



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERA CIVIL**

**TEMA:**

---

**“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS VALORES DEL LÍMITE  
LÍQUIDO OBTENIDOS POR COPA DE CASAGRANDE Y  
PENETRÓMETRO DE CONO PARA SUELOS FINOS DEL CANTÓN  
PASTAZA, PROVINCIA DE PASTAZA”**

---

**AUTORA: Lisbeth Solange Pilatasig Murillo**

**TUTOR: Ing. Mg. Favio Paul Portilla Yandun**

**AMBATO - ECUADOR**

**MARZO – 2021**

## **CERTIFICACIÓN**

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del título de Ingeniera Civil, con el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS VALORES DEL LÍMITE LÍQUIDO OBTENIDOS POR COPA DE CASAGRANDE Y PENETRÓMETRO DE CONO PARA SUELOS FINOS DEL CANTÓN PASTAZA, PROVINCIA DE PASTAZA”**, elaborado por la Srta. Lisbeth Solange Pilatasig Murillo, portadora de la cédula de ciudadanía: C.I. 0550124358, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente Trabajo Experimental es original de su autora.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, Marzo 2021

---

**Ing. Mg. Favio Paul Portilla Yandun**

**TUTOR**

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Lisbeth Solange Pilatasig Murillo**, con C.I. 0550124358 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS VALORES DEL LÍMITE LÍQUIDO OBTENIDOS POR COPA DE CASAGRANDE Y PENETRÓMETRO DE CONO PARA SUELOS FINOS DEL CANTÓN PASTAZA, PROVINCIA DE PASTAZA”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autora del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Marzo 2021



---

**Lisbeth Solange Pilatasig Murillo**

**C.I: 0550124358**

**AUTORA**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Marzo 2021



---

**Lisbeth Solange Pilatasig Murillo**

**C.I: 0550124358**

**AUTORA**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por la estudiante Lisbeth Solange Pilatasig Murillo, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS VALORES DEL LÍMITE LÍQUIDO OBTENIDOS POR COPA DE CASAGRANDE Y PENETRÓMETRO DE CONO PARA SUELOS FINOS DEL CANTÓN PASTAZA, PROVINCIA DE PASTAZA”**.

Ambato, Marzo 2021

Para constancia firman:

---

**Ing. Mg. Jorge Javier Guevara Robalino**  
**Miembro Calificador**

---

**Ing. Mg. Diego Sebastian Chérrez Gavilanes**  
**Miembro Calificador**

## **DEDICATORIA**

Dedicó este trabajo primeramente a Dios por haberme iluminado en el transcurso de mi carrera y principalmente en la vida, por su infinita misericordia y bendiciones que me han permitido llegar a este día tan esperado.

A mis amados padres Héctor Pilatasig y Silvia Murillo, por apoyarme tanto emocionalmente como económicamente en todos estos años de carrera, por ser el pilar fundamental de mi vida, por su apoyo incondicional, por tomar mi mano para ayudarme a seguir adelante cuando estaba por rendirme, por los sacrificios que hicieron para ayudarme porque a pesar de estar pasando por momentos difíciles siempre se mantuvieron fuertes para que yo pueda conseguir una meta más en mi vida.

A mis hermanos Leidy y Steve, por haber estado conmigo en todo momento apoyándome e inspirándome a ser mejor cada día, por darme ánimos para seguir adelante y demostrarles que todo lo que uno se proponen lo pueden lograr con esfuerzo y dedicación.

A toda mi familia por ayudarme a superar momentos difíciles, por estar siempre para mí poniendo su granito de arena para continuar luchando y cumplir mis sueños.

A mis mejores amigas Jessica y Silvia, por su amistad durante todos estos años y por haberme acompañado en este largo camino de formación profesional, ayudándome en los buenos y malos momentos que se me presentaron a lo largo de este difícil camino.

Finalmente, quiero dedicar este trabajo a todos los amigos que hice a lo largo de la carrera por los momentos vividos y que hicieron que este camino difícil de la carrera profesional se torne más llevadero y lleno de buenos recuerdos.

*Lisbeth Pilatasig*

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Técnica de Ambato, en especial a los directivos y docentes de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, por haberme dado la oportunidad de formarme como Ingeniera Civil en esta prestigiosa institución.

A mi tutor, Ing. Fabio Portilla por sus oportunos consejos, paciencia y por compartir sus conocimientos y orientarme para llevar a buen término este trabajo de investigación, a todos mis profesores por impartir su conocimiento a lo largo de la carrera y ayudarme a formarme como profesional.

A Silvia Ramírez, por compartir el tema de tesis y por lo tanto la construcción del equipo necesario para llevar a cabo este trabajo de investigación.

Al Ing. Byron López jefe de laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil por su predisposición para facilitar los equipos necesarios para la realización de los ensayos de laboratorio requeridos en este trabajo de investigación.

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

### A. PÁGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR .....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv

### B. CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I</b> .....	1
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	1
1.1. Antecedentes investigativos .....	1
1.1.1. Antecedentes .....	1
1.1.2. Justificación.....	2
1.1.3. Fundamentación teórica .....	3
1.1.3.1. Definición de suelo .....	3
1.1.3.2. Tipos de suelo .....	4
1.1.3.2.1. Suelos gruesos .....	5
1.1.3.2.2. Suelos finos .....	5
1.1.3.3. Distribución granulométrica .....	6
1.1.3.4. Gravedad específica.....	7
1.1.3.5. Plasticidad.....	8
1.1.3.5.1. Estados de consistencia del suelo.....	8
1.1.3.5.2. Límites de Atterberg .....	9
1.1.3.5.2.1. Utilización de los límites de Atterberg .....	10
1.1.3.5.3. Límite plástico (LP) .....	11
1.1.3.5.4. Límite líquido (LL) .....	12
1.1.3.5.5. Límite líquido por Copa de Casagrande.....	12
1.1.3.5.5.1. Límite líquido por método de punto.....	15
1.1.3.5.6. Límite líquido por Penetrómetro de Cono .....	16
1.1.3.5.7. Límite de contracción (LC).....	20



1.1.3.5.8.	Índice Plástico .....	22
1.1.3.5.9.	Índice Líquido .....	22
1.1.3.5.10.	Carta de Plasticidad.....	23
1.1.3.5.11.	Clasificación de los suelos .....	25
1.1.3.5.11.1.	Sistema de clasificación AASHTO .....	25
1.1.3.5.11.2.	Sistema unificado de clasificación de suelos.....	28
1.1.3.5.12.	Análisis de correlación.....	31
1.1.4.	Hipótesis.....	34
1.1.4.1.	Asignación de variables de la hipótesis .....	34
1.1.4.1.1.	Variables dependientes.....	34
1.1.4.1.2.	Variable independiente.....	34
1.2.	Objetivos .....	35
1.2.1.	Objetivo General: .....	35
1.2.2.	Objetivos Específicos: .....	35
<b>CAPÍTULO II</b>	.....	<b>36</b>
<b>METODOLOGÍA</b>	.....	<b>36</b>
2.1.	Nivel de Investigación.....	36
2.1.1.	Investigación exploratoria .....	36
2.1.2.	Investigación explicativa .....	36
2.1.3.	Investigación descriptiva .....	36
2.1.4.	Investigación experimental.....	36
2.1.5.	Población .....	37
2.1.6.	Muestra.....	40
2.2.	Materiales y Equipos.....	40
2.3.	Métodos.....	42
2.3.1.	Plan de recolección de datos .....	42
2.3.1.1.	Ensayos de campo.....	44
2.3.1.2.	Ensayos de laboratorio.....	45
2.3.2.	Plan de procesamiento y análisis de información.....	68
<b>CAPÍTULO III</b>	.....	<b>69</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	.....	<b>69</b>
3.1.	Análisis y discusión de los resultados.....	69
3.1.1.	Clasificación del suelo.....	69
3.1.2.	Clasificación SUCS:.....	72
3.1.3.	Clasificación AASHTO:.....	74
3.1.4.	Límites de consistencia .....	76
3.1.5.	Gravedad Específica .....	80
3.1.6.	Correlaciones .....	80
3.2.	Verificación de hipótesis.....	116
<b>CAPÍTULO IV</b>	.....	<b>118</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	.....	<b>118</b>

4.1. Conclusiones .....	118
4.2. Recomendaciones.....	123
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	125
<b>ANEXOS</b> .....	128
<b>Anexo 1: Materiales y equipos</b> .....	128
Anexo 2: Calibración de picnómetro usado para el ensayo de gravedad específica	133
Anexo 3: Propiedades de los suelos ensayados .....	135

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Límites de separación de tamaño de suelo.....	4
Tabla 2: Rangos de Gs para varios suelos.....	8
Tabla 3: Clasificación AASHTO para suelos A-1 al A-7 .....	26
Tabla 4: Sistema unificado de clasificación de suelos .....	30
Tabla 5: Sectores de donde se tomaron las muestras .....	37
Tabla 6: Coordenadas de los puntos de donde se obtuvieron las muestras.....	38
Tabla 7: Pesos necesarios para cada ensayo .....	40
Tabla 8: Materiales y Equipos utilizados .....	40
Tabla 9: Plan de recolección de datos .....	42
Tabla 10: Técnicas de recolección .....	43
Tabla 11: Pesos parciales de los elementos del cono de penetración .....	58
Tabla 12: Análisis granulométrico .....	71
Tabla 13: Clasificación SUCS .....	72
Tabla 14: Clasificación AASHTO .....	74
Tabla 15: Resumen de límites de Atterberg .....	77
Tabla 17: Valores de Gravedad Específica .....	80
Tabla 18: Escala de correlación .....	82
Tabla 19: Factor de conversión LL cup – LL cone (rango de LLcup).....	83
Tabla 20: Factor de conversión LL cup – LL cone ( 30 muestras) .....	83
Tabla 21: Ecuaciones de correlación.....	114
Tabla 22: Propiedades del suelo.....	115
Tabla 23: Resumen de resultados.....	116

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Curva granulométrica .....	6
Figura 2: Cambios en los estados del suelo en función del volumen del suelo y el contenido de agua.....	10

Figura 3: Límite plástico .....	11
Figura 4: Copa de Casagrande para determinar el límite líquido.....	13
Figura 5: Ensayo de límite líquido .....	14
Figura 6: Curva de flujo para determinación de límite líquido.....	15
Figura 7: Ensamble y detalle del cono para el ensayo de límite líquido.....	18
Figura 8: Gráfica de contenido de humedad en función de la penetración de cono ..	19
Figura 9: Penetrómetro de cono (EI24-0540) .....	19
Figura 10: Determinación de los límites líquido y plástico de Cambridge Gault por medio de la prueba de penetrómetro de cono.....	20
Figura 11: Esquema que ilustra la obtención de Límite de contracción según Terzaghi.....	21
Figura 12: Carta de Plasticidad .....	23
Figura 13: Rango del límite líquido y el índice de plasticidad de los suelos que se dividen en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7 .....	28
Figura 14: Gráficas de dispersión y las líneas de regresión asociadas.....	32
Figura 15: Mapa censal del Puyo .....	37
Figura 16: Puntos de obtención de muestra .....	39
Figura 17: Extracción de muestra .....	44
Figura 18: Peso de recipientes.....	45
Figura 19: Peso de recipiente + suelo húmedo .....	45
Figura 20: Colocar los recipientes en el horno.....	46
Figura 21: Peso de recipiente + suelo seco .....	46
Figura 22: Muestras secadas al horno .....	47
Figura 23: Pulverizar muestra .....	47
Figura 24: Tamices en forma ascendente.....	47
Figura 25: Tamizar muestra .....	48
Figura 26: Pesos Acumulados.....	48
Figura 27: Peso de picnómetro.....	49
Figura 28: Peso de picnómetro + agua.....	49
Figura 29: Curva de calibración.....	50
Figura 30: Añadir muestra de suelo en picnómetro .....	51
Figura 31: Temperatura agua+suelo .....	51
Figura 32: Extraer aire atrapado en picnómetro.....	52
Figura 33: Peso picnómetro+agua+suelo.....	52
Figura 34: Sacar agua+suelo .....	52
Figura 35: Sacar agua+suelo .....	53
Figura 36: Muestra seleccionada.....	53
Figura 37: Pulverizar muestra .....	54
Figura 38: Tamizar muestra .....	54
Figura 39: Mezclar muestra .....	54
Figura 40: Colocar muestra en Copa Casagrande .....	55
Figura 41: Abrir ranura .....	55
Figura 42: Detalle del cono de penetración.....	56
Figura 43: Rosca de acople y tornillo de acople .....	57
Figura 44: Varilla de acople.....	57

Figura 45: Rosca base .....	57
Figura 46: Partes del cono de penetración .....	58
Figura 47: Detalle base del equipo .....	59
Figura 48: Parte fija del equipo .....	60
Figura 49: Detalle de parte móvil del equipo .....	61
Figura 50: Recipientes metálicos .....	61
Figura 51: Penetrómetro de cono .....	62
Figura 53: Llenado de recipiente .....	63
Figura 54: Colocar la punta del cono en la superficie de la muestra .....	63
Figura 55: Toma de lectura de penetración .....	64
Figura 56: Pesar porciones de mezcla .....	65
Figura 57: Moldear muestra .....	65
Figura 58: Cordones de suelo para límite plástico .....	65
Figura 59: Pastillas de suelo .....	66
Figura 60: Mercurio en cristal de lucita .....	66
Figura 61: Colocar pastilla de suelo sobre mercurio .....	67
Figura 62: Sumergir pastilla de suelo en mercurio .....	67
Figura 63: Peso de mercurio desalojado .....	67
Figura 64: Curva granulométrica de las 30 muestras ensayadas .....	69
Figura 65: Rango granulométrico de las muestras ensayadas .....	70
Figura 66: Clasificación SUCS por Copa de Casagrande .....	73
Figura 67: Clasificación SUCS por penetrómetro de cono .....	73
Figura 68: Clasificación AASHTO según Casagrande .....	75
Figura 69: Clasificación AASHTO según Penetrómetro de Cono .....	76
Figura 70: Correlación entre LL cup y LL cono .....	81
Figura 71: Correlación entre LL cup - LP .....	85
Figura 72: Correlación entre LL cono - LP .....	87
Figura 73: Correlación entre LL cup - LC .....	89
Figura 74: Correlación entre LL cono - LC .....	91
Figura 75: Correlación entre LL cup - Gs .....	93
Figura 76: Correlación entre LL cono - Gs .....	95
Figura 77: Correlación entre LL cup - IP cup .....	97
Figura 78: Correlación entre LL cono - IP cono .....	99
Figura 79: Correlación entre % Pasa 200 - LL cup .....	101
Figura 80: Correlación entre % Pasa 200 - LL cono .....	103
Figura 81: Correlación entre % Pasa 200 - LP .....	105
Figura 82: Correlación entre % Pasa 200 - LC .....	107
Figura 83: Correlación entre % Pasa 200 - IP cup .....	109
Figura 84: Correlación entre % Pasa 200 - IP cono .....	111
Figura 85: Correlación entre % Pasa 200 - Gs .....	113

## RESUMEN

En este trabajo de investigación se utilizaron 30 muestras de suelos finos, extraídas de diferentes sectores de la ciudad del Puyo, con el objetivo de realizar un análisis comparativo entre los valores de límite líquido usando la Copa de Casagrande (ASTM D 4318-2010) y el Penetrómetro de cono (Norma Británica BS 1377-2:1990). Este último equipo (no disponible en el laboratorio), fue manufacturado de acuerdo a las especificaciones de la norma mencionada.

Además, se determinó los límites de Atterberg, índice de plasticidad, clasificación SUCS y AASHTO y gravedad específica de cada una de las muestras, para correlacionarlas entre sí.

Una vez obtenidos los resultados de los ensayos se tabuló, analizó e interpretó los datos. Para verificar la hipótesis planteada se utilizaron métodos estadísticos para determinar el nivel de correlación de los valores de límite líquido obtenidos por ambos métodos. Teniendo así que la hipótesis se cumple al presentar un coeficiente de correlación bueno de 0.81. De esta manera, el uso del penetrómetro de cono fabricado se considera como un método factible y alternativo para obtener el límite líquido de suelos finos. La ecuación de correlación es  $LL_{cone} = 1.13 LL_{cup} - 2.10$ . Por otra parte, se determinó factores de conversión de 0.9179 y 0.9199 para aproximadamente calcular el LL cup conociendo el valor de LL cone.

**Palabras clave:** Copa de Casagrande, penetrómetro de cono, límite líquido, correlación.

## ABSTRACT

In this research work, 30 samples of fine soils were used, which were extracted from different sectors of the city of Puyo, in order to perform a comparative analysis among liquid limit values using the Casagrande cup method (ASTM D 4318-2010) and the Cone Penetrometer method (British standard BS 1377-2: 1990). The last equipment (not available in the laboratory) was manufactured according the specifications of the mentioned standard.

In addition, Atterberg limits, plasticity index, SUCS and AASHTO classifications and specific gravity of each of the samples were determined, to correlate them each other.

Once the results of the tests were obtained, the data was tabulated, analyzed and interpreted. In order to verify the hypothesis raised, statistical methods were used to determine the level of correlation of the liquid limit values obtained by both methods. Thus, the hypothesis is fulfilled by presenting a good correlation coefficient of 0.81. In this way, the use of the 'manufactured' cone penetrometer is considered as a feasible and alternative method for obtaining liquid limit of fine soils. The correlation equation is  $LL_{cone} = 1.13 LL_{cup} - 2.10$ . Besides, conversion factors of 0.9179 and 0.9199 were determined to approximately calculate LL<sub>cup</sub> knowing the value of LL<sub>cone</sub>.

**Keywords:** Casagrande cup, cone penetrometer, liquid limit, correlation.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes investigativos

#### 1.1.1. Antecedentes

Según investigaciones realizadas en diferentes países se puede utilizar el método propuesto en la norma británica BS 1377-2:1990 (penetrómetro de cono) para determinar el límite líquido de los suelos, considerando este método más práctico que el método utilizado actualmente en el país (método de la copa de Casagrande).

Según Eva Hrubesovaa, Barbara Lunackovaa, y Ondrej Brodzkia en su artículo publicado en el año 2016 bajo el título “ Determination of plastic limit of soil using modified cone penetration method” establecen que el valor de límite líquido obtenido por el método de Casagrande para suelos de plasticidad media es muy similar al límite líquido obtenido por el método de cono de penetración estándar que supone una penetración de 20 mm mientras que para suelos de alta plasticidad se determinó que el método de penetrómetro de cono proporciona un valor significativamente menor al del límite líquido obtenido con el método de copa Casagrande [1].

Según Hawkar Hashim Ibrahim, y Krikar M-Gharrib Noori establecen que los límites líquidos obtenidos por el método de copa Casagrande son más bajos que los del método de penetrómetro de cono por lo que propuso una ecuación ( $LL_{cup} = 1.06 LL_{cone} - 4.30$ ) a través de análisis de regresión lineal con el método de mínimos cuadrados para determinar el límite líquido por Casagrande basada en los valores de límite líquido por penetración de cono[2].

Según Abdelaziz El-Shinawi en su investigación determinó que el límite líquido determinado por el aparato de Casagrande y el penetrómetro de cono dan esencialmente los mismos resultados con una diferencia de <5% y se observó que los valores del aparato de Casagrande fueron generalmente más bajos que los obtenidos por el penetrómetro de cono[3].

Según Luiz Carlos S. da Silveira establece que el límite líquido obtenido con el cono de penetración según la norma británica (penetración de 20 mm) arroja valores más altos que los del método Casagrande, sin embargo, usando una penetración de 14 mm, estos valores son prácticamente los mismos[4].

Según Basiles Christaras los valores obtenidos con Casagrande fueron sistemáticamente más bajos que los valores del penetrómetro de cono en suelos con bajo contenido de arcilla así mismo señala que una profundidad de penetración del cono menor que 10 mm podría disminuir esta diferencia; dicha profundidad de penetración puede cambiar con el tamaño del grano de acuerdo al cálculo de la relación  $z = 6C^{0.14}$  [5].

En el país se han realizado investigaciones que sustenten estos argumentos resultando así que en el año 2007 en la Universidad Técnica Particular de Loja se realizó una tesis de “Correlación entre ensayo Casagrande y cono de Penetración” la cual muestra que la ecuación  $y=b*x+c$  sirve para correlacionar ambos ensayos[6].

Otra investigación se realizó en el año 2012 en la Pontificia Universidad Católica Del Ecuador en la cual se pudo demostrar que el método de penetrómetro de cono da valores tanto para límite líquido como para límite plástico en todos los tipos de suelos[7].

En el año 2019 en la Universidad de Cuenca basados en los resultados obtenidos en el ensayo de cono de penetración, los rangos de variaciones en cada suelo y su desviación estándar se concluyó que el método es aplicable para la obtención de límite líquido[8].

### **1.1.2. Justificación**

Para determinar las propiedades del suelo los parámetros más importantes son la determinación del límite líquido y plástico para lo cual en el país se utiliza como método estándar el método de la copa de Casagrande, cuyo uso es respaldado por la norma ASTM D 4318-2010 sin embargo existe otro procedimiento alternativo para determinar el límite líquido el cual es denominado método del penetrómetro de cono, cuyo uso está respaldado por la norma británica BS 1377-2:1990 y que se utiliza en



algunos países[9] como China, India, Brasil, Francia y los Estados Unidos[10] y fue elegido como método estándar en Rusia, Reino Unido, India y Canadá[3].

