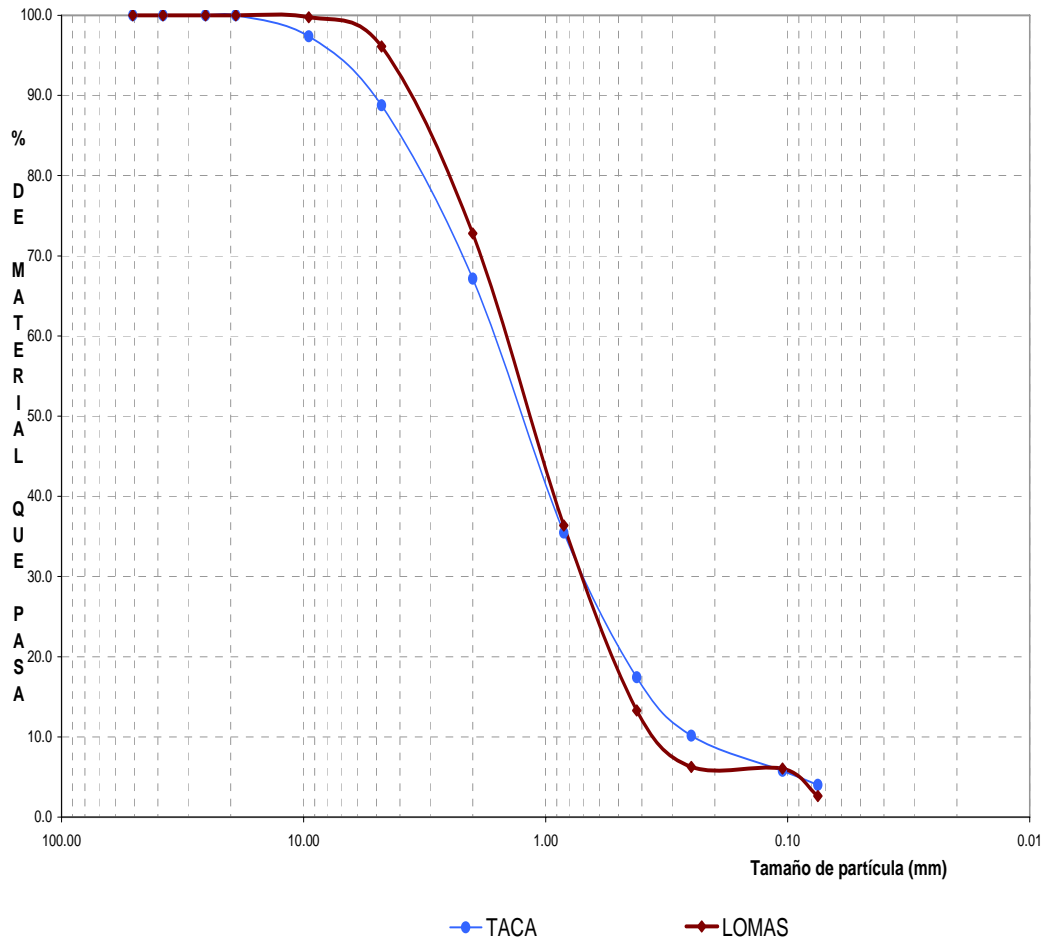


Figura 6.20. Comparación granulométrica unidad 2

Por otro lado es la presencia de los líticos los que hacen variar la gravedad específica y disminuyen el peso volumétrico a distancias más alejadas del centro eruptivo, ya que líticos menos densos recorren distancias mayores.

A pesar de las diferencias que se presentan en la unidad, puede decirse que estas no son significativas debido a la heterogeneidad que esta presenta.

### UNIDAD 3

La unidad 3 se clasifica como una arena mal graduada y presenta una cohesión aparente, se observa que presenta un porcentaje de grava pequeño, el cual es debido a la unión de partículas finas alrededor de una partícula de menor tamaño, lo cual puede formar partículas de tamaño de grava. No puede compararse con ningún otro punto en la zona debido a que en TACA el espesor de esta era pequeño y se encontraba meteorizado. Los finos de la unidad no presentan plasticidad alguna.

Presenta una relación de vacíos alta, lo cual es debido a la forma redondeada de las partículas, las cuales al unirse dejan mayor espacio entre ellas. También esta unidad muchas veces presenta panales por la forma en como se depositan.

#### c) Zona distal.

Esta zona como ya se sabe cuenta solo con la presencia de la unidad 3 la cual para espesores pequeños presenta una alta meteorización. En esta zona a pesar de la meteorización, la unidad no presenta ninguna plasticidad, y al igual que en la zona intermedia se clasifica como una arena limosa. Véase figura 6.21.

El contenido de humedad aumenta debido a la meteorización que presenta la unidad y también debido a esto aumenta su relación de vacíos.

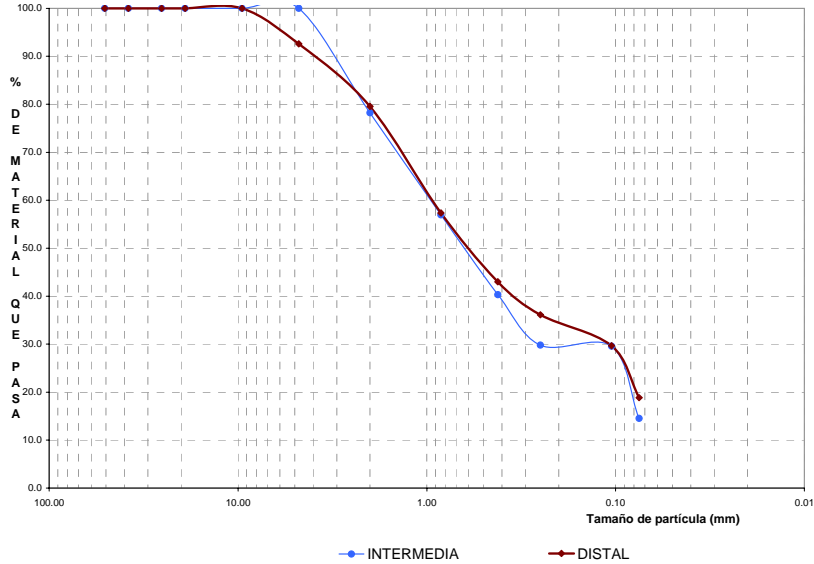


Figura 6.21. Comparación granulométrica unidad 3. Obsérvese que la distribución granulométrica no varía para esta unidad de una zona a otra.

### 6.5.2 Parámetros mecánicos

Los parámetros mecánicos para las unidades de PL se obtuvieron de dos maneras: una de ellas fue por medio de dos pruebas estándar de laboratorio que son la prueba de corte directo y la prueba triaxial, de las que se obtiene el ángulo de fricción y la cohesión del suelo; la otra fue por medio de correlaciones con el valor N obtenido de la prueba de penetración estándar, estas correlaciones son con el ángulo de fricción y la densidad relativa del suelo.

El procedimiento para obtener los resultados por medio de las pruebas estándar de laboratorio se describen en las normas que aparecen en la tabla 6.1, en esta misma aparece la norma que especifica el procedimiento para obtener los valores de N que se encuentran en los perfiles de resultados (figura 6.5

a 6.14). Estos valores N se corrigieron por las siguientes condiciones:

- Corrección por condiciones de campo.

Esta corrección consiste en estandarizar el número de penetración estándar como una función de la energía entrante de hincado y de su disipación alrededor del muestreador hacia el suelo circundante, por medio de la siguiente expresión:

$$N_{60} = \frac{n_H n_B n_S n_R N}{0.60} \quad (\text{Ec. 6.1})$$

Donde:

N= Número de penetración medido.

N<sub>60</sub>= Número penetración corregido por condiciones de campo.

Los demás parámetros se presentan en la tabla 6.9, con su significado y el valor correspondiente a cada uno según el equipo que se utilizó para realizar la prueba de penetración estándar.

Tabla 6.9. Valores de parámetros para corrección N por condiciones de campo según el equipo utilizado.

[Das, 2006: p.80]

PARAMETRO.	SIGNIFICADO.	TIPO.	VALOR.
nH	Eficiencia del martillo	Estados Unidos, Donut, Cuerda y polea	45%
nB	Corrección por diámetro de la perforación.	60-120 mm	1
nS	Corrección del muestreador	Muestreador Estándar	1
nR	Corrección por longitud de la barra perforada	0-4 metros	0.75

- Corrección por sobrecarga.

En suelos granulares los números de penetración estándar se ven afectados por la presión efectiva de sobrecarga, por lo que es necesario cambiar el valor de  $N_{60}$  que se obtiene en exploración de campo a diferentes presiones efectivas de sobrecarga, a un valor estándar de sobrecarga que es  $100\text{kN/m}^2$ .

La corrección se realiza con la siguiente expresión:

$$(N_1)_{60} = N_{60} \sqrt{\frac{100\text{Kpa}}{\sigma'_z}} \quad (\text{Ec. 6.2})$$

Donde:

$N_{60}$  = Número penetración corregido por condiciones de campo.

$(N_1)_{60}$  = Valor de  $N_{60}$  corregido a un valor estándar de sobrecarga  $100\text{KN/m}^2$ .

$\sigma'_z$  = Esfuerzo efectivo a cada altura es:  $\sigma'_z = \gamma * h_{-}(\text{kPa})$

$\gamma$  = Peso volumétrico húmedo in situ.

$h$  = Espesor del estrato hasta la altura donde se quiere conocer el esfuerzo efectivo.

Los pesos volumétricos utilizados se presentan en la tabla 6.10, que para la unidad 1, debido a que la oleada piroclástica presenta un mayor espesor se toma  $1.46\text{g/cm}^3$  para efectos de cálculo; para la unidad 2 se toma un promedio de los valores obtenidos por la heterogeneidad de esta, tomando el valor  $1.54\text{g/cm}^3$ ; y para la unidad 3 se toma el valor de  $1.59\text{g/cm}^3$ .

Tabla 6.10. Cuadro de valores de Pesos Volumétricos.

Tipo de Suelo	Unidad	Peso Volumétrico	
		g/cm <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>
Lapilli acrecional y oleadas piroclásticas**	3	1.59	15.60
Intercalaciones de caída y oleadas piroclásticas**	2	1.54	15.11
Oleada piroclástica. Unidad 1B.**	1	1.46	14.32
Tierra blanca*	-	1.37	13.44

\*Bommer et all(1998)

\*\*Valores máximos obtenidos en Laboratorio.

Para la corrección anterior se recomienda mantener el siguiente límite:

$$(N_1)_{60} \leq 2N_{60} \quad (\text{Ec. 6.3}).$$

Las correlaciones utilizadas para obtener los parámetros mecánicos por medio de la prueba de penetración estándar son las siguientes:

- Correlación con la densidad relativa.

La densidad relativa o compacidad relativa ( $D_r$ ) en suelos granulares mide el grado de compactación del suelo y es un medio para describir la consistencia de las arenas.

En la tabla 6.11 se describe al suelo según su densidad o compacidad relativa:

Tabla 6.11. Compacidad de un suelo granular [Das, 2006:p.10]

Compacidad relativa, Dr (%)	Descripción.
0-20	Muy Suelto
20-40	Suelto
40-60	Medio
60-80	Denso
80-100	Muy denso

Se puede determinar una aproximación de esta densidad relativa con la siguiente correlación empírica de Kulhawy y Mayne (1990), la cual toma en cuenta diversos factores como la edad del depósito, la granulometría y la sobreconsolidación del suelo.

Por lo que para efectos de este trabajo se toma la siguiente correlación:

$$D_r = \sqrt{\frac{(N_1)_{60}}{C_p C_A C_{OCR}}} * 100 \% \quad (\text{Ec. 6.4})$$

Donde:

$C_p$ : Factor de corrección por granulometría que se calcula de la siguiente manera:

$$C_p = 60 + 25 \log(D_{50}) \quad (\text{Ec. 6.5})$$

$D_{50}$ =Diámetro correspondiente al 50% de finos en la curva granulométrica.

La tabla 6.12 presenta los valores que se tomaron para realizar los cálculos, obtenidos de sus respectivas gráficas granulométricas.

Tabla 6.12. Valores de  $D_{50}$ . Utilizados para hacer cálculos.

Tipo de Suelo	Unidad	D50 mm
Tierra blanca*	-	0.20
Lapilli acrecional y oleadas piroclásticas. Unidad 3**	3	0.65
Intercalaciones de caída y oleadas piroclásticas. Unidad 2**	2	3.00
Oleada piroclástica. Unidad 1**	1	0.35

\*Bommer et all (1998)

\*\*Valores máximos obtenidos en Laboratorio.

$C_A$ : Factor de corrección por envejecimiento, su expresión es la siguiente:

$$C_A = 1.2 + 0.05 \cdot \log(t/100) \quad (\text{Ec. 6.6})$$

t= Edad del suelo. En el caso del estrato en estudio se utilizó una edad de 2000 años aproximadamente.

$C_{OCR}$ : Factor de corrección por preconsolidación, que es igual a:

$$C_{OCR} = OCR^{0.18}.$$

OCR = Relación de preconsolidación. Que cuando no se conoce se sugiere ocupar el valor de 2.5 [Coduto, 2001: p.124]

- Correlación con el ángulo de fricción.

Existen muchas ecuaciones que correlacionan el valor de N en la prueba de penetración estándar con el ángulo de fricción del suelo, de las cuales se presentan tres a continuación con sus respectivos autores:



- Peck, Hanson y Thornburn(1974) dieron una correlación en forma gráfica que Wolf(1989) lo aproxima con la siguiente expresión:

$$\phi'(grados) = 27.1 + 0.3(N_1)_{60} - 0.00054[(N_1)_{60}]^2 \quad (\text{Ec. 6.7})$$

- Schmertmann dio una correlación también gráfica, que se puede aproximar en:

$$\phi' = \tan^{-1} \left[ \frac{N_{60}}{12.2 + 20.3 \left( \frac{\sigma' o}{100} \right)} \right]^{0.34} \quad (\text{Ec. 6.8})$$

- Otra correlación más simple es la dada por Hatanaka y Uchida(1996) que tiene la siguiente expresión:

$$\phi' = \sqrt{20(N_1)_{60}} + 20 \quad (\text{Ec. 6.9})$$

Para saber que expresión se acerca más al ángulo de fricción real para las unidades de PL, se realizaron los cálculos de la tabla 6.13, en la cual se escogieron los lugares donde se extrajeron muestras inalteradas en los cortes y que a menos de 2 metros de estos se realizaron las pruebas de penetración estándar. Así se realiza una comparación entre el ángulo de fricción obtenido de las pruebas estándar de laboratorio con los ángulos de fricción que se obtienen de las correlaciones descritas anteriormente con el valor de N obtenido a la misma profundidad de donde se extrajo la muestra inalterada, como se muestra la siguiente tabla:

Tabla 6.13. Comparación de ángulos de fricción. Valores de ángulos de fricción obtenidos de laboratorio con los calculados de correlaciones con SPT, en el mismo lugar y a la misma profundidad.

Lugar	Sondeo	Unidad	Prof.	$\phi_{lab}$	$\phi 1$	$\phi 2$	$\phi 3$
					(Ec.6.7.)	(Ec.6.8.)	(Ec.6.9.)
Edificio TACA	1	1B	2	40.7	41.2	50.2	52.2
Lomas Sta Elena	2	1B	3.3	36.87	39.3	47.6	49.7
		3	0.7	29.05	28.9	31.3	31.0
Finca El Carmen	4	3	1.7	26.56	36.1	45.6	45.3

De la tabla 6.13 se aprecia la correlación que más se acerca a los valores obtenidos en laboratorio es la Ec.6.7, que además, arroja valores más pequeños que las otras 2 expresiones, por lo que los valores que se encuentran con esta correlación, se inclinan mas al lado de la seguridad. Cabe mencionar que en la finca el Carmen, la diferencia observada se atribuye, a que la muestra obtenida para el ensayo de caja de corte se extrajo de un talud donde estaba altamente meteorizada.

Conociendo como se obtuvieron los parámetros mecánicos para las unidades de PL, a continuación se presenta el análisis de los resultados para cada una de ellas.

▪ Unidad 1

Tabla 6.14. Parámetros mecánicos para la Unidad 1.

SONDEO	Distancia al cráter  m	PRUEBAS DE LABORATORIO		CORRELACIONES SPT			
		$\varphi'$ °	c kPa	N <sub>30</sub>	N <sub>60</sub>	$\varphi'$ °	DR %
1	<b>1654</b>	40.7	35	47	26	41.2	85.8
2	<b>2389</b>	36.87	40	33	22	39.25	78.92
8	<b>1968</b>	-	-	29	16	34.5+	60.6+

+ No se recupero muestra.

Los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio corresponden a la oleada piroclástica, mientras que los ángulos de fricción obtenido con el SPT corresponde al promedio de la unidad es decir al depósito de caída y a la oleada piroclástica, representando este último un valor más significativo de cómo se comporta la unidad en conjunto. Véase tabla 6.14

Otro aspecto importante es que en el sondeo 2 las oleada piroclástica disminuye considerablemente y las separa un depósito de caída, que hace imposible realizar la prueba triaxial por lo que este parámetro se calculó por la caja de corte, en la que normalmente se obtienen valores menores que en la prueba triaxial, ya que esta prueba obliga a que el suelo falle en un plano; lo cual explica la diferencia entre los valores de un punto a otro, sin embargo sus valores no difieren grandemente.

Los altos ángulos de fricción obtenidos son debido a la alta cementación que presenta las partículas del suelo entre si, por provenir de oleadas húmedas que se adhieren con mayor fuerza.

El dato obtenido del sondeo 8 a pesar de no haberse recuperado muestra, se toma como valido debido a que en los 30 cm anteriores se llegó a la unidad 1, pero de esta se obtuvo valores grandes debido a los problemas de derrumbe y de inclinación que afectan a la unidad 2. Por lo que se espera que este valor se tome en cuenta para efectos de cálculo, para ser conservador.

De los resultados anteriores se observa que las propiedades mecánicas para la unidad 1 no disminuyen de un punto a otro que se encuentra a una distancia mayor con respecto al cráter.

Por lo tanto se puede mencionar que la unidad 1 tiene una consistencia de medio densa a densa (según tabla 6.11) y su ángulo de fricción es de  $34^\circ$ ; su densidad relativa se mantiene entre 60% y 80%.

- Unidad 2

Tabla 6.15. Parámetros mecánicos para la Unidad 2

SONDEO	CORRELACIONES SPT							
	N <sub>30</sub>		N <sub>60</sub>		$\varphi'$ (°)		DR(%)	
					máx	min	máx	min
1	80	41	45	23	49.7	39.8	92.8	66.3
2	38	14	25	9	40.8	32.3	69.2	41.5
3	23		15		35.6		53.6	
5	17		11		33.4		45.9	
7	70	59	47	39	50.5	47.2	94.8	86.4
8	87	24	48	13	49.1	34.5	91.2	49.9

Debido a las características de la unidad 2 fue imposible extraer alguna muestra inalterada, por lo que las propiedades mecánicas obtenidas para esta unidad han sido encontradas con las correlaciones. Pero estos valores tienen una gran

variación debido distintos factores que han hecho que el valor de N aumente considerablemente, por las propiedades de esta unidad. Véase tabla 6.15

A continuación se mencionan los factores que hacen que la unidad 2 presente valores altos.

- Depósitos de caída sueltos

Esta unidad 2 esta compuesta por oleadas piroclásticas en las que sus partículas están cementadas, estas oleadas son intercaladas con depósitos de caída en la que sus partículas son bastantes sueltas. Uno de los factores es que el depósito de caída debido a su soltura hace que él y las oleadas se derrumben en el agujero hecho por el penetrómetro (ver figura 6.22), y al introducirlo nuevamente e intentar penetrar los 30cm para obtener el valor N, presenta mayor resistencia de la que realmente tiene el suelo. Por lo que este fenómeno hace que a medida se va profundizando el sondeo, presente valores de N cada vez más altos como se observa en los perfiles mostrados en los resultados.



Figura 6.22. Problemas de derrumbe en SPT. Se observa como el material de la Unidad 2 se derrumba y cae en el agujero aumentando los valores de N medidos.

- Secuencia inclinada de capas cementadas y sueltas

Otro factor que hace que varíe los valores de N pero de un punto a otro es son las capas o estratos inclinados. En lugares donde el relieve topográfico presenta una alta inclinación (figura 6.22A), cambia significativamente los valores de lugares que no presenta inclinación (ver figura 6.23B).

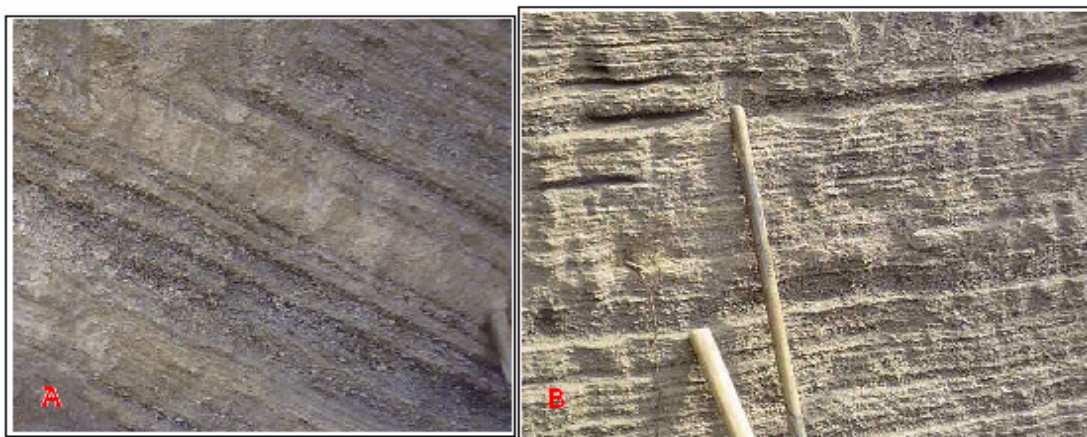


Figura 6.23. Inclinaciones de la unidad 2. A) Estrato con bastante inclinación donde se obtienen valores altos de N. B) Estrato con poca inclinación donde los valores de N no aumentan su valor.

El fenómeno es el siguiente: si el penetrómetro entra con cierta inclinación " $\delta$ " a la oleada piroclástica, este se va deslizando en el depósito de caída haciendo que el penetrómetro presente una inclinación " $\phi$ ", en la superficie como se muestra en la figura 6.24 y vaya entrando con cierta inclinación, este fenómeno hace que la longitud de penetración a las capas de oleadas piroclástica sea mayor y se obtenga así un valor de N mucho mayor del que si no se hubiera inclinado que se da cuando la superficie no es tan inclinada como se muestra en la figura 6.24B.

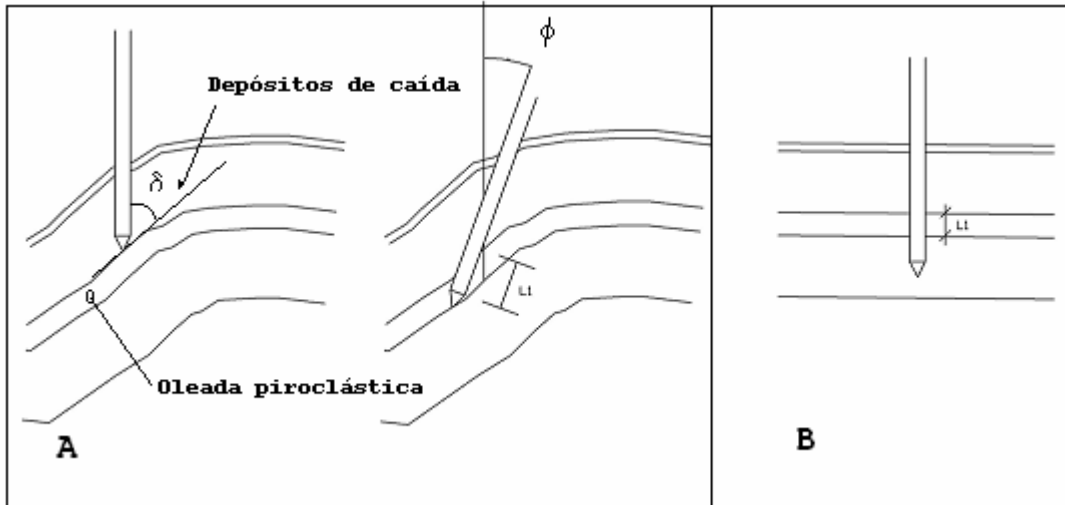


Figura 6.24. Factor de error por inclinación de penetrómetro. A) Se muestra como el penetrómetro tiene una inclinación en la hora del sondeo, debido a que desliza en el depósito de caída. B) El penetrómetro no tiende a inclinarse ya que entra perpendicular a la oleada piroclástica

La inclinación en la superficie se puede observar en la figura 6.25, donde entra también el factor de la pendiente de la superficie, que hace que se obtengan valores mayores de N de lo que realmente tiene.



Figura 6.25. Inclinación de penetrómetro. Se observa los problemas de inclinación en las Pruebas de Penetración Estándar.

Lo anterior hace que algunos valores obtenidos de los sondeos se descarten por el problema de inclinación y de derrumbe, tomando en cuenta como valores representativos los de la tabla 6.16

Tabla 6.16. Parámetros mecánicos representativos para la Unidad 2

SONDEO	Distancia al cráter	CORRELACIONES SPT							
		N <sub>30</sub>		N <sub>60</sub>		φ' (°)		DR(%)	
		máx	min	máx	min	máx	min	máx	min
2	2389	18	14	12	9	34.0	32.3	47.9	41.5
3	3143	15		15		35.61		53.57	
5	4333	15		11		33.44		45.9	
8	1968	24		13		34.5		49.9	

De donde se puede decir que la unidad tiene un ángulo entre 32°-36°; una densidad relativa entre 40% y 60% se clasifica según la tabla 6.11 como una arena medianamente densa.

Se debe tener mucho cuidado con esta unidad ya que su comportamiento cambia cuando no esta confinado, y es mas inestable observándose en los cortes que se realizan en este, ya que en poco tiempo tiende a derrumbarse, y no necesariamente a alturas considerables (véase figura 6.26), con mayor frecuencia en la época lluviosa.





Figura 6.26. Derrumbe en la Unidad 2. Debido a varios factores como son: el socavamiento del paleosuelo subyacente a PL, la inclinación de las capas, las grietas verticales y a la caída del material suelto.

Es de hacer notar que su resistencia no cambia con la distancia que se aleja del cráter, esto se observa en los resultados ya que de un punto a otro no cambia sus valores de ángulo de fricción.

▪ Unidad 3

Tabla 6.17. Parámetros mecánicos para la Unidad 3

SONDEO	Distancia al cráter	PRUEBAS DE LABORATORIO		CORRELACIONES SPT			
		$\varphi'$ °	c kPa	$\varphi'$ (°)		DR (%)	
				máx	min	máx	min
2	2389	29.05	210	28.9		27.3	
3	3143	-	-	37.2		66.9	
4	3852	26.56	100	45.9	36.1	94.6	63.1
5	4333	-	-	37.2		66.9	
6	3402	-	-	30.0		35.3	
7	2965	-	-	38.2		70.5	
8	1968	-	-	36.1	31.8	63.1	44.6

Los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio corresponden a la prueba de caja de corte, sus ángulos son pequeños en comparación de la dureza o resistencia que aparenta en campo, debido a que esta unidad tiene presente pequeñas capas donde las partículas no se encuentran soldadas y hace que al realizar la prueba de caja de corte falle en ese plano, tiene una gran relación de vacíos considerable (véase tabla 6.17). Su gran cohesión aparente es debido al mecanismo de la erupción que hace que sus partículas se solden, pero es de remarcar que solo es una cohesión aparente que con el acción del agua tiende disminuir.

Esta unidad por estar en el techo de la erupción, se encuentra en la mayoría de los sondeos meteorizada, presentando una resistencia menor por el cambio de sus propiedades. La meteorización que presenta esta unidad es heterogénea.

La meteorización depende grandemente del espesor que tiene, ya que en lugares con espesores pequeños la meteorización es

más rápida que en lugares que tiene mayores espesores. La característica importante de esta unidad, es que a medida se aleja del cráter su espesor va aumentando, hasta llegar a un punto donde comienza a disminuir. En lugares como Comasagua se meteoriza menos porque se encuentra cerca de eje de dispersión de la erupción. En el caso de los sondeos realizados los espesores de esta unidad en su mayoría de casos fueron pequeños presentando alta meteorización (ver los resultados de los perfiles).



Figura 6.27. Derrumbe de la Unidad 3. Por efecto de las raíces de los árboles, por agrietamiento verticalizados, lluvias, sismos y por socavación al desprenderse el material suelto.

En los sondeos 4 y 8 el espesor era mayor o igual a un metro, por lo que estos valores son los más representativos de esta unidad, pero los ángulos de fricción recomendados son los obtenidos del laboratorio ya que consideran la posibilidad de que el suelo falle en los planos que no se encuentran tan soldados. Por lo tanto para la unidad 3, se toma un ángulo de fricción entre  $26^\circ$  y  $30^\circ$ , con una densidad relativa de 30% a 40%.

La causa principal de derrumbes de la unidad 3 en la zona intermedia de debe a la perdida de apoyo cuando la unidad 2 que se encuentra debajo de esta se derrumba (fenómeno de socavación véase figura 6.27), haciendo que la unidad 3 quede como en un mecanismo de voladizo cortándose en su extremo de apoyo y se produce la caída por derrumbe.

### **6.5.3 Capacidad de carga**

Para estimar este valor se toma un sondeo que es el más representativo para cada unidad y así estimar su capacidad de carga. A la unidad 1 no se le estima su capacidad de carga debido al espesor que tiene, ya que en ningún punto es considerable y por lo tanto no vale la pena calcularlo.

La capacidad de carga última es la carga por área unitaria de la cimentación bajo la cual ocurre la falla por corte en el suelo. Según la estructura y el tipo de suelo la falla puede producirse de tres formas, que se observan en la figura 6.28.

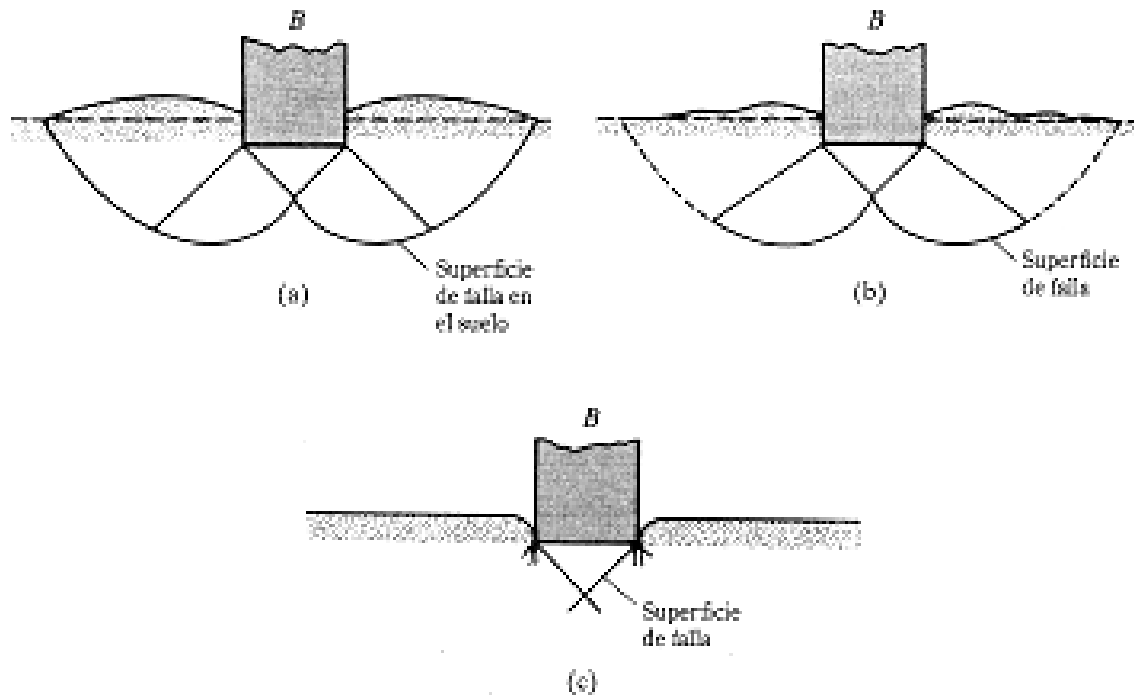


Figura 6.28. Fallas en el suelo por capacidad de carga. a) Falla por corte general. b) Falla por corte local. c) Falla de corte por punzonamiento. [ Das, 2007].

Los tres tipos de falla son:

- Por corte general: Se produce una superficie de rotura continua que arranca en la base de la zapata y aflora a un lado de la misma a cierta distancia. Esta es la rotura típica de arenas densas y arcillas blandas en condiciones de cargas rápidas sin drenaje.
- Por corte local: Se plastifica el suelo en los bordes de la zapata y bajo la misma, sin que lleguen a formarse superficies continuas de rotura hasta la superficie. Esto es típico en arcillas y limos blandos y en arenas medias a sueltas.

- Por punzonamiento: La cimentación se hunde cortando el terreno en su periferia con un desplazamiento aproximadamente vertical. Esto se da en materiales muy compresibles y poco resistentes.

En la figura 6.29, se muestra una relación para el modo de falla por capacidad de carga de cimentaciones que descansan en arenas, en base a resultados experimentales de Vesic (1973). Donde,  $D_f$  es igual a la profundidad de desplante de la cimentación, medida desde la superficie del terreno, y  $B^*$  es igual al diámetro para cimentaciones circulares o el ancho de la cimentaciones para cimentaciones cuadradas.

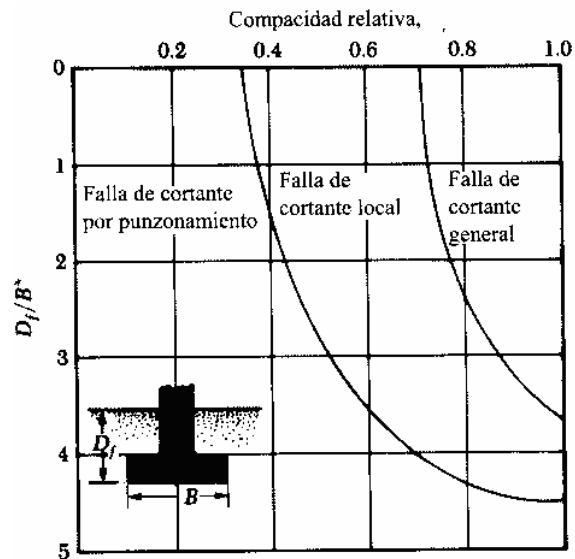


Figura 6.29. Modos de falla en cimentaciones sobre arena. [Das, 2007].

Para estimar la capacidad de carga última de las cimentaciones, es necesario definir que tipo de cimentación transmitirá las acciones del edificio al suelo, si será una cimentación cuadrada, rectangular o circular. Y además que

tipo de falla se espera en el suelo si será por corte general, local o de punzonamiento.

Para objetos de calcular esta capacidad carga según la figura 6.28 se espera que los depósitos de la erupción de Plan de La Laguna tengan una falla tipo corte local para las arenas con compacidad relativa entre aproximadamente 30% y menos de 70%. Para estimar la capacidad de carga última de los depósitos de Plan de la Laguna, se hará para una cimentación cuadrada de 1m x 1m, y el desplante será a la profundidad indicada.

Terzaghi expresó la capacidad de carga para el caso en que la falla se de por corte local con la siguiente ecuación modificada para una cimentación cuadrada:

$$q_u = 0.867c'N'_c + qN'_q + 0.4\gamma BN'_\gamma \quad (\text{Ec. 6.10})$$

Donde:

$c'$  = Cohesión efectiva del suelo. En arenas es aproximadamente 0.

$\gamma$  = Peso específico del suelo.

$q$  = Esfuerzo efectivo en la base de la cimentación. Es igual al peso específico del suelo por el desplante.

$N'_c$ ,  $N'_q$ ,  $N'_\gamma$  = Factores de capacidad de carga modificada que son adimensionales. Sus valores según los ángulos de fricción del suelo se presentan en el Anexo G.

Es de recordar que los valores obtenidos de capacidad de carga última, son valores aproximados y que dependen del tipo de cimentación y de la profundidad de desplante. Y que estos tienen que dividirse por un factor de seguridad para poder encontrar la capacidad de carga admisible, que en el caso del

país la "Norma Técnica Para Diseño De Cimentaciones Y Estabilidad De Taludes" da un factor de reducción de 3.

Es de recalcar que los valores de capacidad de carga obtenidos son solo una estimación para las características antes mencionadas.

▪ **Capacidad de carga Unidad 2**

Para el cálculo de la capacidad de carga de esta unidad se escoge el sondeo 2, ya que este no presenta problemas de inclinación, el problema de derrumbe si lo presenta para lo cual se elimina el último valor obtenido (véase Anexo G).

Tabla 6.18. Capacidad de carga para la Unidad 2 en el sondeo 2

Profundidad	U	N60	Densidad Relativa	Angulo de fricción	Peso Especifico	Esfuerzo Efectivo	Capacidad de carga última	Capacidad de Carga admisibe
(m)			(%)	(°)	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
1.00	2	9	41.5	32	15.11	7.68	1.11	0.37
1.50	2	10	43.7	33	15.11	11.46	1.64	0.55
2.00	2	12	47.9	34	15.11	15.23	2.26	0.75

Factor Seguridad: 3

Los valores de capacidad de carga obtenidos se presentan en la tabla 6.18, donde se observa que la capacidad de carga aumenta con la profundidad, pero es debido al problema de derrumbes que presenta la unidad como ya se había mencionado antes. Por lo que el valor propuesto es de una capacidad de carga admisible de **0,55 kg/cm<sup>2</sup>**, para una zapata cuadrada de 1m por lado.



▪ **Capacidad de carga Unidad 3**

Para el cálculo de esta capacidad de carga se tomo el sondeo 8, que es el que tiene la unidad un espesor considerable en comparación con los demás, los primeros 50cm de la unidad 3 son descartados debido a la meteorización que presenta. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 6.19, donde se observa que la capacidad de carga admisible en dos puntos se mantiene relativamente constante entre 0.73 kg/cm<sup>2</sup> y 0.75 kg/cm<sup>2</sup>. Se puede concluir que la capacidad de carga para la unidad 3 es de **0.73 kg/cm<sup>2</sup>** para una zapata cuadrada de 1m por lado.

Tabla 6.19. Capacidad de carga para la Unidad 3 en el sondeo 8

Profundidad	U	N60	Densidad Relativa	Angulo de fricción	Peso Específico	Esfuerzo Efectivo.	Capacidad de carga ultima.	Capacidad de Carga admisibe
(m)			(%)	(°)	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
1.00	3	8	44.6	32	15.60	7.26	1.08	0.36
1.50	3	16	63.1	36	15.60	11.16	2.19	0.73
2.00	3	12	54.6	34	15.60	15.06	2.25	0.75

Factor Seguridad: 3

## CAPÍTULO 7

### 7. CONCLUSIONES

#### GENERALES

▪ La erupción de Plan de la Laguna se caracteriza por presentar una gran explosividad, ocurrida cuando el magma hizo contacto con el agua subterránea, que generó depósitos que recorrieron aproximadamente 11 km, donde su eje de dispersión tiene un rumbo de 54° suroeste. Presentando una área de 74km<sup>2</sup> y un volumen equivalente en roca de 0.069km<sup>3</sup>. Espacialmente el área se ha dividido en 3 zonas: proximal, intermedia y distal. En el depósito a su vez se han identificado 3 unidades de la base al techo en 1, 2 y 3; el mayor espesor observado en campo es de 6.6 m; y para el trazo de las isopacas se estimo como máximo 8 m.

#### ZONA PROXIMAL

▪ Los depósitos característicos de la zona proximal están formados básicamente por escorias, bombas y líticos de tamaños variados, que yacen sobre la brecha de explosión que por la profundidad a la cual esta se encuentra hay pocos afloramientos y no ha sido observada en su totalidad. La zona proximal tiene una extensión de 1 km y es la menor de las tres zonas del depósito de Plan de la Laguna

▪ Las dos porciones, inferior y superior, de la zona proximal pueden considerarse como un mismo material el cual únicamente varía en la vesiculación que estas presentan. Es una grava bien graduada con arena, cuya humedad varia entre aproximadamente 20 y 30%. Las gravedades específicas oscilan

entre 1.66 y 1.78, mientras los pesos volumétricos en su estado suelto varían entre 0.83 g/cm<sup>3</sup> y .79 g/cm<sup>3</sup> y en su estado más compacto es de 0.73g/cm<sup>3</sup> y 0.69 g/cm<sup>3</sup>.

- La alta vesicularidad de las escorias hace que sean quebradizas y presenten problemas ante cargas aplicadas sobre ellas, además debido a la presencia de bloques líticos y de material juvenil, el ensayo SPT no es aplicable en la zona proximal. Las porciones presentan un estado suelto por lo que son bastantes inestables en el caso de cortes y taludes existentes.

- Los tamaños de las partículas de los depósitos de caída disminuyen a medida se alejan de cráter debido a que los más pesados se acumulan en la cercanía de centro eruptivo.

#### ZONA INTERMEDIA

- La zona intermedia cuenta con la mejor exposición de todos los materiales expulsados por el cráter Plan de la Laguna, en ella se encuentra, de la base hacia el techo, materiales de caída escoriáceos, oleadas piroclásticas y en el techo lapilli acrecional. Donde estos materiales han interactuado entre sí en diferentes fases a lo largo de la erupción, esto debido a pulsos húmedos y secos característicos de la erupción freatomágmatica.

- La caída inicial (unidad 1A) se clasifica como una Arena bien graduada(SW), que cambia su graduación a medida que se aleja del cráter convirtiéndose en una Arena mal graduada(SP), contiene un porcentaje de humedad que varía entre 6.11% y 8.65%. Esta cuenta con presencia de líticos de

diversos tamaños la cual es mayor a una distancia cercana al cráter que cambia sus propiedades geotécnicas lo que es evidenciado en el valor de gravedad específica que cambia de 2.61 a 1.78, en una distancia aproximada de 800 metros entre uno y otro, ya que los líticos más densos no recorren distancias muy grandes.

- Las oleadas piroclásticas que componen la unidad 1 presentan variaciones en sus propiedades geotécnicas debido a que ellas se dan en distintos pulsos eruptivos donde puede variar la temperatura, la cantidad de agua y el contenido de gases en cada uno de ellos. Por lo que solo pueden asignarse un rango valores índices para cada propiedad, los cuales son: el contenido de humedad varía entre 12% y 18%, la gravedad específica entre 2.55% y 2.72%, el ángulo de fricción entre 34 y 41.2 grados, la cohesión entre 35 y 40 kpa.

- La unidad 2 por tener mayores espesores es la que más influye en la estabilidad de cortes y taludes existentes en la zona, ya que presenta un estado suelto lo cual ocasiona que se produzcan derrumbes.

- Las intercalaciones de oleadas piroclásticas y depósitos de caída (unidad 2), se clasifica como una arena bien graduada (SW) degradándose a lo largo del eje de dispersión. Su contenido de humedad varía entre 8.74% y 9.94%. Sus gravedades específicas oscilan entre 2.63% y 2.71%, esto debido a la gran heterogeneidad del estrato. Los pesos volumétricos húmedos oscilan entre 1.46g/cm<sup>3</sup> y 1.61g/cm<sup>3</sup>; y los secos de 1.32g/cm<sup>3</sup> a 1.40g/cm<sup>3</sup>. Su comportamiento varía de medio denso a denso obteniendo ángulos de fricción con correlaciones entre 32° y 36°. Esta unidad en el caso de

taludes la resistencia al esfuerzo cortante se ve reducida debido a la presencia de cenizas de caída (arenas y gravas).

- La unidad 2 no varía su resistencia a medida se aleja del cráter, debido a que las oleadas son las que dominan en esta propiedad. Las inclinaciones que suele presentar por la topografía esta unidad, inducen a las pruebas SPT a aumentar la resistencia a la penetración y que sean mayores que las reales.

- La unidad 3 presenta fallas verticales debido al desmoronamiento y consecuente socavación de la unidad subyacente.