El límite líquido y el límite plástico son los límites más importantes de Atterberg y su determinación resulta útil para la clasificación de los suelos cohesivos, su comportamiento[1] y para determinar la correlación de los factores geotécnicos[11] es por ello que se necesita mayor precisión y eficiencia en los resultados por lo que esta investigación tiene como objetivo comparar los valores de límite líquido obtenidos por el método de copa de Casagrande y penetrómetro de cono[2] y de esta manera implementar un método alternativo para la determinación del límite líquido en el Ecuador.

El método del penetrómetro de cono es más fácil, más rápido y menos sensible a los factores subjetivos [1], además es un ensayo estático donde interactúan las fuerzas de corte del suelo, mientras que el ensayo de Casagrande introduce efectos dinámicos por lo que se considera al método de penetrómetro de cono como el más satisfactorio[10]. El penetrómetro de cono es una técnica que se basa en la relación de contenido de humedad y la penetración de un cono en la muestra de suelo[6], este ensayo se llevó a cabo para comprobar la disminución del factor humano en la determinación del ensayo de Límite líquido[12].

Para lograr que este método sea considerado como una nueva alternativa en la determinación de los límites de Atterberg es necesario verificar su validez con suelos de nuestro entorno y comparar los resultados obtenidos entre el método de penetrómetro de cono y el método tradicional usado en el Ecuador que es el de Copa de Casagrande[9].

### **1.1.3. Fundamentación teórica**

#### **1.1.3.1. Definición de suelo**

Se define al suelo como el conjunto de partículas minerales que resultan de la desintegración y alteración ya sea física y/o química de las rocas y de los residuos de las actividades de los seres vivos [13].

### 1.1.3.2. Tipos de suelo

El suelo es un material complejo por su composición química y por los diferentes tamaños de sus partículas por lo que para su estudio es necesario seguir una metodología con definiciones y sistemas de evaluación de propiedades, que faciliten su comprensión para los técnicos de diferentes especialidades y países [14].

Se conoce diferentes tipos de suelos los cuales son generalmente llamados grava, arena, limo o arcilla, dependiendo del tamaño predominante de las partículas dentro del suelo.

En la tabla 1 se describe los suelos por su tamaño de partícula, según varias organizaciones como el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), Departamento de Agricultura de E.U. (USDA), Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte (AASHTO), y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos los cuales han desarrollado límites de separación de tamaño de suelo [15].

**Tabla 1: Límites de separación de tamaño de suelo**

Nombre de la organización	Tamaño de grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT)	>2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	<0.002
Departamento de Agricultura de E.U. (USDA)	>2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	<0.002
Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	<0.002
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de E.U., Oficina de Reclamación de E.U., Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (p.ej., limos y arcillas) <0.075	

*Fuente: Fundamentos de ingeniería geotécnica Cuarta edición [15].*

Siendo, en la actualidad el Sistema Unificado casi universalmente aceptado y ha sido adoptado por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales[15].

Este sistema divide a los suelos en 2 grandes fracciones: la gruesa, formada por partículas mayores que la malla N°200 (0.074 mm) y menores que la malla de 3" (7.62 cm) y la fina, formada por las partículas que pasan la malla N°200.

#### **1.1.3.2.1. Suelos gruesos**

La fracción gruesa se subdivide en gravas y arenas, teniendo como frontera la malla N°4 (4.76 mm)[16].

Gravas son suelos de grano grueso con un tamaño entre 8-10 cm y 2 mm; se caracterizan porque no retienen agua por la inactividad de su superficie y los grandes huecos existentes entre partículas y son observables directamente.

Arenas son suelos de grano grueso con partículas que van entre 2 y 0.060 mm, todavía son observables a simple vista; cuando se mezclan con agua no forman agregados continuos[14].

#### **1.1.3.2.2. Suelos finos**

La fracción fina se subdivide en grupos, tomando en cuenta sus características de plasticidad [16]. Estos suelos de granos finos son los que pasan el tamiz N° 200 y se subdivide algunas veces en limos que son las partículas mayores que 0.002 mm y arcillas que son las menores que 0.002 mm [17].

**Los limos:** son suelos de grano fino con poca o ninguna plasticidad[18], consisten en fragmentos de cuarzo muy finos y algunas partículas en forma laminar que son fragmentos de minerales micáceos[16]. El tamaño de sus partículas está comprendido entre 0.005 mm y 0.08mm[18].

**Las arcillas:** son suelos de grano fino que posee alta plasticidad[18], formada en su mayoría por minerales silicatos, constituidos por cadenas de elementos tetraédricos y octaédricos (el ion silicio se encuentra en el centro de cada una de estas estructuras regulares), unidas por enlaces covalentes débiles, pudiendo entrar las moléculas de agua entre las cadenas produciendo, a veces, aumentos de volumen (recuperables

cuando el agua se evapora)[14]. Las arcillas se definen generalmente como partículas menores de 0.002 mm. En algunos casos las partículas de tamaño entre 0.002 y 0.005 mm también[16].

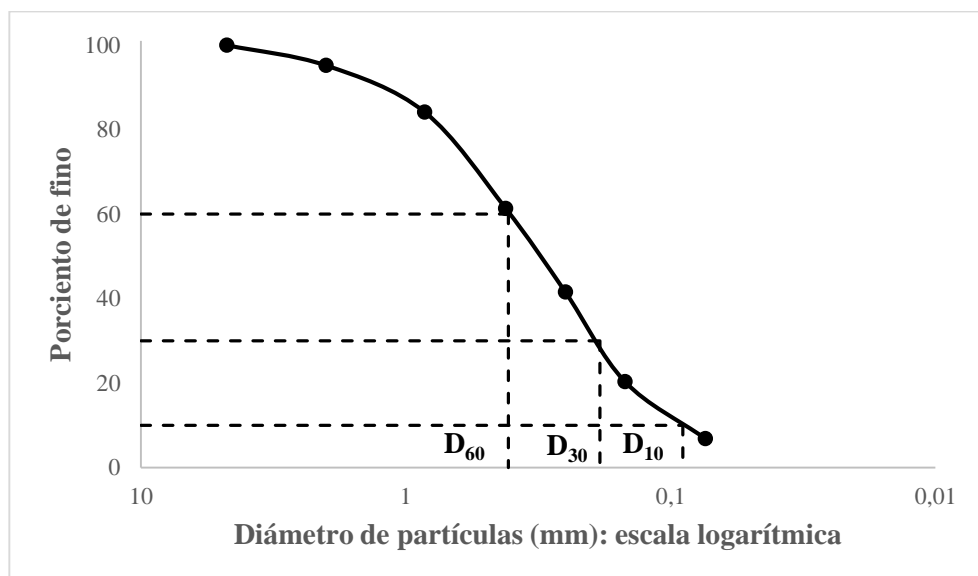
### 1.1.3.3. Distribución granulométrica

Para conocer la proporción de cada material que tiene un suelo se realizan análisis granulométricos, utilizando la vía seca para partículas de tamaños superiores a 0,075 mm, y la granulometría por sedimentación mediante el hidrómetro (vía húmeda) para tamaños iguales o inferiores a 0,075 mm[14].

La forma más fácil de representar los diferentes tamaños de un suelo es el método gráfico, el cual consiste en un dibujo en porcentajes de los tamaños en las ordenadas mismos que están representados en escala tradicional y de tamaños de las partículas en las abscisas las cuales se representan en escala logarítmica [7].

El gráfico se obtiene a partir de análisis granulométrico por tamices el cual se efectúa pasando una cantidad determinada de suelo a través de una columna de tamices de abertura cada vez más pequeña y una fuente en el fondo. Se pesa la cantidad de suelo retenida en cada tamiz y se determina el porcentaje el porcentaje acumulado de suelo que pasa a través de cada tamiz [19].

*Figura 1: Curva granulométrica*



*Fuente: Fundamentos de ingeniería geotécnica [19].*

La forma de la curva nos da una idea clara de la granulometría del suelo, mostrándonos una curva empinada cuando las partículas del suelo tienen un tamaño uniforme [7], mientras que en suelos con variaciones en sus tamaños la curva granulométrica es continua y suave[18].

De la curva granulométrica se puede definir dos parámetros importantes:

- **El coeficiente de uniformidad:**  $C_u$  que es la relación entre el diámetro correspondiente al tamiz por el que pasa un 60 % del material y el diámetro correspondiente al tamiz por el que pasa el 10 %. Si  $C_u$  es menor de 5 el suelo tiene una granulometría uniforme; si  $C_u$  varía entre 5 y 20 es poco uniforme, y si  $C_u > 20$  es un suelo bien graduado [14]. Se determina con la ecuación:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{Ec. (1)}$$

- **El coeficiente de curvatura:**  $C_c$  este coeficiente evalúa la regularidad de la curva y representa la distribución de los tamaños de las partículas de una muestra de suelo [18]. Se determina mediante la ecuación:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}} \quad \text{Ec. (2)}$$

En ambas ecuaciones  $D_{10}, D_{30}, D_{60}$  son los diámetros correspondientes a los tamices por los que pasan el 10, 30 y 60 % de las partículas.

#### 1.1.3.4. Gravedad específica

Se refiere a la relación existente entre la masa de un volumen de sólido a una temperatura especificada y la masa de un volumen de agua libre de aire a la misma temperatura [20]. La gravedad específica de los sólidos ( $G_s$ ) se utiliza en diversos cálculos en mecánica de suelos y se determina con ensayos de laboratorio [15], siendo necesarios para calcular la relación de vacíos de un suelo, también se utiliza para el análisis de hidrómetro [21]; el peso específico de suelos arenosos se estima alrededor de 2.65 y para suelos arcillosos y limosos se estima que pueden variar desde 2.6 hasta 2.9 [15].

**Tabla 2: Rangos de Gs para varios suelos**

Tipos de suelos	Gs
Arena	2.63 - 2.67
Limos	2.65 - 2.7
Arcilla y arcilla limosa	2.67 - 2.9
Suelo orgánico	Menos de 2

*Fuente: Manual de Laboratorios de Suelos en Ingeniería Civil [21].*

### **1.1.3.5. Plasticidad**

Propiedad de un suelo para sufrir cambios inducidos en su forma que se convierten en cambios permanentes, la plasticidad de un suelo depende de la humedad y de la naturaleza de los posibles componentes arcillosos o minerales del suelo; es decir la plasticidad es posible porque estos minerales y el agua absorbida están cargados eléctricamente y esta carga hace posible que la estructura se mantenga con grandes deformaciones [22].

#### **1.1.3.5.1. Estados de consistencia del suelo**

La cuantificación de la plasticidad se realiza mediante los límites de consistencia o Atterberg [22].

Los límites de Atterberg fueron desarrollados a comienzos del siglo XX por el sueco Albert Mauritz Atterberg (1846-1916). Atterberg observó que la plasticidad no era una propiedad permanente en las arcillas, sino que variaba en función de su contenido de agua, por lo que Atterberg definió la plasticidad como la capacidad de un suelo de ser deformado, y observó que los suelos arcillosos en condiciones húmedas son plásticos y se vuelven muy duros en condiciones secas, que los limos no son necesariamente plásticos y se vuelven menos duros con el secado, y que las arenas son desmenuzables en condiciones sueltas y secas[7].

### 1.1.3.5.2. Límites de Atterberg

El método desarrollado por Atterberg sirve para describir la consistencia de los suelos de grano fino con diferentes contenidos de humedad; teniendo así que, para un contenido de humedad muy bajo, el suelo se comporta más como un sólido quebradizo, y cuando el contenido de humedad es muy alto, el suelo y el agua pueden fluir como un líquido.

Por lo tanto, dependiendo del contenido de humedad, la naturaleza del comportamiento del suelo puede ser dividido en cuatro estados básicos: sólido, semisólido, plástico y líquido[15].

**Estado líquido:** con las partículas del suelo están en suspensión[6][12][23].

**Estado semilíquido:** el suelo toma las propiedades de un fluido viscoso[6][12][23].

**Estado plástico:** en este estado el suelo se puede moldear y deformar sin exhibir propiedades elásticas, cambios de volumen o agrietamiento; es decir el suelo se comporta plásticamente [6][12][23].

**Estado semisólido:** el suelo presenta apariencia de sólido, pero al someterlo a secado presenta una disminución en su volumen[6][12][23].

**Estado sólido:** el suelo no varía su volumen al ser sometido a secado[6][12][23].

A partir de los cuatro estados básicos Atterberg definió varios límites de consistencia como:

**Límite superior de fluido viscoso:** en este estado la mezcla de arcilla y agua fluye casi como el agua[6][12].

**Límite inferior de fluido viscoso:** también conocido como límite líquido[6][12].

**Límite de endurecimiento:** la arcilla pierde su adherencia[6][12].

**Límite de cohesión:** los granos dejan de unirse entre sí[6][12].

**Límite inferior del estado plástico:** también conocido como límite plástico[6][12].

**Límite inferior de cambio de volumen:** conocido como límite de contracción en el cual la pérdida de humedad no causa pérdida de volumen[6][12].

Atterberg encontró la diferencia entre límite líquido (LL) y límite plástico (LP) al cual denominó índice de plasticidad (IP), y sugirió que estos dos límites servían de base para la clasificación de suelos plásticos.

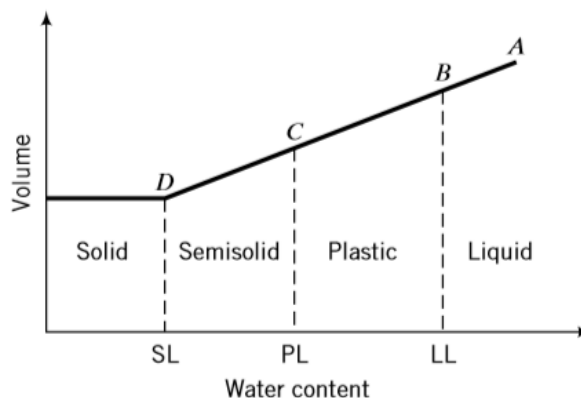
#### 1.1.3.5.2.1. Utilización de los límites de Atterberg

En la actualidad, los límites de Atterberg son las determinaciones que más se practican en los laboratorios de mecánica del suelo, porque ayudan a darse una idea clara del tipo de suelo y sus propiedades.

Los límites de Atterberg junto al análisis granulométrico, son ensayos de identificación. Siendo así que el análisis granulométrico da a conocer la magnitud cuantitativa de la fracción fina, y los límites de Atterberg indican su calidad.

El índice de plasticidad, el intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica, y el índice de liquidez indica la proximidad del suelo natural al límite líquido, estas características son muy útiles y se determinan a partir de los límites de Atterberg [9].

**Figura 2: Cambios en los estados del suelo en función del volumen del suelo y el contenido de agua**



Fuente: *Soil Mechanics and Foundations* [24].



### 1.1.3.5.3. Límite plástico (LP)

Es el más pequeño contenido de agua en el cual el suelo es plástico, estado en el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico[9].

El procedimiento para la prueba de límite plástico está establecido en la norma ASTM, designación ASTM D-4318 [15][12]. Este ensayo se realiza con la fracción de suelo que pasa por el tamiz N°40 [9]. En primer lugar, se toman unos 8 g de suelo, y se procede a enrollar las muestras, disminuyendo contenido de agua muy despacio hasta obtener un cordón de aproximadamente 3mm el cual debe empezar a desmoronarse debido a su bajo contenido de agua[25]. Si al llegar a este diámetro no se ha cuarteado el cilindro de modo que quede dividido en trozos de unos 6 mm de longitud como media se dice que el contenido de agua es mayor que el límite plástico [26], y se vuelve a formar el elipsoide, y a rodar hasta llegar a este tipo de resquebrajamiento [9][14].

*Figura 3: Límite plástico*



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

Por tanto, para el cálculo del límite plástico se emplea la siguiente fórmula:

$$LP = \frac{PH - PS}{PS} * 100 = \frac{PW}{PS} * 100 \quad Ec. (3)$$

Donde:

- LP = límite plástico en %.
- PH = Peso húmedo de los bastoncillos g.

- PS = Peso seco de los bastoncillos en g.
- PW = Peso del agua contenida en los bastoncillos en g.

#### **1.1.3.5.4. Límite líquido (LL)**

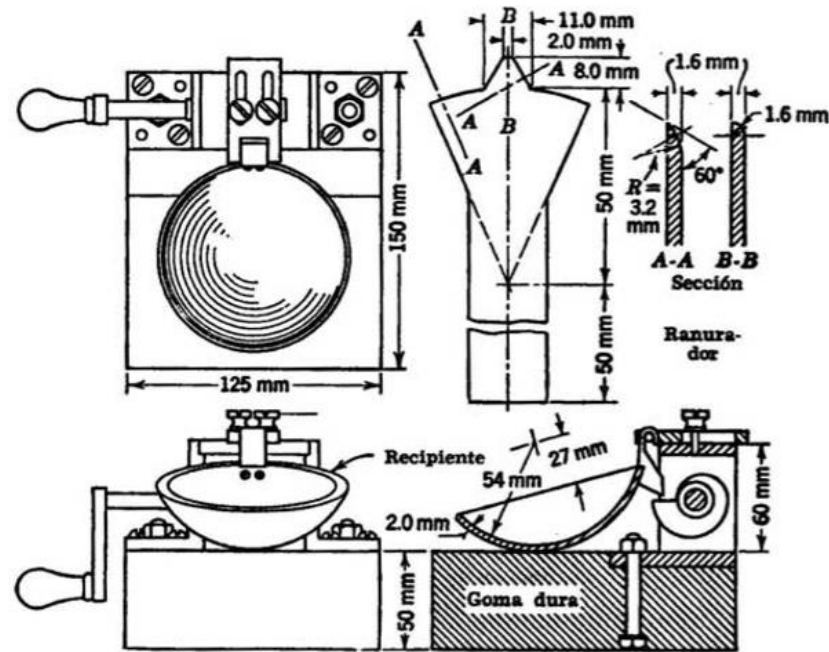
Se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia de una condición plástica a una condición semilíquida [7]. De acuerdo a esto los suelos plásticos en el límite líquido tienen una resistencia muy pequeña al esfuerzo de corte, la cual según Atterberg es de 25 g/cm<sup>2</sup> y la cohesión es prácticamente nula [9].

#### **1.1.3.5.5. Límite líquido por Copa de Casagrande**

Para determinar el límite líquido Terzaghi le sugirió a Casagrande en 1927, que diseñará un dispositivo mecánico que pudiera eliminar en lo posible los errores del operador en la determinación del mismo[6].

Este dispositivo consiste en una copa de latón y una base de goma dura. La copa es esférica, con radio interior de 54 mm, espesor 2 mm y peso  $200 \pm 20$  gr incluyendo el tacón [16]. La copa de latón se puede soltar sobre la base por una leva operada por una manivela [15].

*Figura 4: Copa de Casagrande para determinar el límite líquido*

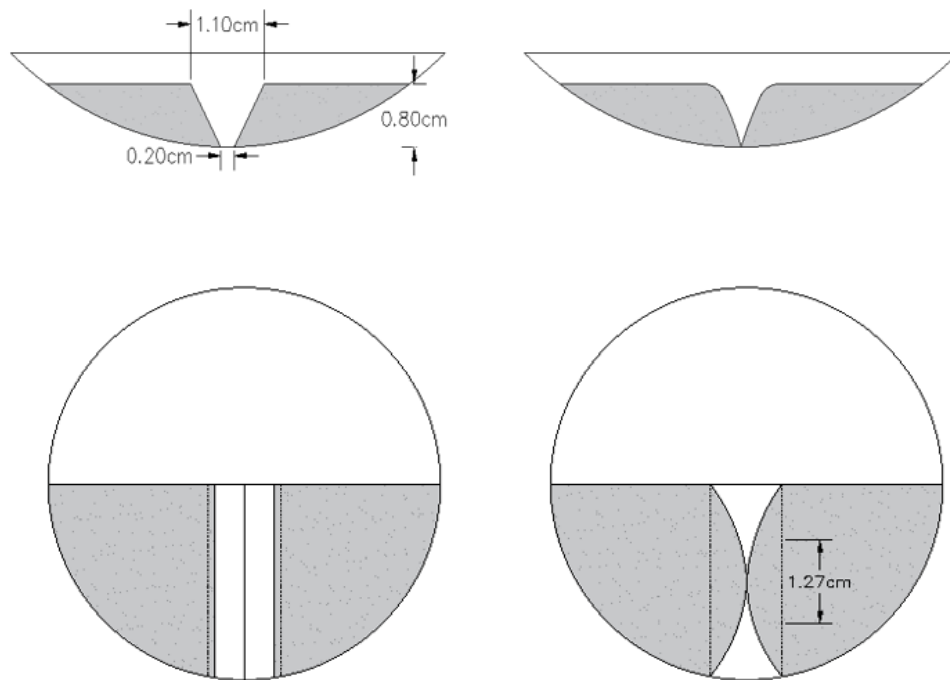


*Fuente: Principios Fundamentales de Mecánica de Suelos [25].*

El límite líquido se determina mezclando aproximadamente 100 gr de tierra con agua hasta obtener una pasta homogénea, se extiende una porción de la pasta sobre un molde denominado Copa de Casagrande y se nivela a una profundidad máxima de 10 mm[27]. Se abre, en el centro de la pasta extendida, un surco con un acanalador, cuyas dimensiones son de 11 mm de ancho en la parte superior, unos 2 mm de ancho en su parte baja y 8 mm de profundidad este corte se realiza a lo largo del eje simétrico de la copa[27][14]. El molde se coloca sobre una base y se somete a golpes controlados. El mango se gira a una velocidad de aproximadamente dos revoluciones por segundo y se cuenta el número de golpes necesarios para cerrar la ranura a lo largo del fondo durante una distancia de 12,7 mm[27].