#### ZONA DISTAL

- El área de la zona distal tiene una mayor extensión con respecto de las otras zonas del depósito, ya que el material de la zona viaja a través de la zona de difusión de la columna eruptiva, lo cual hace que este recorra grandes distancias. En esta zona solo se encuentran oleadas piroclásticas menores y lapilli acrecional, donde en muchas zonas presentan una alta meteorización, por tener granulometría mas fina y donde los espesores son inferiores al metro.

- El estrato de lapilli acrecional (unidad 3), presenta una gran cohesión debido a la cementación, la cual se disminuye en la zona distal. Se clasifica como una arena limosa (SM) y en la zona intermedia valores de humedad del orden del 10%, gravedad específica de 2.71, peso volumétrico húmedo de 1.59g/cm<sup>3</sup> y seco 1.35g/cm<sup>3</sup>. Presenta un ángulo de fricción de

29 grados el cual se ve disminuido por la presencia de una capa fina granular e influenciado por el ensayo. Su comportamiento es medianamente denso. En la zona distal presenta un contenido de humedad del 27.5% que se incrementa con respecto a la anterior debido a la meteorización y la presencia de fino; su gravedad específica es de 2.67 y el ángulo de fricción es de 26°.



## CAPÍTULO 8

### 8. RECOMENDACIONES

#### GENERALES

- Se recomienda la corrección del área presentada para los depósitos de Plan de la Laguna del mapa geológico realizado por la misión alemana, ya que en él, se presenta un área mucho menor que ha sido cubierta por el depósito en si, y a su vez se recomienda la corrección de la estratigrafía en la cual Tierra Blanca subyace de Plan de la Laguna.
  
- Se recomienda para futuros estudios de esta erupción ampliar la densidad de puntos del de afloramientos del depósito de Plan de la Laguna, ya que existen áreas a las que no se tuvo acceso; esto ayudaría a tener una mayor precisión en el cálculo del volumen.
  
- En la zona de Nueva San Salvador no se observaron muchos afloramientos debido a que toda la zona se encuentra urbanizada. Por lo que se recomienda la obtención de sondeos SPT realizados en la zona y perfiles litológicos existentes, para cualquier construcción en el futuro, ya que en esta zona se prevé que los espesores de plan de la laguna sean altos.

#### ZONA PROXIMAL

- No es recomendable la realización de sondeos SPT en esta zona debido a la presencia de bloques, tanto de material juvenil como de líticos; en su lugar deben usarse ensayos rotativos para recuperación de testigos.



- No se recomienda la construcción de edificios de apoyados sobre las escorias que se presentan en esta zona, ya que debido a su alta vesiculación el material se fragmenta con facilidad, lo cual puede generar asentamientos en la estructura; por lo que este material debe ser restituido o buscar alternativas viables para eliminar dicho problema.
  
- En el caso de viviendas de 2 niveles, dependiendo de las cargas que llegan al suelo, se deja a criterio del estructurista la elección del tipo de cimentaciones, siempre que se tenga en cuenta que lo quebradizo del material, pues este puede generar asentamientos diferenciales.
  
- Se recomienda la realización de estructuras de retención en cortes existentes en la zona, ya que el material de esta zona es suelto, y por ser vesicular retiene grandes cantidades de agua en época lluviosa, lo cual genera inestabilidad en los taludes y posteriores derrumbes.

#### ZONA INTERMEDIA

- Se recomienda proteger los cortes existentes, ya que en toda la zona los mayores espesores los tiene la unidad 2 la cual presenta un estado suelto y es la que hace que los taludes sean susceptibles a derrumbes por fallas locales; los cuales se ven aumentados en época de invierno .
  
- En la zona del Bálsamo debido a la topografía que se presenta, se recomienda tener cuidado a la hora de interpretar datos de sondeos SPT debido a que la inclinación

que presenta el estrato hace que se obtengan valores mayores a los que realmente existen.

- Para el tipo de suelos provenientes de la erupción de Plan de la Laguna se recomienda la utilización de la ecuación de Peck Hanson y Thornburn (1974) para el cálculo de los valores de ángulos de fricción, ya que estos se acercan más a los valores obtenidos en laboratorio.

- Se recomienda utilizar el ángulo de fricción para la unidad 2 que es de  $32^\circ$ , debido a que esta unidad es la más representativa en esta zona; dicho ángulo es el menor obtenido en Laboratorio. Para el caso de cortes o taludes se recomienda la disminución del ángulo de fricción, debido a que, este tiende aumentarse al estar confinado, como es en el caso del SPT.

#### ZONA DISTAL

- Se recomienda remover la unidad 3 cuando esta se encuentre meteorizada, debido a que en esta condición su capacidad de carga disminuye.



## GLOSARIO

**Andesita:** roca ígnea de grano fino sin cuarzo o sin ortoclasa, compuesta de alrededor del 75 por ciento de feldespato plagioclasa y el resto de silicatos ferromagnesianos. Aparece en forma de lavas, posiblemente derivado de un magma basáltico por cristalización fraccionada. Es muy característico de los procesos que dan lugar a la formación de montañas alrededor de los bordes del océano Pacífico.

**Basalto:** roca ígnea de grano fino en la que predominan los minerales de color oscuro, que consisten de más de 50 por ciento de feldespatos plagioclasa y el resto de silicatos ferromagnesianos. Los basaltos y las andesitas representan aproximadamente el noventa y ocho por ciento de todas las rocas extrusivas. Se caracteriza por ser pobre en contenido de SiO<sub>2</sub> (45-50 %) y posee grandes concentraciones de FeO, MgO y CaO y tienen poco Na<sub>2</sub>O y K<sub>2</sub>O.

**Bombas o bloques:** fragmentos mayores que 64 mm. Los bloques son fragmentos angulares a sub-angulares con un origen juvenil, cognato o accidental derivados de la extrusión de lavas, ya sea en domos o en edificios volcánicos. Bomba se refiere a aquellos fragmentos exclusivamente juveniles, que han sido arrojados desde la boca eruptiva en condiciones parcialmente fundidas, y las cuales han sido parcialmente solidificadas durante su vuelo.

**Brecha Volcánica:** Se aplica a todas las rocas volcanísticas compuestas predominantemente por partículas volcánicas más grandes de 2 mm.

**Caldera:** depresión volcánica aproximadamente circular, de paredes interiores abruptas, cuyo diámetro es cuando menos 3

ó 4 veces mayor que su profundidad. El lago de Coatepeque es un típico ejemplo de colapso de caldera.

**Cementación:** proceso por el cual los espacios vacíos de una capa geológica son rellenados por soluciones minerales que cristalizan posteriormente formando minerales, que unen las partículas.

**Ceniza volcánica (volcanic ash):** es toda partícula piroclástica menor que 2 mm de diámetro y compuesta por material vítreo, cristalino o lítico, formados cuando el magma es arrojado al aire durante una erupción.

**Componentes volátiles.** Materiales de un magma tales como el agua, el bióxido de carbono y ciertos ácidos, cuyas presiones de vapor son suficientemente altas para dar lugar a que se concentren en cualquier fase gaseosa que se forme.

**Conducto central:** abertura en la corteza de la tierra burdamente circular por la que son proyectados los productos magmáticos. Un volcán es una acumulación de material alrededor de un conducto central.

**Cono cinerítico (cinder cone):** está formado exclusivamente o en gran parte por productos piroclásticos en los que predominan las cenizas. Son parásitos de un volcán más grande y rara vez sobrepasan los 500 m de altura. Sus flancos tienen inclinación de 30 ° a 40 °.

**Correlación:** proceso para establecer la contemporaneidad de las rocas o sucesos de un área con otras rocas o sucesos de otra área.

**Cráter:** depresión o cuenca volcánica de paredes abruptas, casi circular, cuyo diámetro es menor que tres veces su profundidad. Comúnmente ocupa la cima de un volcán.

**Dacita:** Roca eruptiva constituida por plagioclasa, cuarzo y minerales Ferromagnesicos.

**Depósitos de caída de cenizas o lluvia de tefras (ash fall deposits):** es un depósito de piroclastos formado por la erupción de material fragmentado a través de un conducto por una explosión volcánica y eyectada a la atmósfera por medio de una columna eruptiva o por elutriación de finos sobre un flujo piroclástico en movimiento.

**Depósitos de flujo piroclástico (pyroclastic flow deposits):** sinónimo de ignimbritas.

**Efusiva:** sinónimo de extrusivas. Son las rocas formadas por la salida de magma en forma de lava a la superficie y se endurecen con el enfriamiento.

**Escoria:** Es usualmente de composición básica y el material esta menos vehiculado que en las pomez.

**Estratificación:** 1) término colectivo que se usa para indicar la existencia de capas o estratos en las rocas sedimentarias. 2) algunas veces se usa como sinónimo de *plano de estratificación*.

**Falla:** superficie de ruptura de una roca a lo largo de la cual ha habido movimiento diferencial.

**Feldespatos:** minerales silicatados compuestos de tetraedros de silicio-oxígeno y aluminio-oxígeno unidos en una red tridimensional con iones positivos encajados en dos intersecciones de la red de tetraedros cargados negativamente. Se les clasifica como silicio-aluminatos. Cuando el ion positivo es potasio K<sup>+</sup>, el mineral resultante es ortoclasa; cuando es sodio Na<sup>+</sup>, el mineral es albita; cuando es Ca<sup>+2</sup>, el mineral anortita.

**Felsicos:** Se utiliza el término para referirse a minerales con silicatos de colores claros, lo cual se refiere a magmas ácidos.

**Fractura:** como característica de los metales y los minerales, se aplica a la forma en la que un mineral se rompe cuando no

tiene clivaje. Puede ser concoidea (en forma de concha), fibrosa, aserrada o desigual.

**Fragmento lítico:** el término lítico, en general, hace referencia a los fragmentos densos, dentro del material piroclástico.

**Geología:** conjunto organizado de conocimientos referentes a la Tierra; incluye tanto la geología física como la geología histórica.

**Ignimbrita:** el término ignimbrita tiene sus raíces en el latín *ignis* - fuego- e *imber*- lluvia- para describir a todas las rocas formadas a partir de un material caliente finamente fragmentado que se desplaza lateralmente a la superficie. Los depósitos ignimbríticos corresponden al colapso gravitatorio continuo de una columna eruptiva pliniana. Estas columnas eruptivas debieran tener la altura y densidad suficientes para producir el desplome de parte de la misma y su evolución como flujo de alta densidad controlado por la gravedad bajando las laderas del volcán. Es todo aquel depósito o roca formada por flujos piroclásticos pumíceos independientemente de su grado de soldadura.

**Intemperismo:** reacción de los materiales que alguna vez estuvieron en equilibrio dentro de la corteza de la Tierra, a las nuevas condiciones en o cerca del contacto con el agua, aire o materia viviente.

**Intemperismo mecánico o físico:** proceso mediante el cual una roca se rompe en fragmentos cada vez más pequeños como resultado de la energía desarrollada por fuerzas físicas. Se le conoce también como desintegración.

**Intemperismo químico:** el intemperismo de las rocas debido a procesos que transforman el material original en nuevas combinaciones químicas. Así, el intemperismo químico de la

ortoclasa produce arcilla, algo de sílice y una sal soluble de potasio.

**Lapilli:** todo fragmento volcánico entre 2mm y 64 mm de diámetro.

**Lapilli acrecional:** es un caso especial de partículas tamaño lapilli formadas por un agregado concéntrico de capas de ceniza volcánica. Su origen es a partir de gotas de agua cayendo a través de una nube o columna eruptiva, o bien por atracción electrostática.

**Lava:** magma que ha escurrido sobre la superficie terrestre, o roca que se ha solidificado a partir del material original que es el magma.

**Magma:** silicatos fundidos que se presentan en forma natural, que pueden tener cristales de silicatos en suspensión o gases disueltos, o ambos. Estas condiciones se pueden encontrar en general en una mezcla que contenga hasta 15 por ciento de cristales, pero no más del 11 por ciento de gases disueltos.

**Maficos:** Minerales oscuros ricos en elementos ferromagnésicos; asociados a magmas de baja viscosidad.

**Mineral:** elemento o compuesto sólido que se presenta naturalmente. Tiene una composición definida y un arreglo interno ordenado de sus átomos, conocido como estructuras cristalinas, lo que da propiedades físicas y químicas únicas, incluyendo la tendencia a adoptar ciertas formas geométricas llamadas cristales.

**Piroclasto:** se refiere al origen de los fragmentos a partir de una erupción volcánica explosiva.

**Pómez:** es vidrio altamente vesiculado, generalmente de composiciones intermedias a ácidas con una densidad menor que 1 gr/cm<sup>3</sup>. Las paredes de las vesículas generalmente están forradas por vidrio traslúcido.



**Riolita:** roca ígnea de grano fino con la composición del granito.

**Roca:** agregado de minerales de diferentes clases en proporciones variables.

**Roca ígnea:** agregado de silicatos minerales entrelazados, formados por el enfriamiento y solidificación del magma.  
**Roca ígnea plutónica:** roca formada por cristalización lenta, lo que produce una textura gruesa.

**Roca piroclástica:** rocas fragmentaria arrojada por una explosión volcánica y depositada por el aire o un flujo piroclástico, que se han litificado. Ejemplo: tobas, tobas brechadas, tobas líticas.

**Sedimentación:** proceso mediante el cual se asienta la materia orgánica y la mineral.

**Silicatos:** Minerales con estructura cristalina que contienen tetraedros de  $\text{SiO}_4$ , colocados, 1) como unidades aisladas, 2) como cadenas sencillas o dobles, 3) en láminas, o 4) en redes tridimensionales.

**Tefra:** nombre genérico para designar depósitos piroclásticos no consolidados que podrían incluir depósitos de flujos piroclásticos.

**Textura:** aspecto físico general de una roca, según se ve por el tamaño, forma y disposición de las partículas que constituyen la roca.

**Toba:** ceniza volcánica consolidada.

**Volcán:** forma terrestre desarrollada por la acumulación de productos magmáticos cerca de conducto central.

## BIBLIOGRAFIA

- Bommer J.J., Rolo R. y Fernández P. [1998] Propiedades mecánicas de la Tierra Blanca y la inestabilidad de taludes. Revista ASIA No 129, El Salvador.
- Breitzkreuz, C., U. Martin [2003] Introduction to physical volcanology and volcanic textures.
- Calderón, M.L., J.A Machuca Laínez [1995] Diseño de estabilización de un talud y relleno de la cabecera el Cacao del municipio de Santo Tomas. Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas", San Salvador, El Salvador.
- Calderón M.O., Paredes M.A., Rodríguez H. E. [1997] Evaluación de riesgo en términos de estabilidad de taludes para el área metropolitana de San Salvador. Trabajo de graduación para optar el grado de ing. Civil de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas.
- Cepeda José M., N. España, P. de Hasbund y W. García [2005] Curso Teórico-Practico de Geotecnia I.
- Coduto, Donald P.[2001] Foundation Design, Principles and Practices.
- Das, Braja M. [2006], Principios de Ingeniería de Cimentaciones.
- Dull R., j¿j. Southon, P. Sheets [2001], Volcanism, ecology and culture: A reassessment of the volcan Ilopango TBJ eruption in the southern Maya Realm.
- Escobar C. [2003], San Miguel and its Volcanic Hazards, El Salvador. Trabajo de graduación presentado para optar el grado de master of science in geology, Michigan Technological University, Estados Unidos.

- Escamilla, M. [1999] Fechamiento de la toba San Andrés a través del análisis cerámico Pre y Post Erupción del Boquerón. Sitio el Chauite Zapotitan. Tesis, universidad Tecnológica de El Salvador.
- Fisher, R.V. y H.U. Schmincke [1984] Pyroclastic Rocks.
- González L., M. Ferrer, L. Ortuño y C. Oteo [2002] Ingeniería Geológica.
- Hernández, E.W. [2007]. Aspectos geológicos y su influencia en las aguas subterráneas, sismos y en la construcción civil en el área metropolitana de San Salvador.
- Hernández, E.W. [2004] Características geomecánicas y vulcanológicas de las tefras Tierra Blanca Joven, Caldera de Ilopango, El Salvador. Trabajo de graduación presentado para optar el grado de maestría en tecnología geológicas, Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Jenny, H. [1941] Factors of soil formation.
- Leet L. Don, S. Judson [2004] Fundamentos de Geología Física.
- Major J.J., S.P. Schilling, D.J. Sofield, C.D. Escobar y C.R. Pulinger [2001] Riesgos volcánicos de la región de San Salvador, El Salvador. Investigación geológica de los Estados Unidos.
- Martí J., A. Pujadas., D. Ferrés López y J.M. Mallarach Carrera [2000] El Vulcanismo. Guia de camp de la Zona Volcánica de la Garrotxa.
- Petrinovic, I.A [2003] Curso Internacional de volcanología de campo de los Andes Centrales X edición.
- Robertson K., A. Flórez y J.L. Ceballos [2002] Geomorfología volcánica, actividad reciente y clasificación en Colombia.
- Sigurdsson, H. [2000] Encyclopedia of Volcanoes.

- Sofield, D.J., [1998], History and hazards of Volcán San Salvador, El Salvador: M.S. thesis, Michigan Technological University.
- White, J.[1991] Sedimentation in Volcanic setting, SEPM Special publication No 45.
- Centro regional de información sobre desastres América Latina y el Caribe. [www.crid.org.cr](http://www.crid.org.cr), Junio 2007
- Servicio Nacional de Estudios Territoriales. [www.snet.gob.sv](http://www.snet.gob.sv), Julio 2007.
- Universidad Autónoma de México, [www.geofisica.unam.mx](http://www.geofisica.unam.mx)
- Valvanera, 2000, [www.centros3.pntic.mec.es](http://www.centros3.pntic.mec.es)

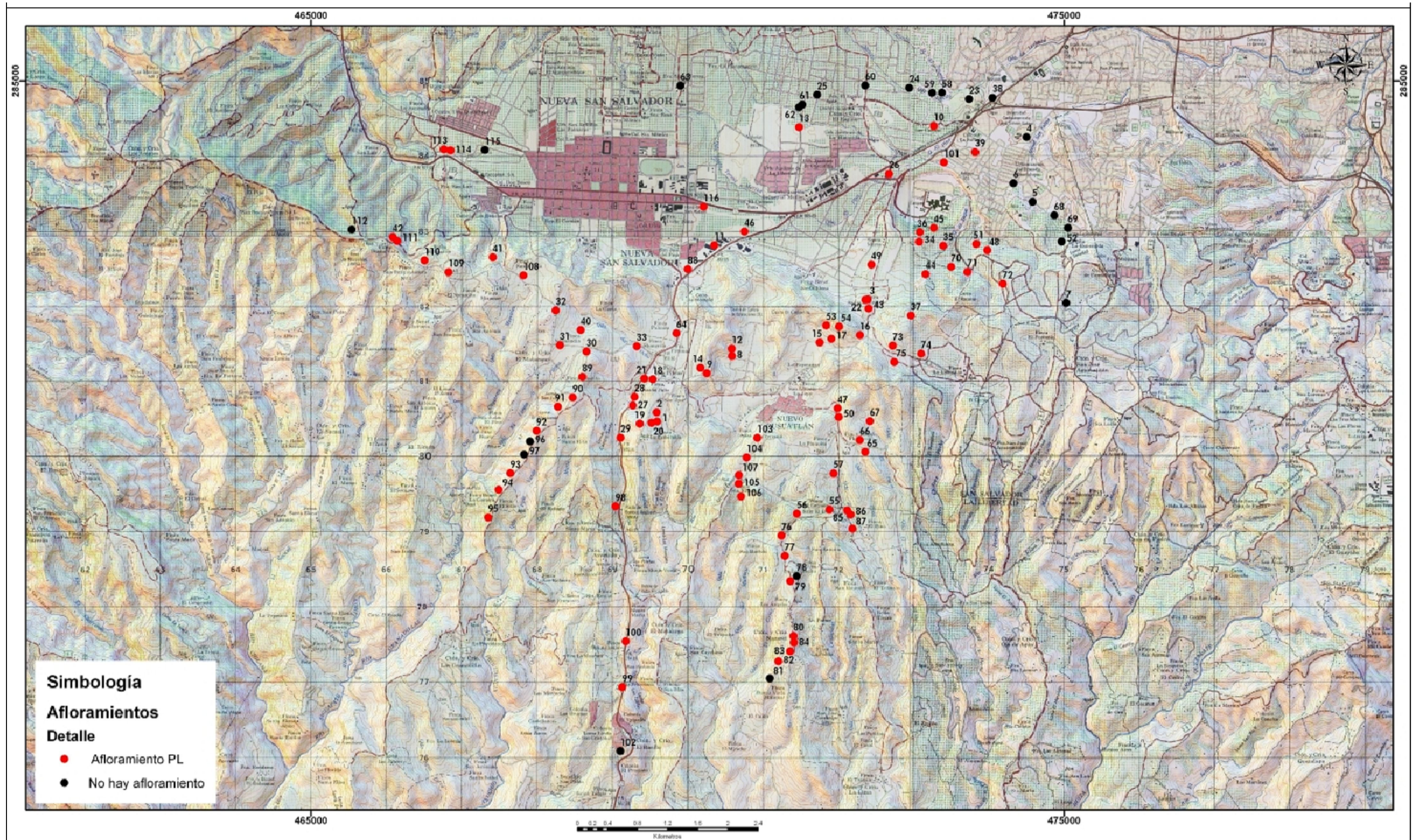


ANEXOS A.

Planos y mapas



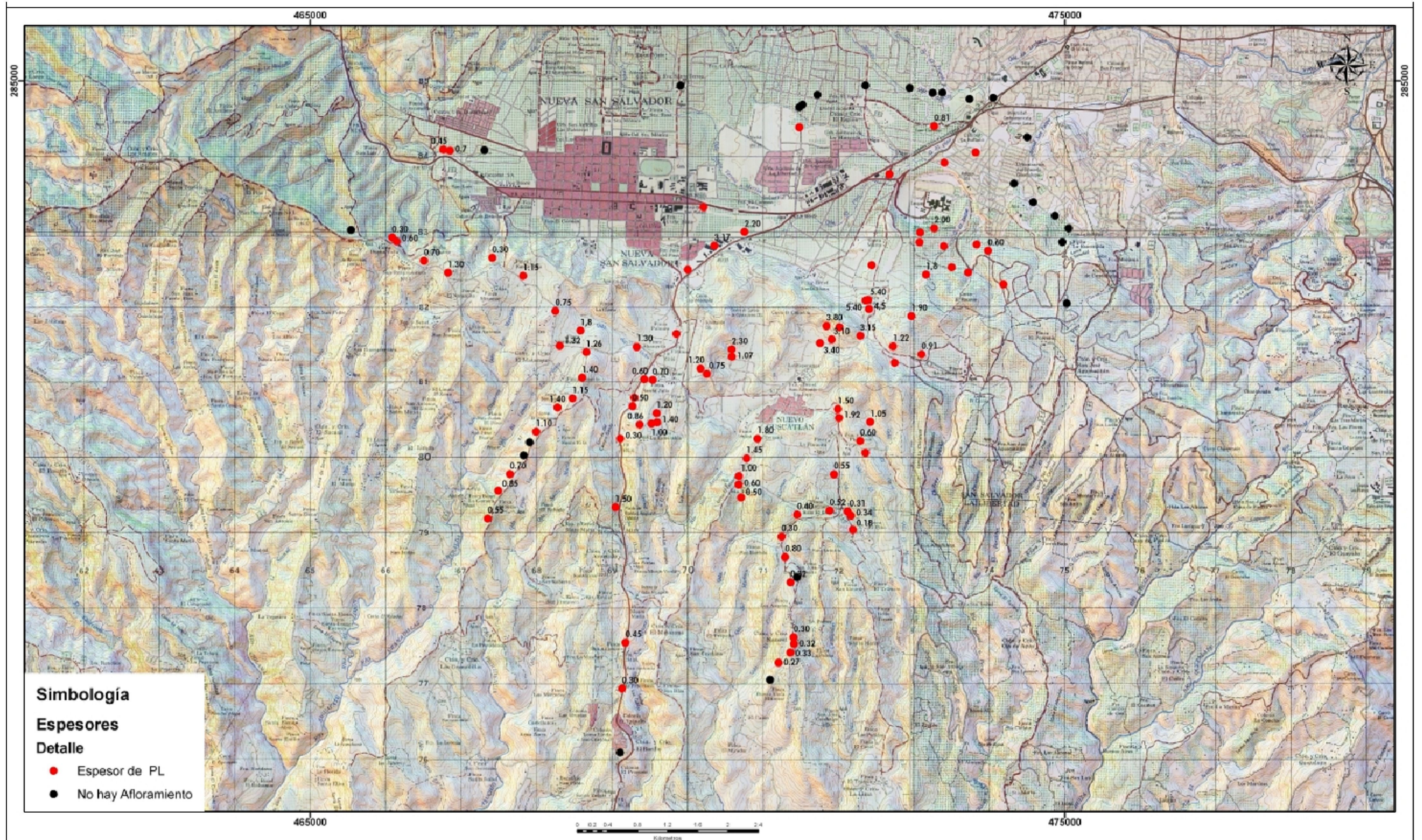
# Plano de afloramientos de Plan de la Laguna.



Escala 1:50,000

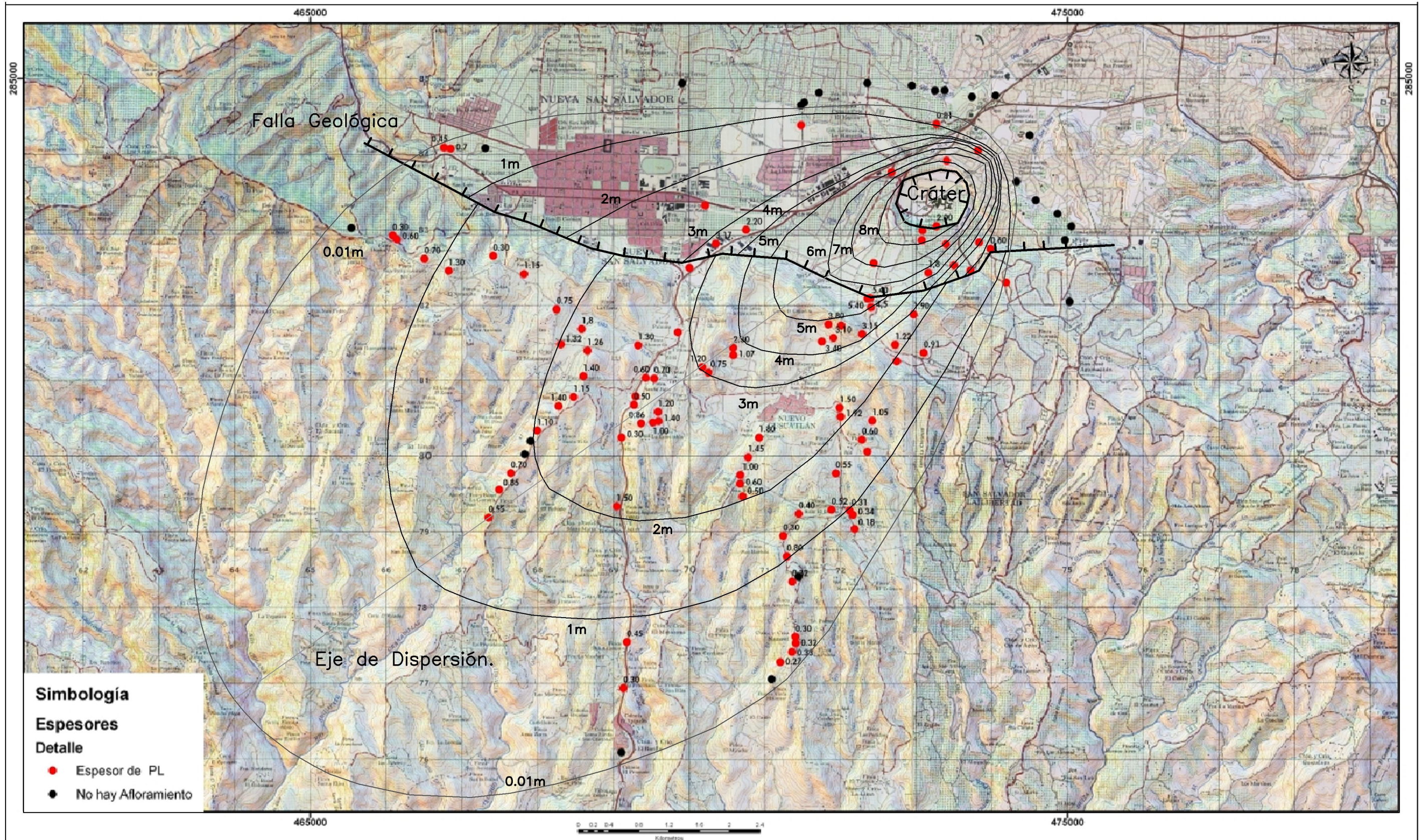


# Plano de espesores de afloramientos de Plan de la Laguna.





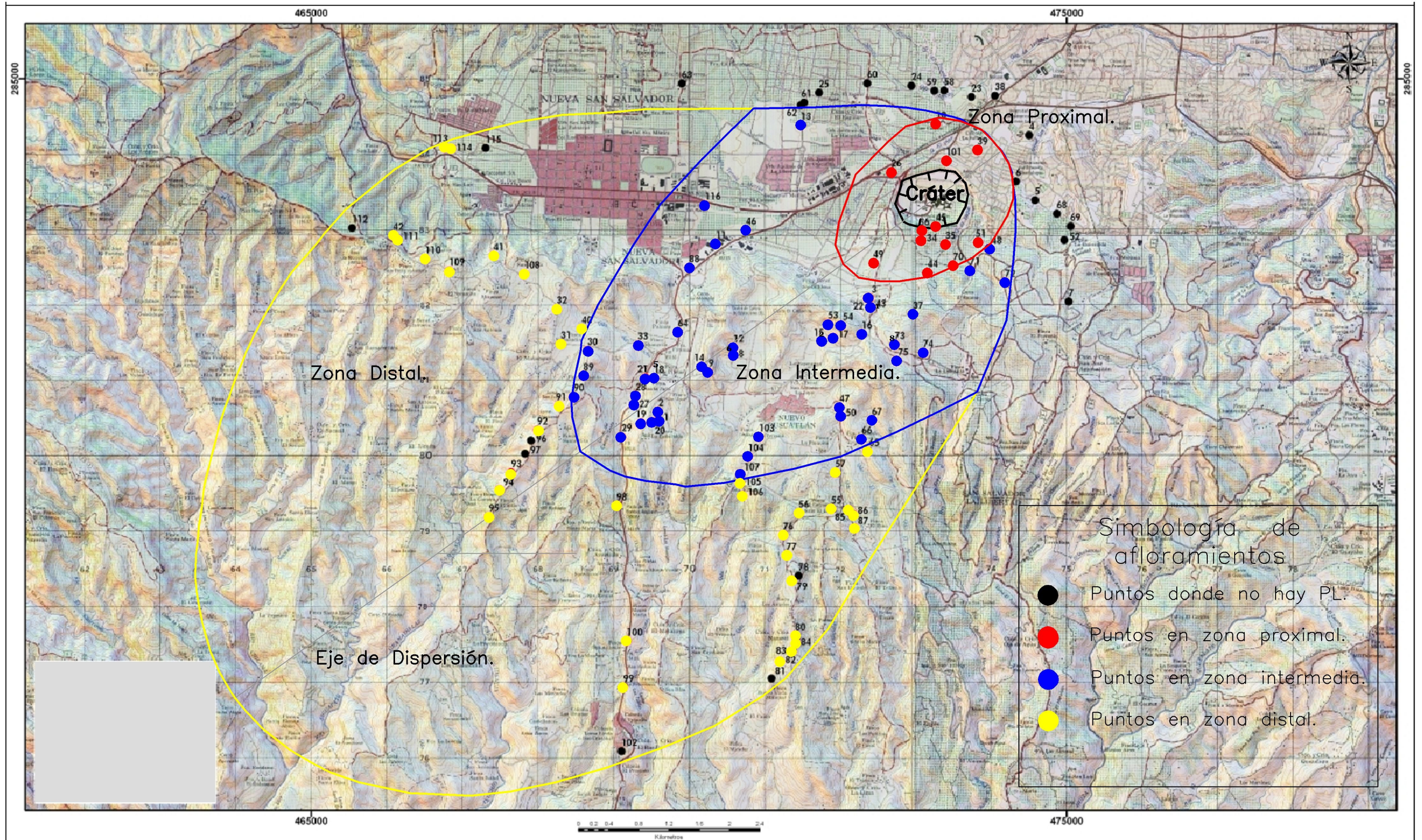
# Plano de isopacas de Plan de la Laguna.



Escala 1:50,000



# Plano de zonas de Plan de la Laguna.



Escala 1:50,000



# ANEXOS B.

## Puntos de afloramientos

Tabla de afloramientos de Plan de la Laguna (PL)						
Correlativo	N (°)	W (°)	Espesor Total (m)	Fecha de Medicion	Ubicación de Afloramiento	Personal
1	13.644560	89.281000	1.40	29-Nov-06	Res. Los Sueños	WH, AC, DFr y RM
2	13.645670	89.281050	1.20	29-Nov-06	Res. Los Sueños	WH, AC, DFr y RM
3	13.659280	89.255170	5.40	24-Ene-07	Edif.nuevo TACA, Sta Elena	WH
4	13.678780	89.235680	0.00	10-Feb-07	UCA Caseta máquina Universal	WH
5	13.671020	89.234950	0.00	13-Feb-07	Urb. Zeta	WH
6	13.673240	89.237290	0.00	13-Feb-07	Universidad Don Bosco, Ant. Cuscatlán	WH, Pablo Alas
7	13.658880	89.230820	0.00	16-Feb-07	Orden de Malta cerca redondel desliz. Rotac.	WH
8	13.652450	89.271820	1.07	21-Feb-07	Parque Florida, Nvo Cuscatl.	WH, SB, CP
9	13.650400	89.274900	0.75	21-Feb-07	Parque Florida, Nvo Cuscatl.	WH, SB, CP
10	13.680110	89.247070	0.81	21-Feb-07	Multiplaza fase II	WH, Adrian
11	13.665750	89.274000	3.17	23-Abr-07	Fte. B.Fomento Agrop. Car. La Lib.	WH, KM, CV
12	13.653330	89.271850	2.30	23-Abr-07	Urb. La Florida	WH, KM, CV
13	13.679960	89.263600	>1.5	23-Abr-07	Terreno valdío contiguo Gran Bazar	WH, KM, CV
14	13.651040	89.275670	1.20	23-Abr-07	Urb. La Florida	WH, KM, CV
15	13.654090	89.261050	3.40	23-Abr-07	Nueva San Salvador, debajo Lomas Sta Elena	WH, KM, CV
16	13.654970	89.256120	3.15	27-Abr-07	Lomas de Santa Elena	KM, CV
17	13.654530	89.259630	3.10	27-Abr-07	Lomas de Santa Elena	KM, CV
18	13.649650	89.281550	0.70	03-May-07	Residencial Los Sueños	KM, CV
19	13.644300	89.283110	0.86	03-May-07	Residencial Los Sueños	KM, CV
20	13.644400	89.281700	1.00	03-May-07	Residencial Los Sueños	KM, CV
21	13.649730	89.282580	0.60	03-May-07	Residencial Los Sueños	KM, CV
22	13.659210	89.255450	5.40	04-May-07	Proyecto Taca, Santa Elena.	KM, CV
23	13.683350	89.242733	0.00	08-May-07	Diego de Holguín	KM, CV
24	13.684700	89.250080	0.00	08-May-07	Diego de Holguín	KM, CV
25	13.683850	89.261400	0.00	08-May-07	Diego de Holguín	KM, CV
26	13.674360	89.252550	>3	09-May-07	Quebrada el piro frente a Esso	KM, CV
27	13.646510	89.284000	0.50	09-May-07	Residencial los Sueños.	KM, CV
28	13.647530	89.283780	>1.38	09-May-07	Residencial los Sueños	KM, CV
29	13.642633	89.285500	0.30	09-May-07	Carretera al Puerto de La Libertad	KM, CV

30	13.652970	89.289690	1.26	09-May-07	Car.a Comasagua, Alturas de Tenerife	KM, CV
31	13.653733	89.292930	1.32	09-May-07	Carretera a comasagua, antes de la Curva	KM, CV
32	13.657916	89.293460	0.75	09-May-07	Comunidad Altos del Matazano.Comasagua	KM, CV
33	13.653616	89.283500	1.30	09-May-07	Comasagua, antes de llegar a ESEN	KM, CV
34	13.666210	89.248850	>6.6	11-May-07	Cumbres de Cuscatlan,Santa Elena	KM, CV
35	13.665730	89.245890	>6.21	18-May-07	Parqueo fte Lab.Ancalmo, Nvo Cuscatl.	WH, KM, CV
36	13.667360	89.248790	>6.1	18-May-07	Cumbres de Cuscatlan,Santa Elena	WH, KM, CV
37	13.657340	89.249860	1.90	21-May-07	Res. Vista al Valle	WH, KM
38	13.683520	89.239860	0.00	07-May-07	Frente hotel Siesta y Paso desnivel Proceres	WH
39	13.676990	89.242000	>2	25-May-07	Col. La Sultana Av. Las Palmeras y C. Las Rosas	WH
40	13.655556	89.290389	1,8	05-May-04		DF
41	13.664278	89.301194	0.30	12-May-04		DF
42	13.666694	89.313472	0.30	12-May-04		DF
43	13.658194	89.255056	4,5	23-Sep-04		DF
44	13.662333	89.248056	1,8	23-Sep-04		DF
45	13.667889	89.247056	2.00	23-Sep-04		DF
46	13.667417	89.270306	1,7 - 2,2	20-Abr-05		DF
47	13.646194	89.258833	1.50	17-Ene-06		DF
48	13.665194	89.240472	0.3 - 0.6	13-Feb-06		DF
49	13.663444	89.254722	1.50	13-Feb-06		DF
50	13.645130	89.258720	1.92	11-Jun-07	Col. Florencia, calle Nvo Cusc. A Huizucar Fte Cancha.	WH
51	13.665944	89.241861	>4	15-Jun-07	C.Conchagua, Cumbres Cuscatlán, Ant. Cuscatlán.	WH
52	13.666250	89.231361	0.00	15-Jun-07	C. Conchagua, Cumbres de Cuscatlán, Ant. Cuscatlán	WH
53	13.656150	89.260250	3.80	19-Jun-07	Res. Emerald La Florida	WH
54	13.656000	89.258680	>2	19-Jun-07	Res. Emerald La Florida	WH
55	13.634020	89.259830	0.52	26-Jun-07	Cton Sn Antonio, Nvo. Cuscatlan	WH
56	13.633530	89.263820	0.40	26-Jun-07	Cton Sn Antonio, Nvo. Cuscatlan	WH
57	13.638370	89.259320	0.55	26-Jun-07	Cton Sn Antonio, Nvo. Cuscatlan	WH
58	13.684130	89.246070	0.00	28-Jun-07	Blvd Diego de Holguin, Col. San Benito	WH, CV
59	13.684090	89.247260	0.00	28-Jun-07	Blvd Diego de Holguin, Col. San Benito	WH, CV
60	13.684980	89.255500	0.00	28-Jun-07	Blvd Diego de Holguin, esquina NW Esc. Militar	WH, CV

61	13.682670	89.263230	0.00	28-Jun-07	interconexion con Blvd D. Holguin, Superselectos Platillo	WH, CV
62	13.682350	89.263610	0.00	28-Jun-07	50 m aguas arriba boveda interco D.Holguin, SSelectos	WH, CV
63	13.684920	89.278180	0.00	28-Jun-07	En D. Holguin contiguo Res. Asturias, S.Tecla	WH, CV
64	13.655180	89.278630	>2.67	28-Jun-07	En corte car. Frente mojón K12 al Pto. LLibertad	WH, CV
65	13.640950	89.255450	0.00	05-Jul-07	Calle Nvo Cuscatlan a Huizucar	WH, WG
66	13.642380	89.256110	0.60	05-Jul-07	Calle Nvo Cuscatlan a Huizucar	WH, WG
67	13.644640	89.254880	1.05	05-Jul-07	Calle Nvo Cuscatlan a Huizucar	WH, WG
68	13.669390	89.232280	0.00	09-Jul-07	Urb. Cumbres de la Esmeralda	WH, Cvasquez
69	13.667900	89.230610	0.00	09-Jul-07	Urb. Cumbres de la Esmeralda	WH, CV
70	13.663200	89.244930	>3.5	09-Jul-07	Urb. Cumbres de la Esmeralda	WH, CV
71	13.662600	89.242920	>1.0	09-Jul-07	Urb. Cumbres de la Esmeralda	WH, CV
72	13.661170	89.238580	0.00	09-Jul-07	Urb. Cumbres de la Esmeralda	WH, CV
73	13.653720	89.252090	1.22	16-Jul-07	Finca La Labranza	WH, KM
74	13.652760	89.248600	0.91	16-Jul-07	Finca La Labranza	WH, KM
75	13.651760	89.251910	>0.88	16-Jul-07	Finca La Labranza	WH, KM
76	13.630890	89.265720	0.30	16-Jul-07	Finca La Labranza	WH, KM
77	13.628450	89.265300	0.80	16-Jul-07	Finca La Labranza	WH, KM
78	13.626020	89.263830	0.00	16-Jul-07	Nuevo Cuscatlán	WH, KM
79	13.625430	89.264630	0.32	16-Jul-07	Cancha futbol, Cton Nazareth	WH, KM
80	13.618830	89.264220	0.30	16-Jul-07	Cton Nazareth	WH, KM
81	13.613750	89.267130	0.00	16-Jul-07	Nuevo Cuscatlan	WH, KM
82	13.615790	89.266080	0.27	16-Jul-07	Nuevo Cuscatlan	WH, KM
83	13.617010	89.264650	0.33	16-Jul-07	Nuevo Cuscatlan	WH, KM
84	13.618040	89.264180	0.32	16-Jul-07	Nuevo Cuscatlan	WH, KM
85	13.633920	89.257640	0.31	16-Jul-07	Crio El Pino	WH, KM
86	13.633420	89.257220	0.34	16-Jul-07	Al finca Florencia	WH, KM
87	13.631720	89.257010	0.18		Nuevo Cuscatlán	WH, KM
88	13.662880	89.277240	>2.7	25-Jul-07	En redondel, cerca de tipicos Margoth	WH, KM
89	13.649930	89.290180	1.40	25-Jul-07	Carretera a comasagua por lomas de tenerife	WH, KM
90	13.647440	89.291350	1.15	25-Jul-07	Carretera de comasagua a la libertad_en casa	WH, KM y CV
91	13.646340	89.293180	1.40	25-Jul-07	Carretera de comasagua a la libertad_en el arbol	WH, KM y CV

92	13.643440	89.295800	1.10	25-Jul-07	Carretera de comasagua a la libertad_zapato	WH, KM y CV
93	13.638340	89.299010	0.70	25-Jul-07	Carretera de comasagua a la libertad_mirador	WH, KM y CV
94	13.636360	89.300420	0.85	25-Jul-07	Carretera de comasagua a la libertad_en curva	WH, KM y CV
95	13.633030	89.301710	0.55	25-Jul-07	Carretera de comasagua a la libertad_en curva	WH, KM y CV
96	13.642180	89.296600	0.00	25-Jul-07	Carretera de comasagua a la libertad	WH, KM y CV
97	13.640590	89.297310	0.00	25-Jul-07	Carretera de comasagua a la libertad_marca 1+900	WH, KM y CV
98	13.634380	89.286090	1.50	25-Jul-07	Carretera a la Libertad	CV, KM
99	13.612660	89.285240	0.30	25-Jul-07	Carretera a la Libertad	CV, KM
100	13.618170	89.284830	0.45	25-Jul-07	Carretera a la libertad	CV, KM
101	13.675740	89.245830	>6.21	18-May-07	Antiguo Cuscatlan. Arco Café.	CV, KM
102	13.604990	89.285470	0.00	25-Jul-07	Carretera a la Libertad	CV, KM
103	13.642630	89.268680	1.80	01-Ago-07	Altos de Cuscatlan.	CV, KM
104	13.640270	89.270020	1.45	01-Ago-07	Altos de Cuscatlan.	CV, KM
105	13.637120	89.270980	0.60	01-Ago-07	Altos de Cuscatlan.	CV, KM
106	13.635590	89.270700	0.50	01-Ago-07	Altos de Cuscatlan.	CV, KM
107	13.638160	89.270960	1.00	01-Ago-07	Altos de Cuscatlan.	CV, KM
108	13.662120	89.297420	1.15	01-Ago-07	Carretera a Comasagua	CV, KM
109	13.662490	89.306630	1.30	01-Ago-07	Carretera a Comasagua	CV, KM
110	13.663910	89.309580	0.70	01-Ago-07	Carretera a Comasagua	CV, KM
111	13.666240	89.312930	0.60	01-Ago-07	Carretera a Comasagua	CV, KM
112	13.666900	89.313990	0.00	08-Ago-07	Carretera a Comasagua	WH, CV
113	13.677250	89.307230	0.45	08-Ago-07	Salida Santa Tecla	WH, CV
114	13.677120	89.306400	0.60	08-Ago-07	Salida Santa TEcla	WH, CV
115	13.677170	89.302170	0.00	08-Ago-07	Inicio Diego de Holguin.	WH, CV

AC: Ariana Conesa

SB: Scott Baxter

CP: Carlos Pullinger

WH: Walter Hernández

CV: Carlos Vásquez

WG: Walter García.