El límite líquido es la humedad de la muestra cuando al dar 25 golpes se cierra el canal unos 12.7 mm [14]. Como es difícil conseguir esta condición, se determina la humedad por interpolación, a partir de cuatro pruebas para el mismo suelo con un contenido variable de humedad para determinar el número de golpes N, que varía entre 15 y 35, necesario para lograr el cierre [15].

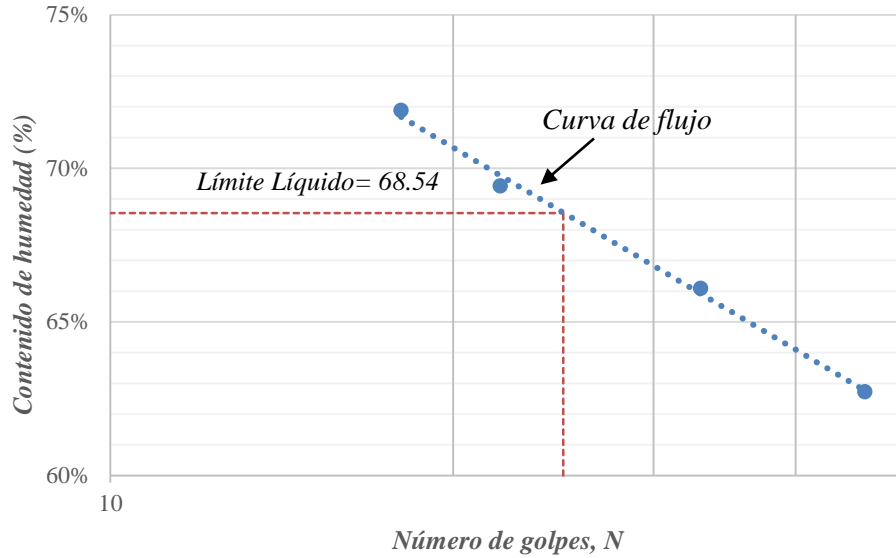
**Figura 5: Ensayo de límite líquido**



*Fuente: Fundamento de ingeniería geotécnica [15].*

El contenido de humedad del suelo en porcentaje y el correspondiente número de golpes se representan gráficamente en papel cuadrulado[15] donde el eje de la humedad es aritmético y el eje del número de golpes es logarítmico[6]. Dentro del rango de 15 a 35 golpes, los puntos trazados se encuentran casi en línea recta[27]. El contenido de humedad correspondiente a  $N = 25$ , determinado a partir de la curva de flujo, da el límite líquido del suelo[15].

**Figura 6: Curva de flujo para determinación de límite líquido**



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

La ecuación de la curva de flujo se puede escribir como:

$$w = l_f \log N + C \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

- $w$  = contenido de agua
- $l_f$  = pendiente de la curva de flujo, denominada índice de flujo
- $N$  = número de golpes
- $C$  = una constante

El método de copa de Casagrande para determinar el límite líquido presenta deficiencias las principales son:

1. Los suelos de baja plasticidad tienden a deslizarse y licuarse con los golpes en lugar de fluir plásticamente.
2. Sensibilidad a la técnica del operador[24].

#### **1.1.3.5.5.1. Límite líquido por método de punto**

Es posible obtener un valor aproximado del límite de líquido mediante la realización de una sola prueba siempre que el número de golpes sea limitado. El método se basa en la premisa de que la curva de flujo es una línea recta[26].

La fórmula utilizada para este propósito es:

$$w_l = w \left( \frac{N}{25} \right)^n \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde:

- W= contenido de agua correspondiente al número de golpes
- N= número de golpes
- n= índice que varía de 0.068 a 0.121 (se utiliza valor promedio de 0.104)[27].

El valor de n para suelos con límite líquido inferior al 50%, es igual a 0.092 y para suelos con límite líquido superior al 50%, el valor de n es 0.12. El rango acogido para N es de 15 a 35 para suelos con límite de líquido inferior al 50% y de 20 a 30 para suelos con límite de líquido superior al 50% [26].

#### **1.1.3.5.6. Límite líquido por Penetrómetro de Cono**

Otro método para la determinación del límite líquido, que es popular en Europa y Asia, es el método de cono de penetración que propone la norma británica BS 1377:1990, este método se considera la alternativa más satisfactoria debido a que es una prueba estática que depende de la resistencia al cizallamiento del suelo; además esta alternativa se considera que es más fácil de realizar y ofrece resultados más reproducibles que el método convencional [28].

El método que utiliza el penetrómetro de cono es más eficaz debido a que el penetrómetro de cono es más fácil de mantener con el ajuste correcto y el procedimiento de prueba depende menos del criterio del operador. Los resultados obtenidos con el penetrómetro de cono pueden diferir ligeramente de los obtenidos mediante el aparato de Casagrande, aunque en la mayoría de los casos hasta un límite líquido de 100 estas diferencias no serán significativas y serán menores que las variaciones normales que probablemente se obtengan con Casagrande [28].

La metodología de esta prueba está basada en la teoría de Hansbo y Houlsby, este último asumió que la resistencia constante al corte no drenado correspondiente al límite líquido para cualquier tipo de suelo es de 1.7 KPa, mientras que Hansbo

explica que la resistencia a corte no drenado es inversamente proporcional al cuadrado de la penetración del cono expresándose esto de la siguiente manera[1]:

$$c_u = k * \frac{g * W}{d^2} \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde:

- W = peso del cono
- g = aceleración de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)
- d = profundidad de penetración
- k = coeficiente que depende de la geometría del cono (para el cono normado en norma británica es de k=0.867 [1]).

Basado en esta teoría se obtiene un valor estándar para determinar el límite líquido que es una penetración de 20 mm [1].

El equipo para realizar el ensayo consta de un cono de acero inoxidable que tiene un ángulo de vértice de  $30^\circ \pm 1^\circ$  y una longitud de 35 mm. El cono se fija en el extremo inferior de una barra deslizante. Para la realización de este ensayo según lo establecido en la norma británica la masa total del cono y la barra es  $80 \text{ g} \pm 0.05 \text{ g}$  [26].

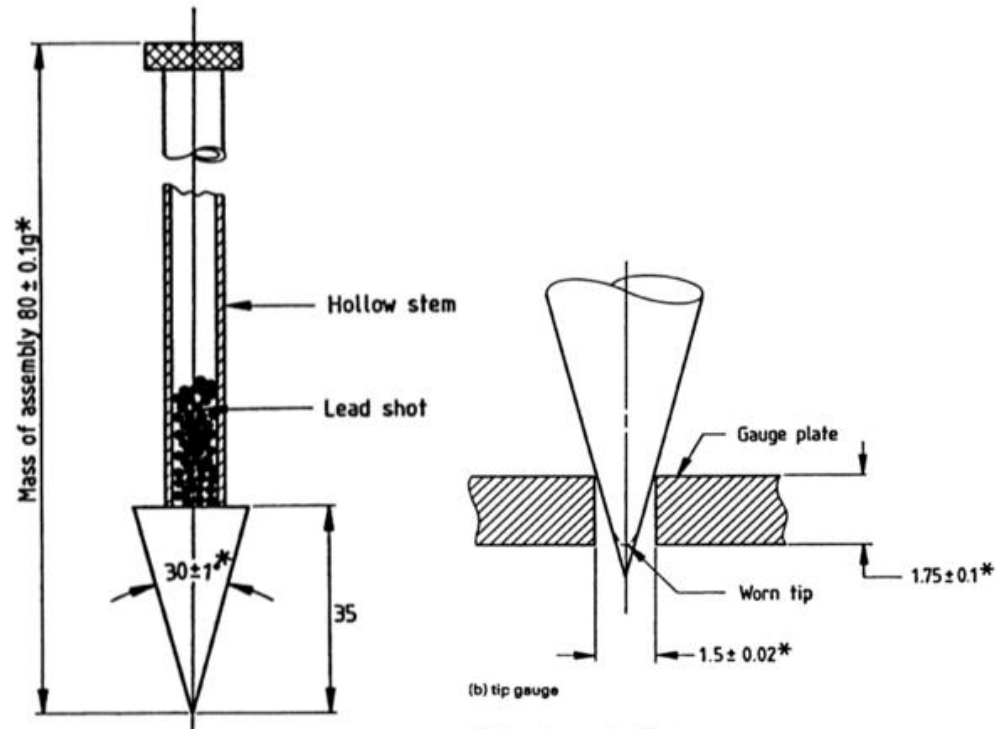
Para llevar a cabo el ensayo la muestra de suelo es preparado como en el caso del método de Casagrande; es decir se toma aproximadamente 300 gr de muestra de suelo la cual será previamente pasada por el tamiz 40 se añade agua y se mezcla durante al menos 10 minutos, aunque algunos suelos pueden requerir hasta 40 minutos de mezcla continua antes de la prueba [28], una vez cumplido el período de mezclado se coloca en el molde cilíndrico de 5 cm de diámetro y 5 cm de altura [27], teniendo cuidado de que no quede aire atrapado y se nivela la superficie [26].

La copa se coloca debajo del cono, y el cono se baja gradualmente para tocar la superficie del suelo en la copa. La escala graduada se ajusta a cero [26] y se permite que el cono caiga libremente por un período de 5 segundos [24], se realiza la primera lectura procurando que esta lectura de penetración sea de aproximadamente 15 mm y de no ser el caso añadir más agua [28].

El contenido de agua que coincide con una penetración de 20 mm es la que define el límite líquido, el cual se calcula en el gráfico trazando contenidos de agua contra sus

correspondientes valores de penetración [3]. Ya que es difícil obtener una penetración de 20 mm exactamente se requieren cuatro o más pruebas con diferentes contenidos de agua.

**Figura 7: Ensamble y detalle del cono para el ensayo de límite líquido**

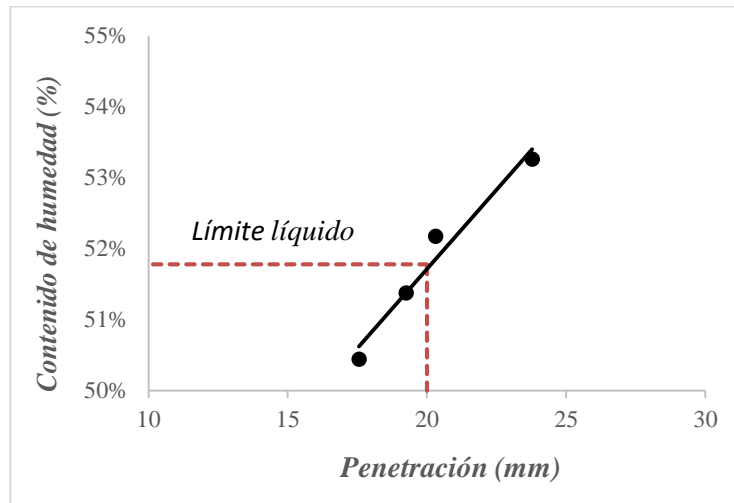


Fuente: Norma BS1377 [28].

Una vez obtenidos los cuatro puntos requeridos para el ensayo se puede representar una gráfica semilogarítmica con un contenido de humedad ( $w$ ) frente a la penetración del cono ( $d$ ) [15] y se dibuja la línea recta de mejor ajuste (línea de estado líquido) que une los puntos de datos [24]. En la gráfica se determina el límite líquido en relación al contenido de humedad correspondiente a una penetración de 20 mm [15].



**Figura 8: Gráfica de contenido de humedad en función de la penetración de cono**

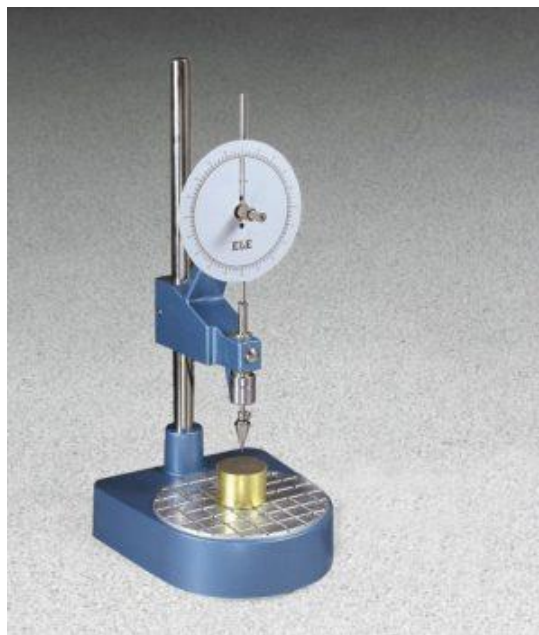


*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

El método de penetrómetro de cono tiene varias ventajas sobre el método de Casagrande.

1. Es más fácil de realizar.
2. El método es aplicable a una amplia gama de suelos.
3. Los resultados son confiables, y no depende del juicio del operador[26].

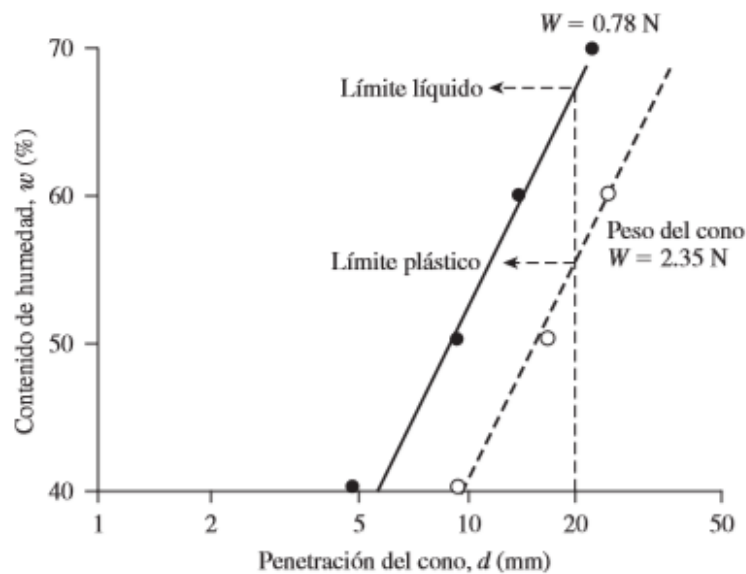
**Figura 9: Penetrómetro de cono (EI24-0540)**



*Fuente: Soil Test (Análisis de suelo- límite líquido)[29]*

El método de penetración de cono también se puede utilizar para obtener el límite plástico. Esto se puede lograr mediante el uso de un cono de geometría similar, pero con una masa de 2.35 N (240 gf). Se llevan a cabo de tres a cuatro pruebas con diferentes contenidos de humedad del suelo y se determinan las penetraciones de cono correspondientes ( $d$ ) [15]. El límite plástico se encuentra proyectando la mejor línea recta hacia atrás para intersecar el eje de contenido de agua a una profundidad de penetración de 1 mm. El contenido de agua a esta profundidad de penetración (1 mm) es  $C$ . El límite plástico se da como:  $PL = C(2)^m$  donde  $m$  es la pendiente de la línea recta de mejor ajuste [24].

**Figura 10: Determinación de los límites líquido y plástico de Cambridge Gault por medio de la prueba de penetrómetro de cono**



Fuente: *Fundamentos de ingeniería geotécnica Cuarta edición* [15].

#### 1.1.3.5.7. Límite de contracción (LC)

El método original de Atterberg para la determinación de límite de contracción de un suelo consistía en mediciones frecuentes de la longitud y peso de un prisma hasta que ya no se observe ninguna disminución, como era un método complejo Terzaghi sugirió un método más simple que consistía en medir el peso y el volumen de una

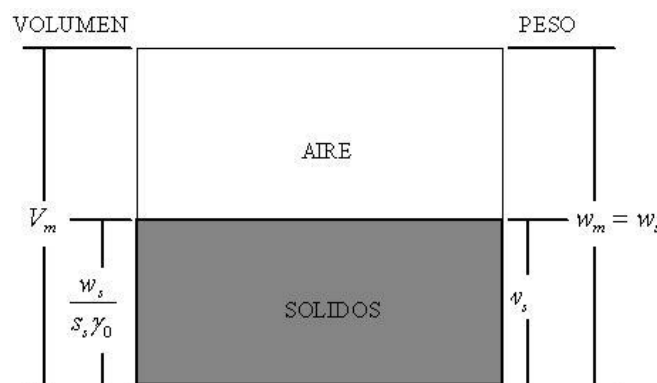
muestra seca de tal manera que el límite de contracción sería la humedad de la muestra seca si tuviese sus vacíos llenos de agua [24].

De esta idea se deduce:

$$LC(\%) = \frac{\left(V_m - \frac{W_s}{S_s \gamma_o}\right) \gamma_o}{W_s} * 100 \quad \text{Ec. (7)}$$

$$LC(\%) = 100 * \left(\frac{1}{S_d} - \frac{1}{S_s}\right) \quad \text{Ec. (8)}$$

**Figura 11: Esquema que ilustra la obtención de Límite de contracción según Terzaghi**



*Fuente: Fundamentos de Mecánica de suelos Tomo I [16].*

El límite de contracción es la barrera entre el estado semisólido y el sólido[7]. Con la pérdida continua de humedad se alcanza un estado de equilibrio hasta el punto en el que más pérdida de humedad no dará lugar a ningún cambio de volumen adicional[15].

Las pruebas del límite de contracción se realizan de acuerdo a AASTM D-427, se efectúan en el laboratorio con un recipiente de porcelana de 44 mm de diámetro y 13 mm de altura aproximadamente. El interior del recipiente se recubre con aceite de petróleo y se procede a llenar completamente con suelo húmedo. Se retira el exceso de suelo con una regleta y se registra la masa de suelo húmedo dentro del recipiente. Luego, la masa de suelo en el recipiente se seca en horno. El volumen de la porción de tierra secado al horno se determina por el desplazamiento de mercurio. Debido a

que el manejo de mercurio puede ser peligroso, la Designación ASTM D-4943 describe un método de inmersión de la masa de suelo seco en una vasija de cera derretida. Al enfriarse la porción de suelo encerado se determina su volumen sumergiéndola en agua[15][12].

#### **1.1.3.5.8. Índice Plástico**

Atterberg demostró que la plasticidad de un suelo fino quedaba definida por el límite líquido y el límite plástico. El parámetro que define a la plasticidad es el índice de plasticidad, el cual se lo obtiene mediante la resta aritmética entre el límite líquido y el límite plástico[7].

$$IP = LL - LP \quad Ec. (9)$$

El índice plástico depende generalmente de la cantidad de arcilla del suelo. Así a las arenas limpias se les atribuye un índice de plasticidad nulo, aunque en realidad su valor no se puede determinar con exactitud[9].

Acorde al valor del índice de plasticidad Atterberg distinguió los siguientes materiales:

- Suelos desmenuzables ( $IP < 1$ )
- Suelos débilmente plásticos ( $1 < IP < 7$ )
- Suelos medianamente plásticos ( $7 < IP < 15$ )
- Suelos altamente plásticos ( $IP > 15$ ) [9][6]

#### **1.1.3.5.9. Índice Líquido**

En los suelos cohesivos, el índice de liquidez (IL) definido como la posición numérica de la humedad,  $w$ , respecto a los límites líquido y plástico es, evidentemente, una medida aproximada de la resistencia.

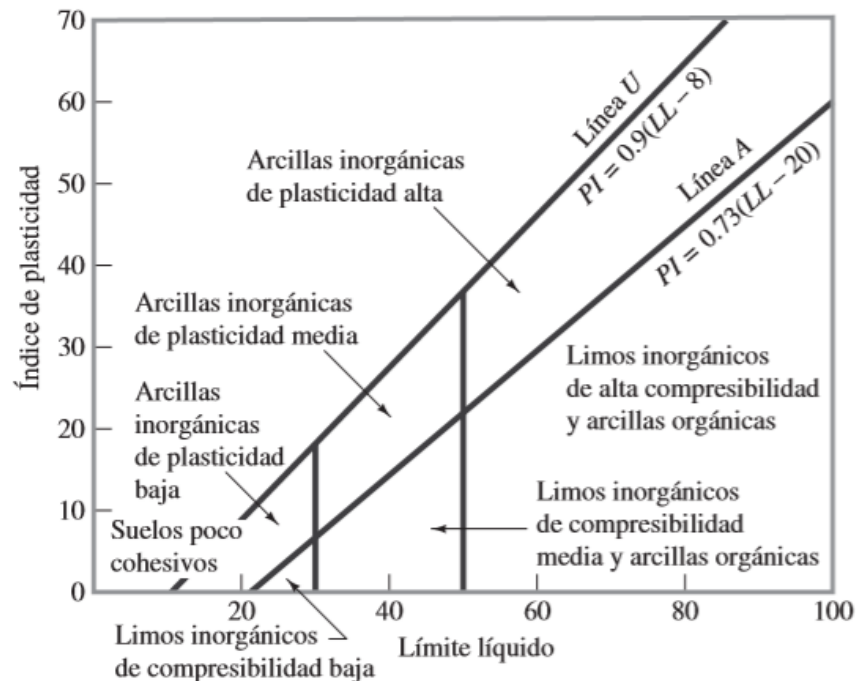
$$IL = \frac{w - PL}{LL - PL} \quad Ec. (10)$$

El índice de liquidez es indicativo de la historia de esfuerzos a los que ha estado sometido el suelo. Si el valor está cercano a cero, se considera que el suelo está preconsolidado, y si está cercano a uno entonces se le considera como normalmente consolidado. Por otra parte, si el índice de liquidez es menor a cero el suelo es muy colapsable y si es mayor a uno es expansivo[9][15][12].

### 1.1.3.5.10. Carta de Plasticidad

Determinados LL y LP se puede obtener un punto representativo de cada muestra de suelo en la carta de plasticidad de Casagrande, representando la relación del límite líquido con el índice de plasticidad. En este gráfico, las abscisas representan el límite líquido y las ordenadas el índice de plasticidad[14].

**Figura 12: Carta de Plasticidad**



Fuente: Ingeniería Geológica [14]

A partir de diversos estudios prácticos, Casagrande definió que los suelos con  $LL > 50$  son de *alta plasticidad*, por debajo de este valor los suelos se consideran de *baja plasticidad* [14].

El gráfico está dividido en cuatro partes por una recta vertical correspondiente a un límite líquido de 50 (línea B), y por una recta inclinada (Línea A) definida por la ecuación:

$$IP = 0.73 * (LL - 20) \quad Ec. (11)$$

Salvo en la parte inferior, donde la línea A se convierte en una banda horizontal que se extiende entre los índices de plasticidad 4 y 7 [9].

La línea A es un límite establecido empíricamente que separa las arcillas inorgánicas CL y CH [9]. Las gráficas de los índices de plasticidad contra límites líquidos para las arcillas inorgánicas se encuentran arriba de la línea A y aquellas para limos inorgánicos se ubican debajo de la línea A [12].

Los limos orgánicos se grafican en la misma región (debajo de la Línea A y con el LL varían entre 30 y 50) que los limos inorgánicos de compresibilidad media.

Las arcillas orgánicas se grafican en la misma región que los limos inorgánicos de alta compresibilidad (debajo de la línea A y LL mayor que 50)[15].

Además, Casagrande indica que todos los suelos que él ha encontrado están situados por debajo de la línea U de ecuación:

$$IP = 0.9 * (LL - 8) \quad Ec. (12)$$

La cual es aproximadamente el límite superior de la relación del índice de plasticidad respecto al límite líquido para cualquier suelo encontrado hasta ahora [12][15].

Otra propiedad que se debe notar en los suelos finos es su composición orgánica, esta se la puede identificar de una manera fácil, mediante el color y el olor. Se estableció entonces que, si un suelo cuyo límite líquido después de ser secado es menor a su límite líquido sin secar, se trata de un suelo orgánico. Presentándose así los grupos de las arcillas orgánicas y los limos orgánicos de alta compresibilidad, ubicados a la izquierda de la línea B y los de baja compresibilidad ubicados a la derecha de la línea B [7].

El principal uso de la Carta de Plasticidad es servir de base para la clasificación de los suelos de grano fino en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos [16].

### **1.1.3.5.11. Clasificación de los suelos**

Se usa el Sistema unificado de clasificación de suelos SUCS, y el Sistema de la AASHTO, los cuales se realizan a partir de los ensayos de límite líquido (LL), límite plástico (LP) y análisis granulométrico [30].

#### **1.1.3.5.11.1. Sistema de clasificación AASHTO**

Este sistema fue propuesto originalmente en 1928 por la Oficina de Carreteras Públicas de Estados Unidos. Un Comité de ingenieros de carreteras, se reunió en 1945 e hizo una revisión extensa del Sistema para dar origen a lo que hoy se conoce como el Sistema AASHTO (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras y Transporte del Estado) [27].

Los suelos pueden clasificarse en ocho grupos principales, que van de A-1 al A-8 con base en su distribución granulométrica, límite líquido e índice de plasticidad. De acuerdo a esta clasificación los suelos comprendidos en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales de grano grueso [19], los cuales según AASHTO son suelos en los que el 35% o menos son más finos que el tamiz 200 [24]; mientras que los suelos comprendidos en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 son de grano fino [19], estos suelos se conocen como limos o arcillas los cuales son suelos en los que más del 35% son más finos que el tamiz 200 [24], y finalmente en el grupo A-8 se encuentran la turba, compostas orgánicas y otros suelos altamente orgánicos [19].

El grupo A-7 incluye dos tipos de suelos A-7-5, en el cual el índice de plasticidad del suelo es menor o igual que el límite líquido menos 30, y para el tipo A-7-6 el índice de plasticidad es mayor que el límite líquido menos 30 [19].

El sistema de clasificación se basa en las siguientes tres propiedades del suelo [27]:

#### 1. Tamaño de partícula

- Grava: fracción que pasa el tamiz de 75 mm y es retenida en el tamiz N°10 (2 mm).

- Arena: fracción que pasa el tamiz N°10 (2 mm) y es retenida en el tamiz N°200 (0.075 mm).
  - Limo y arcilla: fracción que pasa el tamiz N°200 [15][12][7].
2. Índice de plasticidad: Cuando las fracciones finas del suelo tienen un índice de plasticidad de 10 o menos se denomina con el término limoso, el término arcilloso se aplica cuando las fracciones finas tienen un índice de plasticidad de 11 o más [15][12][7].
3. Límite líquido [15][12][7].

**Procedimiento de clasificación:**

Teniendo en cuenta los datos requeridos y con la ayuda de la tabla 2 se procede de izquierda a derecha por proceso de eliminación, el primer grupo de la izquierda en la que se contenga los datos de prueba es la clasificación correcta [7][15][27].

**Tabla 3: Clasificación AASHTO para suelos A-1 al A-7**

DIVISIÓN GENERAL		Materiales Granulares						Materiales Limo-arcillosas					
		(pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)						(más del 35% por el tamiz ASTM # 200)					
GRUPO		A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Subgrupo		A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b> (% que pasa por cada tamiz)													
Serie ASTM	# 10	≤ 50											
	# 40	≤ 30	≤ 50	≥ 51									
	# 200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
<b>ESTADO DE CONSISTENCIA</b> (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)													
LL				NP	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	> 41 (IP<LL-30)	> 41 (IP>LL-30)
IP		≤ 6			≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11
<b>ÍNDICE GRUPO</b>		0		0	0		≤ 4	≤ 8	≤ 12	≤ 20	≤ 20		
<b>TIPOLOGÍA</b>		Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
<b>CALIDAD</b>		EXCELENTE A BUENA					ACEPTABLE A MALA						

Fuente: Soil Mechanics and Foundation Engineering [26].



Para la evaluación de la calidad de un suelo como un material de subrasante carretera, también se incorpora un número llamado índice de grupo (IG) a los grupos y subgrupos del suelo [15].

El índice de grupo (IG) es utilizado en el sistema de clasificación de suelos AASHTO para calificar el valor de un suelo como material de subrasante dentro de su propio grupo [27]. Su valor depende del porcentaje que pasa por el tamiz 200, del límite líquido y del índice de plasticidad del suelo [22].

El valor de índice de grupo se agrega entre paréntesis al grupo principal para proporcionar una medida de la calidad de un suelo como material de subrasante de carreteras [24].

Este índice de grupo se determina con la ecuación:

$$IG = (F_{200} - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F_{200} - 15)(IP - 10) \quad Ec. (13)$$

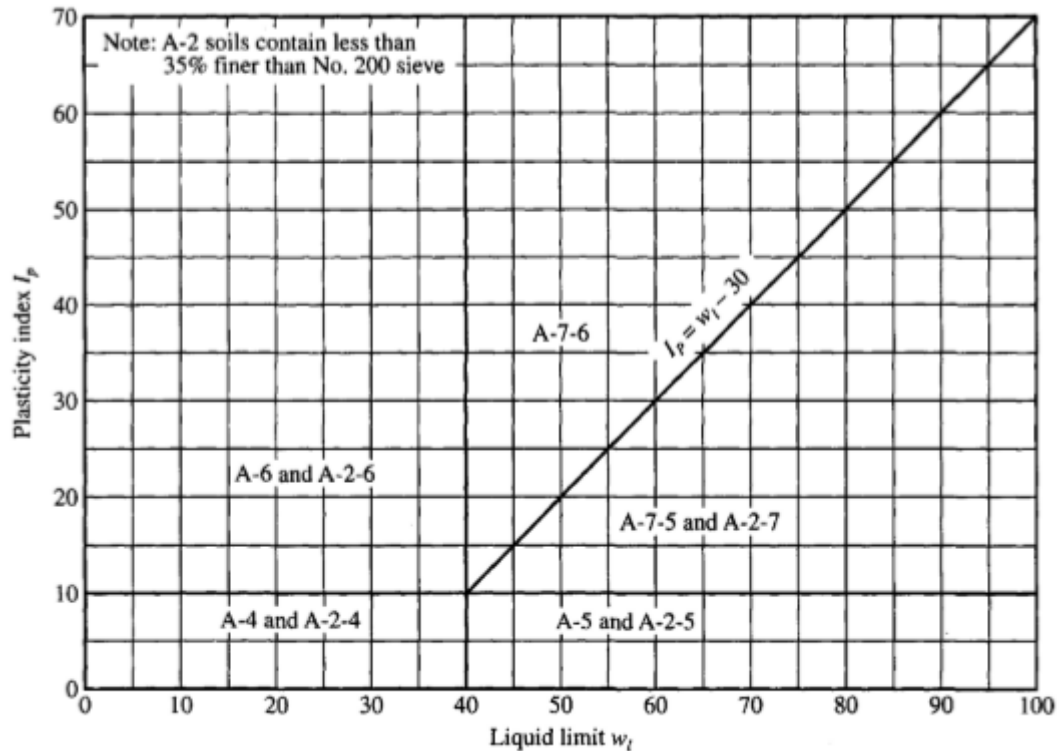
**Donde:** F es el porcentaje que pasa el tamiz No. 200 [19].

Al calcular el índice de grupo para un suelo de los grupos A-2-6 o A-2-7, se utiliza la ecuación de índice de grupo parcial relativa al índice de plasticidad [19].

$$IG = 0.01(F_{200} - 15)(IP - 10) \quad Ec. (14)$$

El índice de grupo (IG) se presenta aproximado al número entero más cercano, si es un número negativo se establece como 0; GI para los grupos A-1-a, A-1-b, A -2-4, A-2-5 y A-3 es cero [24]. Cuanto mayor sea el valor del índice de grupo, peor será la calidad del material [27]. El IG no debe exceder 20 para ninguno de los grupos A-4 a A-7 [24].

**Figura 13: Rango del límite líquido y el índice de plasticidad de los suelos que se dividen en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7**



*Fuente: Geotechnical Engineering [27].*

#### **1.1.3.5.11.2. Sistema unificado de clasificación de suelos**

El Sistema Unificado de Clasificación del Suelo (SUC) fue desarrollado por Casagrande en 1948, posteriormente, en 1952, fue modificado por la Oficina de Recuperación y el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América. Para su clasificación este sistema utiliza tanto el análisis del tamaño de la partícula como las características de plasticidad de los suelos, y los clasifica en 15 grupos [26].

El sistema de clasificación de suelos utiliza símbolos para los grupos de tamaño de partícula. Los cuales son G-grava, S-arena, M-limo y C-arcilla; estos se combinan con otros símbolos que expresan características de gradación (W para una bien graduada y P para mal graduada) y características de plasticidad: H para alta (límite líquido mayor de 50) y L para baja (límite líquido menor de 50), y un símbolo, O, que indica la presencia de material orgánico [24].

El Sistema Unificado de Clasificación clasifica los suelos en dos grandes categorías:

- 1. Suelos de grano grueso:** que son de grava y arena en estado natural con menos de 50% que pasa el tamiz 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo de G o S.
- 2. Suelos de grano fino:** con 50% o más que pasa por el tamiz 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo de M, que es sinónimo de limo inorgánico, C para la arcilla inorgánica y O para limos orgánicos y arcillas. El símbolo Pt se utiliza para la turba, lodo y otros suelos altamente orgánicos [15].

Para la clasificación adecuada de acuerdo con este sistema, debe conocerse:

1. Porcentaje de grava
2. El porcentaje de arena
3. El porcentaje de limo y arcilla
4. El coeficiente de uniformidad (Cu) y el coeficiente de gradación (Cc).
5. El límite líquido y el índice de plasticidad de la porción de suelo que pasa el tamiz N° 40 [15].

Esta clasificación se realiza en forma de árbol binario en la cual cada rama se divide en dos, aunque hay algunas excepciones; las propiedades utilizadas para la clasificación son la granulometría para gravas y arenas y la plasticidad para suelos finos [22].

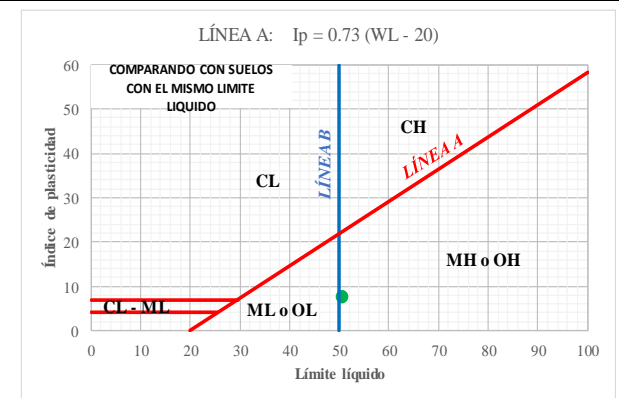
Los suelos se clasifican con 2 letras. La primera es la inicial de la palabra inglesa que distingue el tipo de suelo, y la segunda es un adjetivo referido a características de la curva granulométrica, en otros a la cantidad de finos y en otros a la plasticidad de estos [22].

Los símbolos de los grupos de los suelos de grava de grano grueso son GW, GP, GM, GC, GC-GM, GW-GM, GW-GC, GP-GM y GP-GC. Del mismo modo, los símbolos de los grupos de suelos de grano fino son CL, ML, OL, CH, MH, OH, CL-ML y Pt [15][12][9].

Existe también la posibilidad de encontrarnos con suelos muy característicos como por ejemplo aquellos cuyos datos estén en la frontera entre los limos y las arcillas, presentándose así la grava arcillo limosa cuyo doble símbolo es GC-GM [7].

Tabla 4: Sistema unificado de clasificación de suelos

IDENTIFICACIÓN EN EL CAMPO				SÍMBOLO DEL GRUPO	% PASA 0.008 MM	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIOS DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO																	
SUELO DE GRANO GRUESO < 50% PASA 0.08 MM (TAMIZ # 200)	ARENAS <50% PASA TAMIZ 0.05 MM (TAMIZ # 40)	GRAVAS LIMPIAS (CON POCOS FINOS O SIN ELLOS)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	GW	< 5	Grava bien graduada, mezcla de grava y arena con pocos finos o sin ellos	Determine los porcentajes de grava y arena a partir de la curva granulométrica según el porcentaje de finos (fracción que pasa por el tamiz # 200) los suelos gruesos se clasifican como sigue:	GW, GP, SW, SP	GM, GS, SM, SC	Casos límites que requieren en el empleo de símbolos dobles (GW-GC, GP-GM, SW-SW, SP-SC) = Tamiz # 200	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$	$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$												
			Predominio de un tamaño o un tipo de tamaño, con ausencia de algunos tamaños intermedios	GP		Grava mal graduada, mezcla de arenas y grava con pocos finos o sin ellos					MAYOR QUE 4	ENTRE 1 Y 3												
			Fracción fina no plástica (Para la identificación ver el grupo ML, más abajo)	GM		Gravas limosas, mezcla mal graduadas de grava arena y rcilla					No satisfacen todos los requisitos granulométricos de las GW (GP=Cu≤6 y Cc<1 o Cc>3) - (GW=Cu>4 y Cc= 1 a 3)													
	ARENAS <50% PASA TAMIZ 0.05 MM (TAMIZ # 40)	GRAVAS LIMPIAS (CON POCOS FINOS O SIN ELLOS)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	SW	< 5	Arenas bien graduada, arena con grava, con pocos finos o sin ellos					UTILÍCESE LA CURVA GRANULOMÉTRICA PARA IDENTIFICAR LAS FRACCIONES DE SUELO INDICADAS EN LA COLUMNA DE IDENTIFICACION EN EL CAMPO	MEINOS DEL 5 %	MAS DEL 12 %	5 % AL 12 %	Límites de Atterberg por debajo de la línea A o Ip menor que 4	Por encima de la línea A con Ip entre 4 y 7; casos límites que requieren el uso de símbolos dobles								
			Predominio de un tamaño o un tipo de tamaño, con ausencia de algunos tamaños intermedios	SP		Arena mal graduada, arena con grava, con pocos finos o sin ellos									$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$	$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$								
			Finos plásticos (Para la identificación ver el grupo ML, más abajo)	SM		Arenas limosas, mezclas de arenas y limo más graduada									MAYOR QUE 6	ENTRE 1 Y 3								
	ARENAS <50% PASA TAMIZ 0.05 MM (TAMIZ # 40)	GRAVAS LIMPIAS (CON POCOS FINOS O SIN ELLOS)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	SW	> 12	Arenas bien graduada, arena con grava, con pocos finos o sin ellos									UTILÍCESE LA CURVA GRANULOMÉTRICA PARA IDENTIFICAR LAS FRACCIONES DE SUELO INDICADAS EN LA COLUMNA DE IDENTIFICACION EN EL CAMPO	MAS DEL 5 %	MAS DEL 12 %	5 % AL 12 %	Límites de Atterberg por debajo de la línea A o Ip menor que 4	Por encima de la línea A con Ip entre 4 y 7; casos límites que requieren el uso de símbolos dobles				
			Predominio de un tamaño o un tipo de tamaño, con ausencia de algunos tamaños intermedios	SP		Arena mal graduada, arena con grava, con pocos finos o sin ellos													$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$	$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$				
			Finos plásticos (Para la identificación ver el grupo CL, más abajo)	SC		Arenas arcillosas, mezclas mal graduadas de arenas o arcillas													MAYOR QUE 6	ENTRE 1 Y 3				
	MÉTODOS DE IDENTIFICACIÓN PARA LA FRACCIÓN QUE PASA POR EL TAMIZ # 40																							
	SUELOS DE GRANO FINO >50% PASA TAMIZ #200	LIMOS Y ARCILLAS CON LÍMITE LÍQUIDO MENOR DE 50	Resistencia en estado seco (a la disgregación)	Dilatación	Tenacidad														UTILÍCESE LA CURVA GRANULOMÉTRICA PARA IDENTIFICAR LAS FRACCIONES DE SUELO INDICADAS EN LA COLUMNA DE IDENTIFICACION EN EL CAMPO	MEINOS DEL 5 %	MAS DEL 12 %	5 % AL 12 %	Límites de Atterberg por debajo de la línea A o Ip menor que 4	Por encima de la línea A con Ip entre 4 y 7; casos límites que requieren el uso de símbolos dobles
				Nula a ligera	Rápida a lenta	Nula																	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillas con ligera plasticidad
Media a alta				Nula a muy lenta	Media	CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras																	
LIMOS Y ARCILLAS CON LÍMITE LÍQUIDO MAYOR DE 50		Resistencia en estado seco (a la disgregación)	Ligera a media	Lenta	Ligera	OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad																	
			Ligera a media	Lenta a nula	Ligera a media	MH	limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o con diatomeas, limos elásticos																	
			Alta a muy alta	Nula	Alta	CH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta																	
SUELOS ALTAMENTE ORGANICAS	Facilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa					Pt																		



Fuente: Ingeniería de Carreteras Volumen II [22].

### **1.1.3.5.12. Análisis de correlación**

Una correlación se define como el grado de variación conjunta que existe entre dos o más variables, para eso se relacionan algunas leyes de regresión [31].

El objetivo de la correlación es determinar que tan bien una ecuación describe el grado de relación entre las variables, siendo así que si todos los valores de las variables satisfacen con exactitud una ecuación se dice que las variables tienen una correlación perfecta [32].

Cuando intervienen sólo dos variables se habla de correlación simple y de regresión simple.

#### **Correlación lineal**

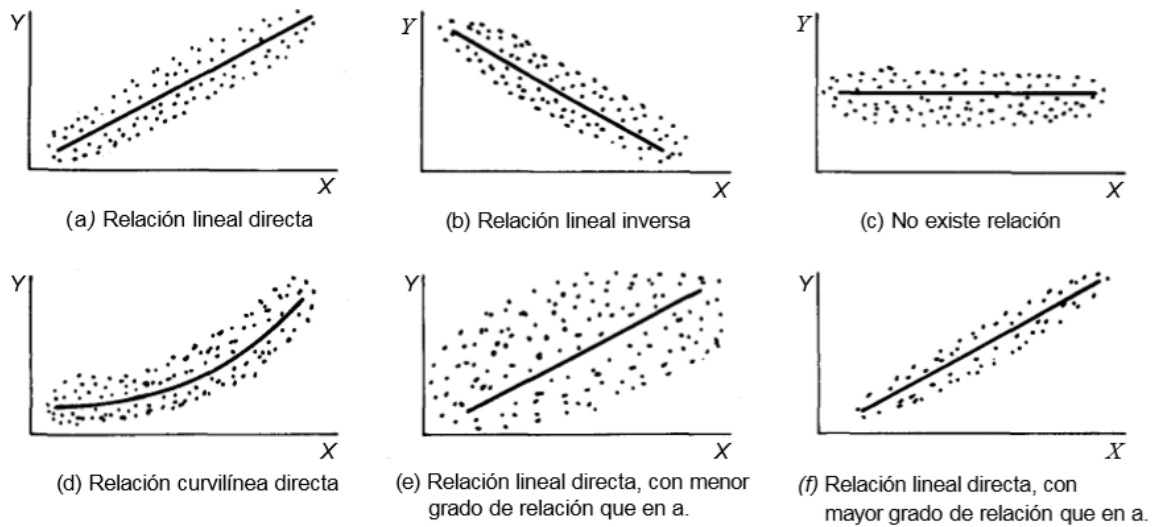
Tomando en cuenta que X y Y son las dos variables , el diagrama de dispersión sirve para mostrar la localización de estos puntos en un sistema de coordenadas rectangulares; si en el diagrama todos los puntos parecen encontrarse cerca de la línea recta, la correlación se llama lineal, en estos casos una ecuación lineal es lo más apropiado con el propósito de regresión [32].