DF: Dolores Ferrés

DFr: David Freire

KM: Karla Marroquín

PA: Pablo Alas

RM: Ricardo Mata





# Anexo C

## Cálculo de volumen

**CALCULO DEL VOLUMEN DE LA ERUPCIÓN.**

1) Densidad ponderada de zona intermedia.

Calculo de la densidad ponderada de la zona intermedia								
Densidad U1 1400 kg/m3			Densidad U2: 1540 kg/m3			Densidad U3: 1590 kg/m3		
P. Aflor	U1	U2	U3	total	% de U1	% de U2	% U3	densidad ponderada
11	0.57	2.00	0.60	3.17	0.18	0.63	0.19	1524.290221
12	0.27	0.62	1.41	2.30	0.12	0.27	0.61	1554.217391
14	0.09	0.45	0.72	1.26	0.07	0.36	0.57	1558.571429
15	0.25	2.17	0.98	3.40	0.07	0.64	0.29	1544.117647
16	0.21	2.09	0.85	3.15	0.07	0.66	0.27	1544.15873
17	0.25	2.25	0.60	3.10	0.08	0.73	0.19	1538.387097
19	0.05	0.38	0.43	0.86	0.06	0.44	0.50	1556.860465
31	0.00	0.40	0.92	1.32	0.00	0.30	0.70	1574.848485
32	0.00	0.30	0.45	0.75	0.00	0.40	0.60	1570
33	0.00	0.40	0.90	1.30	0.00	0.31	0.69	1574.615385
37	0.60	0.67	0.63	1.90	0.32	0.35	0.33	1512.368421
73	0.10	0.65	0.43	1.18	0.08	0.55	0.36	1546.355932
74	0.06	0.51	0.34	0.91	0.07	0.56	0.37	1549.450549
89	0.13	0.77	0.50	1.40	0.09	0.55	0.36	1544.857143
90	0.00	0.32	0.83	1.15	0.00	0.28	0.72	1576.086957
91	0.00	0.40	1.00	1.40	0.00	0.29	0.71	1575.714286
92	0.10	0.32	0.68	1.10	0.09	0.29	0.62	1558.181818
103	0.10	0.55	1.15	1.80	0.06	0.31	0.64	1564.166667
104	0.00	0.45	1.00	1.45	0.00	0.31	0.69	1574.482759
								Densidad ponderada= 1550.085106

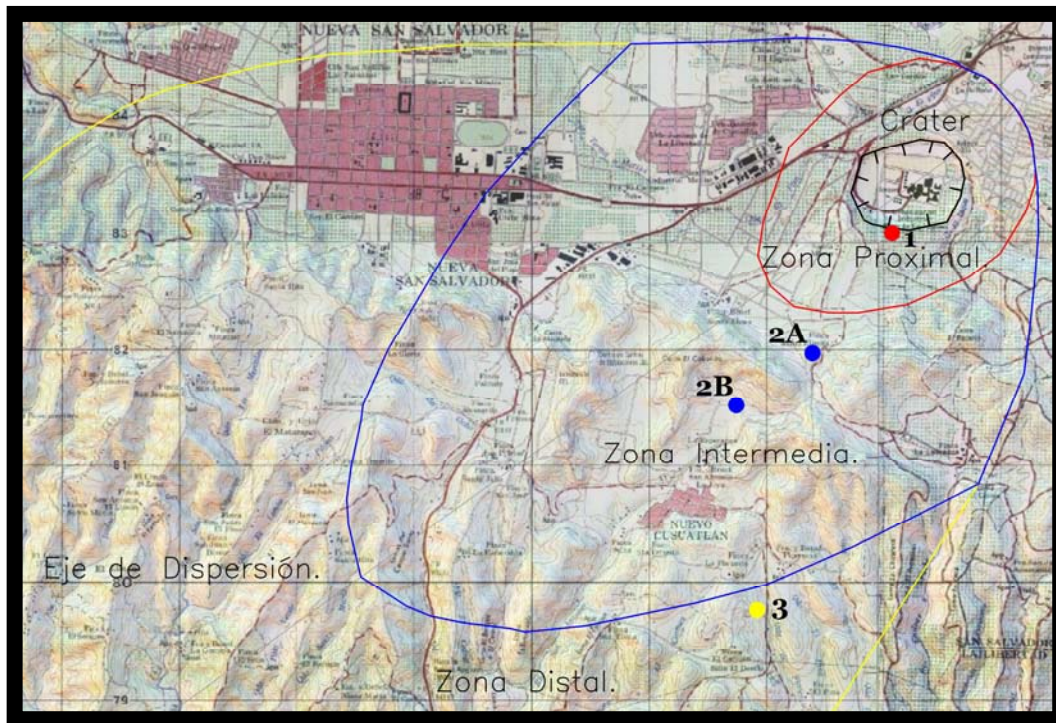
2) Cálculo de áreas, volúmenes y volumen equivalente en roca de la erupción.

CALCULO DE VOLUMEN PARA DEPÓSITO DE PLAN DE LA LAGUNA.				
Espesor (m)	Area (km2)	Volumen [km3]	Densidad(kg/m3)	Masa
8	0.2661	0.0021288	810	1.72433
7.5	0.718	0.005385	810	4.36185
6.5	0.879	0.0057135	810	4.62794
5.5	1.7238	0.0094809	1550.085106	14.6962
4.5	1.8335	0.00825075	1550.085106	12.7894
3.5	2.5723	0.00900305	1550.085106	13.9555
2.5	12.0497	0.03012425	1550.085106	46.6952
1.5	20.067	0.0301005	1370	41.2377
0.5	33.3606	0.0166803	1370	22.852
	Magma_vol (Kg/m3)	0.11686705	Masa_depósito ( Km3*kg/m3)	162.94
Bulk Rock Equivalent volume [BRE]				
Densidad de andesita:	2350	kg/m3	BRE(km3) =	<b>0.06934</b>

# Anexo D

## Pruebas Geotécnicas

**MAPA Y TABLA DE UBICACIÓN DE EXTRACCIÓN DE MUESTRAS**



Punto	N	W	Ubicación	ZONA
1'	13.666210	-89.248850	Cumbres de Cuscatlan.	Proximal.
2A	13.659210	-89.255450	Edificio TACA.	Intermedia.
2B	13.654210	-89.261000	Lomas Sta Elena.	
3'	13.638400	-89.259340	Finca El Carmen.	Distal.

## ZONA PROXIMAL

Pto No.	Distancia al Cráter m.	Descripción	Profundidad de Extracción. m.	Clasificación del Suelo SUCS	Granulometría.			W %	Gs	PVSmáx g/cm <sup>3</sup>	PVSmín g/cm <sup>3</sup>	Relación de Vacíos		Porosidad	
					Porcentajes	Cc	Cu					e <sub>máx.</sub>	e <sub>mín.</sub>		
1	580	Escoria Estratificada Porción Inferior.	5.00	<b>GW</b> Grava bien graduada con arena.	Grava : 54.12 % Arena : 43.76 % Fino : 1.92 %	1.3	5.6	21.86	1.78	0.83	0.73	1.14	1.44	0.53	0.59
		Escoria No Estratificada Porción Superior	2.00	<b>GW</b> Grava bien graduada con arena.	Grava : 55.21 % Arena : 44.04 % Fino : 0.48 %	1.2	6.2	26.12	1.66	0.79	0.69	1.10	1.41	0.52	0.58

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

Cc: Coeficiente de curvatura.

Gs: Gravedad Especifica

W: Contenido de Humedad.

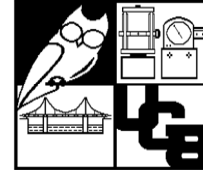
Cu: Coeficiente de uniformidad.

PVSmáx: Peso Volumétrico Máximo

PVSmín: Peso Volumétrico Mínimo.

**PORCIÓN INFERIOR. ESCORIA ESTRATIFICADA**

**LABORATORIO DE MECÁNICA  
ESTRUCTURAL UCA**



**ENSAYO :** ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. MÉTODO MECÁNICO ASTM  
C 422-63

**LOCALIZACIÓN DEL SONDEO:** Cumbres de Cuscatlán. Porción Inferior de Zona Proximal

**DESCRIPCIÓN DEL SUELO:** Grava Estratificada

**PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA:** 5.00 m.

**TAMAÑO MÁX.. DE LA PARTÍCULA:** 25.4 mm.

**PESO TOTAL DE LA MUESTRA:** 3205.0 g.

FRACCIÓN	PESO DE FRACCIÓN RETENIDO (g)	PORCENTAJE DE FRACCIÓN.
Grava	1734.6	54.12
Arena	1402.5	43.76
Fino	61.5	1.92
Suma	3198.6	99.80

Porcentaje de error:  
%Error 0.20 Si cumple

COMPOSICIÓN DE FINOS

Peso muestra antes de lavar: 3205.00

Peso después de lavado W<sub>1</sub>: 3147.00

Perdida por lavado W<sub>1</sub>: 58.00

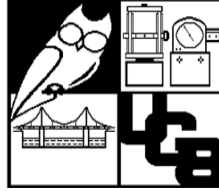
COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE GRAVAS (G)

MALLA (in)	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA
2	50.80	0.00	0.0	100.0
1 1/2	38.10	0.00	0.0	100.0
1	25.40	33.50	1.0	99.0
3/4	19.05	50.70	1.6	97.4
3/8	9.53	528.00	16.5	80.9
N. 4	4.76	1122.40	35.0	45.9

COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE ARENAS (A)

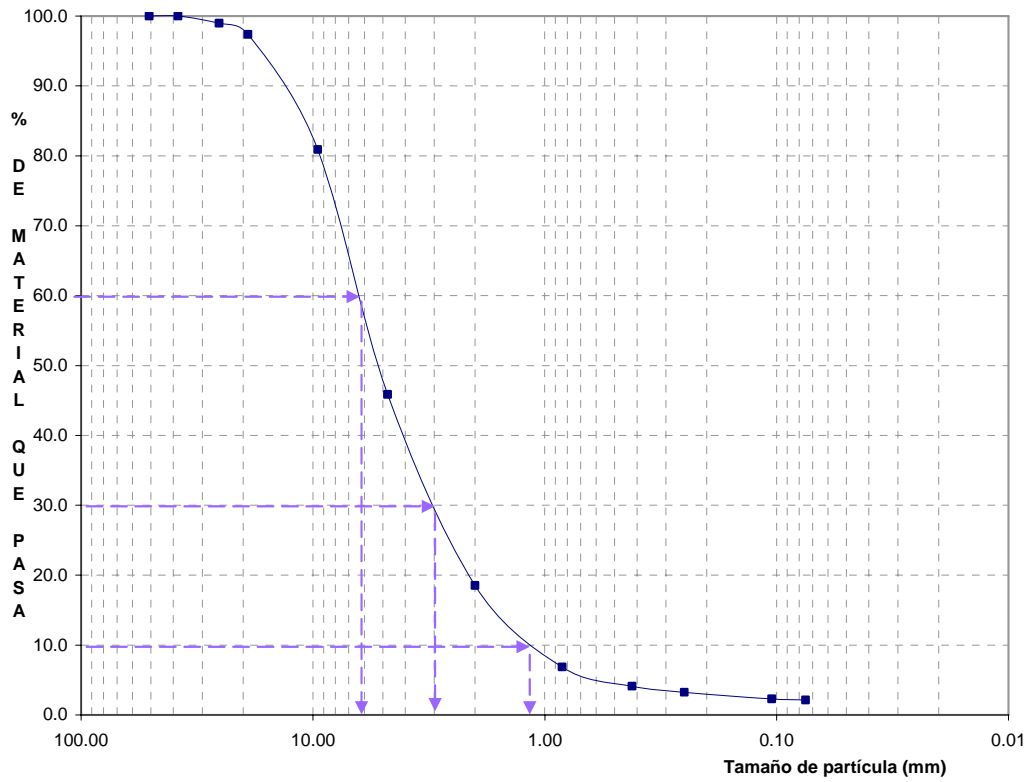
MALLA N.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA
10	2.000	877.00	27.4	18.5
20	0.841	373.50	11.7	6.9
40	0.420	88.50	2.8	4.1
60	0.250	28.00	0.9	3.2
140	0.105	29.50	0.9	2.3
200	0.075	6.00	0.2	2.1
PASA N. 200 (finos)		3.5	0.1	2.0
SUMA	WFL:	3140.60		

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



ENSAYO : ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. MÉTODO MECÁNICO  
ASTM C 422-63

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: Cumbres de Cuscatlán. Porción Inferior de Zona Proximal.  
 PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA: 5.00 m.  
 FECHA: 29 Mayo 2007.



LOGARITMO DEL DIÁMETRO DE LAS PARTÍCULAS (mm)

$D_{10} = \underline{1.100} \text{ mm}$

$D_{30} = \underline{3.000} \text{ mm}$

$D_{60} = \underline{6.200} \text{ mm}$

$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \underline{5.6}$

$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}} = \underline{1.3}$

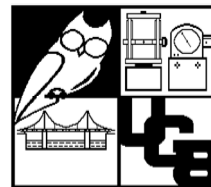
- \* GRAVAS 54.12
- \* ARENAS 43.76
- \* FINOS: 1.92

OBSERVACIÓN: La clasificación del suelo es:  
GW Grava Bien Graduada con arena

TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULA: 25.4 Mm.



# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



**ENSAYO :** GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SÓLIDOS DEL  
SUELO ASTA D854-02

**UNIDAD:** Porción Inferior. Zona Proximal.

**PROFUNDIDAD:** 5.0 m.

Grava estratificada.

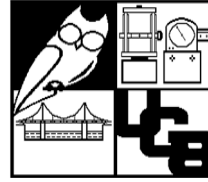
**FECHA:** 20 Junio 2007.

### DETERMINACIÓN:

DETERMINACIÓN N	B	4.0
Masa Inicial ( g )	103.0	100.0
MS ( g )	101.0	101.6
TEMPERATURA (a.C.)	25.6	25.6
Mpw,t	681.2	667.1
Mpws,t	741.04	726.84
$G_s = \frac{M_s}{M_{pw,t} - (M_{pws,t} - M_s)}$	2.45	2.43
Factor de corrección correspondiente a la temperatura de ensayo Tt, Gt	0.99868	0.99868
GRAVEDAD ESPECIFICA ( 20 C)	2.45	2.43
GRAVEDAD ESPECIFICA ( 20 C)	2.44	

**NOTACIÓN:** Ms: Masa de los sólidos secados al horno, g  
Mpw,t: Masa del matraz y del agua a la temperatura Tt  
Mpws,t: Masa del matraz, agua y sólidos del suelo a la temperatura Tt

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



**ENSAYO :** GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO  
AGREGADO GRUESO ASTM C-127

**UNIDAD:** Grava Estratificada.

**PROFUNDIDAD:** 5.0 m

Porción Inferior Zona Proximal.

**FECHA:** 15 Junio 2007.

**DETERMINACIÓN:**

DETERMINACIÓN N	GPS1	GP2
Wo ( g )	841	812.00
Wl ( g )	980	986.00
Ws ( g )	426.00	397.00
TEMPERATURA °C	24.1	24.1
$G_s = \frac{W_o}{W_l - W_s}$	1.52	1.38
GRAVEDAD ESPECIFICA 20°C	1.45	

**NOTACIÓN:**

Wo: Peso en aire secada al horno.

Wl: Peso en aire de la muestra saturada superficialmente seca.

Ws: Peso en agua de la muestra saturada superficialmente seca.

R	54.12
P	45.68
G1	1.45
G2	2.44
GRAVEDAD ESPECIFICA	1.78

R: Porcentaje retenido en el tamiz No4

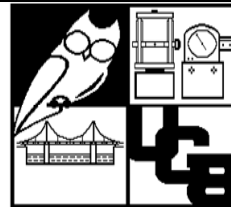
P: Porcentaje que pasa el tamiz No 4

G1: Gravedad Especifica según C 127

G2: Gravedad Especifica según D 854

$$G = \frac{1}{\frac{R}{100G1} + \frac{P}{100G2}}$$

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



**ENSAYO :** DETERMINACIÓN DE PESO VOLUMÉTRICO.  
ASTM C 29-84

**LOCALIZACIÓN DEL SONDEO:** Cumbres de Cuscatlán.  
**DESCRIPCIÓN DEL SUELO:** Escoria Estratificada. Porción Inferior Zona Proximal.  
**PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA:** 5.00 m.

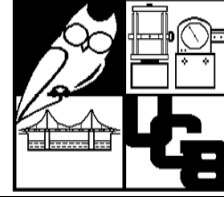
Dimensiones del recipiente:

Diámetro:		Altura:	
D1: 203.78 mm		A1: 290.51 mm	
D2: 203.38 mm	Diámetro Prom.: 203.69 mm	A2: 290.31 mm	Altura Prom.: 290.24 mm
D3: 203.90 mm		A3: 289.90 mm	

Volumen de Recipiente: 9457412.87 mm<sup>3</sup>      Peso del Recipiente: 4.994 Kg.  
0.0095 m<sup>3</sup>

ACOMODAMIENTO DEL MATERIAL	SUELTO	VARILLADO
PESO DEL RECIPIENTE + MATERIAL	11.98	12.81
PESO DEL MATERIAL	6.98	7.82
PESO VOLUMÉTRICO SUELTO	<b>738.26 Kg/m<sup>3</sup></b>	-
	<b>0.74 g/cm<sup>3</sup></b>	-
PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO	-	<b>826.55 Kg/m<sup>3</sup></b>
	-	<b>0.83 g/cm<sup>3</sup></b>

**LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL  
UCA**



ENSAYO : **DETERMINACIÓN DE PESO VOLUMÉTRICO.  
ASTM C 29-84**

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: Cumbres de Cuscatlán.

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Escoria Estratificada. Porción Inferior Zona Proximal.

PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA: 5.00 m.

Dimensiones del recipiente:

Diámetro:		Altura:	
D1: 203.78 mm		A1: 290.51 mm	
D2: 203.38 mm	Diámetro Prom.: 203.69 mm	A2: 290.31 mm	Altura Prom.: 290.24 mm
D3: 203.90 mm		A3: 289.90 mm	

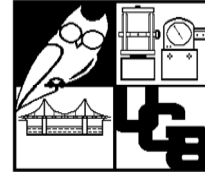
Volumen de Recipiente: 9457412.87 mm<sup>3</sup>      Peso del Recipiente: 4.994 Kg.  
0.0095 m<sup>3</sup>

ACOMODAMIENTO DEL MATERIAL	SUELTO	VARILLADO
PESO DEL RECIPIENTE + MATERIAL	11.83	12.88
PESO DEL MATERIAL	6.83	7.88
PESO VOLUMÉTRICO SUELTO	<b>722.40 Kg/m<sup>3</sup></b>	-
	<b>0.72 g/cm<sup>3</sup></b>	-
PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO	-	<b>833.42 Kg/m<sup>3</sup></b>
	-	<b>0.83 g/cm<sup>3</sup></b>

	Prueba 1	Prueba 2	Promedio.
Peso volumétrico Suelto:	0.74 g/cm <sup>3</sup>	0.72 g/cm <sup>3</sup>	0.73 Kg/m <sup>3</sup>
Peso volumétrico varillado:	0.83 g/cm <sup>3</sup>	0.83 g/cm <sup>3</sup>	0.83 Kg/m <sup>3</sup>

**PORCIÓN SUPERIOR. ESCORIA NO ESTRATIFICADA**

**LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL  
UCA**



**ENSAYO :** **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. MÉTODO MECÁNICO ASTM  
C 422-63**

**LOCALIZACIÓN DEL SONDEO:** Cumbres de Cuscatlán. Porción Superior Zona Proximal

**DESCRIPCIÓN DEL SUELO:** Escoria no estratificado

**PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA:** 2.00 m.

**TAMAÑO MÁX.. DE LA PARTÍCULA:** 25.4 mm.

**PESO TOTAL DE LA MUESTRA:** 3424.0 g.

FRACCIÓN	PESO DE FRACCIÓN RETENIDO (g)	PORCENTAJE DE FRACCIÓN.
Grava	1890.2	55.21
Arena	1507.8	44.04
Fino	16.3	0.48
Suma	3414.3	99.72

Porcentaje de Error:  
%Error 0.28 Si cumple

**COMPOSICIÓN DE FINOS**

Peso muestra antes de lavar:	<u>3424.00</u>
Peso después de lavado Wsl:	<u>3420.00</u>
Perdida por lavado Wl:	<u>4.00</u>

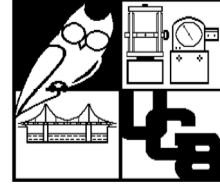
**COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE GRAVAS (G)**

MALLA (in)	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA
2	50.80	0.00	0.0	100.0
1 1/2	38.10	0.00	0.0	100.0
1	25.40	25.70	0.8	99.2
3/4	19.05	97.50	2.8	96.4
3/8	9.53	666.27	19.5	76.9
N. 4	4.76	1100.77	32.1	44.8

**COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE ARENAS (A)**

MALLA N.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA
10	2.000	937.50	27.4	17.4
20	0.841	326.20	9.5	7.9
40	0.420	132.60	3.9	4.0
60	0.250	55.30	1.6	2.4
140	0.105	39.20	1.1	1.3
200	0.075	17.00	0.5	0.8
PASA N. 200 (finos)		12.3	0.4	0.4
SUMA	WFL:	3410.34		

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA

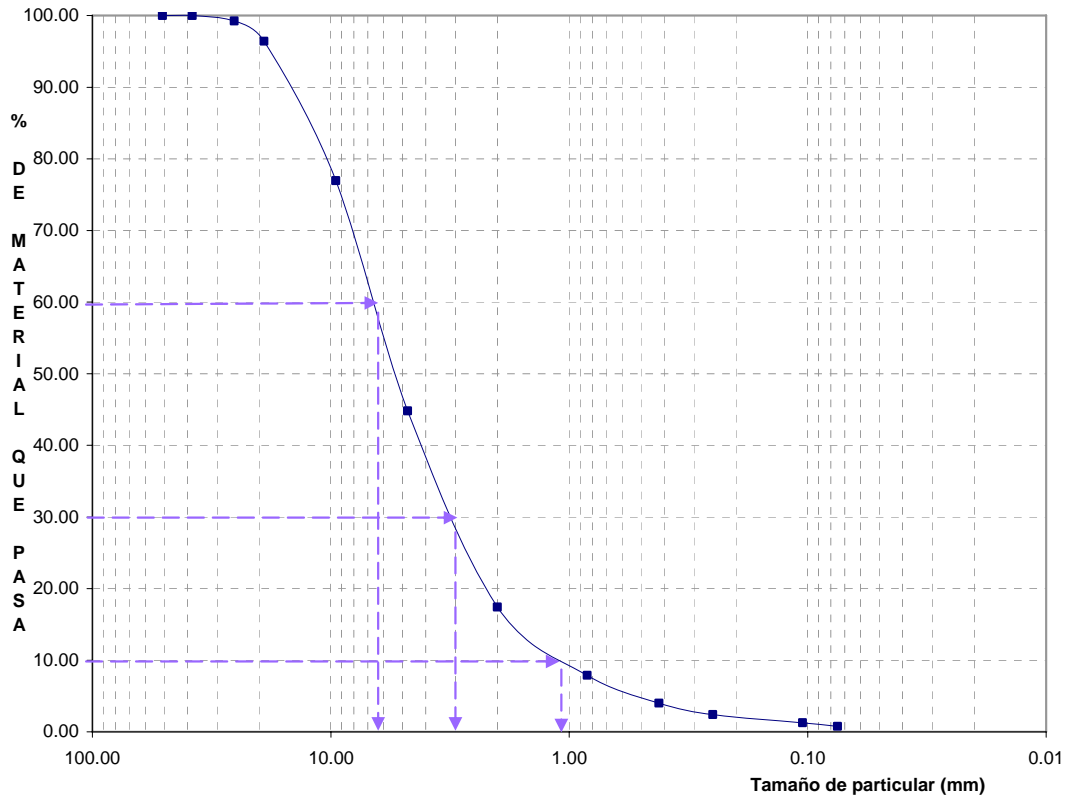


ENSAYO : ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. MÉTODO MECÁNICO  
ASTM C 422-63

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: Cumbres de Cuscatlán. Porción Superior Zona Proximal.

PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA: 2.00 m.

FECHA: 29 Mayo 2007.



LOGARITMO DEL DIÁMETRO DE LAS PARTÍCULAS (mm)

$$D_{10} = \underline{1.100} \text{ mm}$$

$$D_{30} = \underline{3.050} \text{ mm}$$

$$D_{60} = \underline{6.800} \text{ mm}$$

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \underline{6.2}$$

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}} = \underline{1.2}$$

⊗ GRAVAS: 55.21

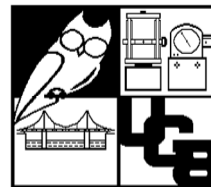
⊗ ARENAS: 44.04

⊗ FINOS: 0.48

OBSERVACIÓN: La clasificación del suelo es:  
GW Grava Bien Graduada con arena

TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULA: 25.4 mm

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



**ENSAYO :** GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SÓLIDOS DEL  
SUELO ASMT D854-02

**UNIDAD:** Porción Superior Zona Proximal.

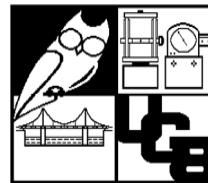
**PROFUNDIDAD:** 2.0 metros

**FECHA:** 18 Junio 2007.

DETERMINACIÓN N	4.0	B
Masa Inicial	104.00	100.00
Ms ( g )	101.00	99.41
TEMPERATURA ( °C )	26.4	26.4
Mpw,t	666.93	681.11
Mpws,t	728.05	741.13
$G_s = \frac{M_s}{M_{pw,t} - (M_{pws,t} - M_s)}$	2.53	2.52
Factor de corrección correspondiente a la temperatura de ensayo Tt, Gt	0.99668	0.99668
GRAVEDAD ESPECIFICA ( 20 C )	2.52	2.52
GRAVEDAD ESPECIFICA ( 20 C )	2.52	

NOTACIÓN: Ms: Masa de los sólidos secados al horno, g  
Mpw,t: Masa del matraz y del agua a la temperatura Tt  
Mpws,t: Masa del matraz, agua y sólidos del suelo a la temperatura Tt

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



**ENSAYO :** GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO  
AGREGADO GRUESO ASTM C 127

**UNIDAD:** Grava no estratificado.  
Porción Superior Zona Proximal.

**PROFUNDIDAD:** 2.0 metros  
**FECHA:** 15 Junio 2007.

**DETERMINACIÓN:**

DETERMINACIÓN N	LAB:1	KJ
Wo ( g )	584.5	792.00
Wl ( g )	727	996.00
Ws ( g )	300	348.00
TEMPERATURA °C	24.1	24.1
$G_s = \frac{W_o}{W_l - W_s}$	1.37	1.22
GRAVEDAD ESPECIFICA 20°C	1.30	

**NOTACIÓN:**

Ms: Peso en aire secada al horno.  
Wl: Peso en aire de la muestra saturada superficialmente seca.  
Ws: Peso en agua de la muestra saturada superficialmente seca.

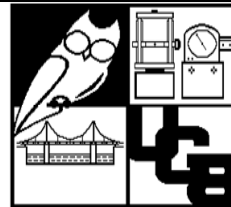
R	55.21
P	44.52
G1	1.30
G2	2.52
GRAVEDAD ESPECIFICA	1.66

R: Porcentaje retenido en el tamiz No4  
P: Porcentaje que pasa el tamiz No 4  
G1: Gravedad Especifica según C 127  
G2: Gravedad Especifica según C 854

$$G = \frac{1}{\frac{R}{100G1} + \frac{P}{100G2}}$$



# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



**ENSAYO :** DETERMINACIÓN DE PESO VOLUMÉTRICO.  
ASTM C 29-84

**LOCALIZACIÓN DEL SONDEO:** Cumbres de Cuscatlán.

**DESCRIPCIÓN DEL SUELO:** Escoria No Estratificada. Porción Superior Zona Proximal.

**PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA:** 2.00 m.

Dimensiones del recipiente:

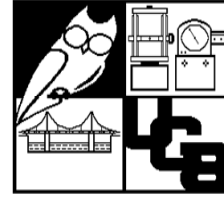
**Diámetro:**  
 D1: 203.78 mm      D2: 203.38 mm      D3: 203.90 mm      Diámetro Prom.: 203.69 mm

**Altura:**  
 A1: 290.51 mm      A2: 290.31 mm      A3: 289.90 mm      Altura Prom.: 290.24 mm

**Volumen de Recipiente:** 9457412.87 mm<sup>3</sup>      0.0095 m<sup>3</sup>      **Peso del Recipiente:** 4.994 Kg.

ACOMODAMIENTO DEL MATERIAL	SUELTO	VARILLADO
PESO DEL RECIPIENTE + MATERIAL	11.48	12.36
PESO DEL MATERIAL	6.48	7.36
PESO VOLUMÉTRICO SUELTO	<b>685.39 Kg/m<sup>3</sup></b>	-
	<b>0.69 g/cm<sup>3</sup></b>	-
PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO	-	<b>778.44 Kg/m<sup>3</sup></b>
	-	<b>0.78 g/cm<sup>3</sup></b>

**LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL  
UCA**



ENSAYO : **DETERMINACIÓN DE PESO VOLUMÉTRICO.  
ASTM C 29-84**

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: Cumbres de Cuscatlán.

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Escoria No Estratificada. Porción Superior Zona Proximal.

PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA: 2.00 m.

Dimensiones del recipiente:

Diámetro:		Altura:	
D1: 203.78 mm		A1: 290.51 mm	
D2: 203.38 mm	Diámetro Prom.: 203.69 mm	A2: 290.31 mm	Altura Prom.: 290.24 mm
D3: 203.90 mm		A3: 289.90 mm	

Volumen de Recipiente: 9457412.87 mm<sup>3</sup>      Peso del Recipiente: 4.994 Kg.  
0.0095 m<sup>3</sup>

ACOMODAMIENTO DEL MATERIAL	SUELTO	VARILLADO
PESO DEL RECIPIENTE + MATERIAL	11.50	12.50
PESO DEL MATERIAL	6.50	7.50
PESO VOLUMÉTRICO SUELTO	<b>687.61 Kg/m<sup>3</sup></b>	-
	<b>0.69 g/cm<sup>3</sup></b>	-
PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO	-	<b>793.45 Kg/m<sup>3</sup></b>
	-	<b>0.79 g/cm<sup>3</sup></b>

	Prueba 1	Prueba 2	Promedio.
Peso volumétrico Suelto:	0.69 g/cm <sup>3</sup>	0.69 g/cm <sup>3</sup>	<b>0.69 Kg/m<sup>3</sup></b>
Peso volumétrico varillado:	0.78 g/cm <sup>3</sup>	0.79 g/cm <sup>3</sup>	<b>0.79 Kg/m<sup>3</sup></b>

## ZONA INTERMEDIA

### PARÁMETROS FÍSICOS Y MECÁNICOS DE ZONA INTERMEDIA.

Pto	Distancia al Cráter m.	Descripción	Profundidad m.	Clasificación de Suelo SUCS	Granulometría.			W %	Límites Atterberg		Gs	PVH g/cm <sup>3</sup>	PVS g/cm <sup>3</sup>	Relación de Vacíos e.	Porosidad n.
					Porcentajes	Cc	Cu		LL	PL					
2A	1550	Deposito de Caída Inicial Unidad 1A	6.60	<b>SW</b> Arena bien graduada.	Grava : 9.99 %	1.5	6.2	8.65	NA	NA	2.61	1.44	1.32	0.98	0.49
					Arena : 84.95 %										
		Oleada Piroclástica Unidad 1B	6.10	Arena limosa.	Grava : 0.00 %	0.4	6.9	12.34	NP	NP	2.72	1.70	1.47	0.85	0.46
					Arena : 83.04 % Fino : 16.85 %										
2B	2380	Intercalación de Oleadas Y Depósitos Unidad 2	3.40	<b>SW</b> Arena bien graduada.	Grava : 11.22 %	1.9	7.7	9.94	NP	NP	2.71	1.61	1.40	0.94	0.48
					Arena : 84.77 % Fino : 3.78 %										
		Deposito de Caída Inicial Unidad 1A	4.15	Arena mal graduada.	Grava : 1.04 %	1.1	3.1	6.11	NA	NA	1.78	-	1.38	0.29	0.22
					Arena : 95.45 % Fino : 3.33 %										
2B	2380	Oleada Piroclástica Unidad 1B	4.10	Arena limosa.	Grava : 0.00 %	0.3	6.4	17.64	NP	NP	2.55	1.40	1.20	1.13	0.53
					Arena : 80.71 % Fino : 19.00 %										
		Intercalación de Oleadas Y Depósitos Unidad 2	2.85	Arena mal graduada.	Grava : 3.89 %	0.6	5.1	8.74	NP	NP	2.63	1.46	1.32	0.99	0.50
					Arena : 91.29 % Fino : 4.68 %										
Lapilli Acrecional Y Oleadas. Unidad 3	1.30	Arena limosa.	Grava : 0.00 %	0.8	14.3	10.02	NP	NP	2.71	1.59	1.35	1.01	0.50		
			Arena : 85.47 % Fino : 14.34 %												

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

W: Contenido de Humedad.

φ: Angulo de fricción interna.

C: Cohesión aparente.

LL: Limite Liquido

LP: Limite Plástico

NP: No Plástico.

NA: No aplica.

Gs: Gravedad Especifica

PVS: Peso Volumétrico Seco.

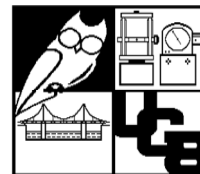
PVH: Peso Volumétrico Húmedo.

Cc: Coeficiente de curvatura.

Cu: Coeficiente de uniformidad.

**PUNTO DE TACA.  
UNIDAD 1A. DEPÓSITO DE CAÍDA INICIAL**

**LABORATORIO DE MECÁNICA  
ESTRUCTURAL UCA**



**ENSAYO :** ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. MÉTODO MECÁNICO ASTA  
C 422-63

**LOCALIZACIÓN DEL SONDEO:** Edificio TACA.  
**DESCRIPCIÓN DEL SUELO:** Deposito de caída inicial. Unidad 1 de Zona Intermedia.  
**PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA:** 6.6 m.  
**TAMAÑO MÁX.. DE LA PARTÍCULA:** 19.05 mm.  
**PESO TOTAL DE LA MUESTRA:** 1275.0 g.

FRACCIÓN	PESO DE FRACCIÓN RETENIDO (g)	PORCENTAJE DE FRACCIÓN.
Grava	127.4	9.99
Arena	1083.1	84.95
Fino	61.5	4.82
Suma	1272.0	99.76

Porcentaje de Error:  
%Error 0.24 Si cumple

**COMPOSICIÓN DE FINOS**

Peso muestra antes de lavar: 1275.00  
 Peso después de lavado W<sub>1</sub>: 1220.00  
 Perdida por lavado W<sub>1</sub>: 55.00

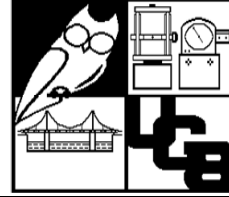
**COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE GRAVAS (G)**

MALLA (in)	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA
2	50.80	0.00	0.0	100.0
1 1/2	38.10	0.00	0.0	100.0
1	25.40	0.00	0.0	100.0
3/4	19.05	8.70	0.7	99.3
3/8	9.53	14.00	1.1	98.2
N. 4	4.76	104.70	8.2	90.0

**COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE ARENAS (A)**

MALLA N.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA
10	2.000	453.10	35.5	54.5
20	0.841	421.30	33.0	21.4
40	0.420	129.00	10.1	11.3
60	0.250	42.80	3.4	8.0
140	0.105	4.70	0.4	7.6
200	0.075	32.20	2.5	5.1
PASA N. 200 (finos)		6.5	0.5	4.5
SUMA	WFL:	1217.00		

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA

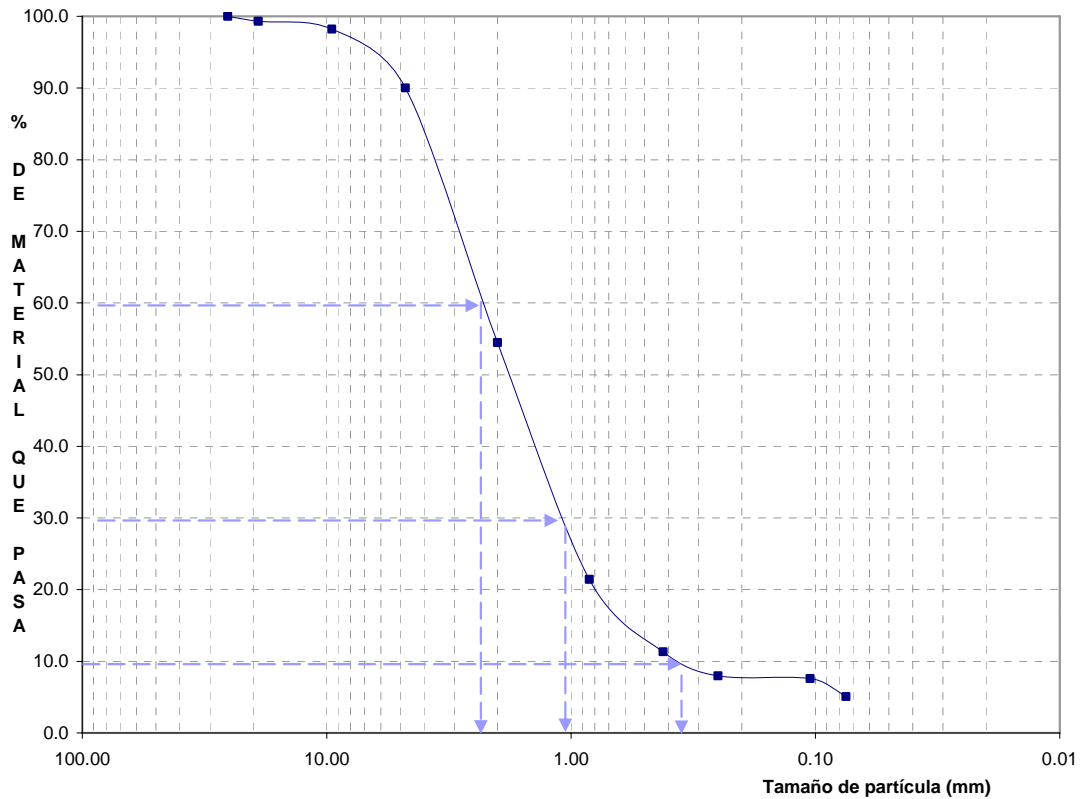


ENSAYO : ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. MÉTODO MECÁNICO

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: Edificio Taca.

PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA: 6.6 m.

FECHA: 22-05-07.



LOGARITMO DEL DIÁMETRO DE LAS PARTÍCULAS (mm)

$$D_{10} = \underline{0.340} \text{ mm}$$

$$D_{30} = \underline{1.050} \text{ mm}$$

$$D_{60} = \underline{2.100} \text{ mm}$$

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \underline{6.2}$$

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}} = \underline{1.5}$$

% GRAVAS: 9.99

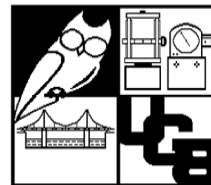
% ARENAS: 84.95

% FINOS: 4.82

OBSERVACIÓN: La clasificación del suelo es:  
SW Arena bien graduada con grava

TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULA: 19.05 mm

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



**ENSAYO : GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO  
ASTMD 854-02**

**UNIDAD:** Deposito de caída inicial.

**PROFUNDIDAD:** 6.6 m.

Unidad 1 Zona Intermedia.

**FECHA:** 15 Junio 2007.

**DETERMINACIÓN:**

PICNÓMETRO	4.0	B
Masa Inicial ( g )	109.40	103.50
Ms ( g )	120.70	114.70
TEMPERATURA (°C)	22.80	22.80
Mpw, t	667.59	681.66
Mpws, t	742.23	752.35
$G_s = \frac{M_s}{M_{pw,t} - (M_{pws,t} - M_s)}$	2.62	2.61
Factor de corrección correspondiente a la temperatura de ensayo Tt, Gt	0.99759	0.99759
GRAVEDAD ESPECIFICA ( 20 C)	2.61	2.60
GRAVEDAD ESPECIFICA ( 20 C)	2.61	

NOTACIÓN:

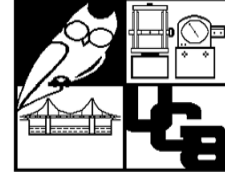
Ms: Masa de los sólidos secados al horno, g

Mpw,t: Masa del matraz y del agua a la temperatura Tt

Mpws,t: Masa del matraz, agua y sólidos del suelo a la

temperatura Tt

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



**ENSAYO :** DENSIDAD UNIDAD 1 TACA.  
MÉTODO APROXIMADO

Dimensiones de recipiente:

Alturas				Diámetros	
h1 (cm.) =	3.79	h2 (cm.)=	3.84	Φ1 (cm.)=	6.038
h3 (cm.) =	3.76	h4 (cm.)=	3.79	Φ2 (cm.)=	5.966

Hprom (cm.)= 3.80

Φprom (cm.)= 6.00

Volumen de recipiente

Área (cm<sup>2</sup>): 28.293187

Volumen (cm<sup>3</sup>) 107.3867897

Tara	Peso Tara G	Peso húmedo+tara g	Peso Seco g	P.V.H g/cm <sup>3</sup>	Peso seco+ tara g	P.V.S. g/cm <sup>3</sup>
T N T	87.5	243.5	156.0	1.45	230.5	1.33
N I	52.2	204.3	152.1	1.42	192.5	1.31
CR4	58.5	209.5	151.0	1.41	196.5	1.29
CR3	77.5	230.5	153.0	1.42	218	1.31
M G	109.5	269.0	159.5	1.49	255.5	1.36

**Peso Volumétrico**

**Húmedo :**

PV\_promedio: 1.44 g/cm<sup>3</sup>

Desviación estándar: 0.03204

Varianza: 0.00103

**Peso Volumétrico**

**Seco :**

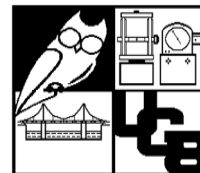
PV\_promedio: 1.32 g/cm<sup>3</sup>

Desviación estándar: 0.02839

Varianza: 0.00081

**UNIDAD 1B. OLEADA PIROCLÁSTICA**

**LABORATORIO DE MECÁNICA  
ESTRUCTURAL UCA**



**ENSAYO :** ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. MÉTODO MECÁNICO ASTM  
C 422-63

**LOCALIZACIÓN DEL SONDEO:** Edificio TACA.

**DESCRIPCIÓN DEL SUELO:** Oleada Piroclastica. Unidad 1 de Zona Intermedia.

**PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA:** 6.1 m.

**TAMAÑO MÁX.. DE LA PARTÍCULA:** 2 mm.

**PESO TOTAL DE LA MUESTRA:** 673.5 g.

FRACCIÓN	PESO DE FRACCIÓN RETENIDO (g)	PORCENTAJE DE FRACCIÓN.
Grava	0.0	0.00
Arena	559.3	83.04
Fino	113.5	16.85
Suma	672.8	99.89

Porcentaje de Error:  
%Error 0.11 Si cumple

**COMPOSICIÓN DE FINOS**

Peso muestra antes de lavar: 673.50

Peso después de lavado W<sub>1</sub>: 570.50

Perdida por lavado W<sub>1</sub>: 103.00

**COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE GRAVAS (G)**

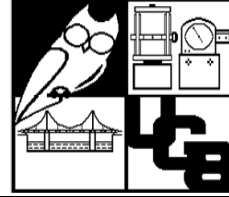
MALLA (in)	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA
2	50.80	0.00	0.0	100.0
1 1/2	38.10	0.00	0.0	100.0
1	25.40	0.00	0.0	100.0
3/4	19.05	0.00	0.0	100.0
3/8	9.53	0.00	0.0	100.0
N. 4	4.76	0.00	0.0	100.0

**COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE ARENAS (A)**

MALLA N.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA
10	2.000	45.30	6.7	93.3
20	0.841	121.85	18.1	75.2
40	0.420	125.11	18.6	56.6
60	0.250	106.18	15.8	40.8
140	0.105	92.64	13.8	27.1
200	0.075	68.21	10.1	17.0
PASA N. 200 (finos)		10.49	1.6	15.4
SUMA	WFL:	569.78		



# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA

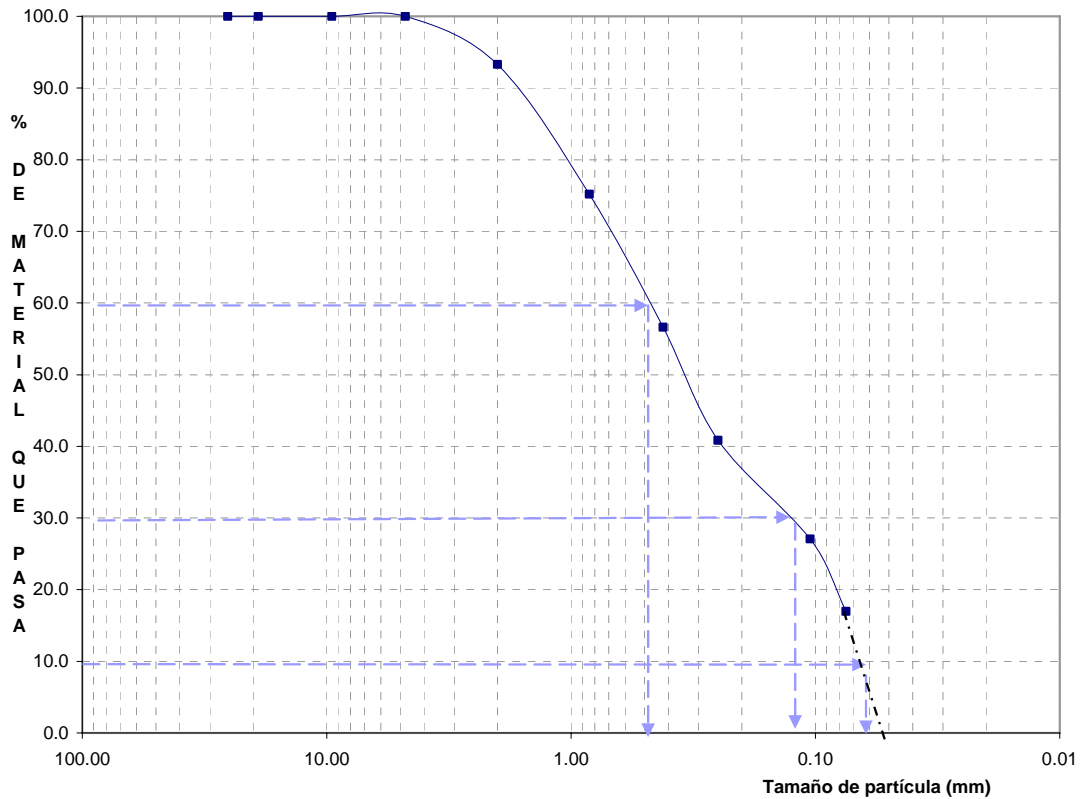


ENSAYO : ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. MÉTODO MECÁNICO

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: Edificio Taca. Oleada Piroclástica.

PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA: 6.1 m.

FECHA: 22-05-07.



LOGARITMO DEL DIÁMETRO DE LAS PARTÍCULAS (mm)

$$D_{10} = \underline{0.070} \text{ mm}$$

$$D_{30} = \underline{0.120} \text{ mm}$$

$$D_{60} = \underline{0.480} \text{ mm}$$

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \underline{6.9}$$

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}} = \underline{0.4}$$

% GRAVAS: 0.00

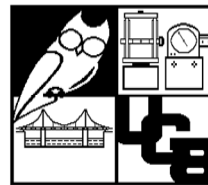
% ARENAS: 83.04

% FINOS: 16.85

OBSERVACIÓN: La clasificación del suelo es:  
SM Arena Limosa

TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULA: 2.00 mm

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



**ENSAYO : GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO  
ASTM D84-02**

**UNIDAD:** Unidad 21B Pto 2A

**PROFUNDIDAD:** 6.10 m.

Oleada piroclástica.

**FECHA:** 12 Junio 2007.

**DETERMINACIÓN:**

PICNÓMETRO	B	4.0
Masa Inicial ( g )	75.00	75.00
Ms ( g )	73.60	74.78
TEMPERATURA (°C)	24.6	24.8
Mpw,t	681.38	667.22
Mpws,t	728.10	714.48
$G_s = \frac{M_s}{M_{pw,t} - (M_{pws,t} - M_s)}$	2.74	2.72
Factor de corrección correspondiente a la temperatura de ensayo Tt, Gt	0.99824	0.99889
GRAVEDAD ESPECIFICA ( 20 C)	2.73	2.71
GRAVEDAD ESPECIFICA ( 20 C)	2.72	

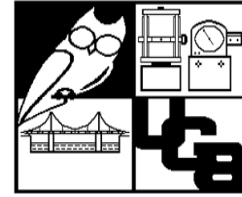
NOTACIÓN:

Ms: Masa de los sólidos secados al horno, g

Mpw,t: Masa del matraz y del agua a la temperatura Tt

Mpws,t: Masa del matraz, agua y sólidos del suelo a la temperatura Tt

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



**ENSAYO :** **COMPRESION TRIAXIAL**

**NORMA: ASTM D 2850**

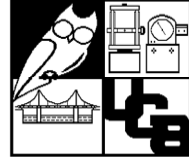
**LOCALIZACIÓN DEL SONDEO:** Oleada Piroclática. Zona Intermedia. **PRUEBA :** Triaxial  
**PROFUNDIDAD:** 6.1 m. **UNIDAD:** 1B Punto 2A **FECHA:** 7 Junio 2007.

**DATOS:**

Ds: <u>7.150 cm</u>	Ho: <u>12.775 cm</u>	VELOCIDAD DE CARGA: <u>0.38325 mm/min</u>
Dm: <u>7.000 cm</u>	Wo: <u>787.500 g</u>	$\sigma_3$ : <u>4.90 N/cm2</u>
Di: <u>6.800 cm</u>	Vo: <u>489.301 cm3</u>	Ao: <u>38.301 cm2</u>
D=1/3 (Ds+Dm+Di) = <u>6.983 cm</u>		$\gamma_m = W_o/V_o =$ <u>1.61 g/cm2</u>

PORCENTAJE DEFORMACION	ΔH DEFORMACION MUESTRA	P CARGA	ε = ΔH/Ho DEFORMACION UNITARIA	A=Ao(1-ε) AREA CORREGIDA	σd = P/A ESFUERZO DESVIANTE
%	mm	N		cm2	N/cm2
0.0	0.00	0.0	0.000	38.30	0.00
0.1	0.13	195.0	0.001	38.34	5.09
0.2	0.26	256.0	0.002	38.38	6.67
0.3	0.38	273.0	0.003	38.42	7.11
0.4	0.51	361.0	0.004	38.46	9.39
0.5	0.64	504.0	0.005	38.49	13.09
1.0	1.28	879.0	0.010	38.69	22.72
1.5	1.92	992.0	0.015	38.88	25.51
2.0	2.56	1066.0	0.020	39.08	27.28
2.5	3.19	1066.0	0.025	39.28	27.14
3.0	3.83	1280.0	0.030	39.49	32.42
4.0	5.11	1432.0	0.040	39.90	35.89
5.0	6.39	1386.0	0.050	40.32	34.38
6.0	7.67	1283.0	0.060	40.75	31.49
7.0	8.94	1120.0	0.070	41.18	27.19

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



**ENSAYO :** COMPRESIÓN TRIAXIAL

**LOCALIZACIÓN DEL SONDEO:** Oleada Piroclática. Zona Intermedia.

**PRUEBA :** Triaxial

**PROFUNDIDAD:** 6.1m. **UNIDAD:** 1B Punto 2A

**FECHA:** 7 Junio 2007.

**CONTENIDO DE AGUA**

PESO SUELO HÚMEDO (g)	664.30
PESO SUELO SECO (g)	594.10
PESO AGUA (g)	70.20
W %	11.82

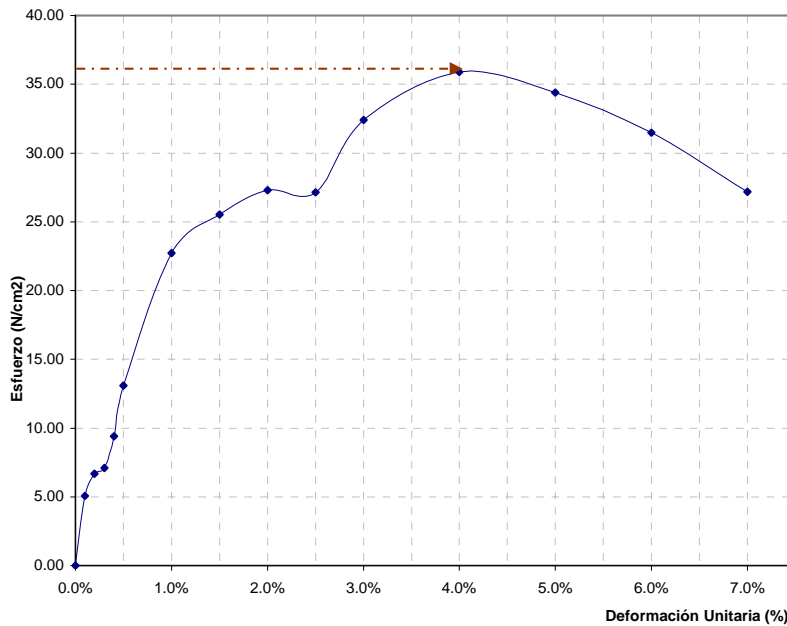
**DATOS DEL ESPÉCIMEN**

PESO HÚMEDO  $W_h$  : 787.5 g  
 PESO SECO  $W_s$  : 594.10 g  
 VOLUMEN  $V_o$  : 412.57 cm<sup>3</sup>

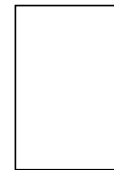
PESO UNITARIO SECO:

$\gamma_d = W_o/V_o = 1.44 \text{ g/cm}^3$

**GRAFICA**



**ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA**

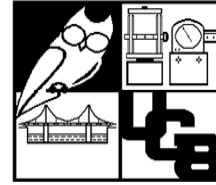


PRESIÓN DE CONFINAMIENTO ( $\sigma_3$ ): 4.90 N/cm<sup>2</sup>  
 ESFUERZO DESVIADOR MÁXIMO ( $\sigma_{DMAX}$ ): 36.00 N/cm<sup>2</sup>  
 ESFUERZO MÁXIMO VERTICAL ( $\sigma_1 = \sigma_{DMAX} + \sigma_3$ ): 40.90 N/cm<sup>2</sup>

ANGULO DE FALLA : \_\_\_\_\_

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



**ENSAYO :** **COMPRESION TRIAXIAL**

**NORMA: ASTM D 2850**

**LOCALIZACIÓN DEL SONDEO:** Oleada Piroclática. Zona Intermedia. **PRUEBA :** Triaxial

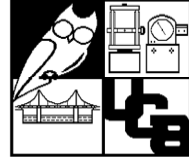
**PROFUNDIDAD:** 6.1m **UNIDAD:** 1B Punto 2A **FECHA:** 30 mayo 2007.

**DATOS:**

Ds: <u>7.425 cm</u>	Ho: <u>12.760 cm</u>	VELOCIDAD DE CARGA: <u>0.38280 mm/min</u>
Dm: <u>7.710 cm</u>	Wo: <u>932.500 g</u>	$\sigma_3$ : <u>9.81 N/cm<sup>2</sup></u>
Di: <u>6.935 cm</u>	Vo: <u>542.379 cm<sup>3</sup></u>	Ao: <u>42.506 cm<sup>2</sup></u>
D=1/3 (Ds+Dm+Di) = <u>7.357 cm</u>		$\gamma_m = W_o/V_o =$ <u>1.72 g/cm<sup>2</sup></u>

PORCENTAJE DEFORMACION	ΔH DEFORMACION MUESTRA	P CARGA	ε = ΔH/Ho DEFORMACION UNITARIA	A=Ao/(1-ε) AREA CORREGIDA	σd = P/A ESFUERZO DESVIANTE
%	mm	N		cm <sup>2</sup>	N/cm <sup>2</sup>
0.0	0.00	0	0.000	42.51	0.00
0.1	0.13	47	0.001	42.55	1.10
0.2	0.26	221	0.002	42.59	5.19
0.3	0.38	341	0.003	42.63	8.00
0.4	0.51	436	0.004	42.68	10.22
0.5	0.64	538	0.005	42.72	12.59
1.0	1.28	877	0.010	42.94	20.43
1.5	1.91	1203	0.015	43.15	27.88
2.0	2.55	1595	0.020	43.37	36.77
2.5	3.19	1929	0.025	43.60	44.25
3.0	3.83	2165	0.030	43.82	49.41
4.0	5.10	2390	0.040	44.28	53.98
5.0	6.38	2488	0.050	44.74	55.61
6.0	7.66	2506	0.060	45.22	55.42
7.0	8.93	2374	0.070	45.71	51.94
8.0	10.21	2176	0.080	46.20	47.10
9.0	11.48	2084	0.090	46.71	44.62

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



**ENSAYO :** COMPRESIÓN TRIAXIAL

**LOCALIZACIÓN DEL SONDEO:** Oleada Piroclática. Zona Intermedia.

**PRUEBA :** Triaxial

**PROFUNDIDAD:** 6.1m **UNIDAD:** 1B Punto 2A

**FECHA:** 30 Mayo 2007.

**CONTENIDO DE AGUA**

PESO SUELO HÚMEDO (g)	932.50
PESO SUELO SECO (g)	794.80
PESO AGUA (g)	137.70
W %	17.33

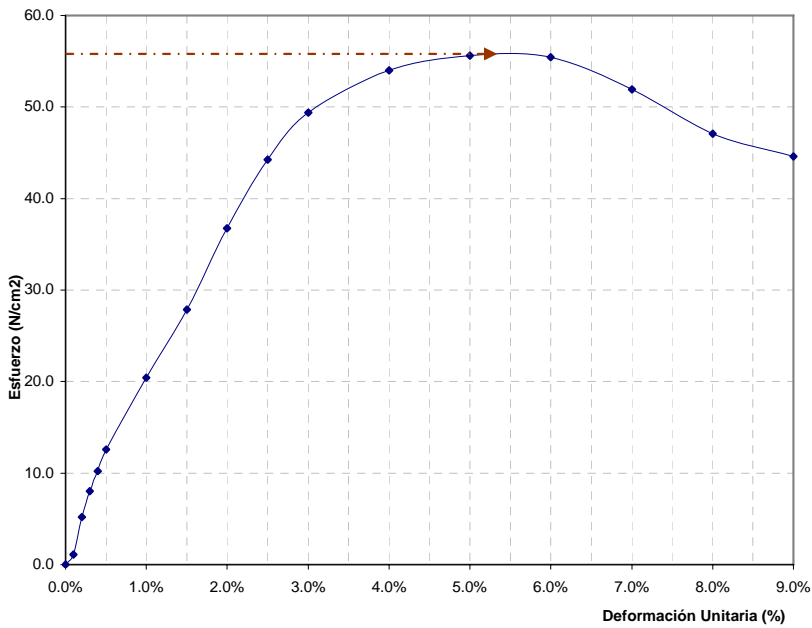
**DATOS DEL ESPÉCIMEN**

PESO HÚMEDO  $W_h$  : 648 g  
 PESO SECO  $W_s$  : 794.8 g  
 VOLUMEN  $V_o$  : 542.38 cm<sup>3</sup>

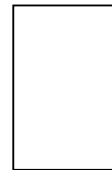
PESO UNITARIO SECO:

$\gamma_d = W_o/V_o = 1.47$  g/cm<sup>3</sup>

**GRAFICA**



**ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA**



PRESIÓN DE CONFINAMIENTO ( $\sigma_3$ ): 9.81 N/cm<sup>2</sup>  
 ESFUERZO DESVIADOR MÁXIMO ( $\sigma_{DMAX}$ ): 56.00 N/cm<sup>2</sup>  
 ESFUERZO MÁXIMO VERTICAL ( $\sigma_1 = \sigma_{DMAX} + \sigma_3$ ): 65.81 N/cm<sup>2</sup>

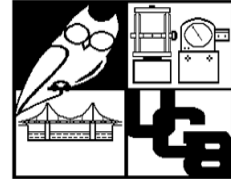
ANGULO DE FALLA : \_\_\_\_\_

OBSERVACIONES:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



**ENSAYO :** **COMPRESION TRIAXIAL**

**NORMA: ASTM D 2850**

**LOCALIZACIÓN DEL SONDEO:** Oleada Piroclática. Zona Intermedia. **PRUEBA :** Triaxial

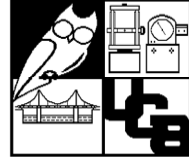
**PROFUNDIDAD:** 6.1m. **UNIDAD:** 1B Punto 2A **FECHA:** 30 mayo 2007.

**DATOS:**

Ds: <u>7.025 cm</u>	Ho: <u>14.975 cm</u>	VELOCIDAD DE CARGA: <u>0.44925 mm/min</u>
Dm: <u>7.350 cm</u>	Wo: <u>1079.600 g</u>	$\sigma_3$ : <u>14.71 N/cm<sup>2</sup></u>
Di: <u>7.200 cm</u>	Vo: <u>608.297 cm<sup>3</sup></u>	Ao: <u>40.621 cm<sup>2</sup></u>
D=1/3 (Ds+Dm+Di) = <u>7.192 cm</u>		$\gamma_m = W_o/V_o =$ <u>1.77 g/cm<sup>2</sup></u>

PORCENTAJE DEFORMACION %	ΔH DEFORMACION MUESTRA mm	P CARGA N	ε = ΔH/Ho DEFORMACION UNITARIA	A=Ao/(1-ε) AREA CORREGIDA cm <sup>2</sup>	σd = P/A ESFUERZO DESVIANTE N/cm <sup>2</sup>
0.0	0.00	0	0.000	40.62	0.00
0.1	0.15	186	0.001	40.66	4.57
0.2	0.30	288	0.002	40.70	7.08
0.3	0.45	394	0.003	40.74	9.67
0.4	0.60	502	0.004	40.78	12.31
0.5	0.75	668	0.005	40.82	16.36
1.0	1.50	1426	0.010	41.03	34.75
1.5	2.25	1952	0.015	41.24	47.33
2.0	3.00	2365	0.020	41.45	57.06
2.5	3.74	2658	0.025	41.66	63.80
3.0	4.49	2855	0.030	41.88	68.18
4.0	5.99	3104	0.040	42.31	73.36
5.0	7.49	3208	0.050	42.76	75.03
6.0	8.99	3201	0.060	43.21	74.07
7.0	10.48	3133	0.070	43.68	71.73
8.0	11.98	3036	0.080	44.15	68.76
9.0	13.48	2589	0.090	44.64	58.00

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



**ENSAYO :** COMPRESIÓN TRIAXIAL

**LOCALIZACIÓN DEL SONDEO:** Oleada Piroclática. Zona Intermedia.

**PRUEBA :** Triaxial

**PROFUNDIDAD:** 6.1m. **UNIDAD:** 1B Punto 2A

**FECHA:** 30 mayo 2007.

**CONTENIDO DE AGUA**

PESO SUELO HÚMEDO (g)	1079.60
PESO SUELO SECO (g)	909.10
PESO AGUA (g)	170.50
W %	18.75

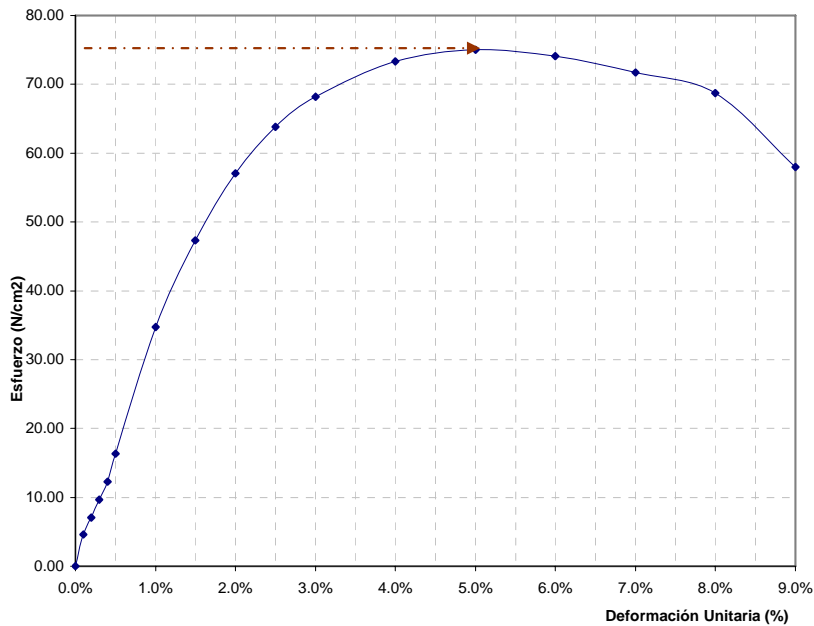
**DATOS DEL ESPÉCIMEN**

PESO HÚMEDO  $W_h$  : 787.5 g  
 PESO SECO  $W_s$  : 909.1 g  
 VOLUMEN  $V_o$  : 608.30 cm<sup>3</sup>

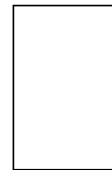
PESO UNITARIO SECO:

$\gamma_d = W_o/V_o =$  1.49 g/cm<sup>3</sup>

**GRAFICA**



**ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA**



PRESIÓN DE CONFINAMIENTO ( $\sigma_3$ ) : 14.71 N/cm<sup>2</sup>  
 ESFUERZO DESVIADOR MÁXIMO ( $\sigma_{DMAX}$ ) : 74.50 N/cm<sup>2</sup>  
 ESFUERZO MÁXIMO VERTICAL ( $\sigma_1 = \sigma_{DMAX} + \sigma_3$ ) : 89.21 N/cm<sup>2</sup>

ANGULO DE FALLA : \_\_\_\_\_

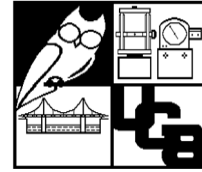
OBSERVACIONES:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



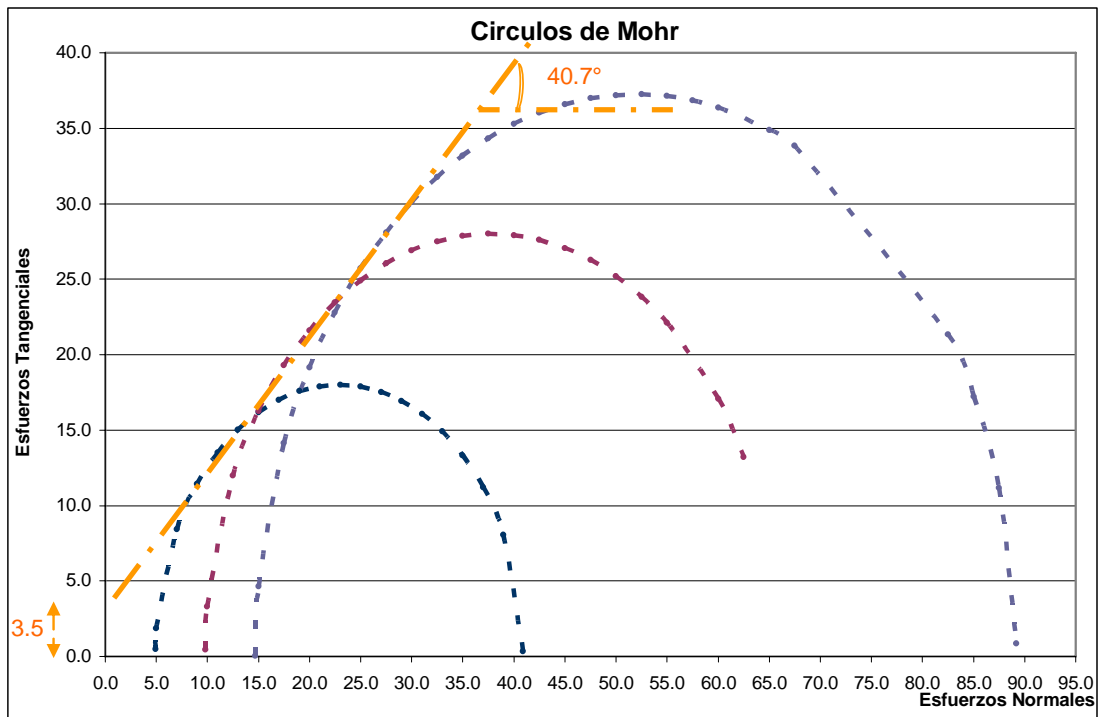
**ENSAYO :** **COMPRESION TRIAXIAL**

**LOCALIZACIÓN DEL SONDEO:** Edificio TACA Santa Elena. Oleada Piroclastica. Zona Intermedia.

**PROFUNDIDAD:** 6.1 m. **UNIDAD:** 1B Punto 2A

**DATOS DE ENSAYO:**

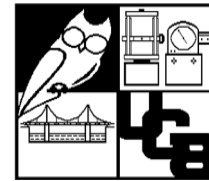
ENSAYO	$\sigma_3$	$(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$	$\sigma_1$	$1/2 (\sigma_1 + \sigma_3)$	$1/2 (\sigma_1 - \sigma_3)$	$\gamma_d$
1	4.903325	36.00	40.90	22.90	18.00	1.44
2	9.80665	56.00	65.81	37.81	28.00	1.47
3	14.709975	74.50	89.21	51.96	37.25	1.49



**ANGULO DE FRICCIÓN:**    **40.7**    **GRADOS**  
**COHESIÓN:**                **3.50**    **N/cm2**

**UNIDAD 3. INTERCALACIONES DE OLEADAS PIROCLÁSTICAS Y  
DEPÓSITOS DE CAÍDA**

**LABORATORIO DE MECÁNICA  
ESTRUCTURAL UCA**



**ENSAYO :** ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. MÉTODO MECÁNICO ASTM  
C 422-63

**LOCALIZACIÓN DEL SONDEO:** Edificio TACA. Unidad 2 Pto 2A. Zona Intermedia.  
**DESCRIPCIÓN DEL SUELO:** Intercalaciones de Oleadas piroclasticas con caidas.  
**PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA:** 3.40 m.  
**TAMAÑO MAX. DE LA PARTÍCULA:** 9.53 mm.  
**PESO TOTAL DE LA MUESTRA:** 601.5 g.

FRACCIÓN	PESO DE FRACCIÓN RETENIDO (g)	PORCENTAJE DE FRACCIÓN.
Grava	67.5	11.22
Arena	509.9	84.77
Fino	22.7	3.78
Suma	600.1	99.77

%Error 0.23 Si cumple

**COMPOSICIÓN DE FINOS**

Peso muestra antes de lavar: 601.50  
 Peso despues de lavado Wsl: 584.40  
 Perdida por lavado Wl: 17.10

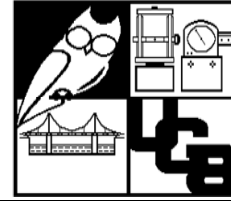
**COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE GRAVAS (G)**

MALLA (in)	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA
2	50.80	0.00	0.0	100.0
1 1/2	38.10	0.00	0.0	100.0
1	25.40	0.00	0.0	100.0
3/4	19.05	0.00	0.0	100.0
3/8	9.53	15.70	2.6	97.4
N. 4	4.76	51.80	8.6	88.8

**COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE ARENAS (A)**

MALLA N.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA
10	2.000	130.05	21.6	67.2
20	0.841	190.55	31.7	35.5
40	0.420	108.58	18.1	17.4
60	0.250	43.85	7.3	10.1
140	0.105	26.29	4.4	5.8
200	0.075	10.60	1.8	4.0
PASA N. 200 (finos)		5.6106	0.9	3.1
SUMA	WFL:	583.02		

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA

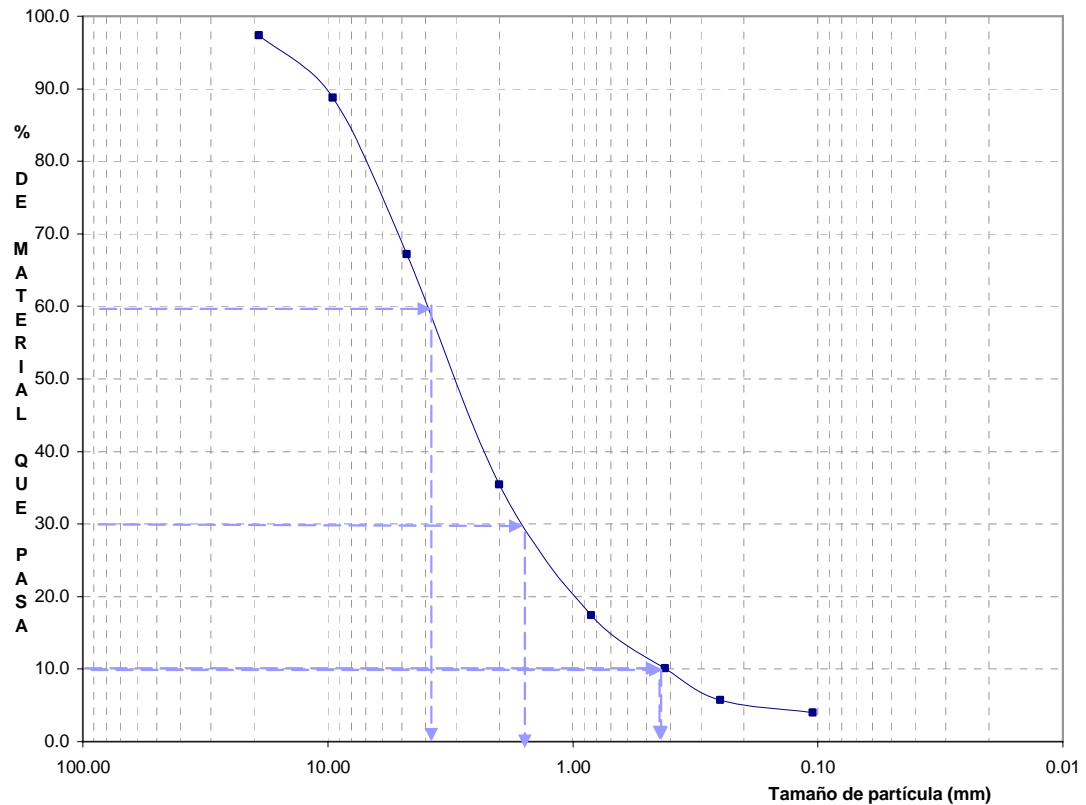


ENSAYO : ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. MÉTODO MECÁNICO

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: Edificio Taca. Unidad 2 del Pto 2A. Zona Intermedia.

PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA: 3.40 m.

FECHA: 27 Junio 2007.



LOGARITMO DEL DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (mm)

$D_{10} = \underline{0.440} \text{ mm}$

$D_{30} = \underline{1.700} \text{ mm}$

$D_{60} = \underline{3.400} \text{ mm}$

$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \underline{7.7}$

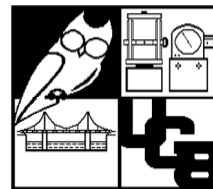
$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}} = \underline{1.9}$

% GRAVAS: 11.22  
 % ARENAS: 84.77  
 % FINOS: 3.78

OBSERVACION: La clasificación del suelo es:  
SW Arena bien graduada

TAMAÑO MAXIMO DE PARTICULA: 9.53 mm

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



**ENSAYO :** GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SÓLIDOS DEL  
SUELO ASTM D854-02

**UNIDAD:** Edificio TACA Unidad 2

**PROFUNDIDAD:** 3.40 m.

del Pto 2A. Zona Intermedia

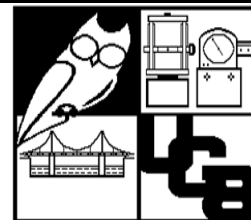
**FECHA:** 27 Junio 2007.

### DETERMINACIÓN:

DETERMINACIÓN N	B	4.0
Masa Inicial ( g )	105.0	100.0
Ms ( g )	100.7	100.2
TEMPERATURA (°C)	30.4	30.4
Mpw, t	680.5	666.2
Mpws, t	744.30	729.38
$G_s = \frac{M_s}{M_{pw,t} - (M_{pws,t} - M_s)}$	2.73	2.71
Factor de correccion correspondiente a la temperatura de ensayo Tt, Gt	0.99732	0.99732
GRAVEDAD ESPECIFICA ( 20 C)	2.72	2.70
GRAVEDAD ESPECIFICA ( 20 C)	2.71	

NOTACIÓN: Ms: Masa de los solidos secados al horno, g  
Mpw,t: Masa del matraz y del agua a la temperatura Tt  
Mpws,t: Masa del matraz, agua y solidos del suelo  
a la temperatura Tt

## LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



**ENSAYO :** DENSIDAD IN-SITU. MÉTODO DEL CONO DE ARENA.  
ASTM D 1556-00

**LOCALIZACIÓN DEL SONDEO:** Taca Santa Elena. Unidad 2 de Zona Intermedia.  
**DESCRIPCIÓN DEL SUELO:** Arena con laminaciones, intercalaciones de surge con caídas.  
**PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA:** 3.40 m.  
**UNIDAD :** 22 del Pto 2A.

a) Densidad de la arena: \_\_\_\_\_

Diámetro molde (cm)	15.23	Masa arena1	3594.00 g	Densidad1	1.274 g/cm <sup>3</sup>
Altura molde (cm)	15.49	Masa arena2	3599.00 g	Densidad2	1.276 g/cm <sup>3</sup>
Volumen molde Vm <sup>3</sup> (cm <sup>3</sup> )	2820.98	Masa arena3	3584.00 g	Densidad3	1.270 g/cm <sup>3</sup>
Densidad de la arena (g/cm <sup>3</sup> )		1.273	Variación:	0.23	Cumple

b) Densidad del suelo en el campo:

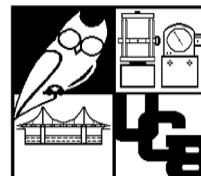
	Ensayo 1.		Ensayo 2.	
Masa frasco+arena inicial	5852.0	g	5145.6	g
Masa arena (retenida en el cono)	1325.0	g	1325.0	g
Masa del frasco con la arena restante (después)	3248.0	g	2467.0	g
Masa arena (retenida en el agujero)	1279.0	g	1353.6	g
Volumen del agujero (cm <sup>3</sup> )	1004.4	cm <sup>3</sup>	1063.0	cm <sup>3</sup>
Masa de suelo húmedo del agujero	1621.7	g	1701.0	g
Densidad del suelo húmedo	1.61	g/cm <sup>3</sup>	1.60	g/cm <sup>3</sup>
Masa seca del material del agujero de prueba	1421.9	g	1480.9	g
Densidad del suelo seco	1.42	g/cm <sup>3</sup>	1.39	g/cm <sup>3</sup>

Densidad de suelo húmedo: 1.61

Densidad de suelo seco: 1.40

**PUNTO DE LOMAS SANTA ELENA.  
UNIDAD 1A. DEPÓSITO DE CAÍDA INICIAL**

**LABORATORIO DE MECÁNICA  
ESTRUCTURAL UCA**



**ENSAYO :** ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. MÉTODO MECÁNICO ASTM  
C 422-63

**LOCALIZACIÓN DEL SONDEO:** Lomas de Santa Elena. Zona Intermedia.  
**DESCRIPCIÓN DEL SUELO:** Deposito de Caída inicial. Unidad 1A Pto 2B  
**PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA:** 4.15 m.  
**TAMAÑO MAX. DE LA PARTÍCULA:** 9.5 mm.  
**PESO TOTAL DE LA MUESTRA:** 630.6 g.

FRACCIÓN	PESO DE FRACCIÓN RETENIDO (g)	PORCENTAJE DE FRACCIÓN.
Grava	6.6	1.04
Arena	601.9	95.45
Fino	21.0	3.33
Suma	629.5	99.82

Porcentaje de Error:  
%Error 0.18 Si cumple

**COMPOSICIÓN DE FINOS**

Peso muestra antes de lavar: 630.60  
 Peso despues de lavado Wsl: 616.10  
 Perdida por lavado Wl: 14.50

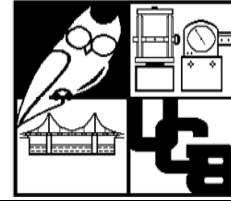
**COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE GRAVAS (G)**

MALLA (in)	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA
2	50.80	0.00	0.0	100.0
1 1/2	38.10	0.00	0.0	100.0
1	25.40	0.00	0.0	100.0
3/4	19.05	0.00	0.0	100.0
3/8	9.53	1.99	0.3	99.7
N. 4	4.76	4.60	0.7	99.0

**COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE ARENAS (A)**

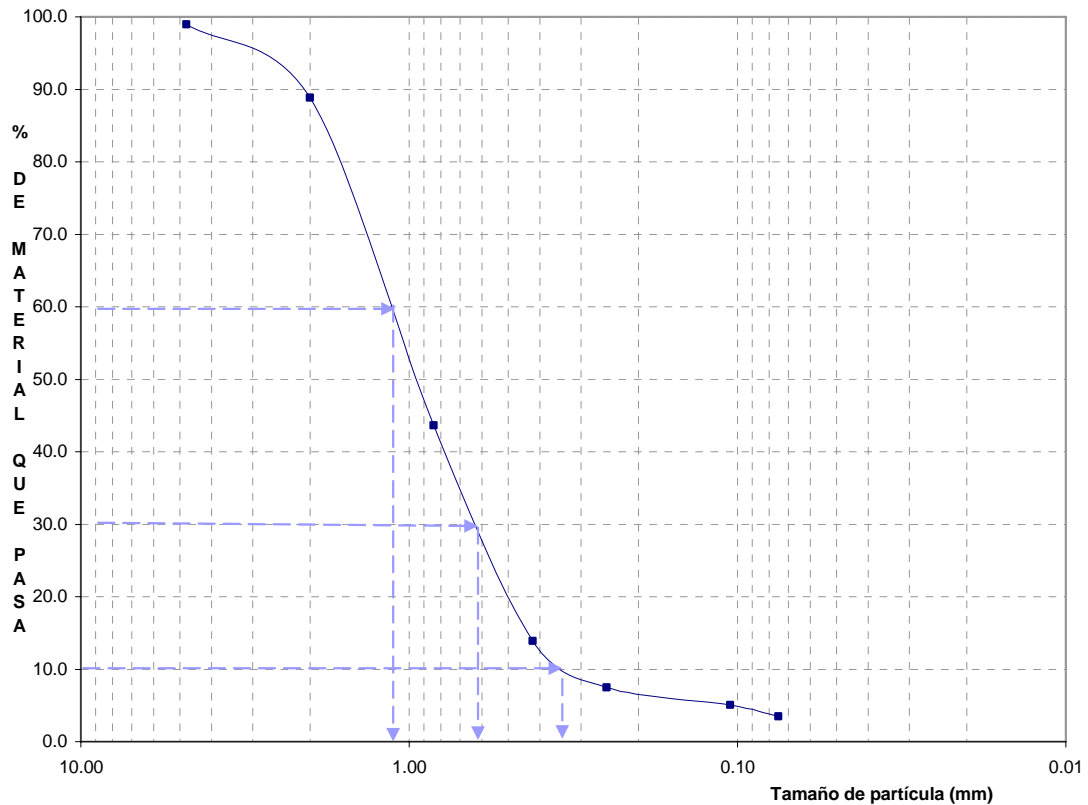
MALLA N.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA
10	2.000	63.75	10.1	88.8
20	0.841	285.18	45.2	43.6
40	0.420	187.37	29.7	13.9
60	0.250	40.65	6.4	7.5
140	0.105	15.05	2.4	5.1
200	0.075	9.93	1.6	3.5
PASA N. 200 (finos)		6.48	1.0	2.5
SUMA	WFL:	614.98		

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



**ENSAYO : ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. MÉTODO MECÁNICO ASTM C 422-63**

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: Lomas de Santa Elena. Unidad 1A Pto 2B Zona Intermedia.  
 PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA: 4.15 m.  
 FECHA: 2 Julio 2007.



LOGARITMO DEL DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (mm)

$D_{10} = \underline{0.340}$  mm

$D_{30} = \underline{0.620}$  mm

$D_{60} = \underline{1.050}$  mm

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \underline{3.1}$$

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}} = \underline{1.1}$$

% GRAVAS: 1.04

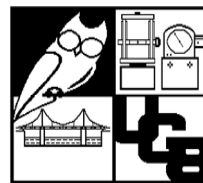
% ARENAS: 95.45

% FINOS: 3.33

OBSERVACION: La clasificación del suelo es:  
SP Arena mal graduada.

TAMAÑO MAXIMO DE PARTICULA: 9.50 mm

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



**ENSAYO : GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO  
ASTM D854-02**

**UNIDAD:** Depósitos de Caida inicial

**PROFUNDIDAD:** 4.15 m.

Unidad 21A del Pto 2B

**FECHA:** 3 Julio 2007.

### DETERMINACIÓN:

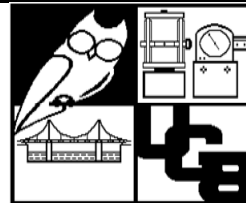
DETERMINACIÓN N	B	4.0
Masa Inicial ( g )	100.0	100.0
Ms ( g )	103.0	102.5
TEMPERATURA (°C)	25.4	25.0
Mpw,t	681.26	667.19
Mpws,t	745.35	730.62
$G_s = \frac{M_s}{M_{pw,t} - (M_{pws,t} - M_s)}$	2.65	2.62
Factor de correccion correspondiente a la temperatura de ensayo Tt, Gt	0.99674	0.99884
GRAVEDAD ESPECIFICA ( 20 C)	2.64	2.62
GRAVEDAD ESPECIFICA ( 20 C)	2.63	

NOTACIÓN:

Ms: Masa de los solidos secados al horno, g  
Mpw,t: Masa del matraz y del agua a la temperatura Tt  
Mpws,t: Masa del matraz, agua y solidos del suelo  
a la temperatura Tt



**LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL  
UCA**



**ENSAYO :** DETERMINACIÓN DE PESO VOLUMÉTRICO.  
ASTM C 29-84

**LOCALIZACIÓN DEL SONDEO:** Lomas de Sta Elena  
**DESCRIPCIÓN DEL SUELO:** Deposito de Caída. Unidad 1A de Zona Intermedia.  
**PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA:** 4.15 m.