#### **Regresión lineal**

El principal objetivo del análisis de regresión es estimar el valor de una variable dependiente conociendo el valor de una variable independiente. Las variables se las representa en una gráfica conocida como diagrama de dispersión, el valor de la variable independiente se coloca en el eje X y el valor de la variable dependiente en el eje Y.

La ubicación precisa de la línea de regresión se determina mediante el método de mínimos cuadrados, esta línea indica el grado de relación entre las dos variables.

**Figura 14: Gráficas de dispersión y las líneas de regresión asociadas**



*Fuente: Estadística aplicada a la administración y economía [31].*

Según lo mostrado en la figura, una línea de regresión con pendiente positiva indica una relación directa entre las variables; una pendiente negativa indica una relación inversa; y una pendiente de cero indica que las variables no tienen relación entre sí [31].

De acuerdo al método de mínimos cuadrados el modelo lineal que representa el modelo de regresión lineal simple es:

$$Y_1 = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad \text{Ec. (15)}$$

De esta expresión se deduce que la variable Y se divide en dos grupos el primero supone una variable explicativa y el segundo grupo contiene factores no controlados que se conocen como errores aleatorios [33].

### **Coefficiente de correlación lineal**

El coeficiente de correlación lineal tiene por objetivo medir la dependencia que existe entre X e Y, viene dado por [34]:

$$r = \frac{S_{XY}}{S_X S_Y} \quad \text{Ec. (16)}$$

Para representar esta correlación se recomienda primero tener una representación gráfica de la correlación para visualizar el tipo de relación que se establece en las variables.

El gráfico que se utiliza es el diagrama de dispersión, en este gráfico se coloca la variable independiente en el eje de las abscisas y la variable dependiente en el eje de las ordenadas; este diagrama muestra si la relación es lineal a través de una línea de fácil observación por el investigador [35].

#### **Escala de interpretación del coeficiente de correlación:**

- 1) Perfecta  $R=1$
- 2) Excelente  $0.9 < R < 1.0$
- 3) Buena  $0.8 < R < 0.9$
- 4) Regular  $0.5 < R < 0.8$
- 5) Mala  $R < 0.5$

#### **Coefficiente de determinación $r^2$**

$$r^2 = \frac{\sum(\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} \quad Ec. (17)$$

El coeficiente de determinación mide la proximidad de la recta ajustada a los valores observados de Y [34].

De acuerdo con el criterio de mínimos cuadrados, la línea de regresión que mejor se ajusta es aquella para la cual se minimiza la suma de los cuadrados de las desviaciones entre los valores estimados y los valores observados de la variable dependiente [31].

#### **1.1.4. Hipótesis**

Con la realización de ensayos de límite líquido por el método de copa de Casagrande y por el método de penetrómetro de cono se busca comparar los valores obtenidos y verificar la factibilidad de la aplicación de un método alternativo al obtener valores similares al correlacionar los datos obtenidos con ambos métodos.

- **Ha:** Hipótesis Alternativa
- **Ho:** Hipótesis Nula

**Ha:** Es factible aplicar el método alternativo propuesto para encontrar el límite líquido en suelos de grano fino del cantón Pastaza, provincia de Pastaza.

**Ho:** No es factible aplicar el método alternativo propuesto para encontrar el límite líquido en suelos de grano fino del cantón Pastaza, provincia de Pastaza.

##### **1.1.4.1. Asignación de variables de la hipótesis**

###### **1.1.4.1.1. Variables dependientes**

Propiedades índice de suelos de grano fino de la ciudad del Puyo perteneciente a la provincia de Pastaza.

###### **1.1.4.1.2. Variable independiente**

Límite líquido por Copa de Casagrande y Límite líquido por penetrómetro de cono.



## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General:**

Realizar un análisis comparativo entre los valores del límite líquido obtenidos mediante el ensayo del penetrómetro de cono y la copa de Casagrande.

### **1.2.2. Objetivos Específicos:**

- Diseñar y ensamblar un modelo tipo del equipo alternativo para determinar el límite líquido denominado penetrómetro de cono, basado en la norma británica BS1377-2:1990.
- Determinar las propiedades físicas (contenido de humedad, granulometría, gravedad específica de sólidos y límites de Atterberg) de los suelos finos del cantón Puyo- provincia de Pastaza.
- Determinar las correlaciones existentes entre las diferentes propiedades físicas analizadas comparado los valores obtenidos por los dos métodos propuestos.
- Determinar la variación cuantitativa de los valores de límite líquido de las muestras de suelo ensayadas mediante el método del Penetrómetro de Cono y la Copa de Casagrande.
- Realizar la clasificación de los suelos según SUCS y AASHTO, utilizando los valores obtenidos mediante los dos métodos ensayados.

## **CAPÍTULO II**

### **METODOLOGÍA**

#### **2.1. Nivel de Investigación**

En este trabajo se utilizará varios tipos de investigación los cuales se detalla a continuación:

##### **2.1.1. Investigación exploratoria**

Esta investigación es de tipo exploratoria porque se toma muestras in situ para realizar los ensayos de límite líquido por el método de copa de Casagrande y por el método de penetrómetro de cono, para de esta manera correlacionar los resultados obtenidos.

##### **2.1.2. Investigación explicativa**

La investigación corresponde al tipo explicativa porque se detalla el procedimiento y normativa en la realización de los diferentes ensayos de laboratorio.

##### **2.1.3. Investigación descriptiva**

Es de tipo descriptiva ya que se describe cada uno de los ensayos de laboratorio que se llevan a cabo durante la investigación y de igual forma se describe el método estadístico de correlación por mínimos cuadrados.

##### **2.1.4. Investigación experimental**

Será de tipo experimental porque se realizarán ensayos de laboratorio como humedad natural, granulometría, gravedad específica, clasificación de suelos y límites de Atterberg con la finalidad de determinar posibles correlaciones entre los valores obtenidos por el método de Casagrande y el penetrómetro de cono.

### 2.1.5. Población

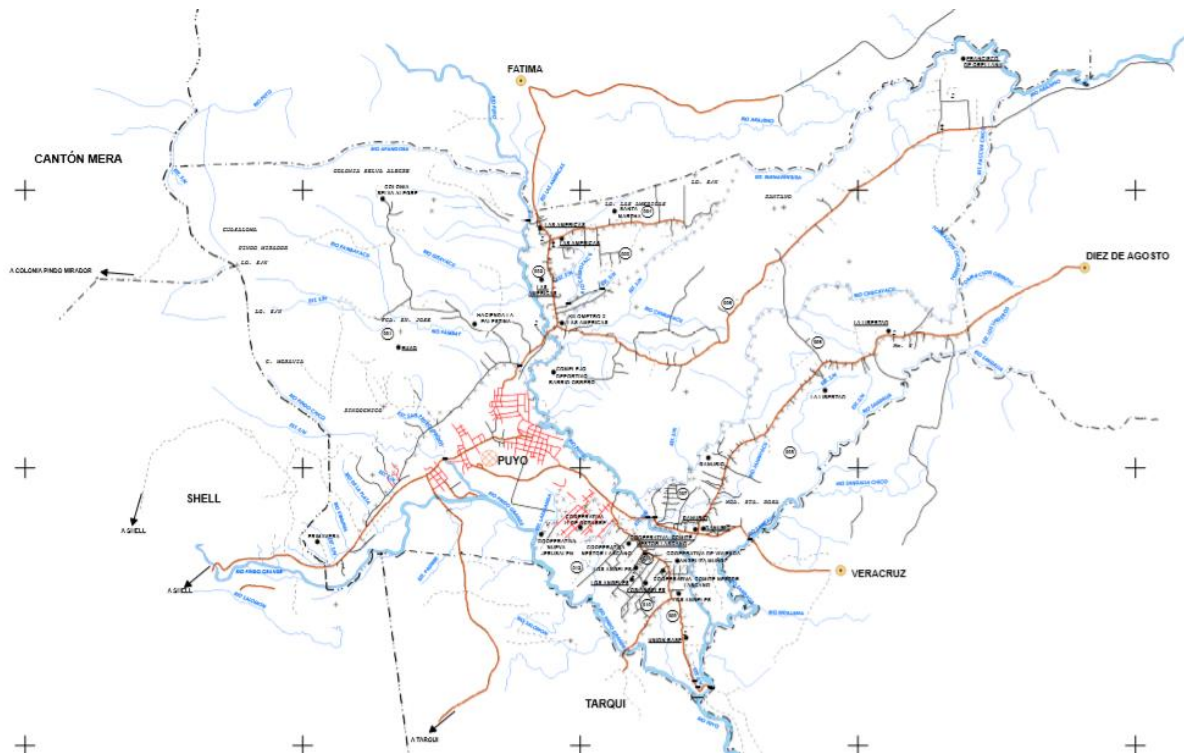
Para esta investigación la población corresponde al universo de suelos finos presentes en algunos sectores del cantón Pastaza cuya cabecera cantonal es el Puyo, siendo un total de 30 muestras.

**Tabla 5: Sectores de donde se tomaron las muestras**

Sectores donde se tomaron las muestras			
Nombre del sector	Nº muestras	Nombre del sector	Nº muestras
Pindo Chico	2	Tarqui	2
Palestina	2	San Jacinto	2
Fátima	2	La Libertad	2
Santa Martha	2	10 de Agosto	2
Las Américas	2	Unión Base	2
El Obrero	2	Shell	2
Eloy Alfaro	2	Veracruz	2
Puyo Centro	2	<b>TOTAL DE MUESTRAS</b>	<b>30</b>

Fuente: Lisbeth Pilatasig

**Figura 15: Mapa censal del Puyo**



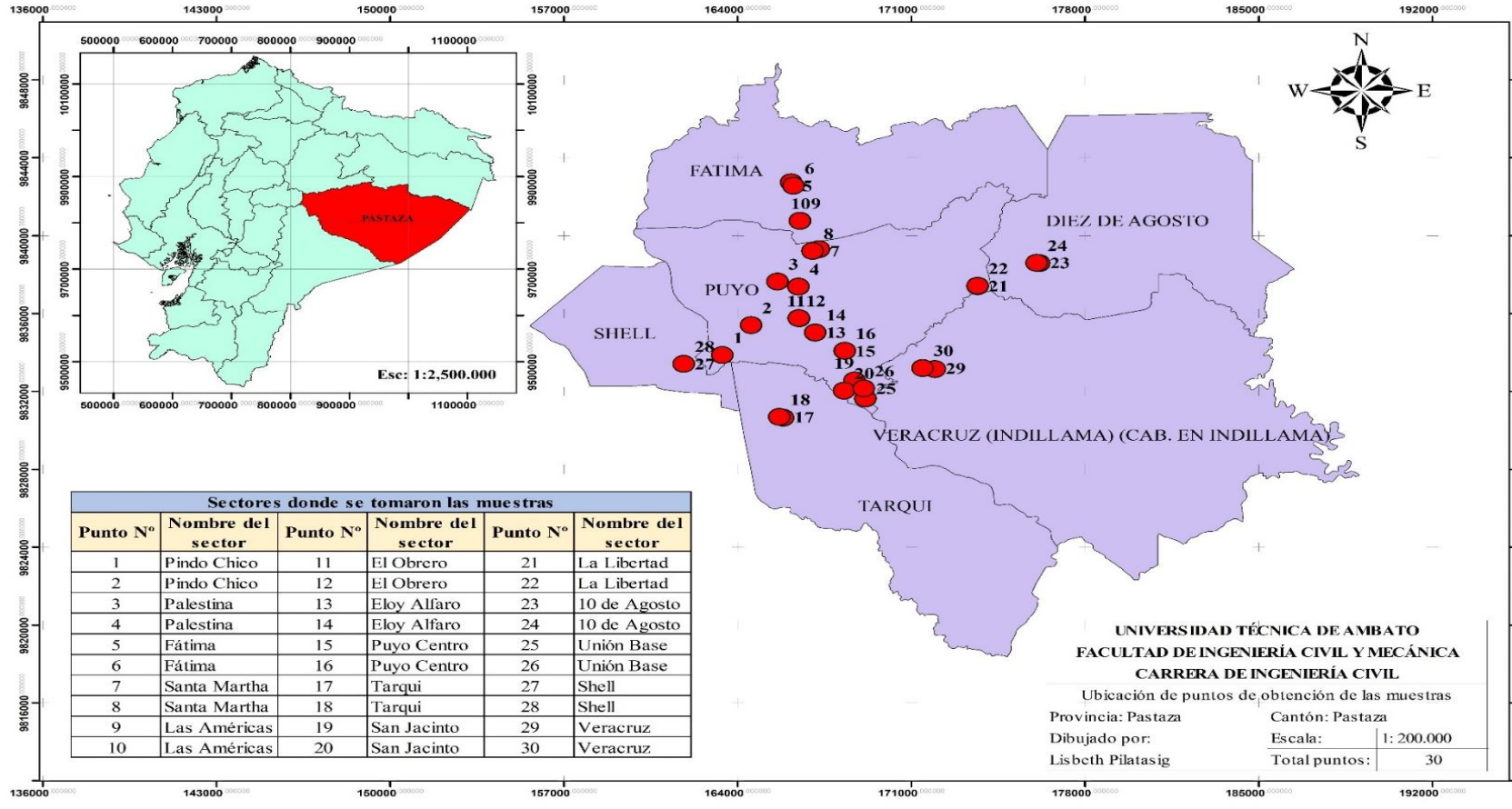
Fuente: INEC 2010 [36].

**Tabla 6: Coordenadas de los puntos de donde se obtuvieron las muestras**

LUGAR	PUNTO	ESTE	NORTE	ELEVACIÓN
PINDO CHICO	1	831108.636	9833867.806	955.68
	2	832276.087	9835406.406	967.92
PALESTINA	3	833347.542	9837642.304	973.22
	4	166451.468	9837381.373	963.05
FÁTIMA	5	166158.67	9842739.564	1017.48
	6	166251.515	9842561.338	1018.66
SANTA MARTHA	7	167272.596	9839306.192	992.14
	8	167018.254	9839211.803	983.74
LAS AMÉRICAS	9	166511.861	9840758.508	998.3
	10	166509.994	9840753.004	998.56
EL OBRERO	11	166475.145	9835754.688	943.59
	12	166466.211	9835760.503	939.73
ELOY ALFARO	13	167127.434	9835015.808	948.75
	14	167129.163	9835028.303	945.65
PUYO CENTRO	15	168310.743	9834080.154	936.36
	16	168319.602	9834079.603	938.09
TARQUI	17	833554.348	9830646.855	948.7
	18	833403.345	9830684.787	950.93
SAN JACINTO	19	168714.65	9832557.317	945.13
	20	168286.226	9832031.605	929.16
LA LIBERTAD	21	173672.567	9837404.987	1001.12
	22	173667.101	9837420.526	1005.38
10 DE AGOSTO	23	176148.928	9838586.528	1022.62
	24	176047.751	9838602.456	1025.98
UNIÓN BASE	25	169143.909	9831631.887	945.66
	26	169078.297	9832151.906	935.4
SHELL	27	829559.059	9833426.708	987.52
	28	829555.304	9833424.581	986.22
VERACRUZ	29	171945.642	9833144.077	977.13
	30	171454.528	9833194.728	971.63

*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

Figura 16: Puntos de obtención de muestra



Fuente: Lisbeth Pilatasig

### 2.1.6. Muestra

Se tomó 30 muestras de aproximadamente 2 kg de los sectores antes mencionados de la ciudad de Puyo.

**Tabla 7: Pesos necesarios para cada ensayo**

<b>Pesos utilizados en cada ensayo</b>	
<b>Ensayo</b>	<b>Muestra(gr)</b>
Humedad Natural	100
Granulometría	500
Gravedad específica	50
Límite líquido - cup	100
Límite líquido - cone	300
Límite plástico	15
Límite de contracción	30
<b>TOTAL</b>	<b>1095</b>

*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

### 2.2. Materiales y Equipos

Los detallados a continuación:

**Tabla 8: Materiales y Equipos utilizados**

<b>ENSAYOS</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>EQUIPOS</b>	<b>NORMA</b>
Contenido de humedad natural	Muestra in situ	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Recipientes metálicos</li> <li>▪ Espátula</li> <li>▪ Balanza electrónica</li> <li>▪ Horno</li> </ul>	AASHTO T 265 2015
Gravedad específica de sólidos	Muestra in situ	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Picnómetro</li> <li>▪ Pipeta</li> <li>▪ Termómetro</li> <li>▪ Embudo</li> <li>▪ Recipientes metálicos</li> <li>▪ Horno</li> <li>▪ Balanza</li> </ul>	AASHTO T 100 2015

Granulometría	Muestra in situ	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Juego de tamices</li> <li>▪ Tamizadora</li> <li>▪ Brocha</li> <li>▪ Balanza</li> </ul>	AASHTO T 88 2013
Límite líquido (Copa de Casagrande)	Suelo que pasa tamiz N°40	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Copa de Casagrande</li> <li>▪ Ranurador</li> <li>▪ Recipiente de porcelana</li> <li>▪ Mortero</li> <li>▪ Recipientes metálicos</li> <li>▪ Horno</li> <li>▪ Balanza</li> <li>▪ Espátula</li> </ul>	AASHTO T 89 2013
Límite líquido (Penetrómetro de Cono)	Suelo que pasa tamiz N°40	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Penetrómetro de cono</li> <li>▪ Recipientes metálicos</li> <li>▪ Cronómetro</li> <li>▪ Balanza electrónica</li> <li>▪ Horno</li> </ul>	BS 1377-2:1990
Límite plástico	Suelo que pasa tamiz N°40	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Recipiente de porcelana</li> <li>▪ Mortero</li> <li>▪ Recipientes metálicos</li> <li>▪ Horno</li> <li>▪ Balanza</li> <li>▪ Espátula</li> <li>▪ Placa de Vidrio</li> </ul>	AASHTO T 90

Límite de Contracción	Suelo que pasa tamiz N°40	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Capsula de contracción</li> <li>▪ Placa tripié</li> <li>▪ Cristal de Lucita</li> <li>▪ Recipiente de porcelana</li> <li>▪ Mortero</li> <li>▪ Horno</li> <li>▪ Balanza</li> </ul>	AASHTO T 92 2013
-----------------------	---------------------------	---	------------------

*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

### 2.3. Métodos

#### 2.3.1. Plan de recolección de datos

*Tabla 9: Plan de recolección de datos*

Preguntas básicas	Explicación
<b>¿Para qué?</b>	Para correlacionar los valores de los límites líquidos mediante ambos métodos y de esta manera establecer el método más factible que permita ahorrar tiempo en la realización del ensayo.
<b>¿A quiénes?</b>	A los suelos finos correspondientes a algunos sectores de la ciudad del Puyo.
<b>¿Sobre qué aspectos?</b>	En base a las propiedades índices del suelo las cuales se obtienen mediante ensayos de laboratorio, así como también los datos obtenidos de límite líquido siguiendo las normas tanto británica como americana.
<b>¿Quién?</b>	Lisbeth Solange Pilatasig Murillo



<p><b>¿Cuándo?</b></p>	<p>Ensayos de campo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 02 de febrero del 2020</li> <li>- 29 febrero del 2020</li> </ul> <p>Ensayos de laboratorio:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 06 de febrero al 23 de noviembre</li> </ul> <p>Procesamiento y análisis de información</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 24 de noviembre al 11 de diciembre</li> </ul>
<p><b>¿Dónde?</b></p>	<p>Ciudad del Puyo para tomas de muestras</p> <p>Laboratorio de Ensayo de Materiales y Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.</p>

*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

**Tabla 10: Técnicas de recolección**

<p><b>Preguntas básicas</b></p>	<p><b>Explicación</b></p>
<p>Técnicas de recolección</p>	<p>Para la recolección de muestra se procede a retirar la capa vegetal y cavar aproximadamente 50 cm de profundidad para extraer la muestra, para obtener la humedad natural del suelo se toma aproximadamente 100 gr de la muestra extraída y se sigue la normativa AASHTO T-265; posterior a eso se realiza el análisis granulométrico para lo cual se necesita 500 gr de suelo el cual debe estar completamente seco y se coloca en la tamizadora con los tamices ubicados en forma ascendente según la norma AASHTO T-88, para determinar la gravedad específica se necesita 50 gr de muestra que corresponda a la fracción fina y se obtiene mediante la normativa especificada en AASHTO T-100.</p>

	<p>Para obtener los límites de Atterberg se necesita la muestra de suelo que pase el tamiz 40; siendo así que para obtener el límite líquido mediante la copa de Casagrande se necesita 100 gr y se sigue la normativa AASHTO T-89, mientras que para obtener el límite líquido con el penetrómetro de cono se necesita aproximadamente 300 gr y se sigue las especificaciones de la norma británica BS 1377-2; siguiendo con los límites de Atterberg para el límite plástico se necesita 15 gr de muestra y se sigue la norma AASHTO T-90 y finalmente para el límite de contracción se necesita 30 gr y se sigue las especificaciones de la norma AASHTO T-92.</p>
--	---

*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

### **2.3.1.1. Ensayos de campo**

#### **Extracción de muestra**

1. Retirar la capa vegetal y cavar entre 30 y 50 cm
2. Tomar las coordenadas del lugar.
3. Extraer la muestra procurando que no pierda la humedad hasta llegar al laboratorio para proceder con los ensayos.

***Figura 17: Extracción de muestra***



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

### 2.3.1.2. Ensayos de laboratorio

#### Contenido de humedad natural

1. Pesar los recipientes previamente identificados.

*Figura 18: Peso de recipientes*



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

2. Colocar la muestra en el recipiente procurando que el recipiente quede cubierto las  $\frac{3}{4}$  partes.
3. Pesar el recipiente con la muestra de suelo.

*Figura 19: Peso de recipiente + suelo húmedo*



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

4. Colocar el recipiente con la muestra en el horno a una temperatura constante de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por un tiempo de entre 18 y 24 horas.

*Figura 20: Colocar los recipientes en el horno*



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

5. Pasado el tiempo de secado, sacar del horno esperar a que se enfríe y pesar el recipiente más suelo seco.

*Figura 21: Peso de recipiente + suelo seco*



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

### **Granulometría**

1. Secar toda la muestra colocando en el horno entre 18 y 24 horas.

**Figura 22: Muestras secadas al horno**



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

2. Pulverizar la muestra

**Figura 23: Pulverizar muestra**



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

3. Pesar la muestra de suelo (500 gr).
4. Colocar los tamices de manera ascendente.

**Figura 24: Tamices en forma ascendente**



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

5. Colocar la muestra en la columna de tamices y llevar a la máquina tamizadora entre 10 y 15 minutos.

***Figura 25: Tamizar muestra***



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

6. Tomar los pesos retenidos acumulados hasta el tamiz 200.

***Figura 26: Pesos Acumulados***



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

7. Tomar el peso de la fuente + suelo por separado.
8. Sumar el peso del tamiz 200 y la fuente para verificar que el error este dentro del tolerable ( $\pm 1\%$ ).

## Gravedad específica

### Calibración del picnómetro

1. Pesar el picnómetro limpio y seco tanto adentro como afuera.

*Figura 27: Peso de picnómetro*



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

2. Identificar el picnómetro y anotar el peso.
3. Llenar el picnómetro con agua hasta la marca de aforo y pesar verificando que no tenga burbujas de aire atrapado.

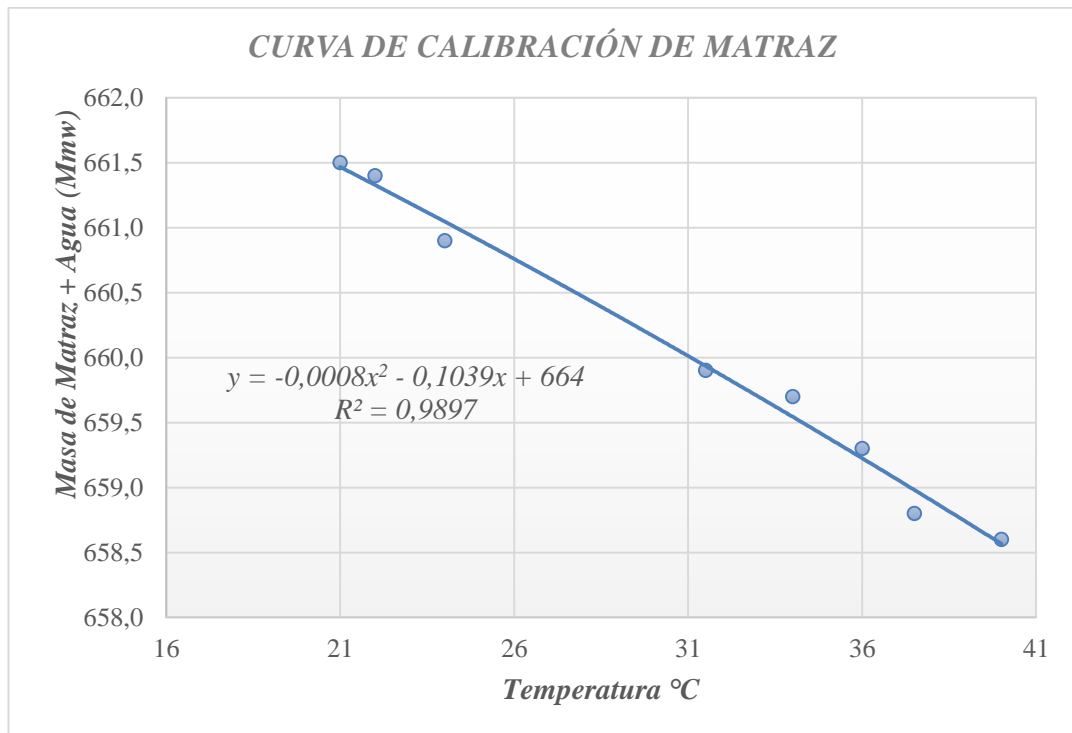
*Figura 28: Peso de picnómetro + agua*



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

4. Tomar la temperatura introduciendo el termómetro hasta el centro del picnómetro.
5. Con los datos del peso del picnómetro + agua y la temperatura del agua hacer una tabla de valores que permitan graficar la curva de calibración.

**Figura 29: Curva de calibración**



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

### Gravedad específica

1. Seleccionar el suelo.
2. Pesar 50 gr de suelo.
3. Añadir agua aproximadamente las 2/3 partes.
4. Con la ayuda del embudo añadir la muestra de suelo.



**Figura 30: Añadir muestra de suelo en picnómetro**



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

5. Completar el agua hasta la marca de aforo.
6. Tomar la temperatura de agua + suelo.

**Figura 31: Temperatura agua+suelo**



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

7. Extraer el aire contenido en la masa de suelo dando giros constantes al picnómetro durante 5 minutos.

**Figura 32: Extraer aire atrapado en picnómetro**



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

8. Pesar el picnómetro + agua + suelo.

**Figura 33: Peso picnómetro+agua+suelo**



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

9. Sacar el agua + suelo en un recipiente previamente pesado.

**Figura 34: Sacar agua+suelo**



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

10. Colocar el recipiente en el horno durante 18 o 24 horas.
11. Pesar el recipiente + suelo seco.

***Figura 35: Sacar agua+suelo***



***Fuente: Lisbeth Pilatasig***

## **Límites de Atterberg**

### **Límite Líquido con Copa de Casagrande**

1. Seleccionar una muestra de suelo.

***Figura 36: Muestra seleccionada***



***Fuente: Lisbeth Pilatasig***

2. Pulverizar con el mortero la muestra.

**Figura 37: Pulverizar muestra**



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

3. Pasar la muestra por la malla 40 y tomar aproximadamente 100 gr.

**Figura 38: Tamizar muestra**



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

4. Colocar la muestra en el mortero y mezclar con una espátula añadiendo agua hasta que adopte una consistencia suave y uniforme.

**Figura 39: Mezclar muestra**



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

5. Colocar una porción de esta pasta en la copa de Casagrande con un espesor de aproximadamente 1cm.

*Figura 40: Colocar muestra en Copa Casagrande*



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

6. Con el acanalador hacer una ranura en una sola pasada.

*Figura 41: Abrir ranura*



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

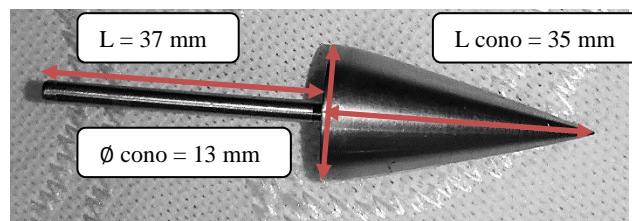
7. Accionar el aparato de Casagrande y contar el número de golpes necesarios para que la parte inferior del talud de la ranura se cierre 13 mm.
8. Del lugar donde se juntan los bordes de la ranura, tomar con una espátula una porción de suelo para determinar el contenido de agua de la muestra.
9. Repetir el proceso por lo menos dos veces más, utilizando la misma muestra añadiendo agua, es decir variando su contenido de humedad.

## Límite Líquido con Penetrómetro de cono

### Construcción de cono de penetración

1. Para la construcción del equipo se comenzará por seleccionar el material de acuerdo a la norma británica en el que presenta dos opciones que pueden ser duraluminio o acero stainless, se escogió el acero stainless 304 el cual se encuentra disponible en el mercado y tiene mayor densidad que el duraluminio.
2. El diseño del cono de penetración es lo primero que se hace, siguiendo las medidas determinadas en la norma BS1377-2, el cono tiene una longitud de 35 mm según lo establecido en la norma, y un diámetro en la base de 13 mm en su parte superior; para el diseño se construyó monolíticamente con el cono de penetración un cilindro de 2 mm de espesor y longitud de 37 mm en la base del cono para de esta manera facilitar el acople al resto del equipo.

**Figura 42: Detalle del cono de penetración**

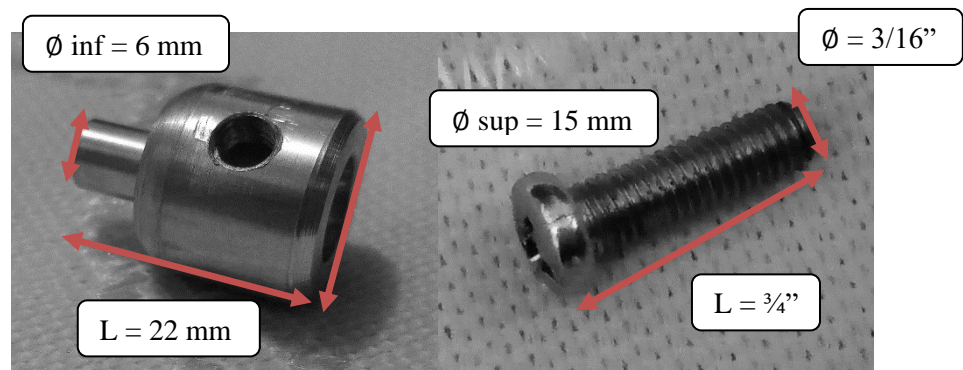


*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

3. El cono va a estar acoplado al aparato de penetración a través de una rosca de acople hecha de aluminio con un espesor de 4 mm, que tiene un diámetro interior de 8 mm por el cual ingresa la varilla de acople que también está hecha de aluminio con una longitud de 305 mm, un diámetro de 8 mm y un espesor de 1 mm, en la parte inferior de la rosca de acople se colocó un reductor de diámetro cuyo diámetro interior es de 2 mm, es aquí por donde ingresa el cono de penetración y se une a la varilla de acople a través de un tornillo de acople de 3/16" y un largo de 3/4", para completar el conjunto del cono de penetración en la parte superior de la varilla de acople se encuentra una rosca base de 1/4", la cual tiene una cabeza cilíndrica de 12 mm de

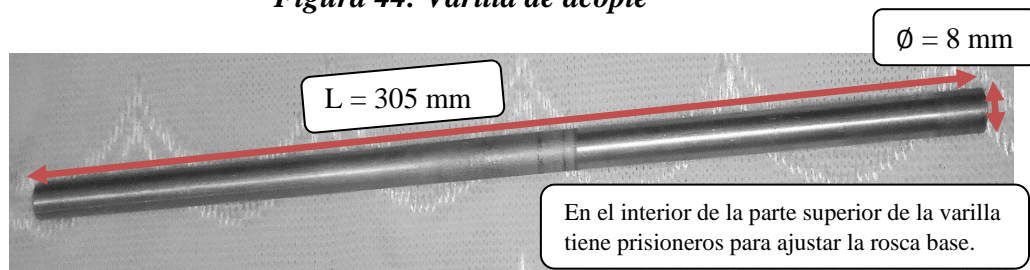
diámetro y un largo de 1", esta cabeza cilíndrica tiene en su base un tope circular de 22 mm de diámetro el cual fue construido monolíticamente con la cabeza cilíndrica; esta rosca base sirve como punto de contacto para tomar la lectura de penetración y también esta hecha de aluminio.

**Figura 43: Rosca de acople y tornillo de acople**



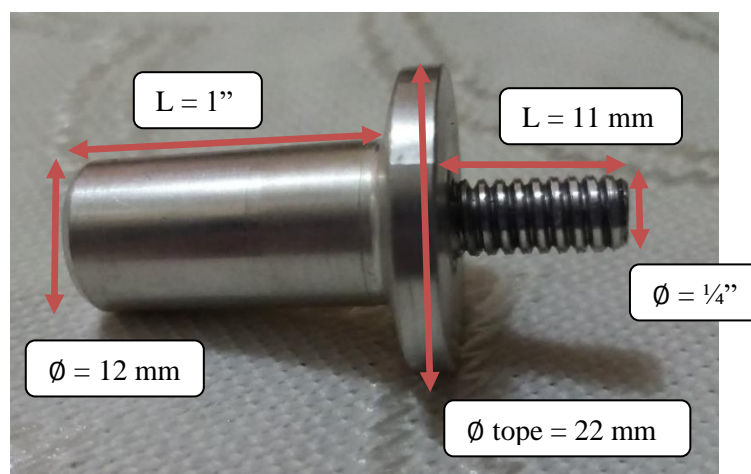
Fuente: Lisbeth Pilatasig

**Figura 44: Varilla de acople**



Fuente: Lisbeth Pilatasig

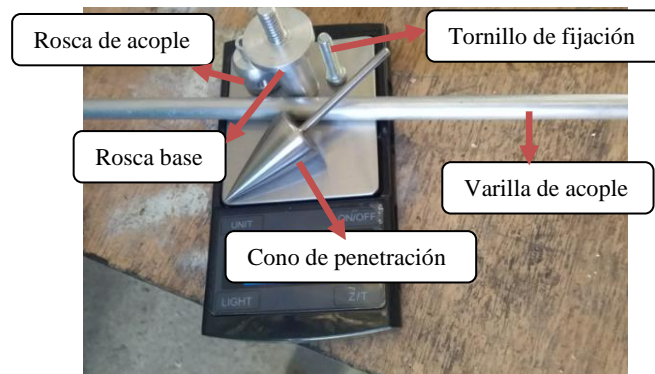
**Figura 45: Rosca base**



Fuente: Lisbeth Pilatasig

4. El cono de penetración esta hecho de acero inoxidable, la varilla de acople con rosca base y la rosca de acople con tornillo de acople estan contruidos de aluminio; dando como resultado que el conjunto de partes que forma el cono de penetración tienen un peso de 80.00 g como se muestra en la figura, comprobando asi que se cumple con la caracteristica mas importante para el correcto funcionamiento del cono de penetración, la cual esta establecida en la norma BS1377-2 que indica que el peso del cono se encuentra entre  $80.0 \pm 0.1$  g.

**Figura 46: Partes del cono de penetración**



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

**Tabla 11: Pesos parciales de los elementos del cono de penetración**

NOMBRE DEL ELEMENTO	PESO ( gr )	IMAGEN
Rosca Base	14.29	
Cono de penetración	35.42	
Rosca de acople, varilla de acople y tornillo de fijación	30.29	
<b>TOTAL</b>	<b>80.00</b>	

*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

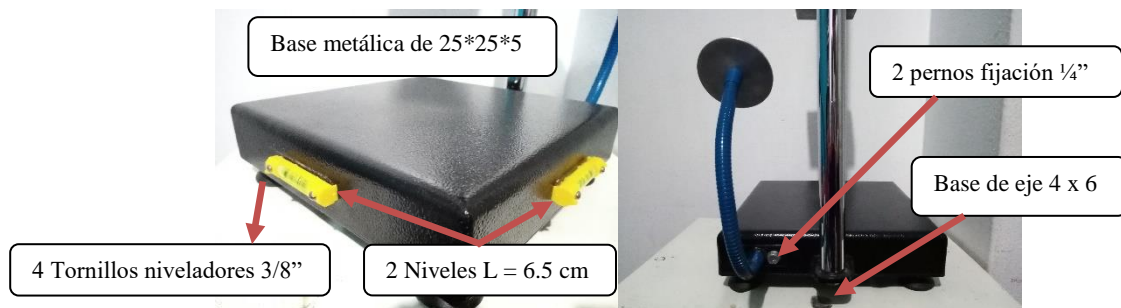


## Construcción de la estructura de soporte del equipo

El equipo consta de varias partes cuyas medidas se detallan a continuación:

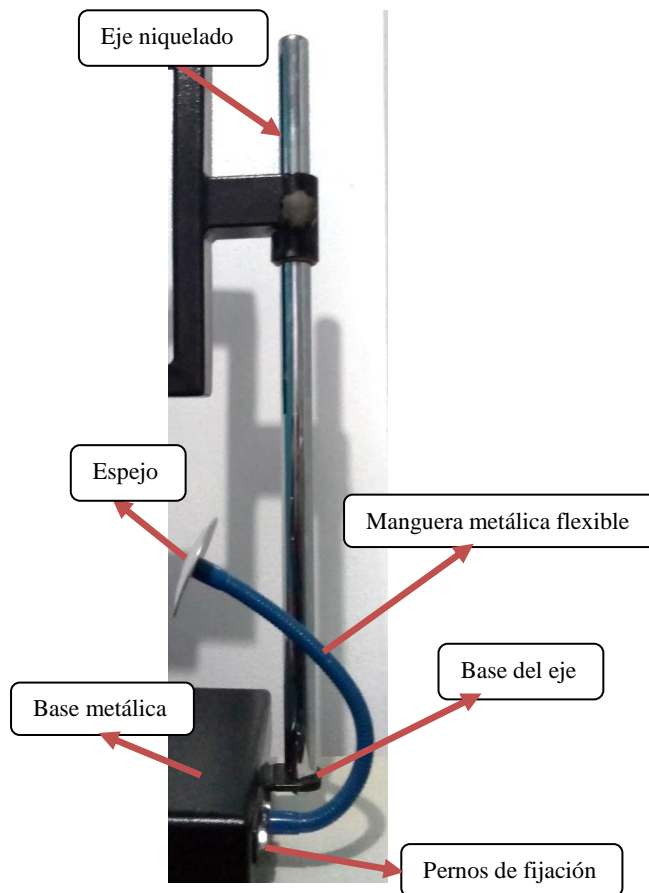
1. La base del equipo está hecha de una plancha metálica de 2 mm de espesor, esta base metálica tiene 25 cm de ancho por 25 cm de largo y una profundidad de 5 cm, en la cual se colocó un nivel 6.5 cm de largo en el centro tanto del ancho como del largo de la base, adicional a eso para nivelar el equipo se colocó cuatro tornillos niveladores de 3/8" con base de goma; adicional a eso en la parte trasera en el centro de la base se colocó con una soldadura especial tipo MIC una escuadra de 4 cm por 6 cm que servirá de base para el eje; este eje es niquelado con un diámetro de 1" y una longitud de 59 cm, y sirve para que la parte móvil del equipo se deslice, a lado se colocó 2 pernos de 1/4" con sus respectivas rodajas para fijar una manguera metálica flexible en la que se va a colocar el espejo ovalado de 70 mm de diámetro cuyo marco está hecho de latas de aluminio.

*Figura 47: Detalle base del equipo*



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

**Figura 48: Parte fija del equipo**

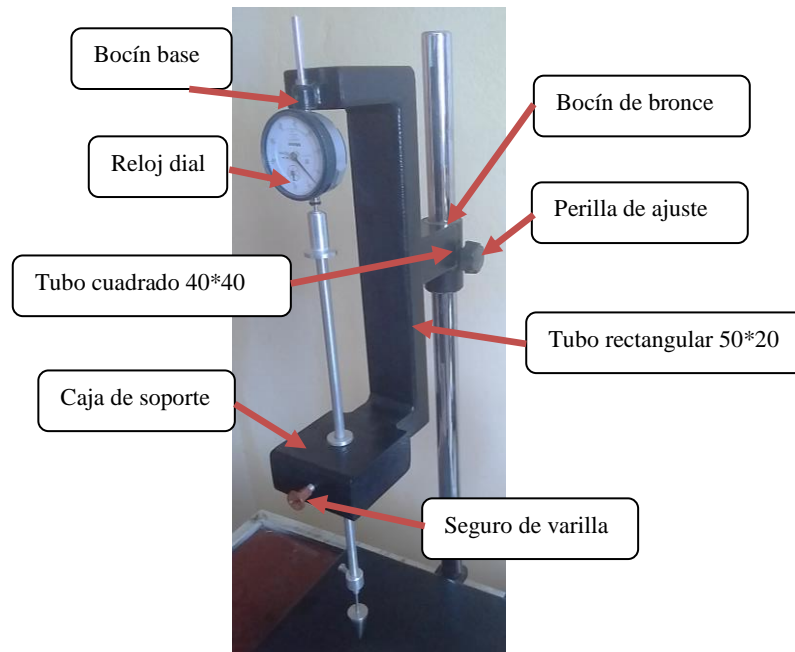


*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

2. Para la parte móvil del equipo es necesario un bocín de 1 ½” de diámetro exterior y 1” de diámetro interior que está hecha de bronce, el cual está recubierto de metal y tiene una perilla ajustadora de ¼” con cabeza de goma, en el bocín se soldó un tubo cuadrado de 40 mm por 40 mm con un espesor de 2 mm y una longitud de 60 mm, a su vez a este tubo se soldó un tubo rectangular de 50 mm de ancho por 20 mm de largo con un espesor de 2 mm y con un largo de 30 cm, en la parte superior de este tubo se coloca un tubo rectangular de 50 x 20 con una longitud de 6 cm, a este tubo se añadió un bocín base con prisioneros para fijar el reloj dial, en la parte inferior del tubo principal se soldó un tubo rectangular de 50 x 20 con una longitud de 2.5 cm, al cual se unió la caja de soporte que tiene 8 cm de ancho y 8 cm de largo con una profundidad de 4 cm, cuyo espesor es de 2 mm, y en el centro de esta caja de soporte se incrustó un bocín de aluminio sujeto a presión con un diámetro interior de 8 mm, el cual sirve para que la varilla de acople se deslice, como seguro para

sostener la varilla se colocó un tornillo galvanizado de  $\frac{1}{4}$  “ de diámetro y una longitud de 2”, al que se añadió una cabeza plástica.