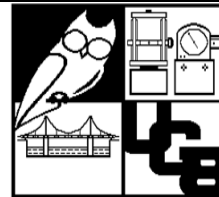
Dimensiones del recipiente:

Diámetro:		Altura:	
D1: 155.00 mm		A1: 152.22 mm	
D2: 155.10 mm	Diámetro Prom.: 155.07 mm	A2: 152.06 mm	Altura Prom.: 152.18 mm
D3: 155.12 mm		A3: 152.26 mm	

Volumen de Recipiente: 2874231.24 mm<sup>3</sup>      Peso del Recipiente: 1.688 Kg.  
0.0029 m<sup>3</sup>

ACOMODAMIENTO DEL MATERIAL	SUELTO	VARILLADO
PESO DEL RECIPIENTE + MATERIAL	5.18	5.64
PESO DEL MATERIAL	3.49	3.95
PESO VOLUMÉTRICO SUELTO	<b>1214.93 Kg/m<sup>3</sup></b>	-
	<b>1.21 g/cm<sup>3</sup></b>	-
PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO	-	<b>1374.98 Kg/m<sup>3</sup></b>
	-	<b>1.37 g/cm<sup>3</sup></b>

**LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL  
UCA**



**ENSAYO :** **DETERMINACIÓN DE PESO VOLUMÉTRICO.**  
**ASTM C 29-84**

**LOCALIZACIÓN DEL SONDEO:** Lomas de Sta Elena  
**DESCRIPCIÓN DEL SUELO:** Deposito de Caída. Unidad 1A de Zona Intermedia.  
**PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA:** 4.15 m.

Dimensiones del recipiente:

Diámetro:		Altura:	
D1: 155.00 mm		A1: 152.22 mm	
D2: 155.10 mm	Diámetro Prom.: 155.07 mm	A2: 152.06 mm	Altura Prom.: 152.18 mm
D3: 155.12 mm		A3: 152.26 mm	

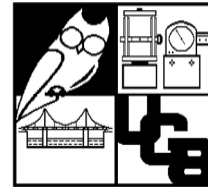
Volumen de Recipiente: 2874231.24 mm<sup>3</sup>      Peso del Recipiente: 1.688 Kg.  
 0.0029 m<sup>3</sup>

ACOMODAMIENTO DEL MATERIAL	SUELTO	VARILLADO
PESO DEL RECIPIENTE + MATERIAL	5.25	5.69
PESO DEL MATERIAL	3.56	4.00
PESO VOLUMÉTRICO SUELTO	<b>1239.29 Kg/m<sup>3</sup></b>	-
	<b>1.24 g/cm<sup>3</sup></b>	-
PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO	-	<b>1392.37 Kg/m<sup>3</sup></b>
	-	<b>1.39 g/cm<sup>3</sup></b>

	Prueba 1	Prueba 2	Promedio.
Peso volumétrico Suelto:	1.21 g/cm <sup>3</sup>	1.24 g/cm <sup>3</sup>	<b>1.23 Kg/m<sup>3</sup></b>
Peso volumétrico varillado:	1.37 g/cm <sup>3</sup>	1.39 g/cm <sup>3</sup>	<b>1.38 Kg/m<sup>3</sup></b>

**UNIDAD 1B. OLEADA PIROCLÁSTICA**

**LABORATORIO DE MECÁNICA  
ESTRUCTURAL UCA**



**ENSAYO :** ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. MÉTODO MECÁNICO ASTM  
C 422-63

**LOCALIZACIÓN DEL SONDEO:** Lomas de Santa Elena. Zona Intermedia.  
**DESCRIPCIÓN DEL SUELO:** Oleada piroclastica. Unidad 1B Pto 2B.  
**PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA:** 4.10 m.  
**TAMAÑO MAX. DE LA PARTÍCULA:** 2 mm.  
**PESO TOTAL DE LA MUESTRA:** 619.5 g.

FRACCIÓN	PESO DE FRACCIÓN RETENIDO (g)	PORCENTAJE DE FRACCIÓN.
Grava	0.0	0.00
Arena	500.0	80.71
Fino	117.7	19.00
Suma	617.7	99.70

Porcentaje de error:  
%Error 0.30 Si cumple

**COMPOSICIÓN DE FINOS**

Peso muestra antes de lavar:	619.50
Peso despues de lavado Wsl:	531.80
Perdida por lavado Wl:	87.70

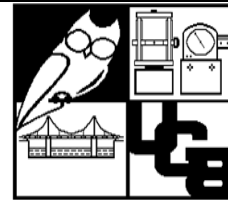
**COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE GRAVAS (G)**

MALLA (in)	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA
2	50.80	0.00	0.0	100.0
1 1/2	38.10	0.00	0.0	100.0
1	25.40	0.00	0.0	100.0
3/4	19.05	0.00	0.0	100.0
3/8	9.53	0.00	0.0	100.0
N. 4	4.76	0.00	0.0	100.0

**COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE ARENAS (A)**

MALLA N.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA
10	2.000	45.40	7.3	92.7
20	0.841	91.90	14.8	77.8
40	0.420	122.90	19.8	58.0
60	0.250	103.40	16.7	41.3
140	0.105	8.17	1.3	40.0
200	0.075	128.20	20.7	19.3
PASA N. 200 (finos)		30	4.8	14.5
SUMA	WFL:	529.97		

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA

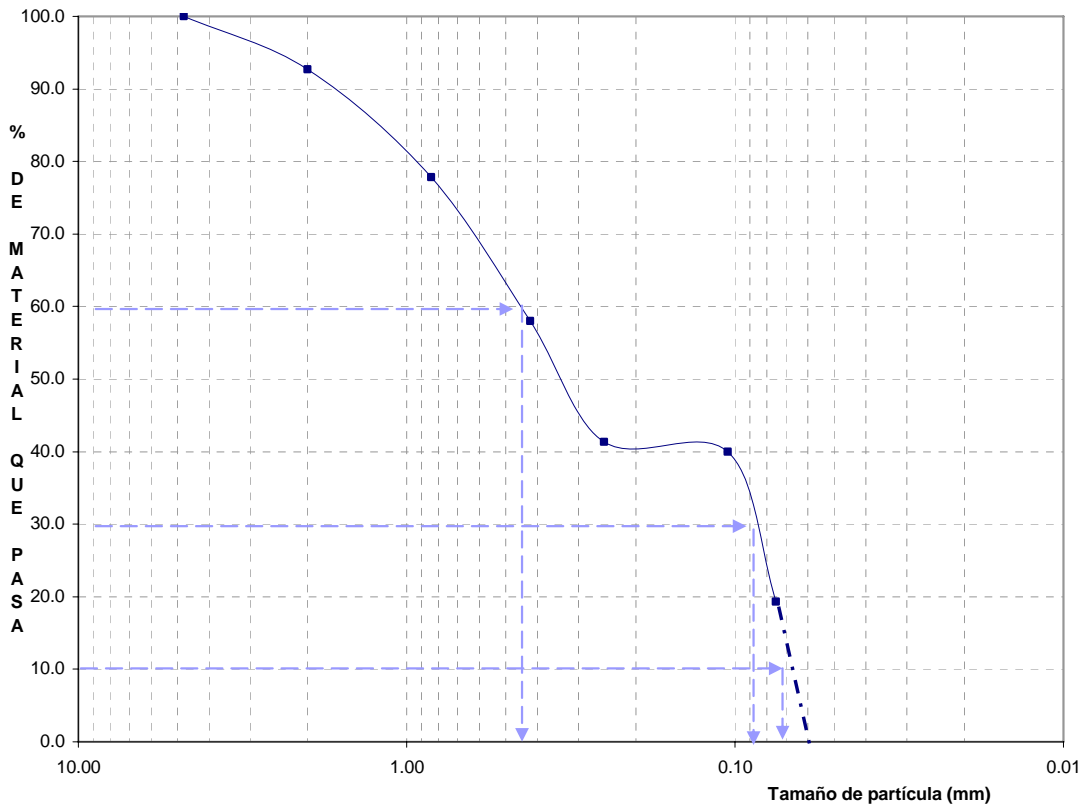


ENSAYO : ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. MÉTODO MECÁNICO

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: Lomas de Santa Elena. Unidad 1B Pto 2B.

PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA: 4.10 m.

FECHA: 27 Junio 2007.



LOGARITMO DEL DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (mm)

$$D_{10} = \underline{0.070} \text{ mm}$$

$$D_{30} = \underline{0.090} \text{ mm}$$

$$D_{60} = \underline{0.450} \text{ mm}$$

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \underline{6.4}$$

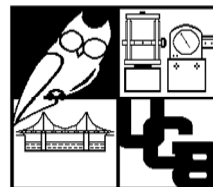
$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}} = \underline{0.3}$$

% GRAVAS: 0.00  
 % ARENAS: 80.71  
 % FINOS: 19.00

OBSERVACION: La clasificación del suelo es:  
SM Arena Limosa

TAMAÑO MÁXIMO DE PARTICULA: 19.05 mm

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



**ENSAYO :** GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SÓLIDOS DEL  
SUELO ASTM D854-02

**UNIDAD:** Oleada piroclastica, Lomas Sta

**PROFUNDIDAD:** 4.10 m.

Elena. Unidad 1B Pto 2B.

**FECHA:** 27 junio 2007.

Zona Intermedia

### DETERMINACIÓN:

DETERMINACIÓN N	B	4.0
Masa Inicial ( g )	100.0	100.0
Ms ( g )	99.0	98.7
TEMPERATURA (°C)	29.1	28.9
Mpw,t	680.7	666.5
Mpws,t	741.12	726.48
$G_s = \frac{M_s}{M_{pw,t} - (M_{pws,t} - M_s)}$	2.57	2.55
Factor de correccion correspondiente a la temperatura de ensayo Tt, Gt	0.99771	0.99777
GRAVEDAD ESPECIFICA ( 20 C)	2.56	2.55
GRAVEDAD ESPECIFICA ( 20 C)	2.55	

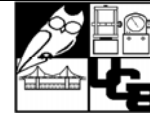
**NOTACIÓN:**

Ms: Masa de los solidos secados al horno, g

Mpw,t: Masa del matraz y del agua a la temperatura Tt

Mpws,t: Masa del matraz, agua y solidos del suelo  
a la temperatura Tt

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



**ENSAYO DE CORTE DIRECTO. CAJA DE CORTE DIRECTO.**

**ENSAYO :** **ASTMD 3080 - 98**

**LOCALIZACIÓN DEL SONDEO:** Lomas de Santa Elena.

**DESCRIPCIÓN DEL SUELO:** Oleada Piroclastica.

**PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA:** 4.10 m. **Fecha de la practica:** 12/07/2007

**Datos de Densidad de muestra**

Peso del suelo humedo:	390.40	g.	Diametro:	10.90	cm.
Peso del suelo seco:	334.30	g.	Altura:	2.90	cm.
Peso del agua:	56.10	g.	Area:	93.31	cm <sup>2</sup> .
Contenido de humedad (W):	14.37	%	Volumen:	270.61	cm <sup>3</sup> .

**Densidad de la muestra:**

γhumedo:	1.44	g/cm <sup>3</sup> .	γseco:	1.24	g/cm <sup>3</sup> .
----------	------	---------------------	--------	------	---------------------

**Carga Normal :** 46.66 kg. **Esfuerzo normal σn:** 0.5 kg/cm<sup>2</sup>

**Velocidad de carga:** 0.20 mm/min.

Deformimetro Horizontal	Desplazamiento Horizontal	Deformimetro Vertical	Desplazamiento Vertical	Area Corregida	Deformimetro Carga.	Fuerza Corte Horizontal	Esfuerzo Cortante
div.	mm.	div.	mm.		div.	N	Kpa
0	0.00	0	0.00	-	0	0	0.000
5	0.05	0	0.00	-	0	0	0.000
10	0.10	0	0.00	-	9	18	1.929
20	0.20	-1	-0.01	-	30	60	6.430
30	0.30	-3	-0.03	-	45	90	9.645
40	0.40	-5	-0.05	-	52	104	11.145
50	0.50	-6	-0.06	-	60	120	12.860
60	0.60	-8	-0.08	-	68	136	14.575
70	0.70	-10	-0.10	-	74	148	15.861
80	0.80	-11	-0.11	-	80	160	17.147
90	0.90	-12	-0.12	-	89	178	19.076
100	1.00	-14	-0.14	-	95	190	20.362
110	1.10	-15	-0.15	-	105	210	22.505
120	1.20	-16	-0.16	-	114	228	24.434
130	1.30	-17	-0.17	-	124	248	26.577
140	1.40	-19	-0.19	-	140	280	30.006
150	1.50	-19	-0.19	-	150	300	32.150
160	1.60	-19	-0.19	-	162	324	34.722
170	1.70	-18	-0.18	-	178	356	38.151
180	1.80	-17	-0.17	-	196	392	42.009
190	1.90	-17	-0.17	-	215	430	46.081
200	2.00	-16	-0.16	-	234	468	50.154
210	2.10	-15	-0.15	-	252	504	54.012
220	2.20	-15	-0.15	-	268	536	57.441
230	2.30	-15	-0.15	-	286	572	61.299
240	2.40	-14	-0.14	-	300	600	64.300
250	2.50	-12	-0.12	-	311	622	66.657
260	2.60	-11	-0.11	-	318	636	68.158
270	2.70	-9	-0.09	-	314	628	67.300
280	2.80	-7	-0.07	-	312	624	66.872
290	2.90	-5	-0.05	-	312	624	66.872
300	3.00	-2	-0.02	-	312	624	66.872
310	3.10	0	0.00	-	312	624	66.872
320	3.20	2	0.02	-	312	624	66.872
330	3.30	4	0.04	-	312	624	66.872
340	3.40	8	0.08	-	312	624	66.872
350	3.50	10	0.10	-	310	620	66.443
360	3.60	12	0.12	-	308	616	66.014
370	3.70	15	0.15	-	304	608	65.157
380	3.80	17	0.17	-	301	602	64.514
390	3.90	20	0.20	-	300	600	64.300
400	4.00	23	0.23	-	298	596	63.871
410	4.10	25	0.25	-	292	584	62.585
420	4.20	26	0.26	-	289	578	61.942
430	4.30	28	0.28	-	286	572	61.299

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



## ENSAYO DE CORTE DIRECTO. CAJA DE CORTE DIRECTO.

**ENSAYO :** ASTMD 3080 - 98

**LOCALIZACIÓN DEL SONDEO:** Lomas de Santa Elena.

**DESCRIPCIÓN DEL SUELO:** Oleada Piroclastica. Unidad 1B.

**PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA:** 4.10 m. **Fecha de la practica:** 12/07/2007

**Datos de Densidad de muestra**

Peso del suelo humedo:	365.30	g.	Diametro:	10.90	cm.
Peso del suelo seco:	312.40	g.	Altura:	2.95	cm.
Peso del agua:	52.90	g.	Area:	93.31	cm <sup>2</sup> .
Contenido de humedad (W):	14.48	%	Volumen:	275.27	cm <sup>3</sup> .

**Densidad de la muestra:**

γhumedo:	1.33	g/cm <sup>3</sup> .	γseco:	1.13	g/cm <sup>3</sup> .
----------	------	---------------------	--------	------	---------------------

**Carga Normal :** 93.31 kg. **Esfuerzo normal σ<sub>n</sub>:** 1.0 kg/cm<sup>2</sup>

**Velocidad de carga:** 0.20 mm/min.

Deformimetro Horizontal	Desplazamiento Horizontal	Deformimetro Vertical	Desplazamiento Vertical	Area Corregida	Deformimetro Carga.	Fuerza Corte Horizontal	Esfuerzo Cortante
div.	mm.	div.	mm.		div.	N	Kpa
0	0.00	0	0.00	-	0	0	0.000
5	0.05	1.0	0.01	-	8	16	1.715
10	0.10	1.0	0.01	-	12	24	2.572
20	0.20	1.5	0.02	-	18	36	3.858
30	0.30	2.0	0.02	-	20	40	4.287
40	0.40	2.8	0.03	-	32	64	6.859
50	0.50	3.5	0.04	-	52	104	11.145
60	0.60	5.0	0.05	-	74	148	15.861
70	0.70	8.0	0.08	-	90	180	19.290
80	0.80	10.5	0.11	-	105	210	22.505
90	0.90	13.0	0.13	-	115	230	24.648
100	1.00	14.0	0.14	-	110	220	23.577
110	1.10	14.5	0.15	-	120	240	25.720
120	1.20	14.8	0.15	-	125	250	26.792
130	1.30	15.0	0.15	-	138	276	29.578
140	1.40	16.0	0.16	-	150	300	32.150
150	1.50	17.8	0.18	-	158	316	33.864
160	1.60	18.5	0.19	-	178	356	38.151
170	1.70	20.0	0.20	-	187	374	40.080
180	1.80	21.0	0.21	-	200	400	42.866
190	1.90	22.5	0.23	-	210	420	45.010
200	2.00	24.0	0.24	-	224	448	48.010
210	2.10	24.5	0.25	-	238	476	51.011
220	2.20	24.8	0.25	-	250	500	53.583
230	2.30	25.0	0.25	-	262	524	56.155
240	2.40	26.0	0.26	-	278	556	59.584
250	2.50	26.3	0.26	-	290	580	62.156
260	2.60	27.0	0.27	-	304	608	65.157
270	2.70	28.0	0.28	-	318	636	68.158
280	2.80	30.0	0.30	-	330	660	70.730
290	2.90	29.5	0.30	-	338	676	72.444
300	3.00	29.8	0.30	-	348	696	74.588
310	3.10	30.0	0.30	-	354	708	75.874
320	3.20	30.5	0.31	-	370	740	79.303
330	3.30	30.5	0.31	-	380	760	81.446
340	3.40	31.0	0.31	-	392	784	84.018
350	3.50	32.0	0.32	-	401	802	85.947
360	3.60	33.5	0.34	-	415	830	88.948
370	3.70	34.0	0.34	-	428	856	91.734
380	3.80	34.0	0.34	-	442	884	94.735
390	3.90	34.0	0.34	-	452	904	96.878
400	4.00	34.3	0.34	-	470	940	100.736
410	4.10	34.5	0.35	-	481	962	103.094
420	4.20	34.5	0.35	-	494	988	105.880
430	4.30	34.5	0.35	-	504	1008	108.023
440	4.40	35.0	0.35	-	518	1036	111.024
450	4.50	35.3	0.35	-	528	1056	113.167
460	4.60	35.3	0.35	-	540	1080	115.739
470	4.70	35.0	0.35	-	548	1096	117.454
480	4.80	34.5	0.35	-	556	1112	119.169
490	4.90	34.0	0.34	-	564	1128	120.883
500	5.00	33.0	0.33	-	570	1140	122.169
510	5.10	32.0	0.32	-	580	1160	124.313
520	5.20	31.0	0.31	-	587	1174	125.813
530	5.30	30.5	0.31	-	594	1188	127.313
540	5.40	30.0	0.30	-	600	1200	128.599
550	5.50	29.3	0.29	-	605	1210	129.671
560	5.60	28.0	0.28	-	613	1226	131.386
570	5.70	26.5	0.27	-	620	1240	132.886
580	5.80	25.5	0.26	-	620	1240	132.886
590	5.90	23.5	0.24	-	620	1240	132.886
600	6.00	22.0	0.22	-	621	1242	133.100
610	6.10	20.0	0.20	-	621	1242	133.100
620	6.20	24.3	0.24	-	624	1248	133.743
630	6.30	23.0	0.23	-	625	1250	133.958
640	6.40	21.5	0.22	-	625	1250	133.958
650	6.50	19.5	0.20	-	624	1248	133.743
660	6.60	17.5	0.18	-	620	1240	132.886
670	6.70	15.5	0.16	-	620	1240	132.886
680	6.80	8.5	0.09	-	618	1236	132.457
690	6.90	4.5	0.05	-	610	1220	130.743

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



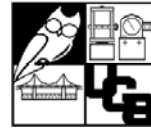
**ENSAYO DE CORTE DIRECTO. CAJA DE CORTE DIRECTO.**  
**ASTM D 3080 - 98**

**LOCALIZACIÓN DEL SONDEO:** Lomas de Santa Elena.  
**DESCRIPCIÓN DEL SUELO:** Oleada Piroclástica. Unidad 1B.  
**PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA:** 4.10 m. **Fecha de la practica:** 12/07/2007  
**Datos de Densidad de muestra**  
 Peso del suelo humedo: 393.10 g. **Diametro:** 10.90 cm.  
 Peso del suelo seco: 336.80 g. **Altura:** 2.95 cm.  
 Peso del agua: 56.30 g. **Area:** 93.31 cm<sup>2</sup>.  
 Contenido de humedad (W): 14.32 % **Volumen:** 275.27 cm<sup>3</sup>.  
**Densidad de la muestra:**  
 γhumedo: 1.43 g/cm<sup>3</sup>. **γseco:** 1.22 g/cm<sup>3</sup>.  
**Carga Normal :** 139.97 kg. **Esfuerzo normal σn:** 1.5 kg/cm<sup>2</sup>  
**Velocidad de carga:** 0.20 mm/min.

Deformimetro Horizontal	Desplazamiento Horizontal	Deformimetro Vertical	Desplazamiento Vertical	Area Corregida	Deformimetro Carga.	Fuerza Corte Horizontal	Esfuerzo Cortante
div.	mm.	div.	mm.		div.	N	Kpa
0	0.00	0.0	0.00	-	0	0	0.000
5	0.05	1.3	0.01	-	11	22	2.358
10	0.10	1.8	0.02	-	18	36	3.858
20	0.20	2.5	0.03	-	25	50	5.358
30	0.30	3.0	0.03	-	48	96	10.288
40	0.40	5.5	0.06	-	60	120	12.860
50	0.50	7.5	0.08	-	110	220	23.577
60	0.60	10.0	0.10	-	140	280	30.006
70	0.70	11.0	0.11	-	169	338	36.222
80	0.80	12.5	0.13	-	191	382	40.937
90	0.90	14.0	0.14	-	220	440	47.153
100	1.00	16.0	0.16	-	256	512	54.869
110	1.10	17.3	0.17	-	270	540	57.870
120	1.20	19.5	0.20	-	291	582	62.371
130	1.30	21.0	0.21	-	314	628	67.300
140	1.40	22.3	0.22	-	335	670	71.801
150	1.50	23.5	0.24	-	354	708	75.874
160	1.60	25.0	0.25	-	370	740	79.303
170	1.70	25.8	0.26	-	388	776	83.161
180	1.80	26.0	0.26	-	410	820	87.876
190	1.90	28.0	0.28	-	430	860	92.163
200	2.00	30.0	0.30	-	456	912	97.735
210	2.10	31.0	0.31	-	460	920	98.593
220	2.20	31.8	0.32	-	476	952	102.022
230	2.30	32.5	0.33	-	490	980	105.023
240	2.40	33.0	0.33	-	505	1010	108.238
250	2.50	33.3	0.33	-	517	1034	110.810
260	2.60	34.0	0.34	-	529	1058	113.382
270	2.70	34.8	0.35	-	537	1074	115.096
280	2.80	36.3	0.36	-	548	1096	117.454
290	2.90	37.0	0.37	-	556	1112	119.169
300	3.00	37.0	0.37	-	565	1130	121.098
310	3.10	37.3	0.37	-	572	1144	122.598
320	3.20	37.3	0.37	-	580	1160	124.313
330	3.30	37.3	0.37	-	586	1172	125.599
340	3.40	36.8	0.37	-	595	1190	127.528
350	3.50	36.5	0.37	-	601	1202	128.814
360	3.60	37.0	0.37	-	610	1220	130.743
370	3.70	37.3	0.37	-	615	1230	131.814
380	3.80	37.0	0.37	-	620	1240	132.886
390	3.90	36.8	0.37	-	625	1250	133.958
400	4.00	36.5	0.37	-	630	1260	135.029
410	4.10	35.5	0.36	-	635	1270	136.101
420	4.20	35.8	0.36	-	640	1280	137.173
430	4.30	34.0	0.34	-	645	1290	138.244
440	4.40	33.0	0.33	-	648	1296	138.887
450	4.50	33.8	0.34	-	650	1300	139.316
460	4.60	32.5	0.33	-	652	1304	139.744
470	4.70	32.0	0.32	-	655	1310	140.387
480	4.80	31.0	0.31	-	656	1312	140.602
490	4.90	30.0	0.30	-	656	1312	140.602
500	5.00	29.3	0.29	-	656	1312	140.602
510	5.10	28.0	0.28	-	658	1316	141.030
520	5.20	27.0	0.27	-	659	1318	141.245
530	5.30	25.5	0.26	-	660	1320	141.459
540	5.40	24.8	0.25	-	661	1322	141.673
550	5.50	24.5	0.25	-	661	1322	141.673
560	5.60	24.3	0.24	-	661	1322	141.673
570	5.70	24.0	0.24	-	661	1322	141.673
580	5.80	23.0	0.23	-	663	1326	142.102
590	5.90	22.0	0.22	-	664	1328	142.316481
600	6.00	21.5	0.22	-	664	1328	142.316481
610	6.10	20.5	0.21	-	665	1330	142.530813
620	6.20	19.0	0.19	-	665	1330	142.530813
630	6.30	12.0	0.12	-	665	1330	142.530813
640	6.40	16.5	0.17	-	665	1330	142.530813
650	6.50	16.0	0.16	-	663	1326	142.102149
660	6.60	15.0	0.15	-	662	1324	141.887817
670	6.70	14.5	0.15	-	661	1322	141.673485
680	6.80	13.0	0.13	-	655	1310	140.387493



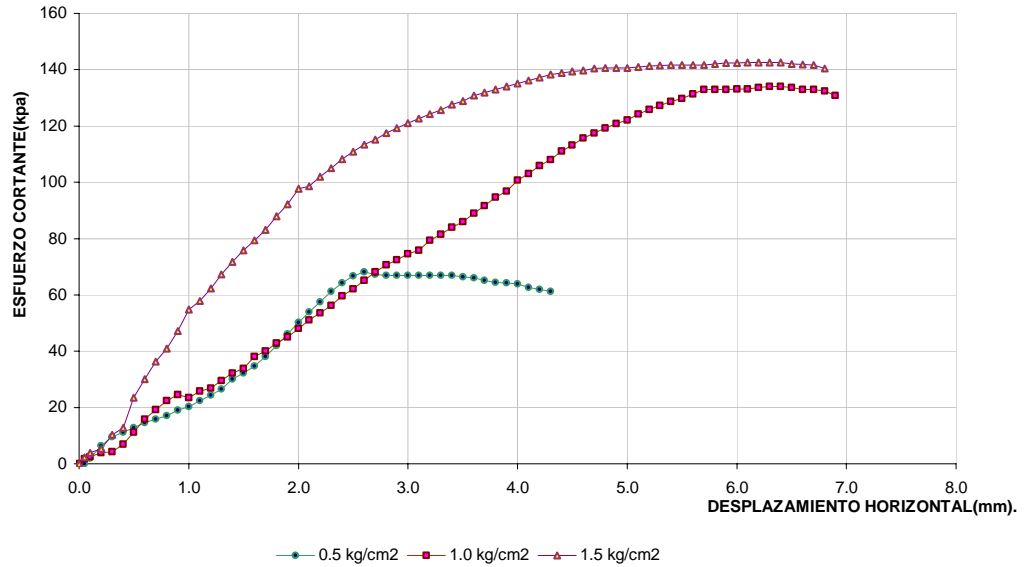
**LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL**  
**UCA**



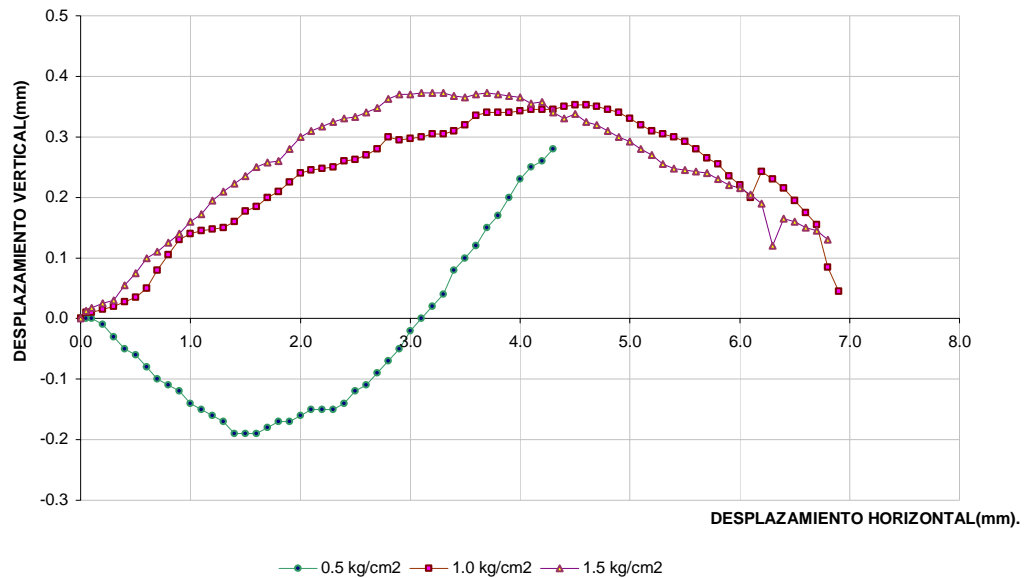
ENSAYO : **GRAFICO DE ENSAYO DE CORTE DIRECTO.**  
**CAJA DE CORTE DIRECTO ASTM D 3080 - 98**

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: Lomas de Santa Elena  
 PROFUNDIDAD: 4.10 UNIDAD: Oleada piroclastica de Unidad 1B.  
Pto 2B Lomas de Sta Elena.  
Zona Intermedia.

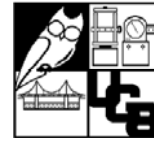
**DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL VS CORTANTE.**



**DESPLAZ. HORIZONTAL VS DESPLAZ. VERTICAL.**



# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



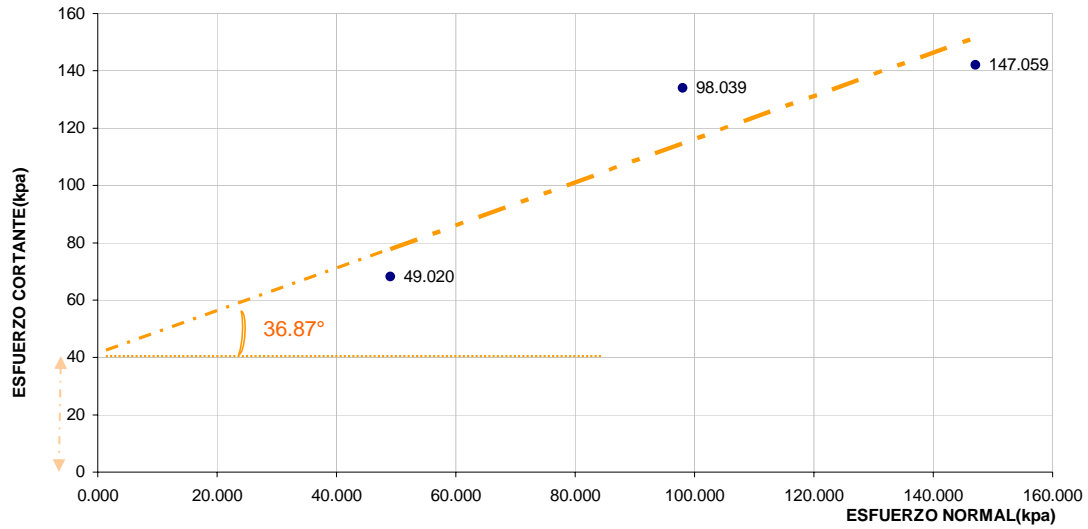
ENSAYO : GRAFICO DE ENSAYO DE CORTE DIRECTO.  
CAJA DE CORTE DIRECTO ASTM D 3080 - 98

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: Lomas de Santa Elena  
 PROFUNDIDAD: 4.10 UNIDAD: Oleada piroclástica de Unidad 1B.  
Pto 2B Lomas de Sta Elena.  
Zona Intermedia.

DATOS DE ENSAYO:

ENSAYO	ESFUERZO NORMAL kpa	ESFUERZO CORTANTE. Kpa
	0	7
1	49.02	68.16
2	98.04	133.96
3	147.06	142.10

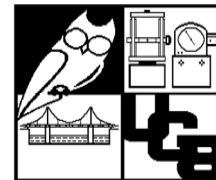
### ENVOLVENTE DE FALLA



ANGULO DE FRICCIÓN: 36.87 GRADOS  
 COHESIÓN: 40.00 kpa 4.00 N/cm<sup>2</sup>

**UNIDAD 2. INTERCALACIONES DE OLEADAS PIROCLASTICAS Y  
DEPOSITOS DE CAIDA**

**LABORATORIO DE MECÁNICA  
ESTRUCTURAL UCA**



**ENSAYO :** ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. MÉTODO MECÁNICO ASTM  
C 422-63

**LOCALIZACIÓN DEL SONDEO:** Lomas de Santa Elena. Zona Intermedia.

**DESCRIPCIÓN DEL SUELO:** Arena con laminaciones, intercalaciones  
de surge con caídas. Unidad 2 del Pto 2B.

**PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA:** 2.85 m.

**TAMAÑO MAX. DE LA PARTÍCULA:** 9.53 mm.

**PESO TOTAL DE LA MUESTRA:** 640.9 g.

FRACCIÓN	PESO DE FRACCIÓN RETENIDO (g)	PORCENTAJE DE FRACCIÓN.
Grava	24.9	3.89
Arena	585.1	91.29
Fino	30.0	4.68
Suma	640.0	99.85

Porcentaje de error:  
%Error 0.15 Si cumple

**COMPOSICIÓN DE FINOS**

Peso muestra antes de lavar:	640.90
Peso despues de lavado Wsl:	621.00
Perdida por lavado Wl:	19.90

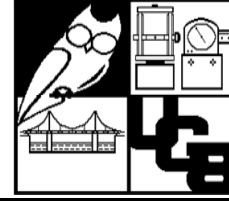
**COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE GRAVAS (G)**

MALLA (in)	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA
2	50.80	0.00	0.0	100.0
1 1/2	38.10	0.00	0.0	100.0
1	25.40	0.00	0.0	100.0
3/4	19.05	0.00	0.0	100.0
3/8	9.53	1.50	0.2	99.8
N. 4	4.76	23.40	3.7	96.1

**COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE ARENAS (A)**

MALLA N.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA
10	2.000	127.19	23.3	72.8
20	0.841	237.70	36.4	36.4
40	0.420	150.56	23.1	13.3
60	0.250	45.91	7.0	6.3
140	0.105	1.43	0.2	6.0
200	0.075	22.29	3.4	2.6
PASA N. 200 (finos)		10.08	1.5	1.1
SUMA	WFL:	595.1646		

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA

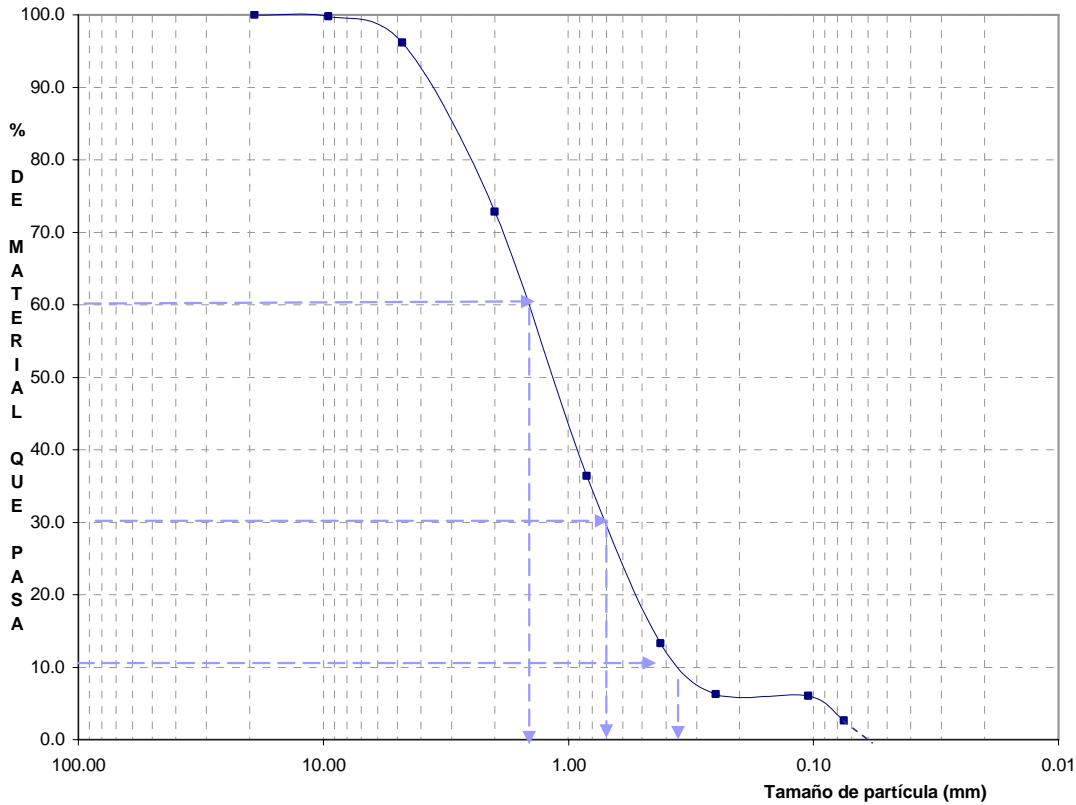


ENSAYO : ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. MÉTODO MECÁNICO

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: Lomas de Santa Elena. Unidad 2 Pto 2B.

PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA: 2.85 m.

FECHA: 27 Junio 2007.



LOGARITMO DEL DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (mm)

$$D_{10} = \underline{0.350} \text{ mm}$$

$$D_{30} = \underline{0.600} \text{ mm}$$

$$D_{60} = \underline{1.800} \text{ mm}$$

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \underline{5.1}$$

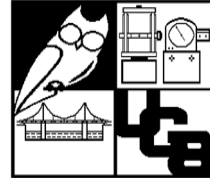
$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}} = \underline{0.6}$$

% GRAVAS: 3.89  
 % ARENAS: 91.29  
 % FINOS: 4.68

OBSERVACION: La clasificación del suelo es:  
SP Arena mal graduada.

TAMAÑO MÁXIMO DE PARTICULA: 9.53 mm

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



**ENSAYO : GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO  
ASTM D854-02**

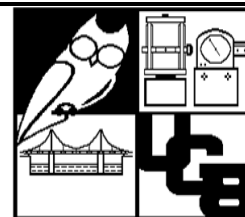
**UNIDAD:** Intercalaciones de oleadas                      **PROFUNDIDAD:** 2.85  
y depositos de caida. Unidad 2 Pto 2B.                      **FECHA:** 29 junio 2007.  
Zona Intermedia.