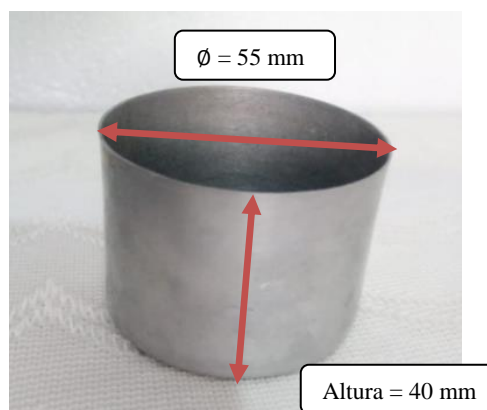
**Figura 49: Detalle de parte móvil del equipo**



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

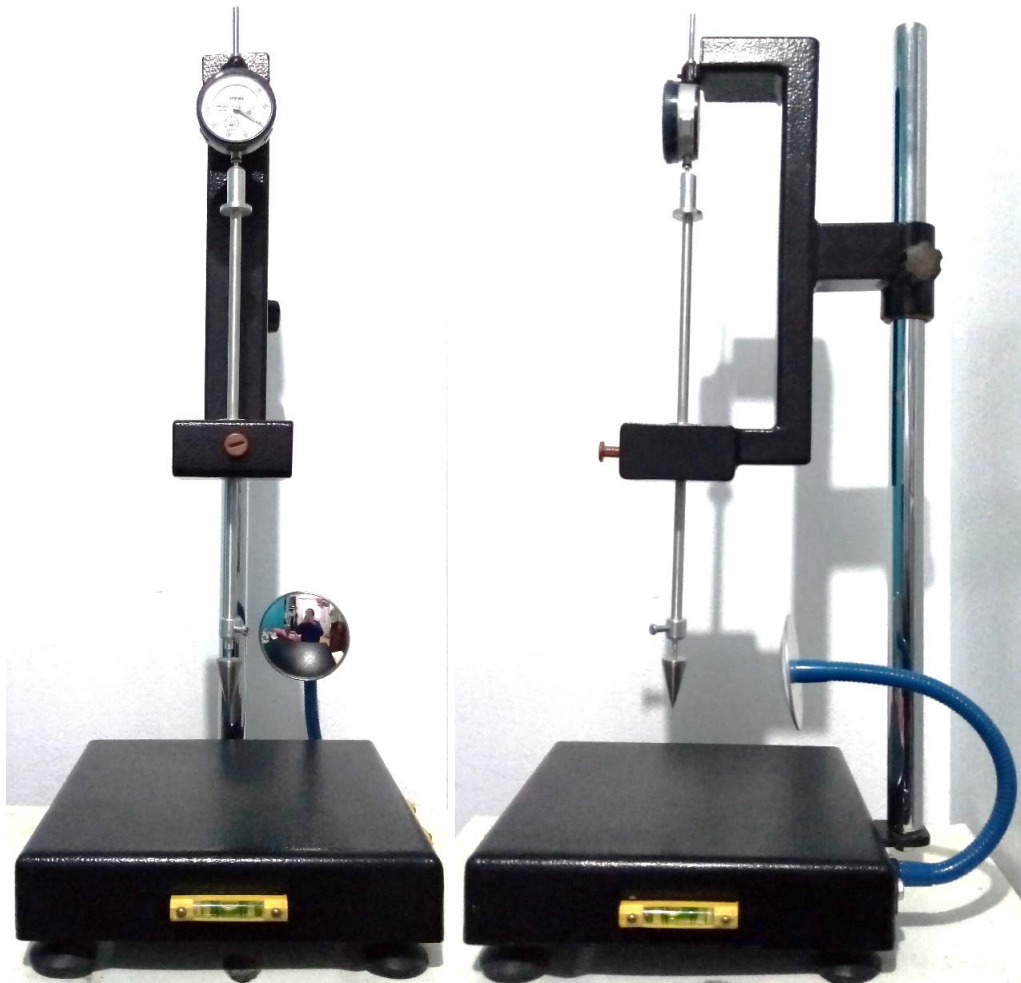
3. Para el acabado del equipo se optó por pintar al horno con pintura negra en polvo texturizada.
4. Adicional al equipo se hizo 5 recipientes metálicos de 55 mm de diámetro y 40 mm de profundidad con el borde paralelo a la base plana, según lo especificado en la norma BS 1377-2.

**Figura 50: Recipientes metálicos**



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

*Figura 51: Penetrómetro de cono*



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

**Procedimiento de ensayo**

1. Pasar la muestra por el tamiz 40 y tomar aproximadamente 300 gr.
2. Añadir agua en la muestra y mezclar durante al menos 10 minutos con la espátula.

*Figura 52: Añadir agua en la muestra*



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

3. Llenar el recipiente cuyas dimensiones estan especificadas en la norma BS1377-2, con la pasta procurando que no quede aire atrapado, eliminar el exceso de pasta para obtener una superficie lisa y nivelada.

***Figura 53: Llenado de recipiente***



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

4. Bajar el conjunto de soporte del cono para que la punta del cono solo toque la superficie del suelo.

***Figura 54: Colocar la punta del cono en la superficie de la muestra***



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

5. Liberar el cono por un período de  $5 \pm 1$  segundos. Después de bloquear el cono en su posición, bajar el vástago del reloj para contactar el eje del cono y tomar la lectura.

**Figura 55: Toma de lectura de penetración**



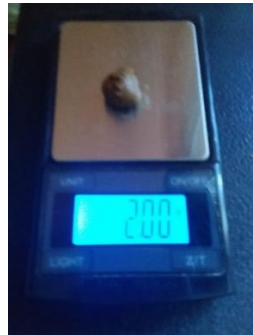
*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

6. Levantar el cono y limpiarlo cuidadosamente.
7. Agregar un poco mas de pasta procurando que no quede aire atrapado y alisar la superficie.
8. Tomar otra lectura procurando que la diferencia entre la primera y segunda lectura no sea mayor de 0.5 mm. Si la diferencia entre ambas lecturas es mayor a 0.5 mm y menos de 1 mm se realiza una tercera prueba.
9. Del lugar donde se hicieron las penetraciones tomar con una espátula una porción de suelo para determinar el contenido de humedad de la muestra.
10. Repetir el proceso tres veces más variando el contenido de humedad para tener datos de penetración diferentes.

### **Límite plástico**

1. De la fracción que pase el tamiz 40, tomar 15 gr del suelo.
2. Añadir agua y mezclar hasta que tenga una consistencia suave y uniforme.
3. Tomar una porción de aproximadamente 1.5 a 2.0 gr de mezcla.

***Figura 56: Pesar porciones de mezcla***



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

4. Deslizar sobre la superficie de vidrio y moldearlo hasta que llegue a un espesor de 3 mm y 5 cm de longitud, en un período de tiempo no mayor a 2 minutos.

***Figura 57: Moldear muestra***



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

5. Verificar si aparecen desmoronamientos o fisuras, en caso de no presentar fisuras recoger el cordón y moldearlo nuevamente.
6. Colocar el cordón en el recipiente de límite plástico y secarlo en el horno.

***Figura 58: Cordones de suelo para límite plástico***



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

7. Pesar el recipiente más suelo seco.
8. Repetir el procedimiento cinco veces más.

### **Límite de contracción**

1. De la fracción que pasa el tamiz 40 tomar 30 gr y mezclarlos con agua.
2. Pesar la cápsula de contracción.
3. Colocar mercurio en la cápsula de contracción, enrazar el mercurio con la placa tripie y pesar.
4. Retirar el mercurio de la capsula de contracción.
5. Colocar la mezcla en la cápsula de contracción en tres capas.
6. Dar golpes para extraer el aire.
7. Enrazar la superficie de suelo con la espátula y pesar.
8. Colocar la cápsula + suelo humedo en el horno hasta que se seque por completo.

***Figura 59: Pastillas de suelo***



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

9. Pesar la cápsula de contracción + suelo seco.
10. Colocar mercurio en el cristal lucita, enrazar con la placa tripie.

***Figura 60: Mercurio en cristal de lucita***



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*



11. Sacar la pastilla de suelo de la cápsula de contracción y colocar la pastilla sobre la superficie del mercurio.

***Figura 61: Colocar pastilla de suelo sobre mercurio***



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

12. Utilizando la placa de lucita con tres puntas presionar la pastilla de suelo hasta sumergirla completamente en el mercurio.

***Figura 62: Sumergir pastilla de suelo en mercurio***



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

13. Colocar el mercurio desalojado la probeta para obtener el volumen de suelo contraído.

***Figura 63: Peso de mercurio desalojado***



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

### **2.3.2. Plan de procesamiento y análisis de información**

La información obtenida tras los ensayos de laboratorio de cada una de las muestras se presentarán en tablas de fácil comprensión, para lo que se utiliza los formatos establecidos por el laboratorio y los elaborados por el autor. Una vez obtenida esta información se elaboraran las correlaciones que tengan un alto coeficiente de correlación con sus respectivos gráficos, estas correlaciones serán con dos variables para lo cual se utiliza el software Excel, y con tres variables lo cual se desarrolla mediante el método de mínimos cuadrados, este método consiste en elaborar una tabla de Excel con distintos parámetros los cuales permiten elaborar un sistema de tres ecuaciones cuya resolución se realiza por el método de matriz inversa, dando como resultado los tres coeficientes necesarios para la ecuación de correlación. De acuerdo al caso que mejor se ajuste estas ecuaciones pueden ser del tipo lineal, logarítmica, potencial y exponencial.

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

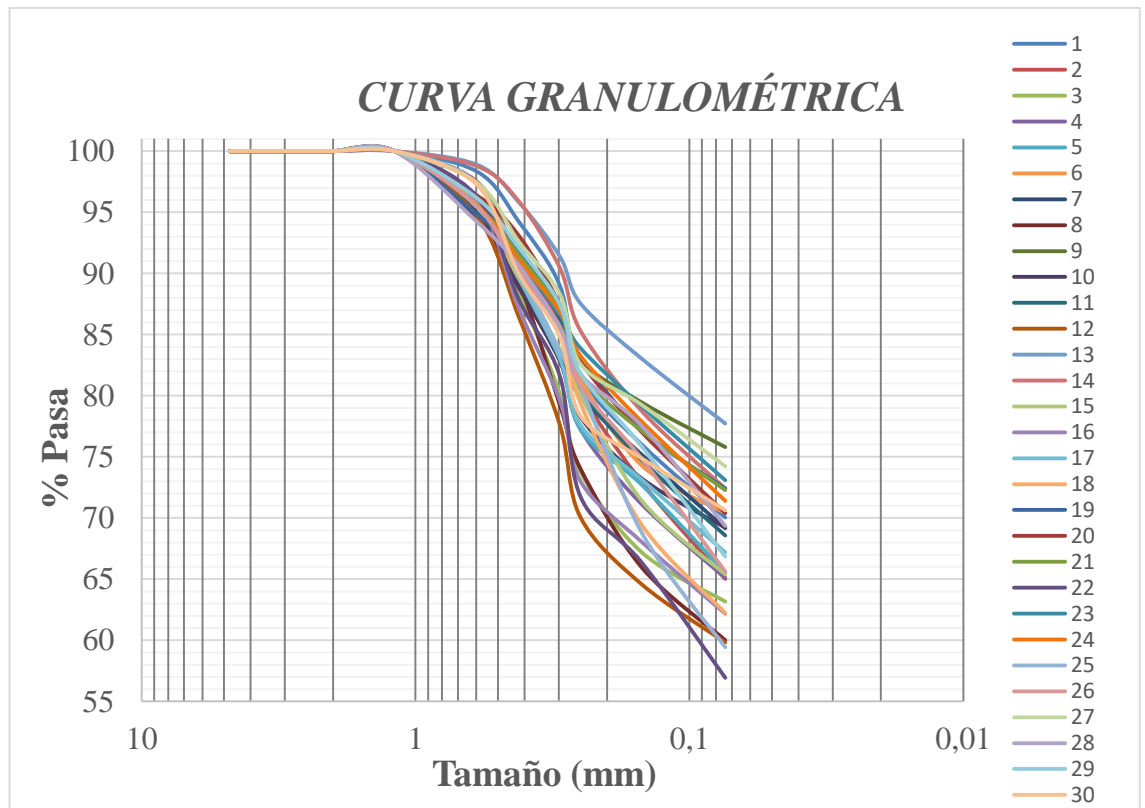
#### 3.1. Análisis y discusión de los resultados

En este capítulo se presentara los resultados de los ensayos de laboratorio que se realizaron a las 30 muestras obtenidas en diferentes sectores de la ciudad del Puyo; con la finalidad de obtener una correlación entre el límite líquido obtenido por el método de copa de casagrande y el límite líquido obtenido por el método de penetrómetro de cono.

##### 3.1.1. Clasificación del suelo

Para conocer el tipo de suelo con el que se va a trabajar primeramente se realizó el ensayo de análisis granulométrico el cual nos da como resultado que todos los suelos analizados corresponden a suelos de grano fino ya que más del 35% de la muestra ensayada pasa el tamiz N° 200.

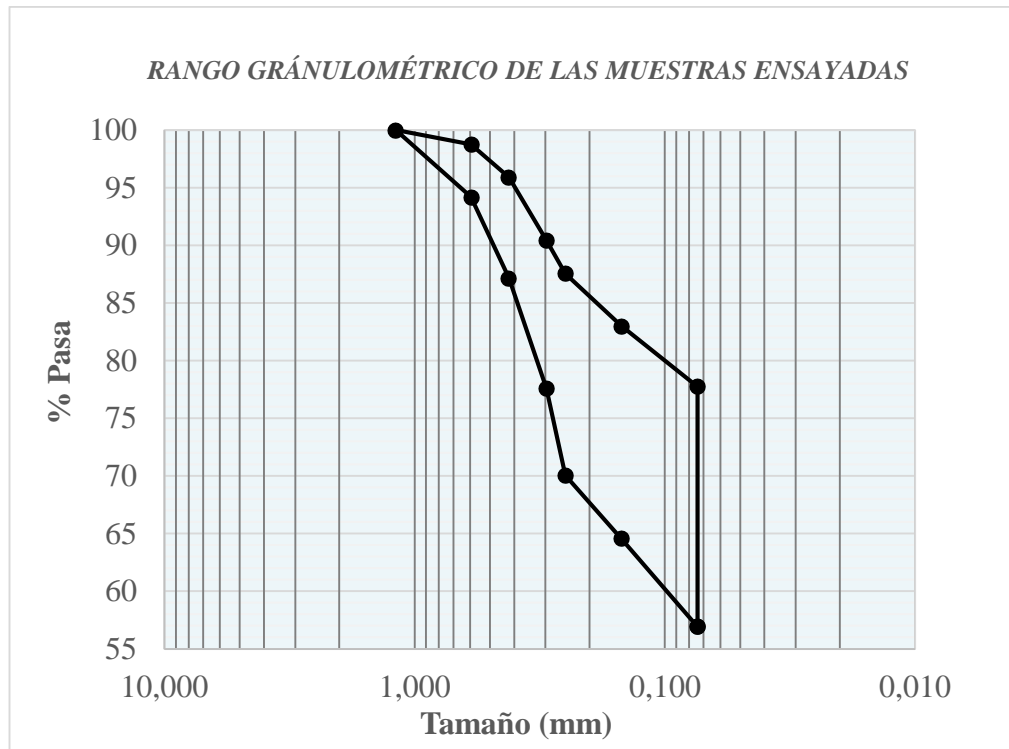
*Figura 64: Curva granulométrica de las 30 muestras ensayadas*



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

Después del ensayo granulométrico, cuando se ha obtenido todos los pesos parciales acumulados y la representación de la curva se puede analizar por simple inspección que las curvas granulométricas para las 30 muestras tienden a ser horizontales lo que significa que tienen mala distribución de las partículas, lo que es común en el caso de limos y arcillas.

**Figura 65: Rango granulométrico de las muestras ensayadas**



*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

Del análisis granulométrico se puede observar que las muestras ensayadas tienen 0% de grava, el porcentaje de arena presente en las muestras varía entre 22 % y 47 %, mientras que el porcentaje de suelo fino presente en las muestras varía de 56% a 78%, siendo así que la mayor parte de las muestras ensayadas corresponde a suelo fino.

**Tabla 12: Análisis granulométrico**

LUGAR	MUESTRA	% GRAVA	% ARENA	% FINOS
PINDO CHICO	1	0.00	29.96	70.04
	2	0.00	34.99	65.01
PALESTINA	3	0.00	36.83	63.17
	4	0.00	34.89	65.11
FÁTIMA	5	0.00	34.43	65.57
	6	0.00	29.59	70.41
SANTA MARTHA	7	0.00	30.84	69.16
	8	0.00	39.99	60.01
LAS AMÉRICAS	9	0.00	24.20	75.80
	10	0.00	30.79	69.21
EL OBRERO	11	0.00	31.43	68.57
	12	0.00	40.16	59.84
ELOY ALFARO	13	0.00	22.27	77.73
	14	0.00	27.59	72.41
PUYO CENTRO	15	0.00	34.61	65.39
	16	0.00	37.82	62.18
TARQUI	17	0.00	32.80	67.20
	18	0.00	37.76	62.24
SAN JACINTO	19	0.00	27.59	72.41
	20	0.00	29.60	70.40
LA LIBERTAD	21	0.00	27.72	72.28
	22	0.00	43.07	56.93
10 DE AGOSTO	23	0.00	26.91	73.09
	24	0.00	28.60	71.40
UNIÓN BASE	25	0.00	40.56	59.44
	26	0.00	34.39	65.61
SHELL	27	0.00	25.77	74.23
	28	0.00	30.65	69.35
VERACRUZ	29	0.00	33.16	66.84
	30	0.00	29.37	70.63

*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

Otra forma para realizar la clasificación de los suelos es obteniendo los valores de límites de Atterberg, una vez obtenidos dichos valores hay dos sistemas de clasificación del suelo ( SUCS y AASHTO).

### 3.1.2. Clasificación SUCS:

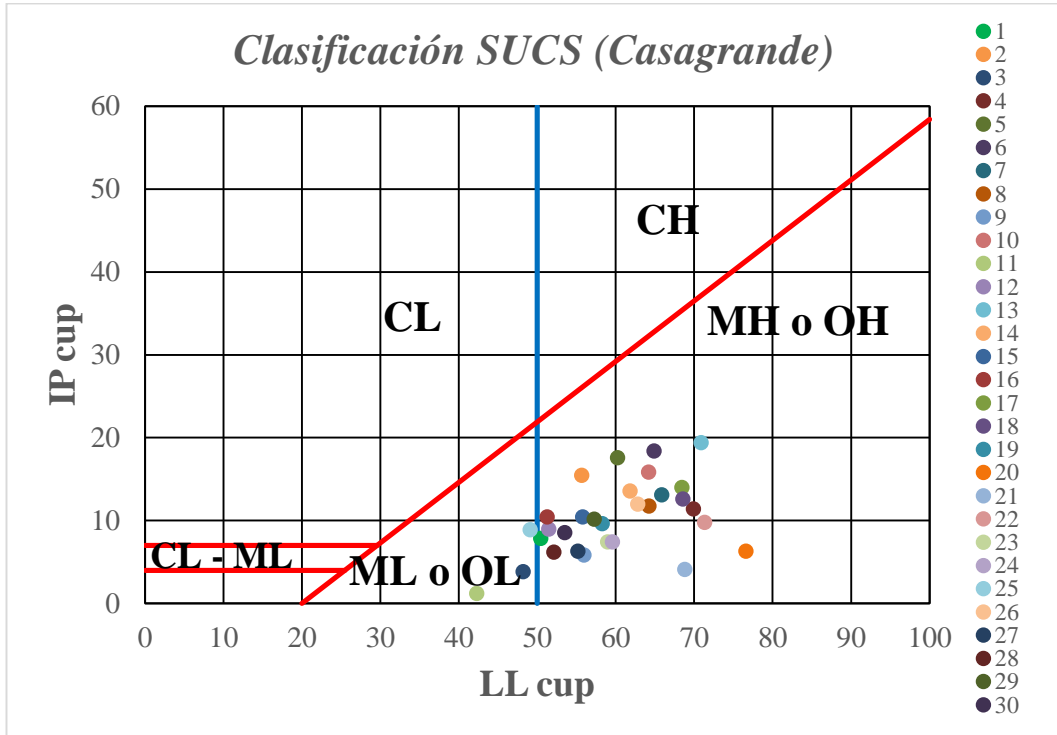
Para este sistema de clasificación se necesita graficar los valores de límite líquido y de índice de plasticidad obtenidos por ambos métodos (Copa de Casagrande y Penetrómetro de cono).