**DETERMINACIÓN:**

DETERMINACIÓN N	B	4.0
Masa Inicial ( g )	103.0	110.0
Ms ( g )	102.9	103.4
TEMPERATURA ( °C)	25.2	25.4
Mpw,t	681.29	667.11
Mpws,t	745.17	731.11
$G_s = \frac{M_s}{M_{pw,t} - (M_{pws,t} - M_s)}$	2.64	2.62
Factor de correccion correspondiente a la temperatura de ensayo Tt, Gt	0.99879	0.99874
GRAVEDAD ESPECIFICA ( 20 C)	2.64	2.62
GRAVEDAD ESPECIFICA ( 20 C)	2.63	

**NOTACIÓN:** Ms: Masa de los solidos secados al horno, g  
Mpw,t: Masa del matraz y del agua a la temperatura Tt  
Mpws,t: Masa del matraz, agua y solidos del suelo  
a la temperatura Tt

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



**ENSAYO : DENSIDAD IN-SITU. METODO DEL CONO DE ARENA.  
ASTM D 1556-00**

**LOCALIZACIÓN DEL SONDEO:** Lomas de Santa Elena. Unidad 2 Pto 2B. Zona Intermedia.

**DESCRIPCIÓN DEL SUELO:** Arena con laminaciones, intercalaciones de surge con caídas.

**PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA:** 2.85 m.

a) Densidad de la arena:

Diametro molde (cm)	15.23	Masa arena1	3594.0 g	Densidad1	1.274 g/cm <sup>3</sup>
Altura molde (cm)	15.49	Masa arena2	3599.0 g	Densidad2	1.276 g/cm <sup>3</sup>
Volumen molde Vm3 (cm <sup>3</sup> )	2820.98	Masa arena3	3584.0 g	Densidad3	1.270 g/cm <sup>3</sup>
Densidad de la arena (g/cm <sup>3</sup> )		1.273	Variacion:		0.23 Cumple

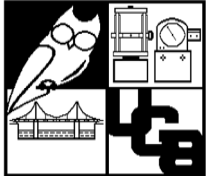
b) Densidad del suelo en el campo:

Masa frasco+arena inicial	5489.0	g	4923.0	g
Masa arena (retenida en el cono)	1325.0	g	1325.0	g
Masa del frasco con la arena restante (despues)	2690.0	g	2320.0	g
Masa arena (retenida en el agujero)	1474.0	g	1278.0	g
Volumen del agujero (cm <sup>3</sup> )	1157.5	cm <sup>3</sup>	1003.6	cm <sup>3</sup>
Masa de suelo humedo del agujero	1687.8	g	1459.8	g
Densidad del suelo humedo	1.46	g/cm <sup>3</sup>	1.45	g/cm <sup>3</sup>
Masa seca del material del agujero de prueba	1528.5	g	1317.5	g
Densidad del suelo seco	1.32	g/cm <sup>3</sup>	1.31	g/cm <sup>3</sup>

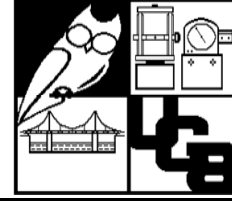
Densidad de suelo húmedo: 1.46

Densidad de suelo seco: 1.32

### UNIDAD 3. LAPILLI ACRECIONAL

<b>LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA</b>																																														
<b>ENSAYO : ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. MÉTODO MECÁNICO ASTM C 422-63</b>																																														
<b>LOCALIZACIÓN DEL SONDEO:</b>	<u>Lomas de Sta Elena. Unidad 3 Pto 2B. Zona Intermedia.</u>																																													
<b>DESCRIPCIÓN DEL SUELO:</b>	<u>Lapilli acricional y oleadas piroclasticas.</u>																																													
<b>PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA:</b>	<u>1.3 m.</u>																																													
<b>TAMAÑO MAX. DE LA PARTÍCULA:</b>	<u>2 mm.</u>																																													
<b>PESO TOTAL DE LA MUESTRA:</b>	<u>798.0 g.</u>																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">FRACCIÓN</th> <th style="width: 25%;">PESO DE FRACCIÓN RETENIDO (g)</th> <th style="width: 25%;">PORCENTAJE DE FRACCIÓN.</th> <th style="width: 25%;"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Grava</td> <td style="text-align: center;">0.0</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> <td rowspan="4" style="vertical-align: middle;">                     Porcentaje de error:                      %Error 0.18 Si cumple                 </td> </tr> <tr> <td>Arena</td> <td style="text-align: center;">682.1</td> <td style="text-align: center;">85.47</td> </tr> <tr> <td>Fino</td> <td style="text-align: center;">114.5</td> <td style="text-align: center;">14.34</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td style="text-align: center;">796.5</td> <td style="text-align: center;">99.82</td> </tr> </tbody> </table>	FRACCIÓN	PESO DE FRACCIÓN RETENIDO (g)	PORCENTAJE DE FRACCIÓN.		Grava	0.0	0.00	Porcentaje de error: %Error 0.18 Si cumple	Arena	682.1	85.47	Fino	114.5	14.34	Suma	796.5	99.82																													
FRACCIÓN	PESO DE FRACCIÓN RETENIDO (g)	PORCENTAJE DE FRACCIÓN.																																												
Grava	0.0	0.00	Porcentaje de error: %Error 0.18 Si cumple																																											
Arena	682.1	85.47																																												
Fino	114.5	14.34																																												
Suma	796.5	99.82																																												
<b>COMPOSICIÓN DE FINOS</b>																																														
Peso muestra antes de lavar:	<u>798.00</u>																																													
Peso despues de lavado Wsl:	<u>699.50</u>																																													
Perdida por lavado Wl:	<u>98.50</u>																																													
<b>COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE GRAVAS (G)</b>																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">MALLA (in)</th> <th style="width: 15%;">ABERTURA (mm)</th> <th style="width: 15%;">PESO RETENIDO (g)</th> <th style="width: 15%;">% RETENIDO</th> <th style="width: 15%;">% QUE PASA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td style="text-align: center;">50.80</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> <td style="text-align: center;">0.0</td> <td style="text-align: center;">100.0</td> </tr> <tr> <td>1 1/2</td> <td style="text-align: center;">38.10</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> <td style="text-align: center;">0.0</td> <td style="text-align: center;">100.0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td style="text-align: center;">25.40</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> <td style="text-align: center;">0.0</td> <td style="text-align: center;">100.0</td> </tr> <tr> <td>3/4</td> <td style="text-align: center;">19.05</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> <td style="text-align: center;">0.0</td> <td style="text-align: center;">100.0</td> </tr> <tr> <td>3/8</td> <td style="text-align: center;">9.53</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> <td style="text-align: center;">0.0</td> <td style="text-align: center;">100.0</td> </tr> <tr> <td>N. 4</td> <td style="text-align: center;">4.76</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> <td style="text-align: center;">0.0</td> <td style="text-align: center;">100.0</td> </tr> </tbody> </table>	MALLA (in)	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA	2	50.80	0.00	0.0	100.0	1 1/2	38.10	0.00	0.0	100.0	1	25.40	0.00	0.0	100.0	3/4	19.05	0.00	0.0	100.0	3/8	9.53	0.00	0.0	100.0	N. 4	4.76	0.00	0.0	100.0											
MALLA (in)	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA																																										
2	50.80	0.00	0.0	100.0																																										
1 1/2	38.10	0.00	0.0	100.0																																										
1	25.40	0.00	0.0	100.0																																										
3/4	19.05	0.00	0.0	100.0																																										
3/8	9.53	0.00	0.0	100.0																																										
N. 4	4.76	0.00	0.0	100.0																																										
<b>COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE ARENAS (A)</b>																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">MALLA N.</th> <th style="width: 15%;">ABERTURA (mm)</th> <th style="width: 15%;">PESO RETENIDO (g)</th> <th style="width: 15%;">% RETENIDO</th> <th style="width: 15%;">% QUE PASA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td style="text-align: center;">2.000</td> <td style="text-align: center;">173.67</td> <td style="text-align: center;">21.8</td> <td style="text-align: center;">78.2</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td style="text-align: center;">0.841</td> <td style="text-align: center;">170.00</td> <td style="text-align: center;">21.3</td> <td style="text-align: center;">56.9</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td style="text-align: center;">0.420</td> <td style="text-align: center;">132.72</td> <td style="text-align: center;">16.6</td> <td style="text-align: center;">40.3</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td style="text-align: center;">0.250</td> <td style="text-align: center;">83.90</td> <td style="text-align: center;">10.5</td> <td style="text-align: center;">29.8</td> </tr> <tr> <td>140</td> <td style="text-align: center;">0.105</td> <td style="text-align: center;">1.68</td> <td style="text-align: center;">0.2</td> <td style="text-align: center;">29.6</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td style="text-align: center;">0.075</td> <td style="text-align: center;">120.12</td> <td style="text-align: center;">15.1</td> <td style="text-align: center;">14.5</td> </tr> <tr> <td>PASA N. 200 (finos)</td> <td></td> <td style="text-align: center;">15.96</td> <td style="text-align: center;">2.0</td> <td style="text-align: center;">12.5</td> </tr> <tr> <td>SUMA</td> <td></td> <td style="text-align: center;">WFL: 698.04</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	MALLA N.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA	10	2.000	173.67	21.8	78.2	20	0.841	170.00	21.3	56.9	40	0.420	132.72	16.6	40.3	60	0.250	83.90	10.5	29.8	140	0.105	1.68	0.2	29.6	200	0.075	120.12	15.1	14.5	PASA N. 200 (finos)		15.96	2.0	12.5	SUMA		WFL: 698.04			
MALLA N.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA																																										
10	2.000	173.67	21.8	78.2																																										
20	0.841	170.00	21.3	56.9																																										
40	0.420	132.72	16.6	40.3																																										
60	0.250	83.90	10.5	29.8																																										
140	0.105	1.68	0.2	29.6																																										
200	0.075	120.12	15.1	14.5																																										
PASA N. 200 (finos)		15.96	2.0	12.5																																										
SUMA		WFL: 698.04																																												

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA

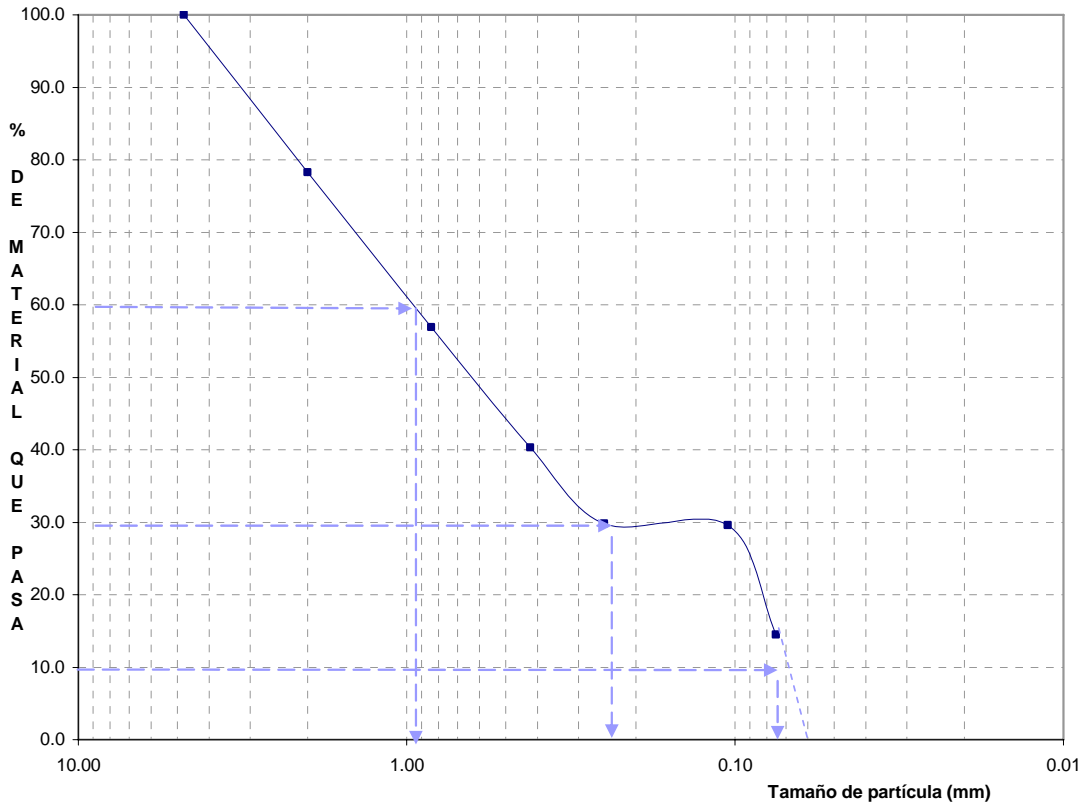


ENSAYO : ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. MÉTODO MECÁNICO

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: Lomas de Santa Elena. Unidad 3 Pto 2B.

PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA: 1.30 m.

FECHA: 28 Junio 2007.



LOGARITMO DEL DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (mm)

$D_{10} = 0.070 \text{ mm}$

$D_{30} = 0.240 \text{ mm}$

$D_{60} = 1.000 \text{ mm}$

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 14.3$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}} = 0.8$$

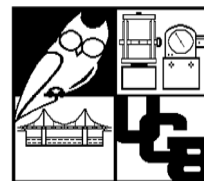
% GRAVAS: 0.00  
 % ARENAS: 85.47  
 % FINOS: 14.34

OBSERVACION: La clasificación del suelo es:  
SM Arena Limosa.

TAMAÑO MÁXIMO DE PARTICULA: 2.00 mm



# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



**ENSAYO :** GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO  
ASTM D854-02

**UNIDAD:** Lapilli acrecional y oleadas

**PROFUNDIDAD:** 1.30 m.

piroclasticas. Unidad 3 Pto 2B

**FECHA:** 6 Julio 2007.

Zona Intermedia.

### DETERMINACIÓN:

DETERMINACIÓN N	B	4.0
Masa Inicial ( g )	100.0	100.0
Ms ( g )	106.1	98.9
TEMPERATURA (°C)	22.4	22.6
Mpw, t	681.73	667.63
Mpws, t	748.82	729.86
$G_s = \frac{M_s}{M_{pw,t} - (M_{pws,t} - M_s)}$	2.72	2.70
Factor de correccion correspondiente a la temperatura de ensayo Tt, Gt	0.99947	0.99943
GRAVEDAD ESPECIFICA ( 20 C)	2.72	2.70
GRAVEDAD ESPECIFICA ( 20 C)	2.71	

**NOTACIÓN:**

Ms: Masa de los solidos secados al horno, g  
Mpw,t: Masa del matraz y del agua a la temperatura Tt  
Mpws,t: Masa del matraz, agua y solidos del suelo  
a la temperatura Tt

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



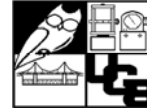
**ENSAYO DE CORTE DIRECTO. CAJA DE CORTE DIRECTO.**

**ENSAYO :** **ASTMD 3080 - 98**

**LOCALIZACIÓN DEL SONDEO:** Lomas de Santa Elena.  
**DESCRIPCIÓN DEL SUELO:** Lapilli acrecional y oleadas piroclásticas. Unidad 3.  
**PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA:** \_\_\_\_\_ m. **Fecha de la practica:** 18-Jul-07  
**Datos de Densidad de muestra**  
 Peso del suelo humedo: 438.80 g. Diametro: 10.90 cm.  
 Peso del suelo seco: 358.60 g. Altura: 2.95 cm.  
 Peso del agua: 80.20 g. Area: 93.31 cm<sup>2</sup>.  
 Contenido de humedad (W): 18.28 % Volumen: 275.27 cm<sup>3</sup>.  
**Densidad de la muestra:**  
 $\gamma_{humedo}$ : 1.59 g/cm<sup>3</sup>.  $\gamma_{seco}$ : 1.30 g/cm<sup>3</sup>.  
**Carga Normal :** 46.66 kg. **Esfuerzo normal  $\sigma_n$ :** 0.5 kg/cm<sup>2</sup>  
**Velocidad de carga:** 0.20 mm/min.

Deformimetro Horizontal	Desplazamiento Horizontal	Deformimetro Vertical	Desplazamiento Vertical	Area Corregida	Deformimetro Carga.	Fuerza Corte Horizontal	Esfuerzo Cortante
div.	mm.	div.	mm.	-	div.	N	Kpa
0	0.00	0.0	0.00	-	0	0	0.000
5	0.05	-2.0	-0.02	-	1	2	0.214
10	0.10	-2.0	-0.02	-	2	4	0.429
20	0.20	-4.0	-0.04	-	21	42	4.501
30	0.30	-4.5	-0.05	-	42	84	9.002
40	0.40	-5.5	-0.06	-	55	110	11.788
50	0.50	-5.5	-0.06	-	67	134	14.360
60	0.60	-4.5	-0.05	-	92	184	19.719
70	0.70	-3.0	-0.03	-	132	264	28.292
80	0.80	-2.5	-0.03	-	170	340	36.436
90	0.90	-4.0	-0.04	-	196	392	42.009
100	1.00	-3.0	-0.03	-	223	446	47.796
110	1.10	-4.0	-0.04	-	250	500	53.583
120	1.20	-4.0	-0.04	-	278	556	59.584
130	1.30	-2.0	-0.02	-	314	628	67.300
140	1.40	-0.5	-0.01	-	350	700	75.016
150	1.50	1.0	0.01	-	385	770	82.518
160	1.60	2.5	0.03	-	418	836	89.591
170	1.70	4.5	0.05	-	446	892	95.592
180	1.80	5.0	0.05	-	488	976	104.594
190	1.90	6.5	0.07	-	528	1056	113.167
200	2.00	8.0	0.08	-	556	1112	119.169
210	2.10	10.0	0.10	-	601	1202	128.814
220	2.20	12.0	0.12	-	638	1276	136.744
230	2.30	14.5	0.15	-	674	1348	144.460
240	2.40	15.0	0.15	-	708	1416	151.747
250	2.50	16.5	0.17	-	738	1476	158.177
260	2.60	18.0	0.18	-	768	1536	164.607
270	2.70	20.5	0.21	-	792	1584	169.751
280	2.80	22.5	0.23	-	816	1632	174.895
290	2.90	25.0	0.25	-	840	1680	180.039
300	3.00	27.5	0.28	-	862	1724	184.754
310	3.10	28.5	0.29	-	886	1772	189.898
320	3.20	30.5	0.31	-	908	1816	194.614
330	3.30	33.0	0.33	-	830	1660	177.896
340	3.40	34.5	0.35	-	952	1904	204.044
350	3.50	36.5	0.37	-	967	1934	207.259
360	3.60	39.0	0.39	-	984	1968	210.903
370	3.70	41.5	0.42	-	1000	2000	214.332
380	3.80	45.0	0.45	-	1016	2032	217.761
390	3.90	47.0	0.47	-	931	1862	199.543
400	4.00	52.0	0.52	-	937	1874	200.829
410	4.10	56.0	0.56	-	935	1870	200.400
420	4.20	59.0	0.59	-	920	1840	197.185
430	4.30	64.0	0.64	-	955	1910	204.687

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



## ENSAYO DE CORTE DIRECTO. CAJA DE CORTE DIRECTO.

**ENSAYO :** **ASTMD 3080 - 98**

**LOCALIZACIÓN DEL SONDEO:** Lomas de Santa Elena.  
**DESCRIPCIÓN DEL SUELO:** Lapilli acrecional y oleadas piroclásticas. Unidad 3.  
**PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA:** \_\_\_\_\_ m. **Fecha de la practica:**  
**Datos de Densidad de muestra**  
 Peso del suelo humedo: 422.50 g. Diametro: 10.90 cm.  
 Peso del suelo seco: 354.40 g. Altura: 2.95 cm.  
 Peso del agua: 68.10 g. Area: 93.31 cm<sup>2</sup>.  
 Contenido de humedad (W): 16.12 % Volumen: 275.27 cm<sup>3</sup>.

**Densidad de la muestra:**  
 γhumedo: 1.53 g/cm<sup>3</sup>. γseco: 1.29 g/cm<sup>3</sup>.

**Carga Normal :** 93.31 kg. **Esfuerzo normal σ<sub>n</sub>:** 1.0 kg/cm<sup>2</sup>

**Velocidad de carga:** 0.20 mm/min.

Deformimetro Horizontal	Desplazamiento Horizontal	Deformimetro Vertical	Desplazamiento Vertical	Area Corregida	Deformimetro Carga.	Fuerza Corte Horizontal	Esfuerzo Cortante
div.	mm.	div.	mm.		div.	N	Kpa
0	0.00	0	0.00	-	0	0	0.000
5	0.05	-1	-0.01	-	0	0	0.000
10	0.10	-6	-0.06	-	10	20	2.143
20	0.20	-7	-0.07	-	48	96	10.288
30	0.30	-11	-0.11	-	94	188	20.147
40	0.40	-13	-0.13	-	117	234	25.077
50	0.50	-14	-0.14	-	160	320	34.293
60	0.60	-17	-0.17	-	203	406	43.509
70	0.70	-19	-0.19	-	244	488	52.297
80	0.80	-19	-0.19	-	277	554	59.370
90	0.90	-19	-0.19	-	309	618	66.229
100	1.00	-19	-0.19	-	339	678	72.659
110	1.10	-18	-0.18	-	376	752	80.589
120	1.20	-18	-0.18	-	414	828	88.733
130	1.30	-18	-0.18	-	449	898	96.235
140	1.40	-17	-0.17	-	478	956	102.451
150	1.50	-17	-0.17	-	505	1010	108.238
160	1.60	-16	-0.16	-	540	1080	115.739
170	1.70	-14	-0.14	-	575	1150	123.241
180	1.80	-12	-0.12	-	608	1216	130.314
190	1.90	-10	-0.10	-	639	1278	136.958
200	2.00	-9	-0.09	-	674	1348	144.460
210	2.10	-6	-0.06	-	714	1428	153.033
220	2.20	-4	-0.04	-	763	1526	163.535
230	2.30	0	0.00	-	811	1622	173.823
240	2.40	3	0.03	-	852	1704	182.611
250	2.50	5	0.05	-	890	1780	190.756
260	2.60	6	0.06	-	920	1840	197.185
270	2.70	9	0.09	-	940	1880	201.472
280	2.80	11	0.11	-	969	1938	207.688
290	2.90	14	0.14	-	1000	2000	214.332
300	3.00	17	0.17	-	1040	2080	222.905
310	3.10	21	0.21	-	1075	2150	230.407
320	3.20	23	0.23	-	1114	2228	238.766
330	3.30	26	0.26	-	1156	2312	247.768
340	3.40	29	0.29	-	1196	2392	256.341
350	3.50	31	0.31	-	1235	2470	264.700
360	3.60	33	0.33	-	1267	2534	271.559
370	3.70	35	0.35	-	1291	2582	276.703
380	3.80	38	0.38	-	1309	2618	280.561
390	3.90	39	0.39	-	1315	2630	281.847
400	4.00	41	0.41	-	1305	2610	279.703

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



## ENSAYO DE CORTE DIRECTO. CAJA DE CORTE DIRECTO.

**ENSAYO :** **ASTMD 3080 - 98**

**LOCALIZACIÓN DEL SONDEO:** Lomas de Santa Elena.

**DESCRIPCIÓN DEL SUELO:** Lapilli acrecional y oleadas piroclásticas. Unidad 3.

**PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA:** \_\_\_\_\_ m. **Fecha de la practica:**

**Datos de Densidad de muestra**

Peso del suelo humedo:	454.90	g.	Diametro:	10.90	cm.
Peso del suelo seco:	402.80	g.	Altura:	2.95	cm.
Peso del agua:	52.10	g.	Area:	93.31	cm <sup>2</sup> .
Contenido de humedad (W):	11.45	%	Volumen:	275.27	cm <sup>3</sup> .

**Densidad de la muestra:**

γhumedo:	1.65	g/cm <sup>3</sup> .	γseco:	1.46	g/cm <sup>3</sup> .
----------	------	---------------------	--------	------	---------------------

**Carga Normal :** **Esfuerzo normal  $\sigma_n$ :**

139.97	kg.	1.5	kg/cm <sup>2</sup>
--------	-----	-----	--------------------

**Velocidad de carga:** \_\_\_\_\_ mm/min.

Deformimetro Horizontal	Desplazamiento Horizontal	Deformimetro Vertical	Desplazamiento Vertical	Area Corregida	Deformimetro Carga.	Fuerza Corte Horizontal	Esfuerzo Cortante
div.	mm.	div.	mm.		div.	N	Kpa
0	0.00	0.0	0.00	-	0	0	0.000
5	0.05	-3.0	-0.03	-	1	2	0.214
10	0.10	-6.0	-0.06	-	24	48	5.144
20	0.20	-8.0	-0.08	-	87	174	18.647
30	0.30	-9.5	-0.10	-	129	258	27.649
40	0.40	-11.0	-0.11	-	157	314	33.650
50	0.50	-13.0	-0.13	-	170	340	36.436
60	0.60	-14.0	-0.14	-	196	392	42.009
70	0.70	-15.0	-0.15	-	216	432	46.296
80	0.80	-15.5	-0.16	-	240	480	51.440
90	0.90	-16.0	-0.16	-	265	530	56.798
100	1.00	-16.0	-0.16	-	282	564	60.442
110	1.10	-17.0	-0.17	-	300	600	64.300
120	1.20	-18.0	-0.18	-	311	622	66.657
130	1.30	-19.0	-0.19	-	327	654	70.087
140	1.40	-20.0	-0.20	-	344	688	73.730
150	1.50	-21.5	-0.22	-	372	744	79.732
160	1.60	-22.0	-0.22	-	434	868	93.020
170	1.70	-23.0	-0.23	-	498	996	106.737
180	1.80	-23.0	-0.23	-	556	1112	119.169
190	1.90	-22.0	-0.22	-	603	1206	129.242
200	2.00	-22.5	-0.23	-	639	1278	136.958
210	2.10	-23.0	-0.23	-	677	1354	145.103
220	2.20	-23.0	-0.23	-	718	1436	153.890
230	2.30	-22.0	-0.22	-	755	1510	161.821
240	2.40	-20.0	-0.20	-	799	1598	171.251
250	2.50	-19.0	-0.19	-	832	1664	178.324
260	2.60	-18.0	-0.18	-	874	1748	187.326
270	2.70	-17.0	-0.17	-	916	1832	196.328
280	2.80	-15.0	-0.15	-	959	1918	205.544
290	2.90	-13.0	-0.13	-	998	1996	213.903
300	3.00	-10.0	-0.10	-	1028	2056	220.333
310	3.10	-8.0	-0.08	-	1056	2112	226.335
320	3.20	-6.5	-0.07	-	1078	2156	231.050
330	3.30	-5.0	-0.05	-	1092	2184	234.051
340	3.40	-4.0	-0.04	-	1111	2222	238.123
350	3.50	-2.0	-0.02	-	1132	2264	242.624
360	3.60	0.5	0.01	-	1149	2298	246.268
370	3.70	3.0	0.03	-	1164	2328	249.483
380	3.80	5.5	0.06	-	1176	2352	252.054
390	3.90	7.5	0.08	-	1185	2370	253.983
400	4.00	9.5	0.10	-	1190	2380	255.055
410	4.10	11.0	0.11	-	1195	2390	256.127
420	4.20	12.0	0.12	-	1199	2398	256.984
430	4.30	13.0	0.13	-	1200	2400	257.198
440	4.40	14.0	0.14	-	1200	2400	257.198
450	4.50	15.5	0.16	-	1200	2400	257.198
460	4.60	17.0	0.17	-	1200	2400	257.198
470	4.70	18.5	0.19	-	1200	2400	257.198
480	4.80	20.0	0.20	-	1200	2400	257.198

**LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL**  
**UCA**



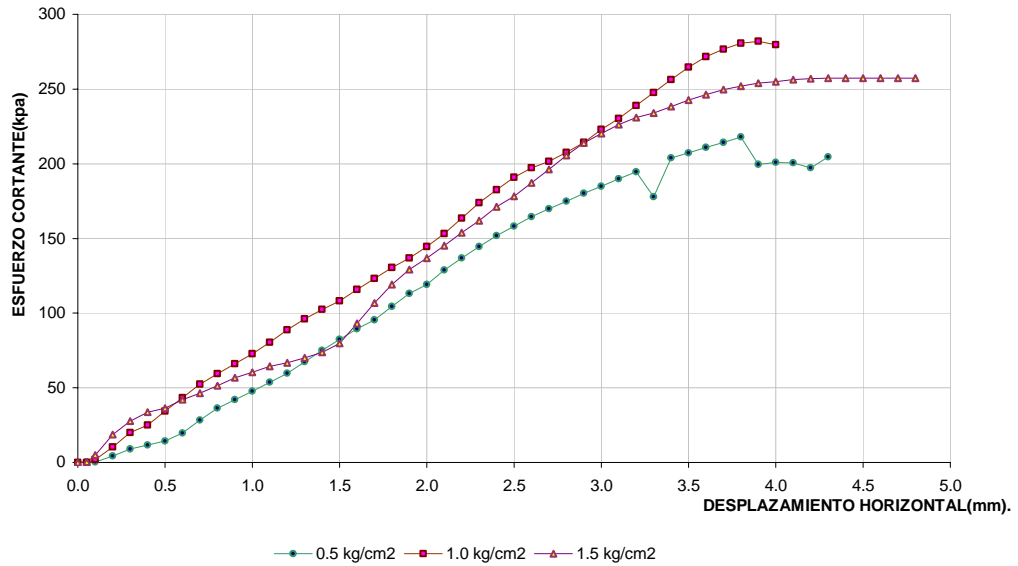
ENSAYO : GRAFICO DE ENSAYO DE CORTE DIRECTO.  
CAJA DE CORTE DIRECTO ASTM D 3080 - 98

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: Lomas de Santa Elena

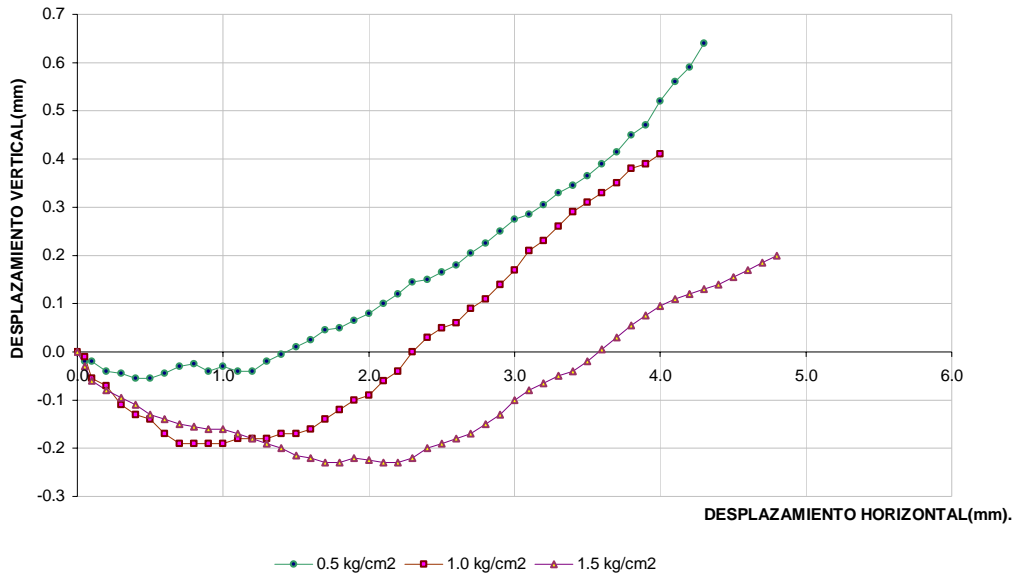
PROFUNDIDAD: 1.30

UNIDAD: Lapilli Acrecional y oleada piroclastica  
Unidad 3 Pto 2B Lomas de Sta Elena.  
Zona Intermedia.

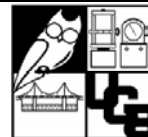
DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL VS CORTANTE.



DESPLAZ. HORIZONTAL VS DESPLAZ. VERTICAL.



**LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL  
UCA**

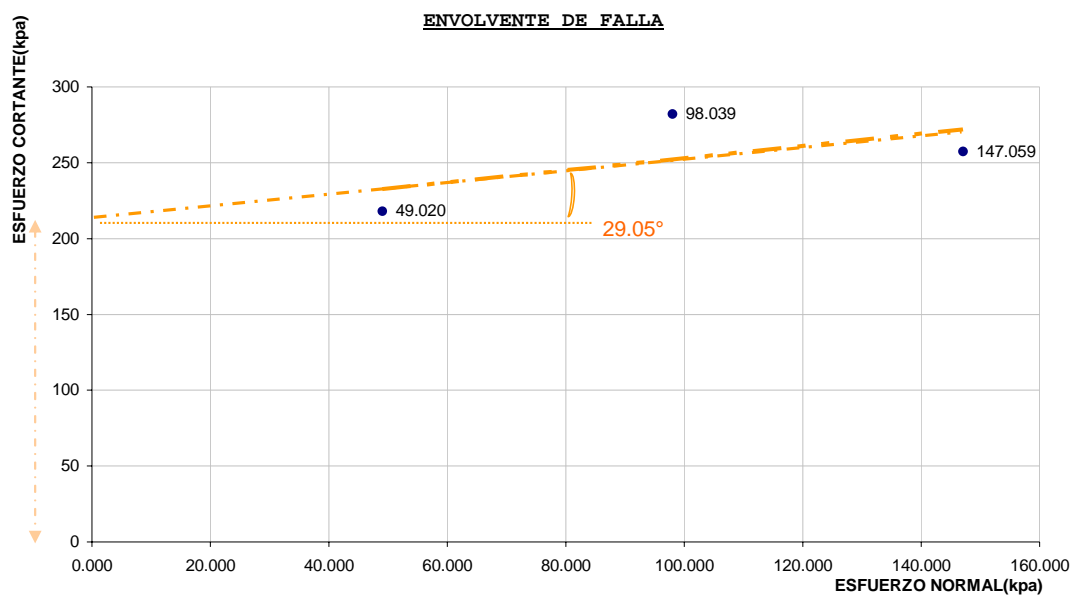


ENSAYO : **GRAFICO DE ENSAYO DE CORTE DIRECTO.  
CAJA DE CORTE DIRECTO ASTM D 3080 - 98**

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: Lomas de Santa Elena  
 PROFUNDIDAD: 1.30 UNIDAD: Lapilli Acrecional y oleada piroclastica  
Unidad 3 Pto 2B Lomas de Sta Elena.  
Zona Intermedia.

DATOS DE ENSAYO:

ENSAYO	ESFUERZO NORMAL kpa	ESFUERZO CORTANTE. Kpa
	0	τ
1	49.02	217.76
2	98.04	281.85
3	147.06	257.20



ANGULO DE FRICCIÓN: **22.62** GRADOS  
 COHESIÓN: **210.00** kpa      **21.00** N/cm<sup>2</sup>

## ZONA DISTAL

Pto	Distancia al Crater m.	Descripción	Profundidad m.	Clasificación de Suelo	Porcentajes	W %	Limites Atterberg LL PL	Gs	$\phi$ (grados)	C Kpa.	PVH g/cm <sup>3</sup>	PVS g/cm <sup>3</sup>	Relación de Vacíos e.	Porosidad n.
3	3840	Lapilli Acrecional y oleada piroclástica. Unidad 3	1.40	<b>SM</b> Arena Limosa	Grava : 7.41 % Arena : 73.75 % Fino : 18.60 %	27.5	BAJA PLASTICIDAD	2.67	26.56	100.0	1.37	1.03	1.60	0.62

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

LL: Limite Líquido

Gs: Gravedad Específica

W: Contenido de Humedad.

IP: Limite Plástico

PVS: Peso Volumétrico Seco.

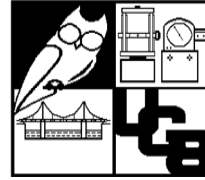
$\phi$ : Angulo de fricción interna.

PVH: Peso Volumétrico Húmedo.

C: Cohesión aparente.

**UNIDAD 3. LAPILLI ACRECIONAL**

**LABORATORIO DE MECÁNICA  
ESTRUCTURAL UCA**



**ENSAYO :** ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. MÉTODO MECÁNICO ASTM  
C 422-63

**LOCALIZACIÓN DEL SONDEO:** Nuevo Cuscatlan. Finca el Carmen. Zona Distal.

**DESCRIPCIÓN DEL SUELO:** Lapilli acrecional y Oleadas Piroclasticas.

**PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA:** 1.40 m.

**TAMAÑO MAX. DE LA PARTÍCULA:** 4.76 mm.

**PESO TOTAL DE LA MUESTRA:** 838.0 g.

FRACCIÓN	PESO DE FRACCIÓN RETENIDO (g)	PORCENTAJE DE FRACCIÓN.
Grava	62.1	7.41
Arena	618.0	73.75
Fino	155.9	18.60
Suma	836.0	99.76

Porcentaje de Error:  
%Error 0.24 Si cumple

**COMPOSICIÓN DE FINOS**

Peso muestra antes de lavar: 838.00

Peso despues de lavado W<sub>sl</sub>: 705.50

Perdida por lavado W<sub>l</sub>: 132.50

**COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE GRAVAS (G)**

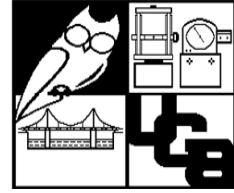
MALLA (in)	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA
2	50.80	0.00	0.0	100.0
1 1/2	38.10	0.00	0.0	100.0
1	25.40	0.00	0.0	100.0
3/4	19.05	0.00	0.0	100.0
3/8	9.53	0.00	0.0	100.0
N. 4	4.76	62.10	7.4	92.6

**COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE ARENAS (A)**

MALLA N.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% QUE PASA
10	2.000	109.23	13.0	79.6
20	0.841	186.15	22.2	57.3
40	0.420	120.30	14.4	43.0
60	0.250	57.58	6.9	36.1
140	0.105	54.11	6.5	29.7
200	0.075	90.67	10.8	18.8
PASA N. 200 (finos)		23.37	2.8	16.1
SUMA	WFL:	703.50		

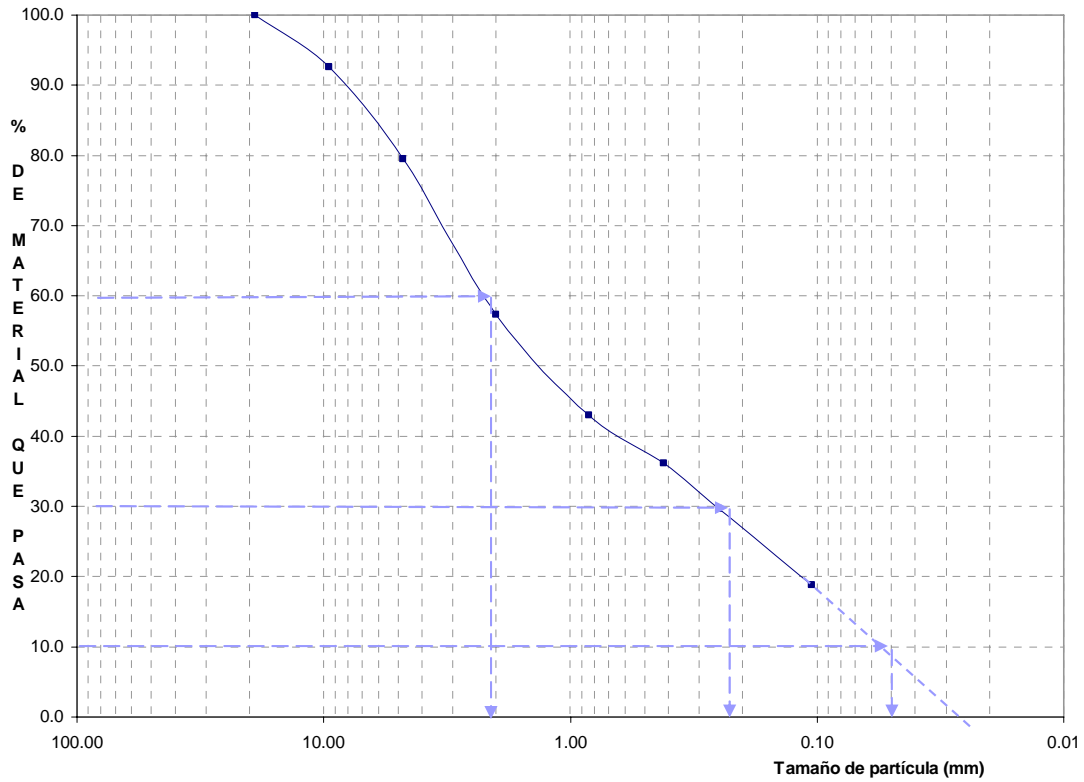


# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



ENSAYO : ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. MÉTODO MECÁNICO

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: Finca el Carmen. Zona Distal.  
 PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA: 1.40 m.  
 FECHA: 27 Junio 2007.



LOGARITMO DEL DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (mm)

$D_{10} = \underline{0.050} \text{ mm}$

$D_{30} = \underline{0.210} \text{ mm}$

$D_{60} = \underline{2.100} \text{ mm}$

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \underline{42.0}$$

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}} = \underline{0.4}$$

% GRAVAS: 7.41

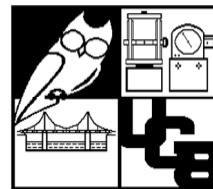
% ARENAS: 73.75

% FINOS: 18.60

OBSERVACION: La clasificación del suelo es: SM Arena Limosa.

TAMAÑO MAXIMO DE PARTICULA: 4.76 mm

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



**ENSAYO :** GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SÓLIDOS DEL  
SUELO ASTM D854-02

**UNIDAD:** Lapilli Acrecional y Oleadas  
Piroclasticas. Unidad 3. Zona Distal  
Zona Distal.

**PROFUNDIDAD:** 1.40  
**FECHA:** 11 Julio 2007.

### DETERMINACIÓN:

DETERMINACIÓN N	B	4.0
Masa Inicial ( g )	100.0	100.0
Ms ( g )	98.3	97.7
TEMPERATURA (°C)	26.8	26.4
Mpw, t	681.04	666.93
Mpws, t	742.69	728.07
$G_s = \frac{M_s}{M_{pw,t} - (M_{pws,t} - M_s)}$	2.68	2.67
Factor de correccion correspondiente a la temperatura de ensayo Tt, Gt	0.99835	0.99847
GRAVEDAD ESPECIFICA ( 20 C )	2.68	2.67
GRAVEDAD ESPECIFICA ( 20 C )	2.67	

**NOTACIÓN:** Ms: Masa de los solidos secados al horno, g  
Mpw,t: Masa del matraz y del agua a la temperatura Tt  
Mpws,t: Masa del matraz, agua y solidos del suelo a la temperatura Tt

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



## ENSAYO DE CORTE DIRECTO. CAJA DE CORTE DIRECTO.

ENSAYO : ASTMD 3080 - 98

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: Nuevo Cuscatlan. Finca El Carmen.  
 DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Lapilli acrecional y oleadas piroclasticas. Unidad 3.  
 PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA: 1.40 m. Fecha de la practica:  
 Datos de Densidad de muestra  
 Peso del suelo humedo: 392.10 g. Diametro: 10.90 cm.  
 Peso del suelo seco: 297.30 g. Altura: 2.95 cm.  
 Peso del agua: 94.80 g. Area: 93.31 cm<sup>2</sup>.  
 Contenido de humedad (W): 24.18 % Volumen: 275.27 cm<sup>3</sup>.  
 Densidad de la muestra:  $\gamma_{humedo}$ : 1.42 g/cm<sup>3</sup>.  $\gamma_{seco}$ : 1.08 g/cm<sup>3</sup>.  
 Carga Normal : 46.66 Kg. Esfuerzo normal  $\sigma_n$ : 0.5 kg/cm<sup>2</sup>  
 Velocidad de carga: 0.20 mm/min.

Deformimetro Horizontal	Desplazamiento Horizontal	Deformimetro Vertical	Desplazamiento Vertical	Area Correjada	Deformimetro Carga.	Fuerza Corte Horizontal	Esfuerzo Cortante
div.	mm.	div.	mm.		div.	N	Kpa
0	0.00	0	0.00	-	0	0	0.000
5	0.05	-1	-0.01	-	1	2	0.214
10	0.10	-4	-0.04	-	6	12	1.286
20	0.20	-6	-0.06	-	21	42	4.501
40	0.40	-10	-0.10	-	28	56	6.001
50	0.50	-14	-0.14	-	36	72	7.716
60	0.60	-19	-0.19	-	42	84	9.002
70	0.70	-22	-0.22	-	48	96	10.288
80	0.80	-24	-0.24	-	54	108	11.574
90	0.90	-26	-0.26	-	60	120	12.860
100	1.00	-28	-0.28	-	62	124	13.289
110	1.10	-30	-0.30	-	60	120	12.860
120	1.20	-30	-0.30	-	58	116	12.431
130	1.30	-30	-0.30	-	55	110	11.788
140	1.40	-30	-0.30	-	53	106	11.360
150	1.50	-30	-0.30	-	51	102	10.931
160	1.60	-31	-0.31	-	60	120	12.860
170	1.70	-32	-0.32	-	78	156	16.718
180	1.80	-32	-0.32	-	98	196	21.005
190	1.90	-32	-0.32	-	106	212	22.719
200	2.00	-32	-0.32	-	116	232	24.863
210	2.10	-32	-0.32	-	125	250	26.792
220	2.20	-32	-0.32	-	135	270	28.935
230	2.30	-32	-0.32	-	145	290	31.078
240	2.40	-32	-0.32	-	155	310	33.221
250	2.50	-32	-0.32	-	165	330	35.365
260	2.60	-32	-0.32	-	175	350	37.508
270	2.70	-32	-0.32	-	187	374	40.080
280	2.80	-31	-0.31	-	198	396	42.438
290	2.90	-30	-0.30	-	210	420	45.010
300	3.00	-30	-0.30	-	225	450	48.225
310	3.10	-30	-0.30	-	240	480	51.440
320	3.20	-30	-0.30	-	258	516	55.298
330	3.30	-30	-0.30	-	274	548	58.727
340	3.40	-30	-0.30	-	292	584	62.585
350	3.50	-29	-0.29	-	308	616	66.014
360	3.60	-29	-0.29	-	322	644	69.015
370	3.70	-29	-0.29	-	337	674	72.230
380	3.80	-28	-0.28	-	350	700	75.016
390	3.90	-28	-0.28	-	360	720	77.160
400	4.00	-27	-0.27	-	370	740	79.303
410	4.10	-27	-0.27	-	380	760	81.446
420	4.20	-26	-0.26	-	395	790	84.661
430	4.30	-25	-0.25	-	410	820	87.876
440	4.40	-24	-0.24	-	428	856	91.734
450	4.50	-23	-0.23	-	440	880	94.306
460	4.60	-21	-0.21	-	455	910	97.521
470	4.70	-21	-0.21	-	468	936	100.307
480	4.80	-20	-0.20	-	480	960	102.879
490	4.90	-17	-0.17	-	494	988	105.880
500	5.00	-17	-0.17	-	500	1000	107.166
510	5.10	-15	-0.15	-	515	1030	110.381
520	5.20	-14	-0.14	-	535	1070	114.668
530	5.30	-12	-0.12	-	547	1094	117.240
540	5.40	-10	-0.10	-	555	1110	118.954
550	5.50	-9	-0.09	-	565	1130	121.098
560	5.60	-7	-0.07	-	575	1150	123.241
570	5.70	-5	-0.05	-	585	1170	125.384
580	5.80	-3	-0.03	-	597	1194	127.956
590	5.90	-2	-0.02	-	606	1212	129.885
600	6.00	1	0.01	-	617	1234	132.243
610	6.10	4	0.04	-	620	1240	132.886
620	6.20	6	0.06	-	630	1260	135.029
630	6.30	8	0.08	-	634	1268	135.887
640	6.40	10	0.10	-	635	1270	136.101
650	6.50	13	0.13	-	636	1272	136.315
660	6.60	15	0.15	-	636	1272	136.315
670	6.70	17	0.17	-	630	1260	135.029
680	6.80	19	0.19	-	620	1240	132.886
690	6.90	20	0.20	-	600	1200	128.599
700	7.00	22	0.22	-	580	1160	124.313
710	7.10	24	0.24	-	560	1120	120.026
720	7.20	26	0.26	-	550	1100	117.883

**LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA**



**ENSAYO DE CORTE DIRECTO. CAJA DE CORTE DIRECTO.**

**ENSAYO : ASTM D 3080 - 98**

**LOCALIZACIÓN DEL SONDEO:** Nuevo Cuscatlan, Finca El Carmen.  
**DESCRIPCIÓN DEL SUELO:** Lapilli acrecional y oleadas piroclasticas. Unidad 3.  
**PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA:** 1.40 m. **Fecha de la practica:**  
**Datos de Densidad de muestra**  
 Peso del suelo humedo: 364.30 g. **Diametro:** 10.90 cm.  
 Peso del suelo seco: 275.30 g. **Altura:** 2.95 cm.  
 Peso del agua: 89.00 g. **Area:** 93.31 cm2.  
 Contenido de humedad (W): 24.43 % **Volumen:** 275.27 cm3.  
**Densidad de la muestra:**  
 γhumedo: 1.32 g/cm3. γseco: 1.00 g/cm3.  
**Carga Normal :** 93.31 kg. **Esfuerzo normal σn:** 1.0 kg/cm2  
**Velocidad de carga:** 0.20 mm/min.

Deformimetro Horizontal	Desplazamiento Horizontal	Deformimetro Vertical	Desplazamiento Vertical	Area Corregida	Deformimetro Carga.	Fuerza Corte Horizontal	Esfuerzo Cortante
div.	mm.	div.	mm.		div.	N	Kpa
0	0.00	0	0.00	-	0	0	0.000
5	0.05	-1.0	-0.01	-	15	30	3.215
10	0.10	-1.0	-0.01	-	25	50	5.358
20	0.20	-1.5	-0.02	-	41	82	8.788
30	0.30	-2.5	-0.03	-	56	112	12.003
40	0.40	-5.0	-0.05	-	75	150	16.075
50	0.50	-8.0	-0.08	-	90	180	19.290
60	0.60	-10.0	-0.10	-	104	208	22.291
70	0.70	-12.0	-0.12	-	115	230	24.648
80	0.80	-14.5	-0.15	-	125	250	26.792
90	0.90	-17.0	-0.17	-	133	266	28.506
100	1.00	-19.5	-0.20	-	140	280	30.006
110	1.10	-22.0	-0.22	-	146	292	31.292
120	1.20	-24.0	-0.24	-	151	302	32.364
130	1.30	-26.0	-0.26	-	156	312	33.436
140	1.40	-28.0	-0.28	-	160	320	34.293
150	1.50	-29.0	-0.29	-	167	334	35.793
160	1.60	-30.0	-0.30	-	176	352	37.722
170	1.70	-31.0	-0.31	-	186	372	39.866
180	1.80	-32.5	-0.33	-	198	396	42.438
190	1.90	-33.5	-0.34	-	211	422	45.224
200	2.00	-35.0	-0.35	-	225	450	48.225
210	2.10	-36.0	-0.36	-	235	470	50.368
220	2.20	-36.5	-0.37	-	249	498	53.369
230	2.30	-36.5	-0.37	-	255	510	54.655
240	2.40	-37.0	-0.37	-	270	540	57.870
250	2.50	-37.5	-0.38	-	281	562	60.227
260	2.60	-38.0	-0.38	-	290	580	62.156
270	2.70	-38.0	-0.38	-	298	596	63.871
280	2.80	-38.5	-0.39	-	310	620	66.443
290	2.90	-38.5	-0.39	-	316	632	67.729
300	3.00	-39.0	-0.39	-	325	650	69.658
310	3.10	-39.0	-0.39	-	335	670	71.801
320	3.20	-38.0	-0.38	-	345	690	73.945
330	3.30	-38.0	-0.38	-	353	706	75.659
340	3.40	-38.0	-0.38	-	363	726	77.803
350	3.50	-37.5	-0.38	-	372	744	79.732
360	3.60	-37.0	-0.37	-	380	760	81.446
370	3.70	-36.5	-0.37	-	386	772	82.732
380	3.80	-36.5	-0.37	-	397	794	85.090
390	3.90	-36.0	-0.36	-	405	810	86.804
400	4.00	-35.5	-0.36	-	414	828	88.733
410	4.10	-35.0	-0.35	-	423	846	90.662
420	4.20	-35.0	-0.35	-	432	864	92.591
430	4.30	-34.5	-0.35	-	442	884	94.735
440	4.40	-34.0	-0.34	-	451	902	96.664
450	4.50	-33.5	-0.34	-	463	926	99.236
460	4.60	-33.5	-0.34	-	470	940	100.736
470	4.70	-33.5	-0.34	-	480	960	102.879
480	4.80	-33.0	-0.33	-	490	980	105.023
490	4.90	-32.0	-0.32	-	497	994	106.523
500	5.00	-32.0	-0.32	-	507	1014	108.666
510	5.10	-32.0	-0.32	-	519	1038	111.238
520	5.20	-31.5	-0.32	-	525	1050	112.524
530	5.30	-30.5	-0.31	-	534	1068	114.453
540	5.40	-30.5	-0.31	-	540	1080	115.739
550	5.50	-30.5	-0.31	-	550	1100	117.883
560	5.60	-30.5	-0.31	-	559	1118	119.812
570	5.70	-30.0	-0.30	-	561	1122	120.240
580	5.80	-29.0	-0.29	-	575	1150	123.241
590	5.90	-29.0	-0.29	-	584	1168	125.170
600	6.00	-28.5	-0.29	-	592	1184	126.885
610	6.10	-28.0	-0.28	-	600	1200	128.599
620	6.20	-27.5	-0.28	-	607	1214	130.100
630	6.30	-27.0	-0.27	-	613	1226	131.386
640	6.40	-27.0	-0.27	-	613	1226	131.386
650	6.50	-27.0	-0.27	-	613	1226	131.386
660	6.60	-26.5	-0.27	-	595	1190	127.528
670	6.70	-26.5	-0.27	-	585	1170	125.384
680	6.80	-26.0	-0.26	-	569	1138	121.955
690	6.90	-26.0	-0.26	-	565	1130	121.098
700	7.00	-26.0	-0.26	-	565	1130	121.098

# LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



**ENSAYO DE CORTE DIRECTO. CAJA DE CORTE DIRECTO.  
ASTM 3080 - 98**

**ENSAYO :**

**LOCALIZACIÓN DEL SONDEO:** Nuevo Cuscatlan. Finca El Carmen.  
**DESCRIPCIÓN DEL SUELO:** Lapilli acrecional y oleadas piroclásticas. Unidad 3.  
**PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA:** 1.40 m. **Fecha de la practica:**  
**Datos de Densidad de muestra**  
 Peso del suelo humedo: 378.80 g. **Diametro:** 10.90 cm.  
 Peso del suelo seco: 274.60 g. **Altura:** 2.95 cm.  
 Peso del agua: 104.20 g. **Area:** 93.31 cm2.  
 Contenido de humedad (W): 27.51 % **Volumen:** 275.27 cm3.  
**Densidad de la muestra:**  
 γhumedo: 1.38 g/cm3. γseco: 1.00 g/cm3.  
**Carga Normal :** 139.97 kg. **Esfuerzo normal σn:** 1.5 kg/cm2  
**Velocidad de carga:** 0.20 mm/min.

Deformimetro Horizontal	Desplazamiento Horizontal	Deformimetro Vertical	Desplazamiento Vertical	Area Corregida	Deformimetro Carga.	Fuerza Corte Horizontal	Esfuerzo Cortante
div.	mm.	div.	mm.		div.	N	Kpa
0	0.00	0.0	0.00	-	0	0	0.000
5	0.05	-1.5	-0.02	-	11	22	2.358
10	0.10	-1.5	-0.02	-	14	28	3.001
20	0.20	-1.5	-0.02	-	20	40	4.287
30	0.30	-1.5	-0.02	-	41	82	8.788
40	0.40	-2.0	-0.02	-	67	134	14.360
50	0.50	-2.5	-0.03	-	99	198	21.219
60	0.60	-4.0	-0.04	-	139	278	29.792
70	0.70	-5.0	-0.05	-	144	288	30.864
80	0.80	-6.0	-0.06	-	174	348	37.294
90	0.90	-6.5	-0.07	-	208	416	44.581
100	1.00	-8.0	-0.08	-	243	486	52.083
110	1.10	-10.0	-0.10	-	271	542	58.084
120	1.20	-11.5	-0.12	-	290	580	62.156
130	1.30	-13.0	-0.13	-	315	630	67.515
140	1.40	-15.0	-0.15	-	340	680	72.873
150	1.50	-16.0	-0.16	-	355	710	76.088
160	1.60	-17.0	-0.17	-	386	772	82.732
170	1.70	-17.0	-0.17	-	408	816	87.447
180	1.80	-18.0	-0.18	-	437	874	93.663
190	1.90	-19.0	-0.19	-	464	928	99.450
200	2.00	-19.0	-0.19	-	492	984	105.451
210	2.10	-20.0	-0.20	-	521	1042	111.667
220	2.20	-22.0	-0.22	-	550	1100	117.883
230	2.30	-22.5	-0.23	-	572	1144	122.598
240	2.40	-22.5	-0.23	-	605	1210	129.671
250	2.50	-23.0	-0.23	-	625	1250	133.958
260	2.60	-23.0	-0.23	-	645	1290	138.244
270	2.70	-23.5	-0.24	-	670	1340	143.602
280	2.80	-24.0	-0.24	-	693	1386	148.532
290	2.90	-25.0	-0.25	-	718	1436	153.890
300	3.00	-26.0	-0.26	-	732	1464	156.891
310	3.10	-26.5	-0.27	-	755	1510	161.821
320	3.20	-27.0	-0.27	-	785	1570	168.251
330	3.30	-27.5	-0.28	-	790	1580	169.322
340	3.40	-28.0	-0.28	-	803	1606	172.109
350	3.50	-29.0	-0.29	-	814	1628	174.466
360	3.60	-30.0	-0.30	-	820	1640	175.752
370	3.70	-31.0	-0.31	-	825	1650	176.824
380	3.80	-32.5	-0.33	-	835	1670	178.967
390	3.90	-33.0	-0.33	-	839	1678	179.825
400	4.00	-33.5	-0.34	-	839	1678	179.825
410	4.10	-34.0	-0.34	-	843	1686	180.682
420	4.20	-34.0	-0.34	-	843	1686	180.682
430	4.30	-34.0	-0.34	-	851	1702	182.397
440	4.40	-34.0	-0.34	-	855	1710	183.254
450	4.50	-34.0	-0.34	-	863	1726	184.969
460	4.60	-34.0	-0.34	-	869	1738	186.255
470	4.70	-35.0	-0.35	-	875	1750	187.541
480	4.80	-35.0	-0.35	-	875	1750	187.541
490	4.90	-35.0	-0.35	-	875	1750	187.541
500	5.00	-35.0	-0.35	-	875	1750	187.541
510	5.10	-34.5	-0.35	-	872	1744	186.898
520	5.20	-34.0	-0.34	-	871	1742	186.683
530	5.30	-32.0	-0.32	-	870	1740	186.469
540	5.40	-31.0	-0.31	-	867	1734	185.826
550	5.50	-30.0	-0.30	-	865	1730	185.397
560	5.60	-29.5	-0.30	-	863	1726	184.969
570	5.70	-28.0	-0.28	-	862	1724	184.754
580	5.80	-28.0	-0.28	-	860	1720	184.326

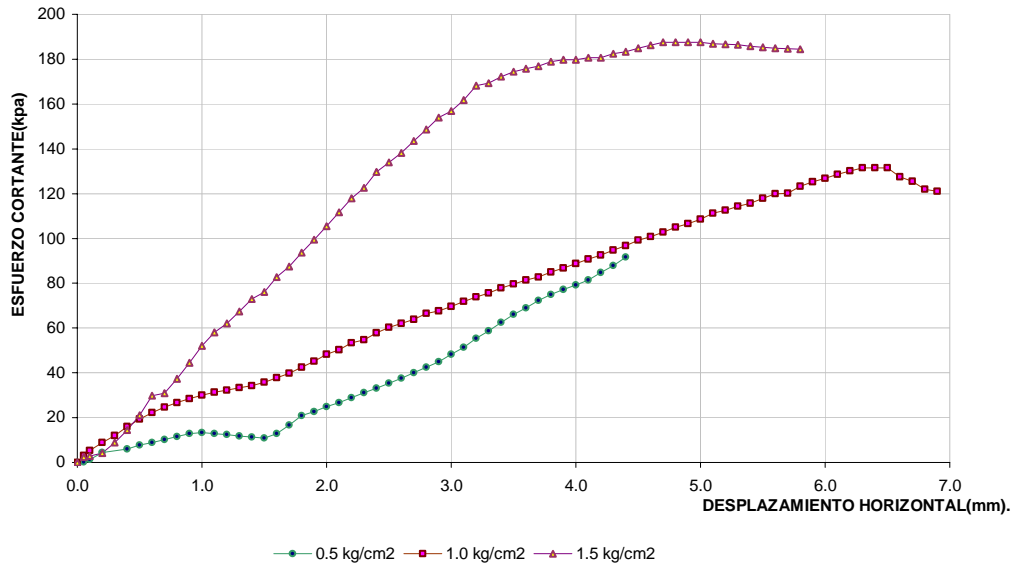
**LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL**  
**UCA**



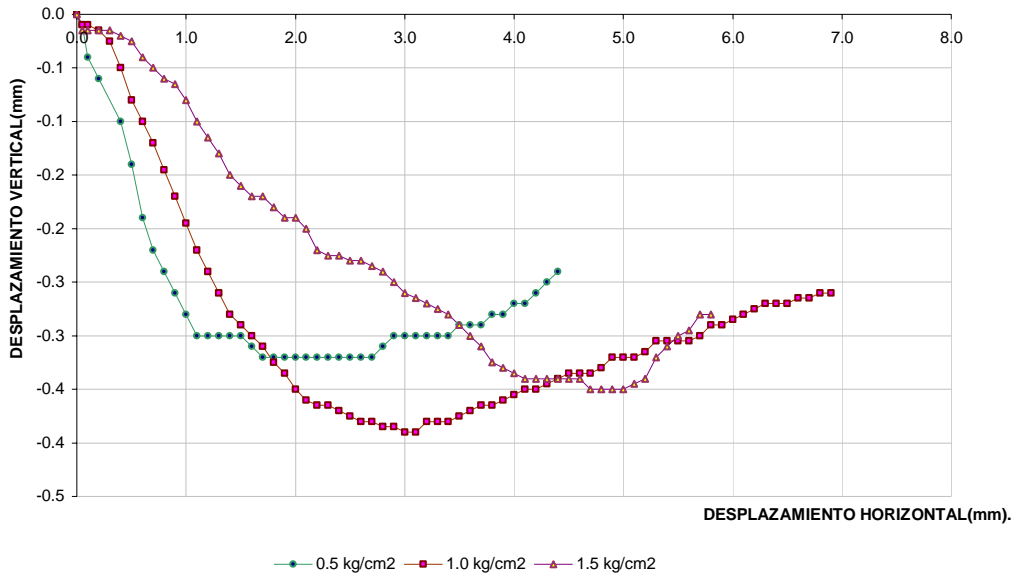
ENSAYO : **GRAFICO DE ENSAYO DE CORTE DIRECTO.**  
**CAJA DE CORTE DIRECTO ASTM D 3080 - 98**

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: Nuevo Cuscatlan. Finca El Carmen.  
 PROFUNDIDAD: 1.40 UNIDAD: Lapilli Acrecional y oleada piroclastica  
Unidad 3 Nuevo Cuscatlan  
Zona Distal.

**DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL VS CORTANTE.**



**DESPLAZ. HORIZONTAL VS DESPLAZ. VERTICAL.**



**LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL  
UCA**

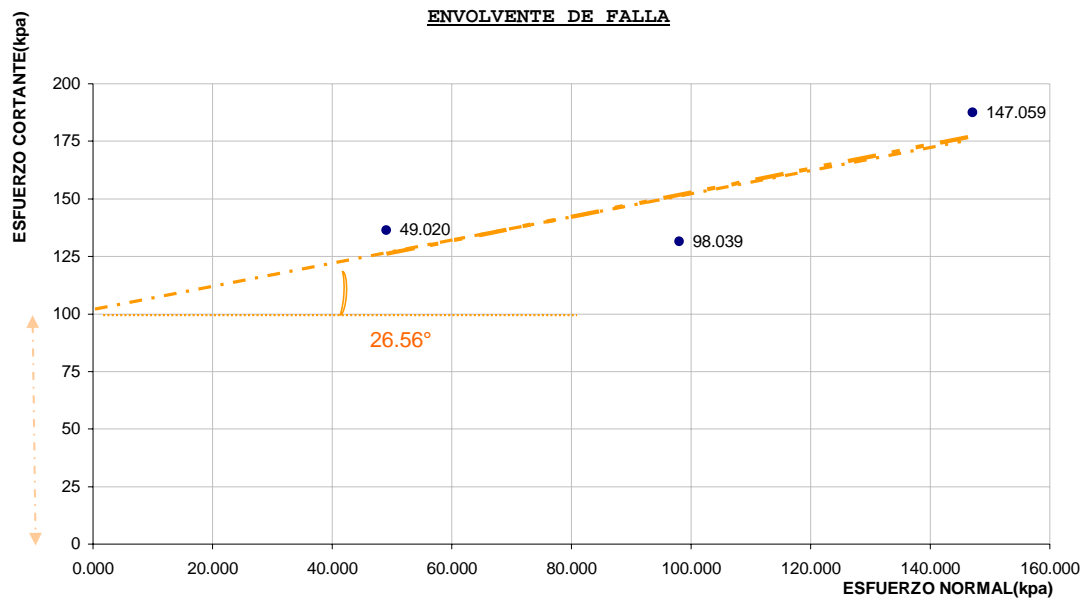


ENSAYO : **GRAFICO DE ENSAYO DE CORTE DIRECTO.  
CAJA DE CORTE DIRECTO ASTM D 3080 - 98**

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: Nuevo Cuscatlan. Finca El Carmen  
 PROFUNDIDAD: 1.40 UNIDAD: Lapilli Acrecional y oleada piroclastica  
Unidad 3. Nuevo Cuscatlan.  
Zona Distal.

DATOS DE ENSAYO:

ENSAYO	ESFUERZO NORMAL kpa	ESFUERZO CORTANTE. Kpa
	0	τ
1	49.02	136.32
2	98.04	131.39
3	147.06	187.54

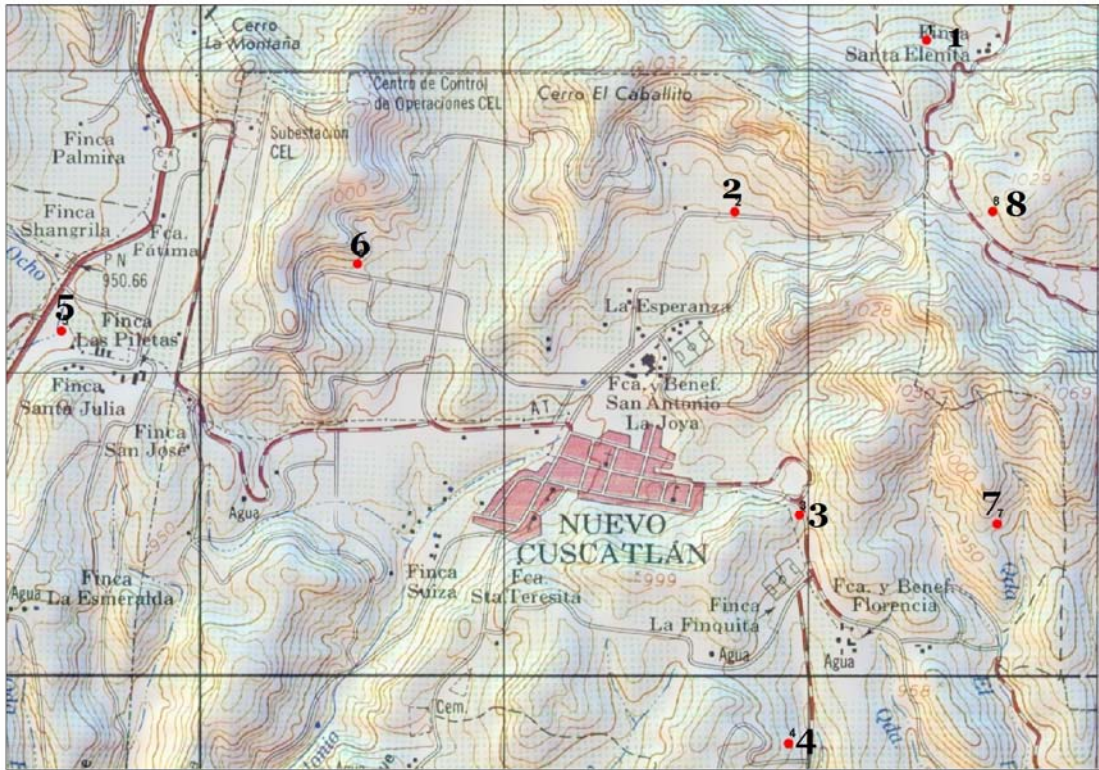


ANGULO DE FRICCIÓN: **26.56** GRADOS  
 COHESIÓN: **100.00** kpa      **10.00** N/cm<sup>2</sup>

Anexo E  
Pruebas SPT



MAPA Y TABLA DE UBICACIÓN DE SONDEOS.

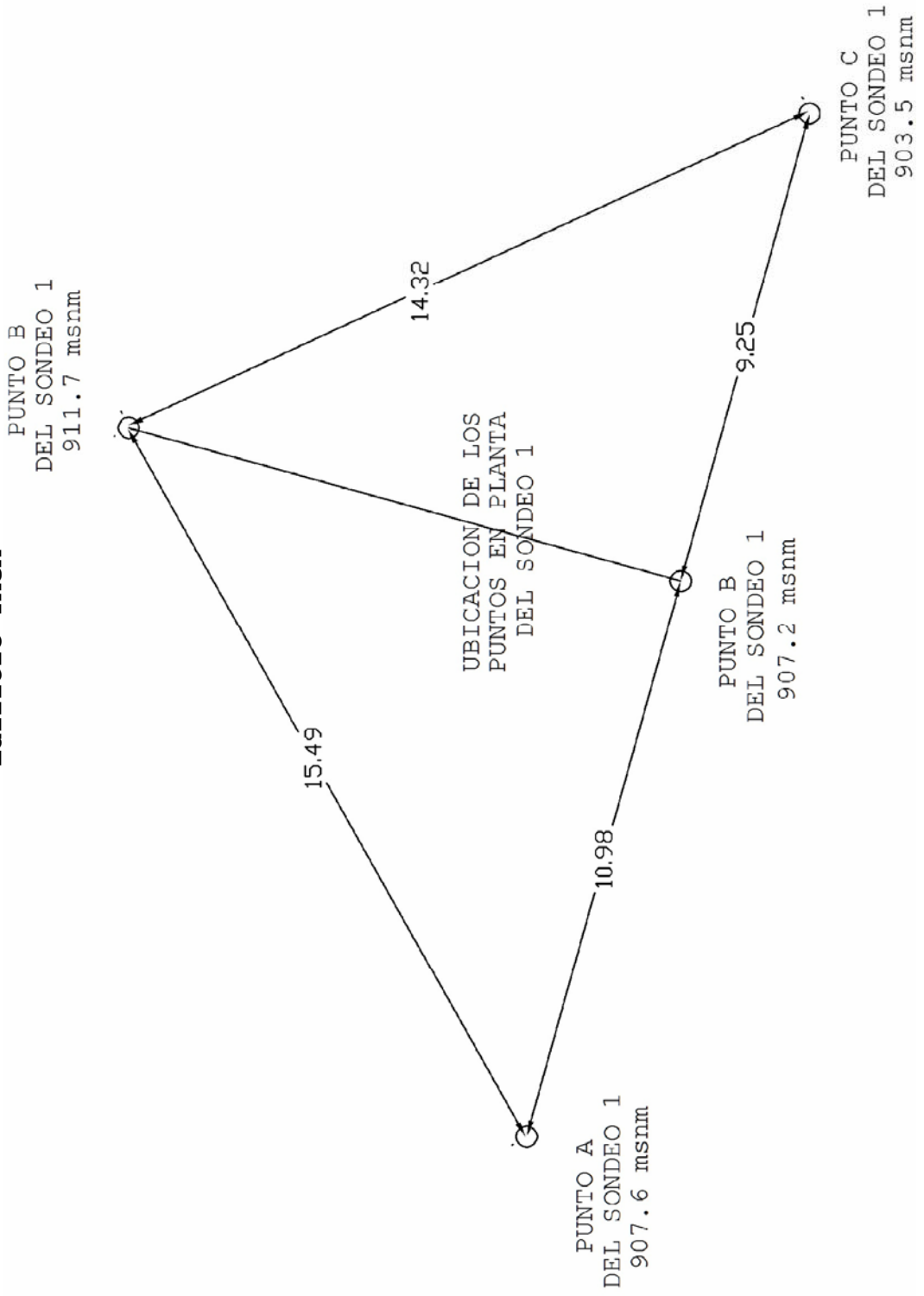


ESCALA 1:25,000

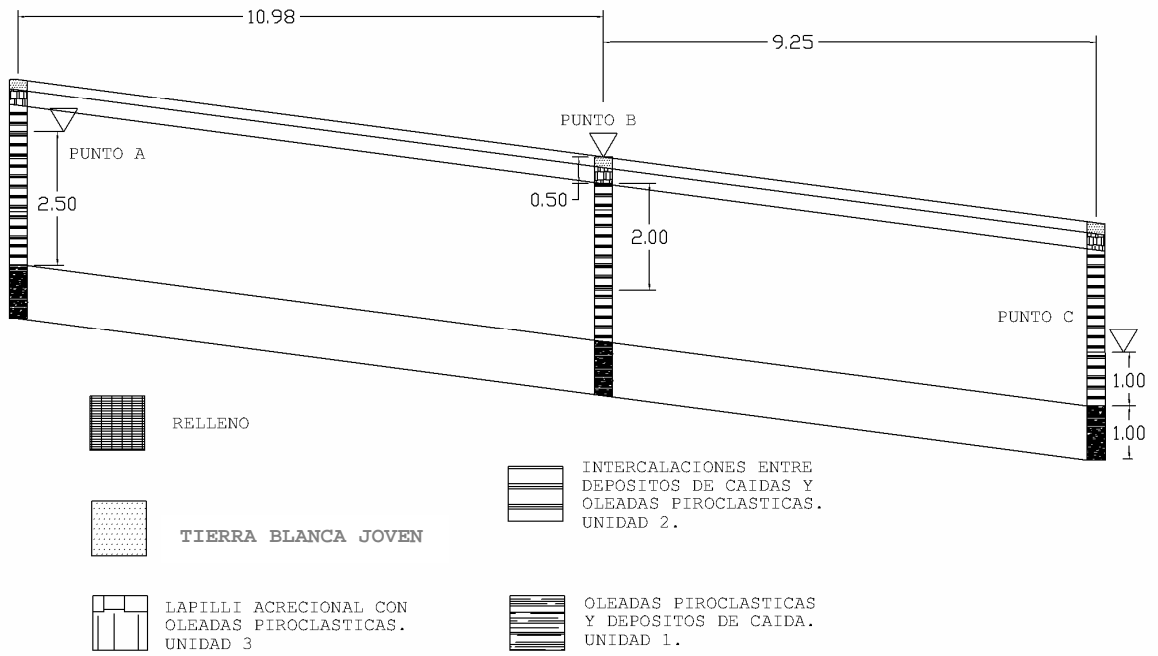
SONDEOS	N	W	LUGAR
1	13.659280	-89.255170	Edificio Taca
2	13.654210	-89.261000	Lomas Sta Elena.
3	13.645160	-89.259020	Nuevo Cuscatlan.
4	13.638400	-89.259340	Finca El Carmen
5	13.650630	-89.281460	Los sueños
6	13.652620	-89.272460	Florida
7	13.644900	-89.253010	Finca la Florencia
8	13.654230	-89.253150	Labranza

Sondeo 1

Edificio TACA



PLANTA DE UBICACIÓN DE SONDEOS REALIZADOS EN EDIFICIO TACA



PERFIL EN SONDEO 1. EDIFICIO TACA

**LABORATORIO DE MECÁNICA  
ESTRUCTURAL UCA**



ENSAYO : **ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR.**  
NORMA ASTM D 1586-99

CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DEL TERRENO: Superficie plana

LOCALIZACIÓN: Edificio TACA, a la par de bodega de armadura

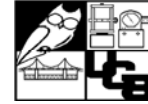
NUMERO DE SONDEO 1 FECHA: 25 Mayo 2007.

PUNTO : A

PROFUNDIDAD m	PENETRACIÓN			HUMEDAD W %	CLASIFICACIÓN VISUAL	SIMBOLO	N60
	No de golpes en cuchara	N en 30 cm	Clasificación según Densidad				
0.50		-	Medio Denso	9.04	Arena bien graduada. Intercalaciones de oleadas piroclásticas y depósitos de caídas	SW	0
1.00	32	43	Medio Denso	12.04	Arena bien graduada. Intercalaciones de oleadas piroclásticas y depósitos de caídas	SW	24
	23						
	20						
1.50	28	80	Medio Denso	12.07	Arena bien graduada. Intercalaciones de oleadas piroclásticas y depósitos de caídas	SW	45
	52						
2.00	55	74	Medio Denso	10.98	Arena bien graduada. Intercalaciones de oleadas piroclásticas y depósitos de caídas	SW	41
	40						
	34						
2.50	56	74	Medio Denso	10.26	No se recupero muestra. Se espera intercalaciones	SW	41
	37						
	37						
3.00	109	131	Medio Denso	9.61	No se recupero muestra. Se espera intercalaciones	SW	73
	60						
	71						

Observaciones:

Área gris descartada por la presencia, de líticos que hicieron  
que el valor de N aumentará.



ENSAYO : ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR. CORRELACIONES

PUNTO: Sondeo 1, punto A. En Zona Intermedia en Edificio TACA.

PROFUNDIDAD m	U	D50	N 30cm	N <sub>60</sub>	W %	Peso Específico KN/m <sup>3</sup>	Esfuerzo Efectivo KN/m <sup>2</sup>	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	OCR	Dr %	Angulo de Fricción
0.50	2	3.00	-	0	9.04	15.11	3.78	0	0.00	0.00	0.00
1.00	2	3.00	43	24	12.04	15.11	7.56	48	2.50	67.76	40.26
1.50	2	3.00	80	45	12.07	15.11	11.33	90	2.50	92.78	49.73
2.00	2	3.00	74	41	10.98	15.11	15.11	82	2.50	88.56	48.07
2.50	2	3.00	74	41	10.26	15.11	18.89	82	2.50	88.56	48.07
3.00	2	3.00	131	73	9.61	15.11	22.67	146	2.50	118.17	59.39

Valor N Corregido:

$$N_{60} = \frac{n_H n_B n_S n_R N}{0.60}$$

Nh: 0.45 Nb:1.00 Ns:1.0 Nr:0.75

$$(N_1)_{60} = N_{60} \sqrt{\frac{100 \text{Kpa}}{\sigma'_z}}$$

$$\sigma'_z = \gamma * h \text{ (kpa)}$$

$$D_r = \sqrt{\frac{(N_1)_{60}}{C_p C_A C_{OCR}}} * 100\%$$

Cp: 60+25logD50

Ca: 1.2+0.05log(t/100)

t: 2000.00

Cocr: OCR^(0.18)

OCR: 2.5

$$\phi'(\text{grados}) = 27.1 + 0.3(N_1)_{60} - 0.00054 [(N_1)_{60}]^2$$

Observaciones:

Área gris descartada por la presencia, de líticos que hicieron  
que el valor de N aumentará.

**LABORATORIO DE MECÁNICA  
ESTRUCTURAL UCA**



ENSAYO :           **ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR.  
NORMA ASTM D 1586-99**

CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DEL TERRENO:           Superficie plana

LOCALIZACIÓN:                   Calle en costado sur de Edificio TACA

NUMERO DE SONDEO:                 1                                   FECHA: 25 Mayo 2007.

PUNTO:                                 B

PROFUNDIDAD m	PENETRACIÓN			HUMEDAD W %	CLASIFICACIÓN VISUAL	SIMBOLO	N60
	No de golpes en cuchara	N en 30 cm	Clasificación según Densidad				
0.50	16	-	-		Relleno	-	
	25						
	35						
1.00	30	45	Medio Denso	12.41	Arena bien graduada. Intercalaciones de oleadas piroclásticas y depósitos de caídas	SW	45
	25						
	20						
1.50	25	41	Medio Denso	12.43	Arena bien graduada. Intercalaciones de oleadas piroclásticas y depósitos de caídas	SW	41
	20						
	21						
2.00	40	73	Medio Denso	9.27	Arena bien graduada. Intercalaciones de oleadas piroclásticas y depósitos de caídas	SW	73
	35						
	38						
2.50	55	81	Medio Denso	12.63	Arena bien graduada. Intercalaciones de oleadas piroclásticas y depósitos de caídas	SW	81
	41						
	40						

Observaciones:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



ENSAYO : ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR. CORRELACIONES

PUNTO: Sondeo 1, Punto B. En Zona Intermedia. Edificio TACA

PROFUNDIDAD m	U	D50	N 30cm	N <sub>60</sub>	W %	Peso Específico KN/m <sup>3</sup>	Esfuerzo Efectivo KN/m <sup>2</sup>	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	OCR	Dr %	Angulo de Fricción
0.50	-	0.20	-	0	0.00	13.44	3.36	0	2.50	0.00	0.00
1.00	2	3.00	45	25	12.41	15.11	7.14	50	2.50	69.15	40.75
1.50	2	3.00	41	23	12.43	15.11	10.91	46	2.50	66.33	39.76
2.00	2	3.00	73	41	9.27	15.11	14.69	82	2.50	88.56	48.07
2.50	2	3.00	81	45	12.63	15.11	18.47	90	2.50	92.78	49.73

Valor N Corregido:

$$N_{60} = \frac{n_H n_B n_S n_R N}{0.60}$$

Nh: 0.45 Nb:1.00 Ns:1.0 Nr:0.75

$$(N_1)_{60} = N_{60} \sqrt{\frac{100Kpa}{\sigma'_z}}$$

$$\sigma'_z = \gamma * h_-(kpa)$$

$$D_r = \sqrt{\frac{(N_1)_{60}}{C_P C_A C_{OCR}}} * 100\%$$

Cp: 60+25logD50

Ca: 1.2+0.05log(t/100)

t: 2000.00

Cocr:OCR^(0.18)

OCR:2.5

$$\varphi'(grados) = 27.1 + 0.3(N_1)_{60} - 0.00054 [(N_1)_{60}]^2$$

Observaciones:

---



---



---

**LABORATORIO DE MECÁNICA  
ESTRUCTURAL UCA**



ENSAYO : **ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR.  
NORMA ASTM D 1586-99**

CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DEL TERRENO: Superficie plana

LOCALIZACIÓN: Costado Sur Edificio TACA, en fundaciones en costado sur.

NUMERO DE SONDEO: 1 FECHA: 16 Junio 2007.

PUNTO: C

PROFUNDIDAD m	PENETRACIÓN			HUMEDAD W %	CLASIFICACIÓN VISUAL	SIMBOLO	N60
	No de golpes en cuchara	N en 30 cm	Clasificación según Densidad				
0.50	34	-	-	11.92	Arena Bien Graduada. Intercalaciones de Oleadas piroclasticas y Depositos de caida.	SW	0
	79						
	48						
1.00	54	64	Medio Denso	10.58	Arena Bien Graduada. Intercalaciones de Oleadas piroclasticas y Depositos de caida.	SW	36
	36						
	28						
1.50	40	70	Medio Denso	11.64	Arena limosa. Oleada Piroclastica	SM	39
	35						
	35						
2.00	66	47	Medio Denso	10.15	Arena Limosa. Oleada Piroclastica.	SM	26
	26						
	21						

Observaciones:

Descartdo por presencia de lítico.



LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



ENSAYO : **ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR. CORRELACIONES**

LOCALIZACIÓN: **Costado Sur Edificio TACA, en fundaciones en costado sur.**

PUNTO: **Sondeo 1, Punto C. En Zona Intermedia. Edificio TACA**

PROFUNDIDAD m	U	D50	N 30cm	N <sub>60</sub>	W %	Peso Específico KN/m <sup>3</sup>	Esfuerzo Efectivo KN/m <sup>2</sup>	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	OCR	Dr %	Angulo de Fricción
0.50	2	3.00	-	0	11.92	15.11	3.78	0	0.00	0.00	0.00
1.00	2	3.00	64	36	10.58	15.11	7.56	72	2.50	82.99	45.90
1.50	1	0.35	70	39	11.64	14.32	11.14	78	2.50	105.08	47.21
2.00	1	0.35	47	26	10.15	14.32	14.72	52	2.50	85.80	41.24

Valor N Corregido:

$$N_{60} = \frac{n_H n_B n_S n_R N}{0.60}$$

Nh: 0.45 Nb:1.00 Ns:1.20 Nr:0.75

$$(N_1)_{60} = N_{60} \sqrt{\frac{100 \text{Kpa}}{\sigma'_z}}$$

$$\sigma'_z = \gamma * h \text{ (kpa)}$$

$$D_r = \sqrt{\frac{(N_1)_{60}}{C_p C_A C_{OCR}}} * 100\%$$

Cp: 60+25logD50

Ca:1.2+0.05log(t/100)

t: 2000.00

Cocr:OCR^(0.18)

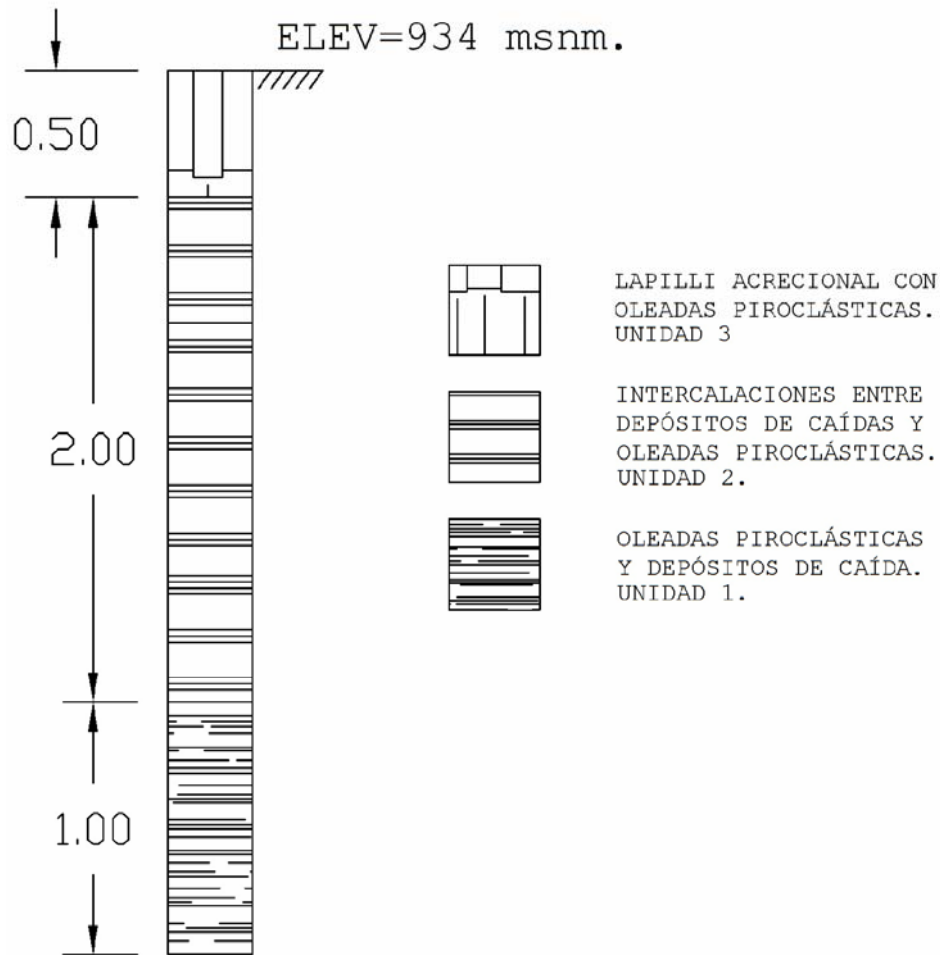
OCR:2.5

$$\phi'(\text{grados}) = 27.1 + 0.3(N_1)_{60} - 0.00054 [(N_1)_{60}]^2$$

Observaciones:

Descartado por presencia de lítico.

SONDEO 2.  
LOMAS DE SANTA ELENA.



SONDEO 2. LOMAS STA ELENA.

LABORATORIO DE MECÁNICA  
ESTRUCTURAL UCA



ENSAYO : ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR.  
NORMA ASTM D 1586-99

CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DEL TERRENO: Superficie plana

LOCALIZACIÓN: Lomas de Sta Elena.

NUMERO DE SONDEO: 2 FECHA: 19 Junio 2007.

PROFUNDIDAD m	PENETRACIÓN			HUMEDAD W %	CLASIFICACIÓN VISUAL	SIMBOLO	N60
	No de golpes en cuchara	N en 30 cm	Clasificación según Densidad				
0.50	1	5	Suelto	19.78	Arena limosa. Lapilli Acrecional. Paleosuelo.	SM	3
	2						
	3						
1.00	5	14	Suelto	13.01	Arena mal graduada. Intercalaciones de Oleadas y Depositos de caida.	SP	9
	6						
	8						
1.50	8	15	Suelto	7.61	Arena mal graduada. Intercalaciones de Oleadas y Depositos de caida.	SP	10
	8						
	7						
2.00	14	18	Medio Denso	9.02	Arena mal graduada. Intercalaciones de Oleadas y Depositos de caida.	SP	12
	9						
	9						
2.50	20	38	Medio Denso	10.61	Arena mal graduada. Intercalaciones de Oleadas y Depositos de caida.	SP	25
	13						
	25						
3.00	74	33	Medio Denso	19.48	Arena Limosa. Oleadas Piroclasticas.	SM	22
	18						
	15						
3.50	18	23	Medio Denso	13.01	Arena Limosa. Oleadas Piroclasticas. Inicio de Boquerón.	SM	15
	11						
	12						

Observaciones:

Suelo meteorizado.

\* El ultimo valor, de N es el inicio de boqueron, por lo que se descarta el valor de N.

LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



ENSAYO :

ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR. CORRELACIONES

PUNTO: PUNTO 2B. Lomas de Santa Elena.

PROFUNDIDAD m	U	D50	N 30cm	N <sub>60</sub>	W %	Peso Específico KN/m <sup>3</sup>	Esfuerzo Efectivo KN/m <sup>2</sup>	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	OCR	Dr %	Angulo de Fricción
0.50	3	0.65	5	3	19.78	15.60	3.90	6	2.50	27.32	28.88
1.00	2	3.00	14	9	13.01	15.11	7.68	18	2.50	41.49	32.33
1.50	2	3.00	15	10	7.61	15.11	11.46	20	2.50	43.74	32.88
2.00	2	3.00	18	12	9.02	15.11	15.23	24	2.50	47.91	33.99
2.50	2	3.00	38	25	10.61	15.11	19.01	50	2.50	69.15	40.75
3.00	1	0.35	33	22	19.48	14.32	22.59	44	2.50	78.92	39.25
3.50	1*	0.35	23	15	13.01	14.32	26.17	29	2.50	64.07	35.35

Valor N Corregido:

$$N_{60} = \frac{n_H n_B n_S n_R N}{0.60}$$

Nh: 0.45 Nb:1.00 Ns:1.20 Nr:0.75

$$(N_1)_{60} = N_{60} \sqrt{\frac{100 \text{Kpa}}{\sigma'_z}}$$

$$\sigma'_z = \gamma * h \text{ (kpa)}$$

$$D_r = \sqrt{\frac{(N_1)_{60}}{C_P C_A C_{OCR}}} * 100\%$$

Cp: 60+25logD50

Ca:1.2+0.05log(t/100)

t: 2000.00

Cocr:OCR^(0.18)

OCR:2.5

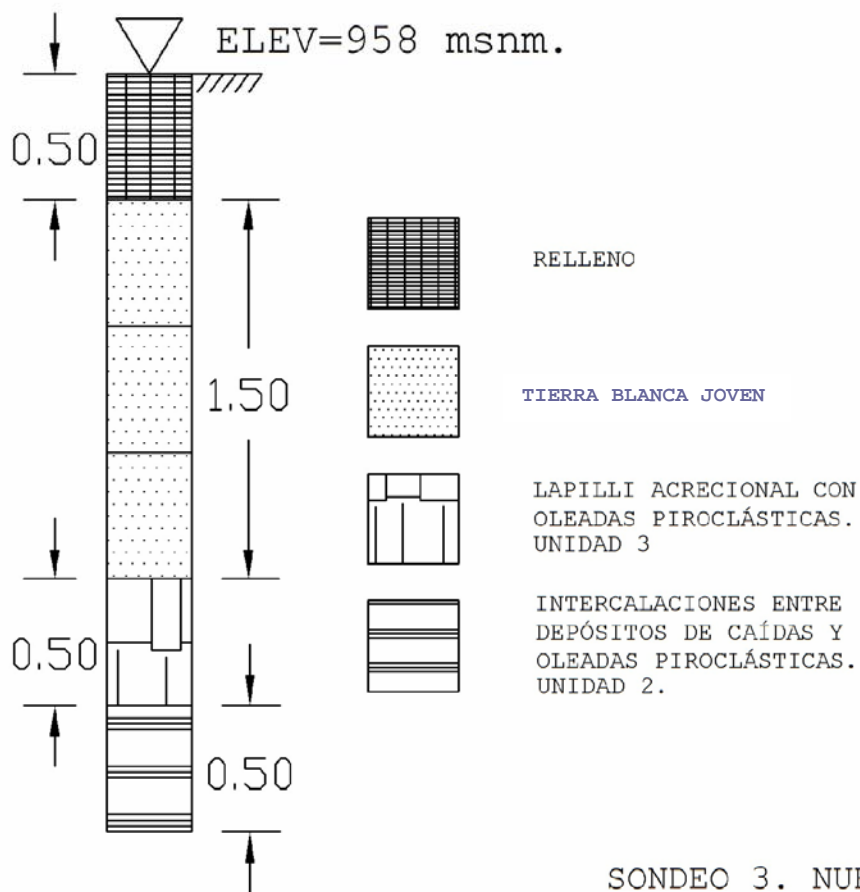
$$\phi'(\text{grados}) = 27.1 + 0.3(N_1)_{60} - 0.00054 [(N_1)_{60}]^2$$

Observaciones:

Suelo meteorizado.

\* El ultimo valor, de N es el inicio de boqueron, por lo que se descarta el valor de N.

SONDEO 3.  
NUEVOS CUSCATLAN CANCHA.



**LABORATORIO DE MECÁNICA  
ESTRUCTURAL UCA**



ENSAYO : **ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR.**  
NORMA ASTM D 1586-99

CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DEL TERRENO: Superficie plana

LOCALIZACIÓN: Nuevo Cuscatlan. Al costado Norte de cancha de futbol.

NUMERO DE SONDEO: 3 FECHA: 26 Junio 2007.

PROFUNDIDAD m	PENETRACIÓN			HUMEDAD W %	CLASIFICACIÓN VISUAL	SIMBOLO	N60
	No de golpes en cuchara	N en 30 cm	Clasificación según Densidad				
0.50	2	5.00	Suelto	18.79	Relleno	-	0
	2						
	3						
1.00	9	17.00	Suelto	8.89	Tierra Blanca. Limo	ML	11
	9						
	8						
1.50	11	24.00	Suelto	11.86	Tierra Blanca. Limo	ML	16
	13						
	11						
2.00	6	9.00	Suelto	19.14	Tierra Blanca. Limo	ML	6
	4						
	5						
2.50	12	28.00	Medio Suelto	12.97	Arena Limosa. Lapilli acrecional	SM	18
	12						
	16						
3.00	28	23.00	Medio Suelto	14.43	Fin de Plan de la Laguna. Arcilla	CL	15
	13						
	10						

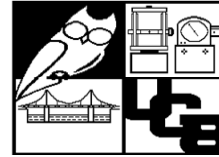
Observaciones:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



ENSAYO : ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR.  
CORRELACIONES

LOCALIZACIÓN: Nuevo Cuscatlán

PUNTO: Sondeo 3. En Zona Intermedia. Nuevo Cuscatlán.

PROFUNDIDAD m	U	D50	N <sub>30cm</sub>	N <sub>60</sub>	W %	Peso Específico KN/m <sup>3</sup>	Esfuerzo Efectivo KN/m <sup>2</sup>	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	OCR	Dr %	Angulo de Fricción
0.50	0	0.20	0	0	18.79	13.44	3.36	0	0.00	0.00	0.00
1.00	-	0.20	17	11	8.89	13.44	6.72	22	2.50	59.66	33.44
1.50	-	0.20	24	16	11.86	13.44	10.08	32	2.50	71.95	36.15
2.00	-	0.20	9	6	19.14	13.44	13.44	12	2.50	44.06	30.62
2.50	3	0.65	28	18	12.97	15.60	17.34	36	2.50	66.91	37.20
3.00	2	3.00	23	15	14.43	15.11	21.12	30	2.50	53.57	35.61

Valor N Corregido:

$$N_{60} = \frac{n_H n_B n_S n_R N}{0.60}$$

Nh: 0.45 Nb:1.00 Ns:1.20 Nr:0.75

$$(N_1)_{60} = N_{60} \sqrt{\frac{100 \text{ Kpa}}{\sigma'_z}} \quad \sigma'_z = \gamma * h \text{ (kpa)}$$

$$D_r = \sqrt{\frac{(N_1)_{60}}{C_p C_A C_{OCR}}} * 100\%$$

Cp: 60+25logD50

Ca:1.2+0.05log(t/100)

t: 2000.00

Cocr:OCR^(0.18)

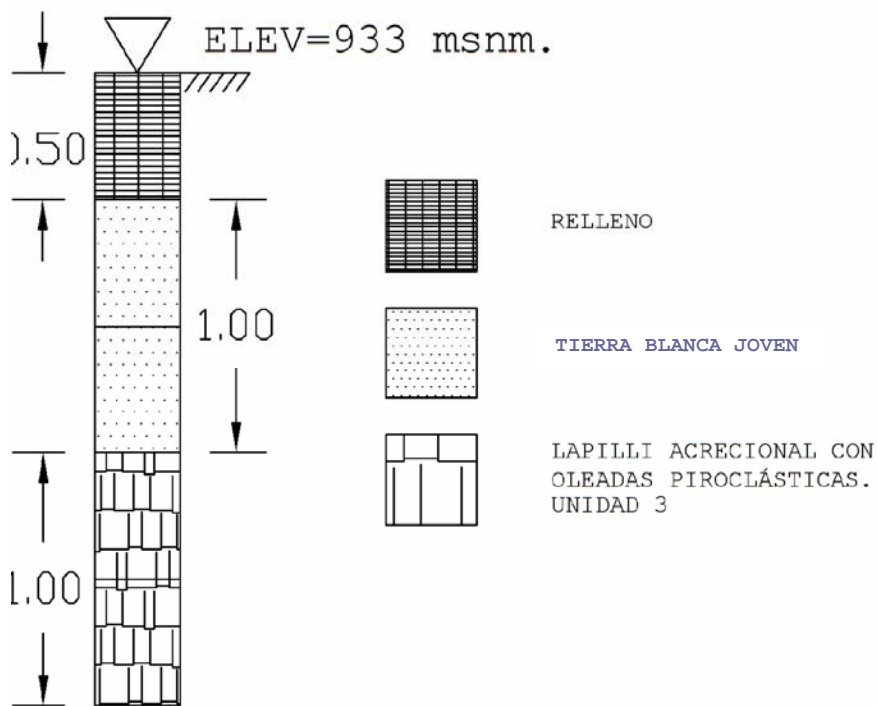
OCR:2.5

$$\phi'(\text{grados}) = 27.1 + 0.3(N_1)_{60} - 0.00054 [(N_1)_{60}]^2$$

Observaciones:

Suelo meteorizado.

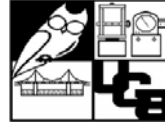
SONDEO 4.  
FINCA EL CARMEN



SONDEO 4. FINCA EL CARMEN.



**LABORATORIO DE MECÁNICA  
ESTRUCTURAL UCA**



ENSAYO : **ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR.**  
NORMA ASTM D 1586-99

CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DEL TERRENO: Superficie plana

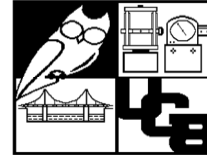
LOCALIZACIÓN: Nuevo Cuscatlán. Finca El Carmen.

NUMERO DE SONDEO: 4 FECHA: 26 Junio 2007.

PROFUNDIDAD m	PENETRACIÓN			HUMEDAD W %	CLASIFICACIÓN VISUAL	SIMBOLO	N60
	No de golpes en cuchara	N en 30 cm	Clasificación según Densidad				
0.50	1	3	Suelto	24.26	Relleno	-	2
	2						
	1						
1.00	2	17	Suelto	15.92	Tierra Blanca. Limo	ML	11
	7						
	10						
1.50	14	15	Suelto	11.23	Tierra Blanca. Limo	ML	10
	8						
	7						
2.00	7	24	Medio Suelto	23.43	Arena Limosa. Lapilli Acrecional con intercalacion de oleadas	SM	16
	10						
	14						
2.50	28	54	Medio Suelto	20.36	Arena Limosa. Lapilli Acrecional con intercalacion de oleadas. Ultimos 10 cm Erupcion BOQUERON	SM	36
	24						
	30						

Observaciones:  
  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



ENSAYO : ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR.  
CORRELACIONES

LOCALIZACIÓN: Lomas de Sta Elena.

PUNTO: Sondeo 4. En zona Distal. Nuevo Cuscatlán.

PROFUNDIDAD m	U	D50	N <sub>30cm</sub>	N <sub>60</sub>	W %	Peso Específico KN/m <sup>3</sup>	Esfuerzo Efectivo KN/m <sup>2</sup>	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	OCR	Dr %	Angulo de Fricción
0.50		0.20	3	2	24.26	13.44	3.36	4	2.50	25.44	28.29
1.00	-	0.20	17	11	15.92	13.44	6.72	22	2.50	59.66	33.44
1.50	-	0.20	15	10	11.23	13.44	10.08	20	2.50	56.88	32.88
2.00	3	0.65	24	16	23.43	15.60	13.98	32	2.50	63.08	36.15
2.50	3	0.65	54	36	20.36	15.60	17.88	72	2.50	94.62	45.90

Valor N Corregido:

$$N_{60} = \frac{n_H n_B n_S n_R N}{0.60} \quad N_H: 0.45 \quad N_B: 1.00 \quad N_S: 1.20 \quad N_R: 0.75$$

$$(N_1)_{60} = N_{60} \sqrt{\frac{100 \text{ Kpa}}{\sigma'_z}} \quad \sigma'_z = \gamma * h \text{ (kpa)}$$

$$D_r = \sqrt{\frac{(N_1)_{60}}{C_p C_A C_{OCR}}} * 100\% \quad C_p: 60+25 \log D50 \quad C_A: 1.2+0.05 \log(t/100) \quad t: 2000.00$$

$$C_{OCR}: OCR^{(0.18)} \quad OCR: 2.5$$

$$\varphi'(\text{grados}) = 27.1 + 0.3(N_1)_{60} - 0.00054 [(N_1)_{60}]^2$$

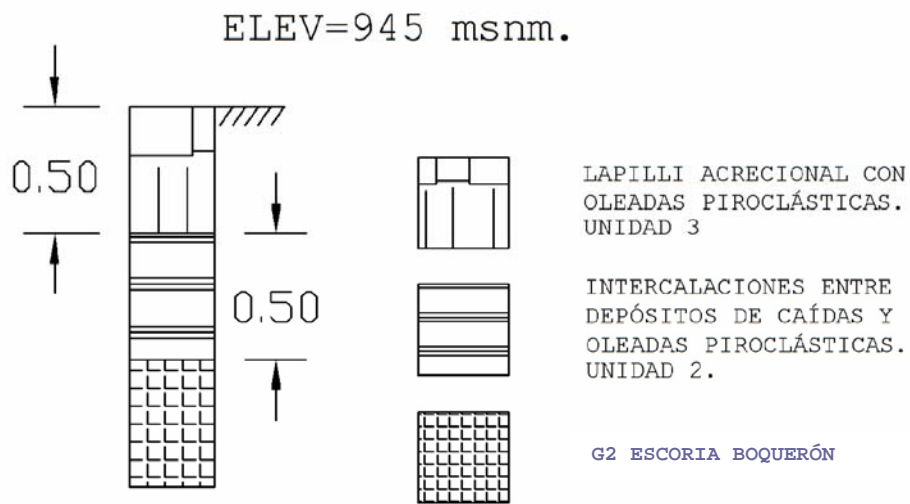
Observaciones:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

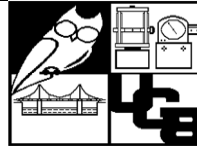
\_\_\_\_\_

SONDEO 5.  
LOS SUEÑOS.



SONDEO 5. RESIDENCIAL LOS SUEÑOS.

LABORATORIO DE MECÁNICA  
ESTRUCTURAL UCA



ENSAYO : **ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR.**  
NORMA ASTM D 1586-99

CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DEL TERRENO: Superficie plana

LOCALIZACIÓN: Proyecto Los Sueños. Zona Intermedia.

NUMERO DE SONDEO: 5 FECHA: 30 Junio 2007.

PROFUNDIDAD m	PENETRACIÓN			HUMEDAD W %	CLASIFICACIÓN VISUAL	SIMBOLO	N60
	No de golpes en cuchara	N en 30 cm	Clasificación según Densidad				
0.50	10	28.00	Denso	20.17	Lapilli Acricional. Arena Limosa.	SM	18
	13						
	15						
1.00	18	17.00	Medio Denso	20.24	Intercalaciones de Oleadas y Depositos. Arena Limosa	SM	11
	9						
	8						
1.50	6	8.00	Medio Denso	20.65	Boqueron. Arcilla	CL	5
	5						
	3						

Observaciones:

Las unidades se encontraban meteorizadas.

---

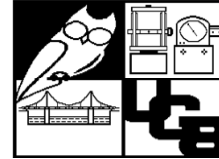


---



---

LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



ENSAYO : ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR.  
CORRELACIONES

LOCALIZACIÓN: Proyecto Los Sueños

PUNTO: Sondeo 5. En Zona Intermedia. La Libertad.

PROFUNDIDAD m	U	D50	N 30cm	N <sub>60</sub>	W %	Peso Específico KN/m <sup>3</sup>	Esfuerzo Efectivo KN/m <sup>2</sup>	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	OCR	Dr %	Angulo de Fricción
0.50	3	0.65	28	18	20.17	15.60	3.90	36	2.50	66.91	37.20
1.00	2	3.00	17	11	20.24	15.11	7.68	22	2.50	45.87	33.44
1.50	-	-	8	5	20.65	-	-	-	-	-	-

Valor N Corregido:

$$N_{60} = \frac{n_H n_B n_S n_R N}{0.60} \quad N_h: 0.45 \quad N_b: 1.00 \quad N_s: 1.20 \quad N_r: 0.75$$

$$(N_1)_{60} = N_{60} \sqrt{\frac{100 \text{ Kpa}}{\sigma'_z}} \quad \sigma'_z = \gamma * h \text{ (kpa)}$$

$$D_r = \sqrt{\frac{(N_1)_{60}}{C_P C_A C_{OCR}}} * 100 \% \quad C_p: 60+25 \log D50 \quad C_a: 1.2+0.05 \log(t/100) \quad t: 2000.00$$

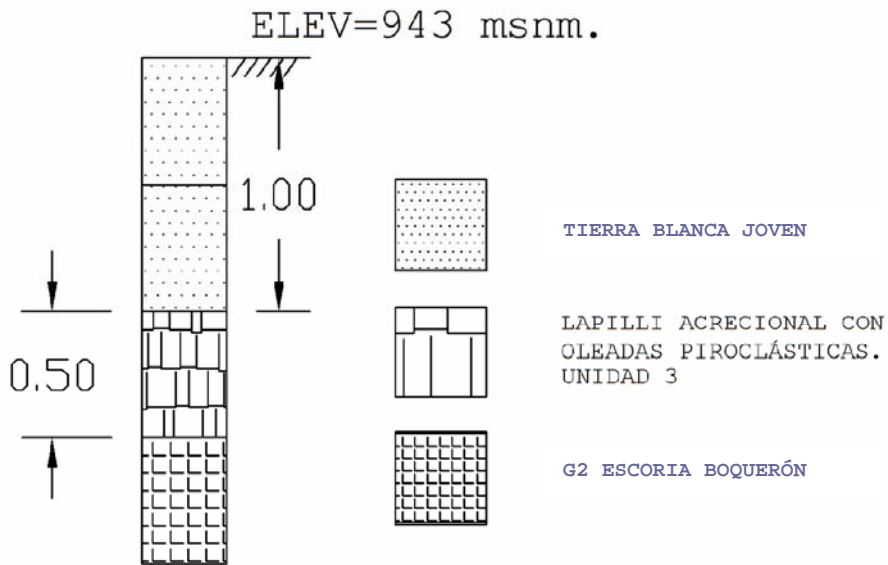
$$C_{ocr}: OCR^{(0.18)} \quad OCR: 2.5$$

$$\varphi'(\text{grados}) = 27.1 + 0.3(N_1)_{60} - 0.00054 [(N_1)_{60}]^2$$

Observaciones:

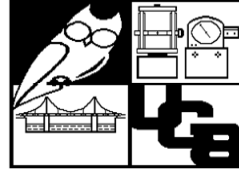
Las unidades de Plan de la laguna se encontraban meteorizadas.

SONDEO 6.  
LA FLORIDA.



SONDEO 6. URBANIZACIÓN LA FLORIDA

LABORATORIO DE MECÁNICA  
ESTRUCTURAL UCA



ENSAYO : ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR.  
NORMA ASTM D 1586-99

CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DEL TERRENO: Superficie plana

LOCALIZACIÓN: Residencial La Florida.

NUMERO DE SONDEO: 6 FECHA: 11 Julio 2007.

PROFUNDIDAD m	PENETRACIÓN			HUMEDAD W %	CLASIFICACIÓN VISUAL	SIMBOLO	N60
	No de golpes en cuchara	N en 30 cm	Clasificación según Densidad				
0.50	2	13	Suelto	24.52	Tierra Blanca. Limo	ML	8
	5						
	8						
1.00	8	15	Suelto	24.84	Tierra Blanca. E inicio de PL. Meteorizado.	ML	10
	4						
	11						
1.50	7	8	Medio Denso	26.61	Arena Limosa. Lapilli Acrecional y oleadas	SM	5
	3						
	5						
2.00	6	13	Medio Suelto	33.93	BOQUERON. Arcilla	CL	8
	6						
	7						

Observaciones:  
  


---

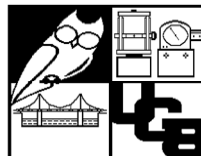


---



---

LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



ENSAYO : ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR.  
CORRELACIONES

LOCALIZACIÓN: Residencial la Florida.

PUNTO: Sondeo 6. En zona Intermedia. Nuevo Cuscatlan.

PROFUNDIDAD m	U	D50	N 30cm	N <sub>60</sub>	W %	Peso Especifico KN/m <sup>3</sup>	Esfuerzo Efectivo KN/m <sup>2</sup>	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	OCR	Dr %	Angulo de Fricción
0.50	0	0.20	13	8	24.52	13.44	3.36	16	2.50	50.88	31.76
1.00	0	0.20	15	10	24.84	13.44	6.72	20	2.50	56.88	32.88
1.50	3	0.65	8	5	26.61	15.60	10.62	10	2.50	35.26	30.05
2.00	0	-	13	8	33.93	-	-	-	-	-	-

Valor N Corregido:

$$N_{60} = \frac{n_H n_B n_S n_R N}{0.60} \quad N_h: 0.45 \quad N_b: 1.00 \quad N_s: 1.20 \quad N_r: 0.75$$

$$(N_1)_{60} = N_{60} \sqrt{\frac{100 \text{ Kpa}}{\sigma'_z}} \quad \sigma'_z = \gamma * h \text{ (kpa)}$$

$$D_r = \sqrt{\frac{(N_1)_{60}}{C_p C_A C_{OCR}}} * 100\% \quad C_p: 60+25 \log D50 \quad C_a: 1.2+0.05 \log(t/100) \quad t: 2000.00$$

$$C_{ocr}: OCR^{(0.18)} \quad OCR: 2.5$$

$$\phi'(\text{grados}) = 27.1 + 0.3(N_1)_{60} - 0.00054 [(N_1)_{60}]^2$$

Observaciones:

---



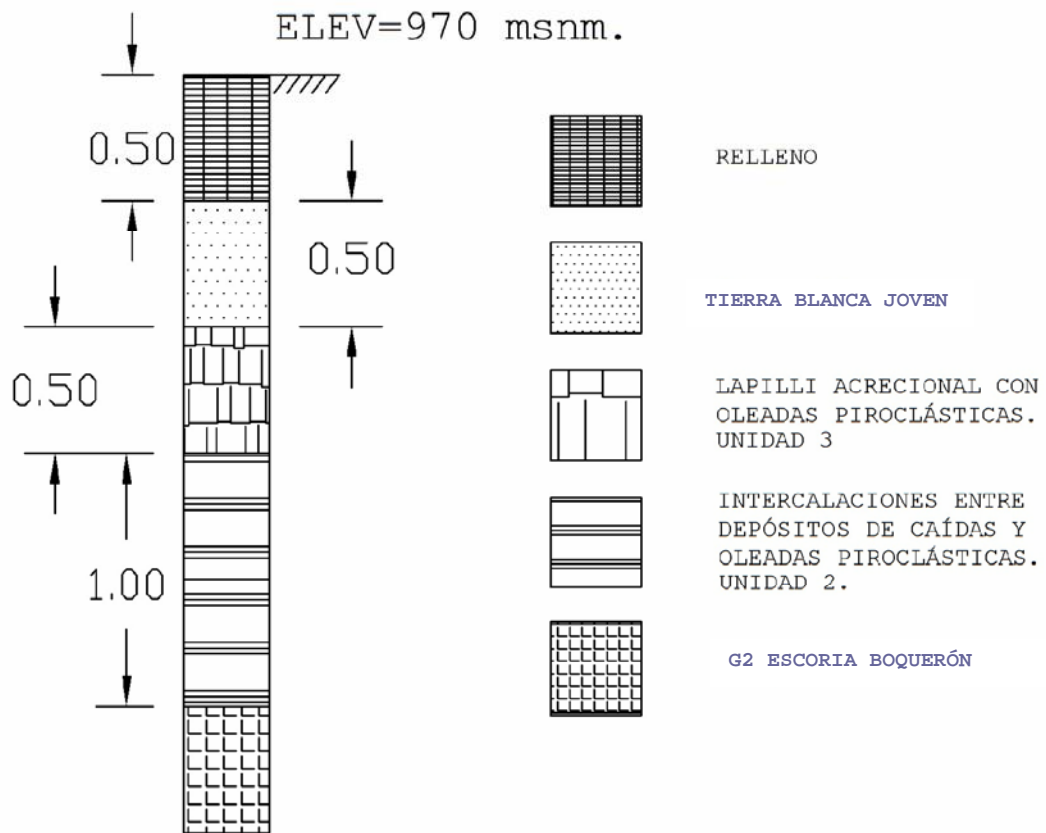
---



---

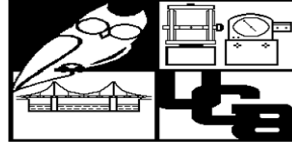


SONDEO 7.  
FINCA LA FLORENCIA.



SONDEO 7. FINCA LA FLORENCIA

LABORATORIO DE MECÁNICA  
ESTRUCTURAL UCA



ENSAYO : **ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR.**  
NORMA ASTM D 1586-99

CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DEL TERRENO: Superficie plana

LOCALIZACIÓN: Nuevo Cuscatlan. Finca La Florencia. Zona Intermedia.

NUMERO DE SONDEO: 7 FECHA: 11 Julio 2007.

PROFUNDIDAD m	PENETRACIÓN			HUMEDAD W %	CLASIFICACIÓN VISUAL	SIMBOLO	N60
	No de golpes en cuchara	N en 30 cm	Clasificación según Densidad				
0.50	1	2	Suelto	23.48	Relleno.	-	1
	1						
	1						
1.00	4	13	Suelto	22.84	Tierra Blanca. Limo. E inicio Plan de la Laguna.	ML	8
	6						
	7						
1.50	15	31	Medio Denso	16.99	Lapilli Acrecional y oleadas piroclasticas. Arena Limosa.	SM	20
	13						
	18						
2.00	25	59	Medio Denso	27.09	Arena mal graduada. Intercalaciones de Oleadas y Depositos de caida.	SP	39
	25						
	34						
2.50	44	70	Medio Denso	19.62	Arena mal graduada. Intercalaciones de Oleadas y Depositos de caida.	SP	47
	35						
	35						
3.00	43	55	Medio Denso	20.49	Boqueron. Arcilla Media Plasticidad	CL	37
	30						
	25						

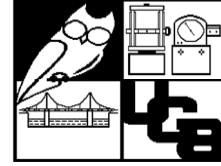
Observaciones:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



ENSAYO : ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR. CORRELACIONES

PUNTO: Nuevo Cuscatlan. Finca la Florencia. Zona Intermedia.

PROFUNDIDAD m	U	D50	N 30cm	N <sub>60</sub>	W %	Peso Específico KN/m <sup>3</sup>	Esfuerzo Efectivo KN/m <sup>2</sup>	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	OCR	Dr %	Angulo de Fricción
0.50	0	0.20	2	1	23.48	13.44	3.36	2	2.50	17.99	27.70
1.00	0	0.20	13	8	22.84	13.44	6.72	16	2.50	50.88	31.76
1.50	3	0.65	31	20	16.99	15.60	10.62	40	2.50	70.53	38.24
2.00	2	3.00	59	39	27.09	15.11	14.40	78	2.50	86.37	47.21
2.50	2	3.00	70	47	19.62	15.11	18.17	94	2.50	94.82	50.53
3.00	0	-	55	37	20.49	-	-	-	-	-	-

Valor N Corregido:

$$N_{60} = \frac{n_H n_B n_S n_R N}{0.60}$$

Nh: 0.45 Nb:1.00 Ns:1.20 Nr:0.75

$$(N_1)_{60} = N_{60} \sqrt{\frac{100 \text{Kpa}}{\sigma'_z}}$$

$$\sigma'_z = \gamma * h_{-} (\text{kpa})$$

$$D_r = \sqrt{\frac{(N_1)_{60}}{C_p C_A C_{OCR}}} * 100\%$$

Cp: 60+25logD50

Ca: 1.2+0.05log(t/100)

t: 2000.00

Cocr: OCR^(0.18)

OCR: 2.5

$$\varphi' (\text{grados}) = 27.1 + 0.3(N_1)_{60} - 0.00054 [(N_1)_{60}]^2$$

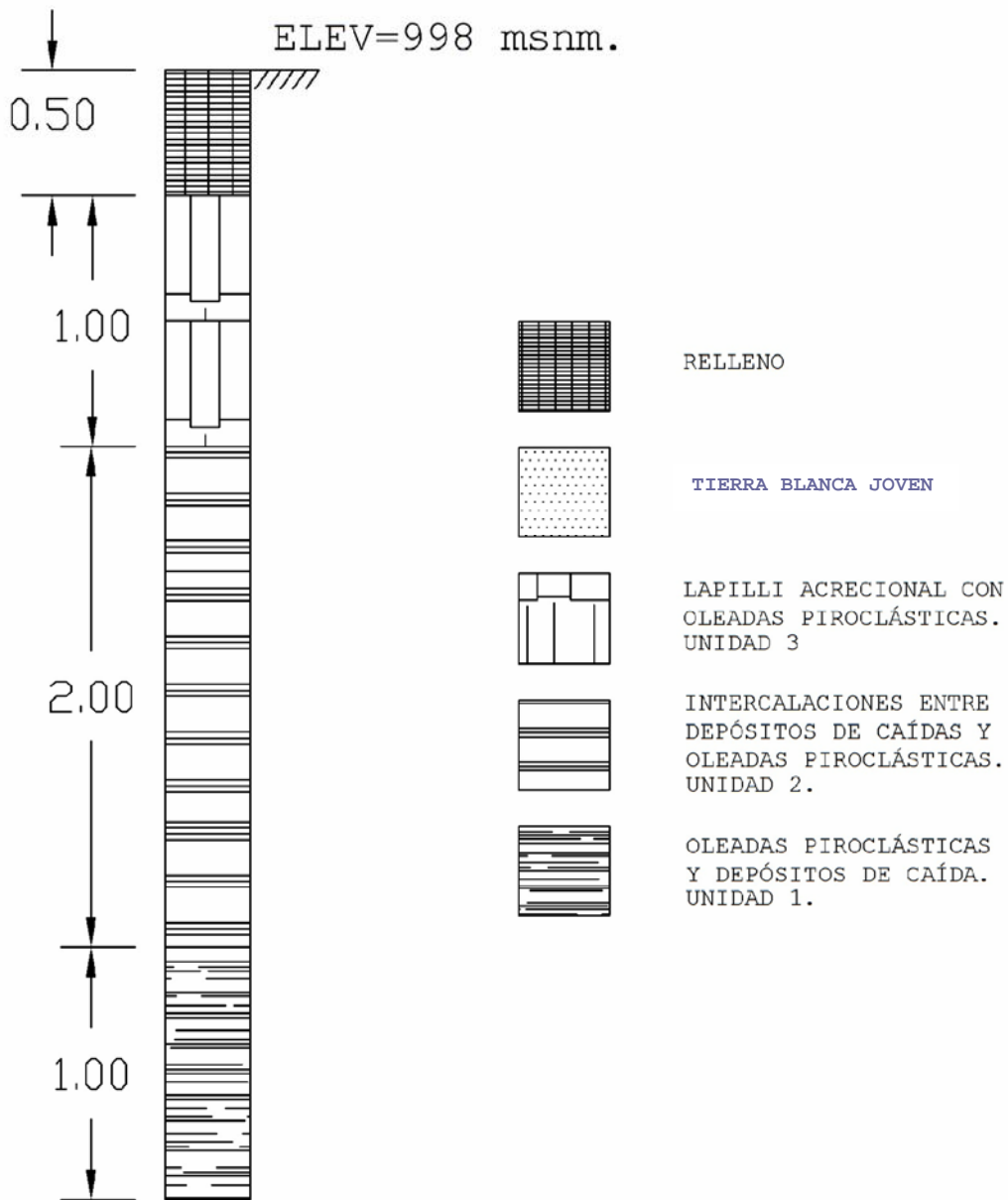
Observaciones:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

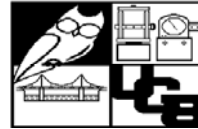
\_\_\_\_\_

SONDEO 8.  
FINCA LA LABRANZA.



SONDEO 8. FINCA LA LABRANZA.

**LABORATORIO DE MECÁNICA  
ESTRUCTURAL UCA**



ENSAYO : **ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR.**  
NORMA ASTM D 1586-99

CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DEL TERRENO: Superficie Inclínada.

LOCALIZACIÓN: Finca la Labranza. Zona Intermedia.

NUMERO DE SONDEO 8 FECHA: 17 Julio 2007.

PUNTO : A

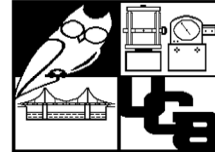
PROFUNDIDAD m	PENETRACIÓN			HUMEDAD W %	CLASIFICACIÓN VISUAL	SIMBOLO	N60
	No de golpes en cuchara	N en 30 cm	Clasificación según Densidad				
0.50	2.00	6	Denso	38.74	Relleno.	-	3
	3.00						
	3.00						
1.00	7	15	Medio Denso	31.11	Arena limosa. Lapilli acrecional. Unidad 3.	SM	8
	7						
	8						
1.50	10	29	Denso	23.01	Arena limosa. Lapilli acrecional. Unidad 3.	SM	16
	16						
	13						
2.00	11	22	Denso	20.31	Arena limosa. Lapilli acrecional. Unidad 3.	SM	12
	12						
	10						
2.50	11	24	Medio Denso	12.50	Arena mal graduada. Intercalaciones de caidas y oleadas. Unidad 2	SP	13
	12						
	12						
3.00	33	63	Medio Denso	20.73	Arena mal graduada. Intercalaciones de caidas y oleadas. Unidad 2	SP	35
	32						
	31						
3.50	85	70	Medio Denso	19.55	Arena mal graduada. Intercalaciones de caidas y oleadas. Unidad 2	SP	39
	32						
	38						
4.00	65	87	Medio Denso	17.83	Arena mal graduada. Intercalaciones de caidas y oleadas. Unidad 2	SP	48
	38						
	49						
4.50	71	97	Medio Denso	15.88	Arena Limosa. Oleada Piroclastica. Unidad 1.	SM	54
	50						
	47						
5.00	65	29	Medio Denso	20.70	Arena Limosa. Oleada Piroclastica. Unidad 1.	SM	16
	19						
	10						

Observaciones:

En este punto se encontro con una roca, por esos este valor se descarta.

No se recupero muestra.

LABORATORIO DE MECÁNICA ESTRUCTURAL UCA



ENSAYO :

ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR. CORRELACIONES

PUNTO: Sondeo 8. Finca la Labranza Zona Intermedia.

PROFUNDIDAD m	U	D50	N 30cm	N <sub>60</sub>	W %	Peso Específico KN/m <sup>3</sup>	Esfuerzo Efectivo KN/m <sup>2</sup>	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	OCR	Dr %	Angulo de Fricción
0.50	0	0.20	6	3	38.74	13.44	3.36	6	2.50	31.16	28.88
1.00	3	0.65	15	8	31.11	15.60	7.26	16	2.50	44.61	31.76
1.50	3	0.65	29	16	23.01	15.60	11.16	32	2.50	63.08	36.15
2.00	3	0.65	22	12	20.31	15.60	15.06	24	2.50	54.63	33.99
2.50	2	3.00	24	13	12.50	15.11	18.84	26	2.50	49.87	34.53
3.00	2	3.00	63	35	20.73	15.11	22.61	70	2.50	81.83	45.45
3.50	2	3.00	70	39	19.55	15.11	26.39	75	2.50	84.70	46.56
4.00	2	3.00	87	48	17.83	15.11	30.17	87	2.50	91.22	49.11
4.50	1	0.35	97	54	15.88	14.32	33.75	92	2.50	114.12	50.13
5.00	1	0.35	29	16	20.70	14.32	37.33	26	2.50	60.67	34.53

Valor N Corregido:

$$N_{60} = \frac{n_H n_B n_S n_R N}{0.60}$$

N<sub>H</sub>: 0.45 N<sub>B</sub>:1.00 N<sub>S</sub>:1.0 N<sub>R</sub>:0.75

$$(N_1)_{60} = N_{60} \sqrt{\frac{100 \text{Kpa}}{\sigma'_z}}$$

$$\sigma'_z = \gamma * h \text{ (kpa)}$$

$$D_r = \sqrt{\frac{(N_1)_{60}}{C_p C_A C_{OCR}}} * 100\%$$

C<sub>p</sub>: 60+25logD50

C<sub>A</sub>: 1.2+0.05log(t/100)

t: 2000.00

C<sub>OCR</sub>: OCR<sup>(0.18)</sup>

OCR: 2.5

$$\varphi' \text{ (grados) } = 27.1 + 0.3(N_1)_{60} - 0.00054 [(N_1)_{60}]^2$$

Observaciones:

En este punto se encontro con una roca, por esos este valor es descartado.

No se recupero muestra.

# Anexo F

capacidad de carga

## Calculo de capacidad de carga última.

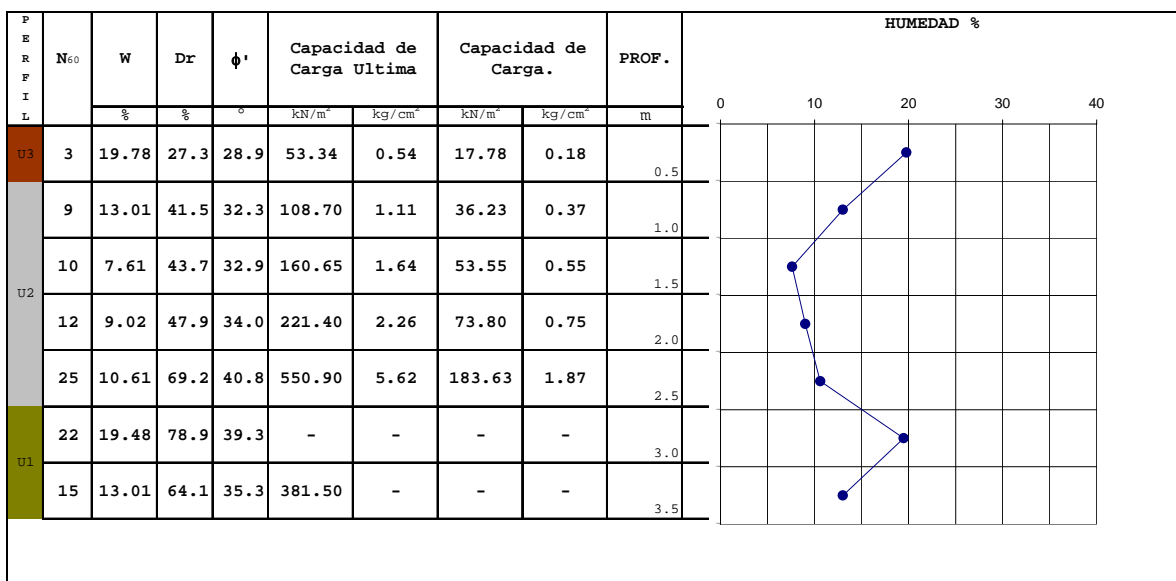
### ▪ Unidad 2

Profundidad	U	N60	Densidad Relativa	Angulo de fricción	Peso Especifico	Esfuerzo Efectivo	Capacidad de carga última	Capacidad de Carga admisibe
(m)			(%)	(°)	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
1.00	2	9	41.5	32	15.11	7.68	1.11	0.37
1.50	2	10	43.7	33	15.11	11.46	1.64	0.55
2.00	2	12	47.9	34	15.11	15.23	2.26	0.75

Factor Seguridad: 3

SONDEO 2

FECHA: 19 Junio 2007.



TBJ Tierra Blanca.

U1 Depositos de caída y oleadas piroclásticas.

U2 Intercalaciones de Oleadas y caídas.

U3 Lapilli acrecional.

G2 Escorias del boquerón.



**TERZAGUI**

Calculo de capacidad de carga ultima por corte local.

$$qu = 0.867 c' N'_c + q N'_q + 0.4 \gamma B N'_\gamma$$

Peso Especifico del Suelo:

15.11 kN/m<sup>3</sup>

Cimentación cuadrada de:

B: 1.00 m      1.00 m

Desplante:

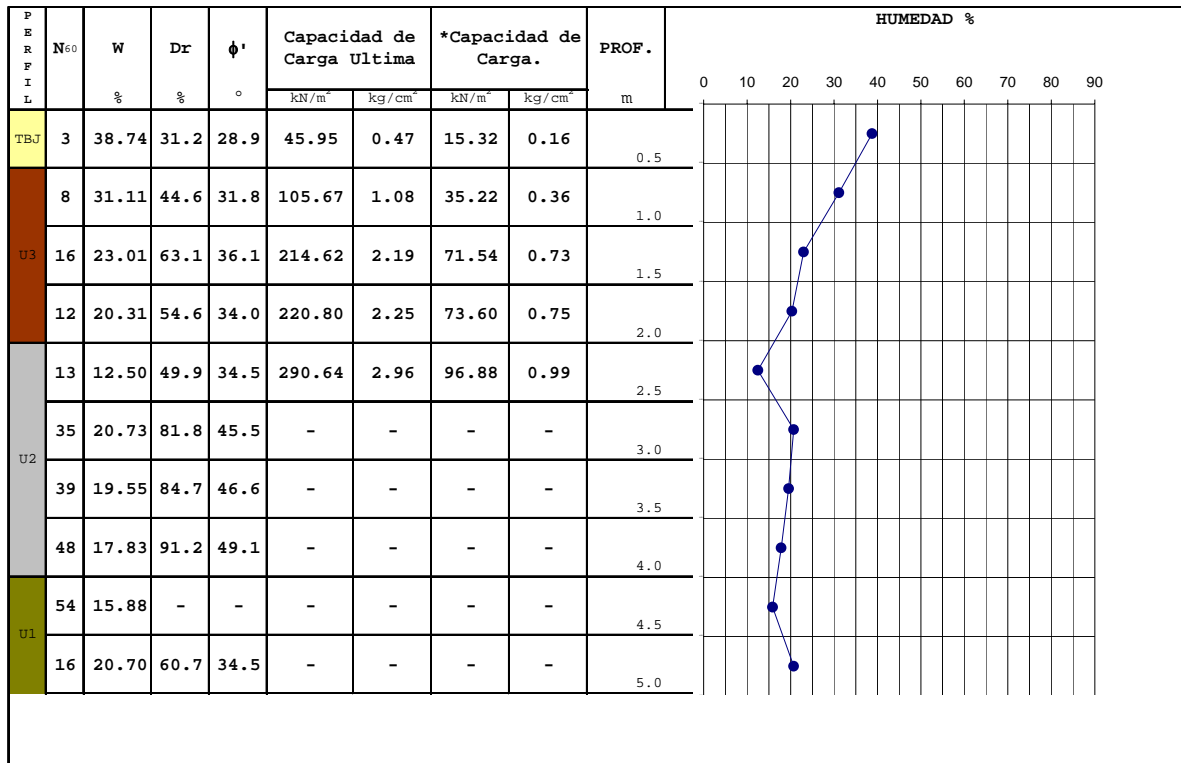
1.00 m

Dr.	Angulo Fricción	N'c	N'q	N'g	Aplica
27.3	29	18.03	7.66	3.76	SI
41.5	32	21.16	9.82	5.51	SI
43.7	33	22.39	10.69	6.32	SI
47.9	34	23.72	11.67	7.22	SI
69.2	41	37.45	22.70	19.75	SI

▪ **Unidad 3**

Profundidad	U	N60	Densidad Relativa	Angulo de fricción	Peso Especifico	Esfuerzo Efectivo.	Capacidad de carga ultima.	Capacidad de Carga admisible
(m)			(%)	(°)	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
1.00	3	8	44.6	32	15.60	7.26	1.08	0.36
1.50	3	16	63.1	36	15.60	11.16	2.19	0.73
2.00	3	12	54.6	34	15.60	15.06	2.25	0.75

Factor Seguridad: 3



### TERZAGUI

Calculo de capacidad de carga ultima por corte local.

$$qu = 0.867c'N'_c + qN'_q + 0.4\gamma BN'_\gamma$$

Peso Especifico del Suelo:

15.6 kN/m<sup>2</sup>

Cimentación cuadrada de:

B: 1.00 m 1.00 m

Desplante:

1.00 m

Dr.			Angulo Fricción	N' <sub>c</sub>	N' <sub>q</sub>	N' <sub>γ</sub>	Aplica
31.2			29	18.03	7.66	3.76	SI
44.6			32	21.16	9.82	5.51	SI
63.1			36	26.77	13.97	9.41	SI
54.6			34	23.72	11.67	7.22	SI
49.9			35	25.18	12.75	8.35	SI

Factores modificados de capacidad de Terzaghi. Para tipo de falla por  
corte local [M. Dass,2006:p.130]

$\phi'$	Nc	Nq	$N_\gamma$	$\phi'$	Nc	Nq	$N_\gamma$
0	5.70	1.00	0.00	26	27.09	14.21	9.84
1	6.00	1.10	0.01	27	29.24	15.90	11.60
2	6.30	1.22	0.04	28	31.61	17.81	13.70
3	6.62	1.35	0.06	29	34.24	19.98	16.18
4	6.97	1.49	0.10	30	37.16	22.46	19.13
5	7.34	1.64	0.14	31	40.41	25.28	22.65
6	7.73	1.81	0.20	32	44.04	28.52	26.87
7	8.15	2.00	0.27	33	48.09	32.23	31.94
8	8.60	2.21	0.35	34	52.64	36.50	38.04
9	9.09	2.44	0.44	35	57.75	41.44	45.41
10	9.61	2.69	0.56	36	63.53	47.16	54.36
11	10.16	2.98	0.69	37	70.01	53.80	65.27
12	10.76	3.29	0.85	38	77.50	61.55	78.61
13	11.41	3.63	1.04	39	85.97	70.61	95.03
14	12.11	4.02	1.26	40	95.66	81.27	115.31
15	12.86	4.45	1.52	41	106.81	93.85	140.51
16	13.68	4.92	1.82	42	119.67	108.75	171.99
17	14.60	5.45	2.18	43	134.58	126.50	211.56
18	15.12	6.04	2.59	44	151.95	147.74	261.60
19	16.56	6.70	3.07	45	172.28	173.28	325.34
20	17.69	7.44	3.64	46	192.55	204.19	407.11
21	18.92	8.26	4.31	47	224.55	241.80	512.84
22	20.27	9.19	5.09	48	258.28	287.85	650.67
23	21.75	10.23	6.00	49	298.71	344.63	831.99
24	23.36	11.40	7.08	50	347.50	415.14	1072.80
25	25.13	12.72	8.34				