*Tabla 13: Clasificación SUCS*

LUGAR	MUESTRA	LL cup	LL cone	LP	IP cup	IP cone	Símbolo
PINDO CHICO	1	50.44	55.84	42.57	7.86	13.27	MH
	2	55.68	65.27	40.20	15.48	25.07	MH
PALESTINA	3	48.19	49.85	44.36	3.83	5.49	ML
	4	69.91	78.14	58.52	11.39	19.62	MH
FÁTIMA	5	60.24	67.90	42.66	17.58	25.24	MH
	6	64.87	73.34	46.47	18.40	26.87	MH
SANTA MARTHA	7	65.85	66.42	52.73	13.12	13.69	MH
	8	64.23	65.14	52.47	11.75	12.67	MH
LAS AMÉRICAS	9	55.94	64.82	50.10	5.84	14.72	MH
	10	64.19	64.88	48.36	15.83	16.52	MH
EL OBRERO	11	42.28	50.25	41.05	1.22	9.20	ML
	12	51.45	60.23	42.46	8.99	17.77	MH
ELOY ALFARO	13	70.87	76.16	51.46	19.41	24.70	MH
	14	61.84	64.09	48.26	13.59	15.83	MH
PUYO CENTRO	15	55.80	57.36	45.34	10.46	12.02	MH
	16	51.24	53.88	40.78	10.45	13.10	MH
TARQUI	17	68.44	82.11	54.44	14.00	27.67	MH
	18	68.54	84.12	55.93	12.61	28.19	MH
SAN JACINTO	19	58.29	65.72	48.65	9.64	17.07	MH
	20	76.58	82.91	70.29	6.29	12.62	MH
LA LIBERTAD	21	68.82	78.19	64.71	4.12	13.48	MH
	22	71.34	75.37	61.55	9.80	13.82	MH
10 DE AGOSTO	23	58.97	71.13	51.56	7.41	19.57	MH
	24	59.58	72.36	52.14	7.44	20.22	MH
UNIÓN BASE	25	49.11	49.12	40.22	8.89	8.90	ML
	26	62.82	62.33	50.85	11.97	11.48	MH
SHELL	27	56.85	57.50	48.87	7.98	8.63	MH
	28	53.14	54.00	45.92	7.22	8.08	MH
VERACRUZ	29	57.27	57.88	47.08	10.19	10.80	MH
	30	53.48	56.08	44.93	8.54	11.15	MH

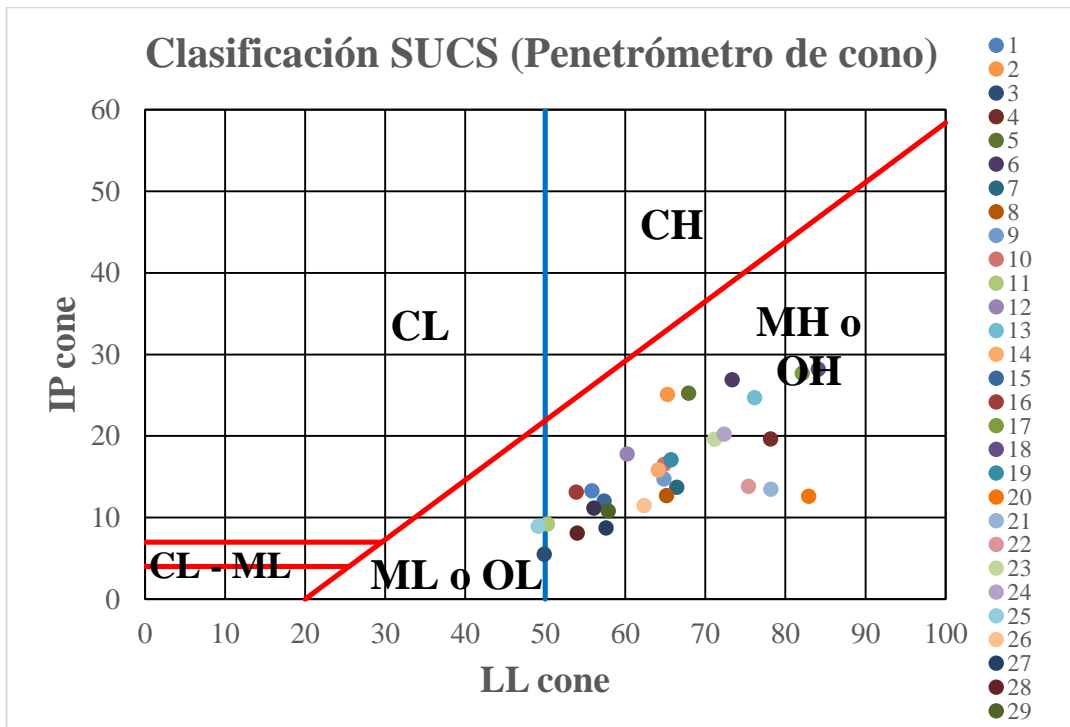
*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

Figura 66: Clasificación SUCS por Copa de Casagrande



Fuente: Lisbeth Pilatasig

Figura 67: Clasificación SUCS por penetrómetro de cono



Fuente: Lisbeth Pilatasig

Analizando los datos de la tabla y las graficas obtenidas se determina que 27 de las 30 muestras ensayadas se ubican debajo de la línea A y tienen un  $LL > 50$  por lo que las muestras corresponden a limos inorgánicos de alta plasticidad; mientras que las 3 muestras restantes (3, 11 y 25) que corresponden a los sectores de Palestina, El Obrero y Unión Base respectivamente, se grafican debajo de la línea A y tienen un  $LL < 50$  por lo que se trata de limos inorgánicos de baja plasticidad.

### 3.1.3. Clasificación AASHTO:

Para clasificar el suelo según la tabla de sistema AASHTO de clasificación de suelos se requiere como parámetros de clasificación LL, IP e IG.

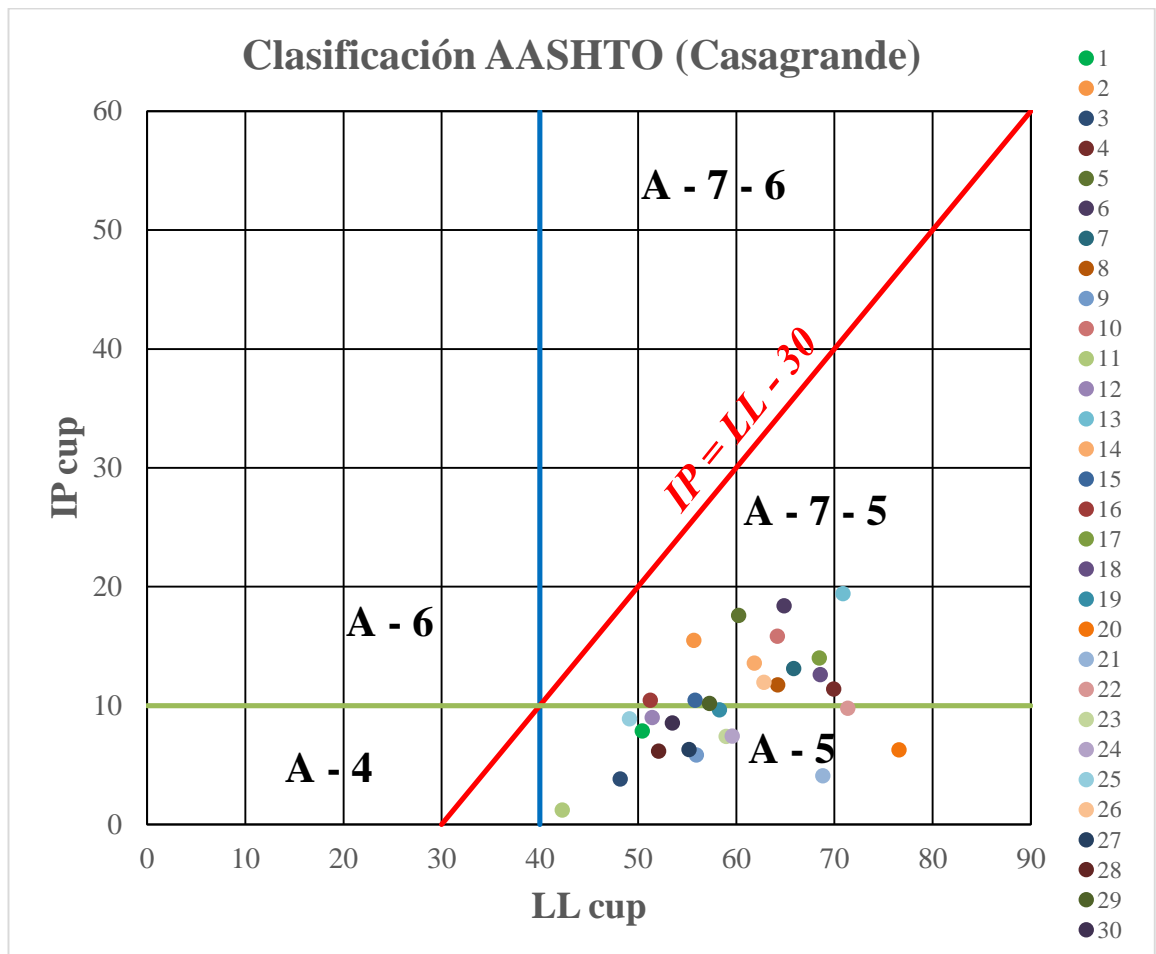
**Tabla 14: Clasificación AASHTO**

LUGAR	MUESTRA	% PASA TAMIZ 200	Límite líquido		Índice de plasticidad		Índice de grupo		Clasificación de grupo	
		F	LL cup	LL cone	IP cup	IP cone	IG cup	IG cone	cup	cone
PINDO CHICO	1	70.04	50.44	55.84	8	13	8	12	A-5	A-7-5
	2	65.01	55.68	65.27	15	25	11	17	A-7-5	A-7-5
PALESTINA	3	63.17	48.19	49.85	4	5	4	5	A-5	A-5
	4	65.11	69.91	78.14	11	20	11	17	A-7-5	A-7-5
FÁTIMA	5	65.57	60.24	67.90	18	25	13	18	A-7-5	A-7-5
	6	70.41	64.87	73.34	18	27	16	22	A-7-5	A-7-5
SANTA MARTHA	7	69.16	65.85	66.42	13	14	13	13	A-7-5	A-7-5
	8	60.01	64.23	65.14	12	13	9	9	A-7-5	A-7-5
LAS AMÉRICAS	9	75.80	55.94	64.82	6	15	9	16	A-5	A-7-5
	10	69.21	64.19	64.88	16	17	14	15	A-7-5	A-7-5
EL OBRERO	11	68.57	42.28	50.25	1	9	2	8	A-5	A-5
	12	59.84	51.45	60.23	9	18	6	11	A-5	A-7-5
ELOY ALFARO	13	77.73	70.87	76.16	19	25	21	25	A-7-5	A-7-5
	14	72.41	61.84	64.09	14	16	14	15	A-7-5	A-7-5
PUYO CENTRO	15	65.39	55.80	57.36	10	12	9	10	A-5	A-7-5
	16	62.18	51.24	53.88	10	13	7	9	A-5	A-7-5
TARQUI	17	67.20	68.44	82.11	14	28	13	22	A-7-5	A-7-5
	18	62.24	68.54	84.12	13	28	11	20	A-7-5	A-7-5
SAN JACINTO	19	72.41	58.29	65.72	10	17	11	16	A-5	A-7-5
	20	70.40	76.58	82.91	6	13	11	16	A-5	A-7-5
LA LIBERTAD	21	72.28	68.82	78.19	4	13	9	17	A-5	A-7-5
	22	56.93	71.34	75.37	10	14	8	10	A-5	A-7-5
10 DE AGOSTO	23	73.09	58.97	71.13	7	20	10	19	A-5	A-7-5
	24	71.40	59.58	72.36	7	20	9	19	A-5	A-7-5
UNIÓN BASE	25	59.44	49.11	49.12	9	9	6	6	A-5	A-5
	26	65.61	62.82	62.33	12	11	11	10	A-7-5	A-7-5
SHELL	27	74.23	56.85	57.50	8	9	10	10	A-5	A-5
	28	69.35	53.14	54.00	7	8	8	8	A-5	A-5
VERACRUZ	29	66.84	57.27	57.88	10	11	9	10	A-5	A-5
	30	70.63	53.48	56.08	9	11	9	11	A-5	A-7-5

Fuente: Lisbeth Pilatasig



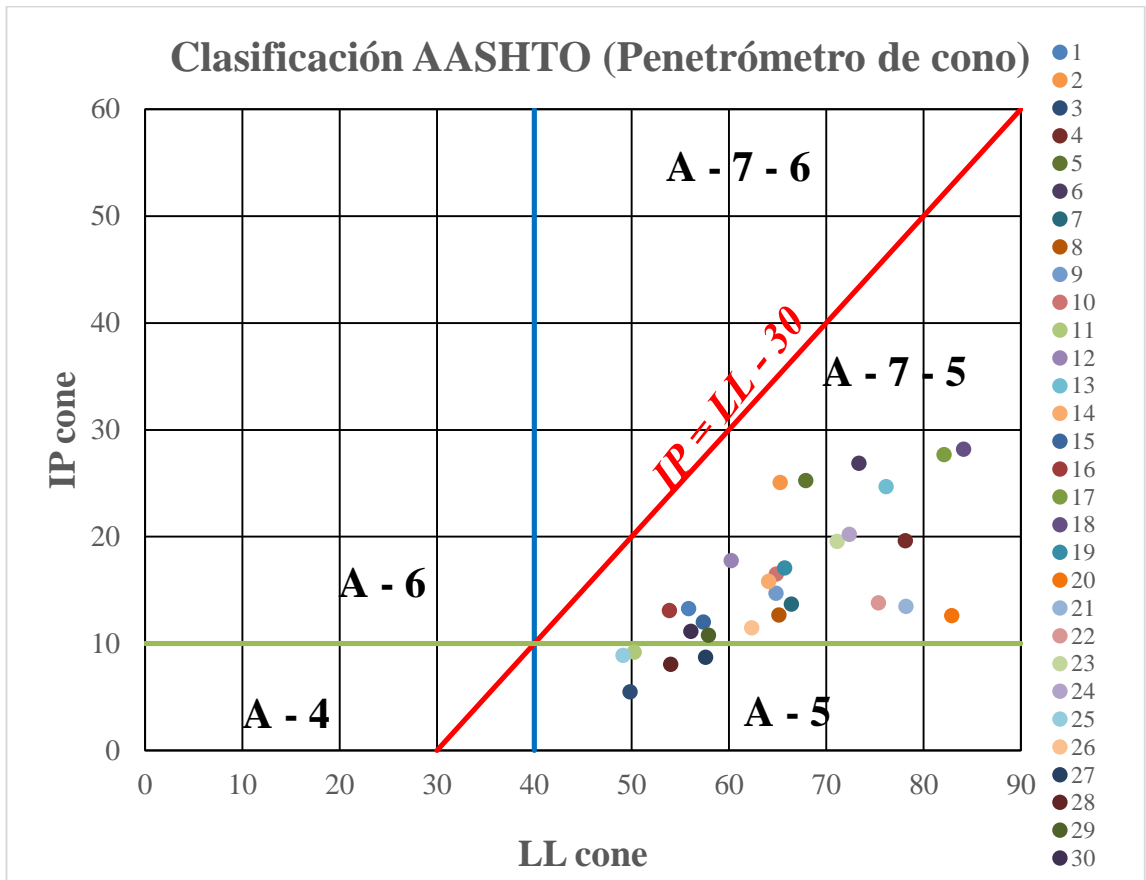
Figura 68: Clasificación AASHTO según Casagrande



Fuente: Lisbeth Pilatasig

Por el método de Copa de Casagrande 18 de las 30 muestras corresponden al grupo A-5 que corresponde a suelos limosos, mientras que los 12 restantes corresponden al grupo A-7-5 que son suelos arcillosos con un índice de plasticidad moderado en relación con el límite líquido.

Figura 69: Clasificación AASHTO según Penetrómetro de Cono



Fuente: Lisbeth Pilatasig

Por otro lado con el método de Penetrómetro de Cono se observa que los resultados varían en relación a los obtenidos con Copa de Casagrande, arrojando como resultados que 6 de las 30 muestras corresponden al grupo A-5, el cual se refiere a suelos limosos; mientras que los 24 restantes pertenece al grupo A-7-5, que se refiere a suelos arcillosos.

### 3.1.4. Límites de consistencia

En la siguiente tabla se muestra los valores de límite líquido por ambos métodos de análisis, además de límite plástico y límite de contracción.

**Tabla 15: Resumen de límites de Atterberg**

Lugar	N° Muestra	LL cup	LL cone	LP	LC
PINDO CHICO	1	50.44	55.84	42.57	39.22
	2	55.68	65.27	40.20	55.46
PALESTINA	3	48.19	49.85	44.36	29.39
	4	69.91	78.14	58.52	17.94
FÁTIMA	5	60.24	67.90	42.66	46.57
	6	64.87	73.34	46.47	50.98
SANTA MARTHA	7	65.85	66.42	52.73	58.92
	8	64.23	65.14	52.47	54.72
LAS AMÉRICAS	9	55.94	64.82	50.10	65.10
	10	64.19	64.88	48.36	63.83
EL OBRERO	11	42.28	50.25	41.05	39.88
	12	51.45	60.23	42.46	45.26
ELOY ALFARO	13	70.87	76.16	51.46	40.72
	14	61.84	64.09	48.26	37.89
PUYO CENTRO	15	55.80	57.36	45.34	52.64
	16	51.24	53.88	40.78	69.43
TARQUI	17	68.44	82.11	54.44	54.26
	18	68.54	84.12	55.93	59.46
SAN JACINTO	19	58.29	65.72	48.65	72.11
	20	76.58	82.91	70.29	50.82
LA LIBERTAD	21	68.82	78.19	64.71	67.69
	22	71.34	75.37	61.55	71.54
10 DE AGOSTO	23	58.97	71.13	51.56	43.86
	24	59.58	72.36	52.14	48.20
UNIÓN BASE	25	49.11	49.12	40.22	46.09
	26	62.82	62.33	50.85	60.04
SHELL	27	56.85	57.50	48.87	53.85
	28	53.14	54.00	45.92	45.48
VERACRUZ	29	57.27	57.88	47.08	67.85
	30	53.48	56.08	44.93	48.72

*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

Analizando los resultados obtenidos de límite líquido tanto por Copa de Casagrande como por Penetrómetro de Cono se obtuvo que en el método de Casagrande los valores de LL varían de 42.28% a 76.58%, mientras que los valores de LL obtenidos con el método de penetrómetro de cono varían entre 49.12% y 84.12%, por otro lado los valores de IP variaron entre 1.22% y 19.41% para copa de casagrande y entre 5.49% y 28.19% para los valores obtenidos por penetrómetro de cono.

**Tabla 16: Cálculos para obtener intervalos de confianza para el límite líquido por penetrómetro de cono**

Lugar	Nº Muestra	LL cup	LL cone	$X_i = \text{LL cone} - \text{LL cup}$	$(X_i - \bar{X})^2$	
PINDO CHICO	1	50,44	55,84	5,40	0,02	
	2	55,68	65,27	9,59	16,43	
PALESTINA	3	48,19	49,85	1,66	15,06	
	4	69,91	78,14	8,23	7,23	
FÁTIMA	5	60,24	67,90	7,66	4,51	
	6	64,87	73,34	8,47	8,62	
SANTA MARTHA	7	65,85	66,42	0,57	24,64	
	8	64,23	65,14	0,91	21,38	
LAS AMÉRICAS	9	55,94	64,82	8,88	11,14	
	10	64,19	64,88	0,69	23,55	
EL OBRERO	11	42,28	50,25	7,97	5,93	
	12	51,45	60,23	8,78	10,51	
ELOY ALFARO	13	70,87	76,16	5,29	0,06	
	14	61,84	64,09	2,25	10,83	
PUYO CENTRO	15	55,80	57,36	1,56	15,82	
	16	51,24	53,88	2,64	8,37	
TARQUI	17	68,44	82,11	13,67	66,08	
	18	68,54	84,12	15,58	100,83	
SAN JACINTO	19	58,29	65,72	7,43	3,58	
	20	76,58	82,91	6,33	0,63	
LA LIBERTAD	21	68,82	78,19	9,37	14,67	
	22	71,34	75,37	4,03	2,29	
10 DE AGOSTO	23	58,97	71,13	12,16	43,87	
	24	59,58	72,36	12,78	52,43	
UNIÓN BASE	25	49,11	49,12	0,01	30,56	
	26	62,82	62,33	-0,49	36,35	
SHELL	27	56,85	57,50	0,65	23,91	
	28	53,14	54,00	0,86	21,91	
VERACRUZ	29	57,27	57,88	0,61	24,30	
	30	53,48	56,08	2,60	8,62	
				$\Sigma =$	166,13	614,12
				$\bar{X} =$	5,54	

*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

Con los datos obtenidos en la tabla 16 se puede calcular la desviación estándar entre las muestras.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n}} = 4.5244 \quad \text{Ec. (18)}$$

Debido al número de muestras analizadas se opta por la distribución T-Student para el cálculo de intervalo de confianza cuya ecuación es:

$$\text{Intervalo de confianza} = \bar{X} \pm t_{\frac{\alpha}{2}; n-1} * \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{Ec. (19)}$$

Sabiendo que buscamos un intervalo de confianza del 95%, a partir de la distribución T-Student se tiene:

$$\alpha = 1 - 0.95 = 0.05 \quad \text{y} \quad n = 30$$

$$\text{Intervalo de confianza} = 5.54 \pm t_{\frac{0.05}{2}; 30-1} * \frac{4.5244}{\sqrt{30}}$$

$$\text{Intervalo de confianza} = (7.23; 3.85)$$

Por lo que para los límites líquido obtenidos por penetrómetro de cono, que esten dentro del rango 49% a 85%, se esperaría que el 95% de los resultados obtenidos tengan una variación máxima de 7.23 y una variación mínima de 3.85.

### 3.1.5. Gravedad Específica

Analizando los valores obtenidos de gravedad específica (Gs) en las 30 muestras y de acuerdo a los rangos establecidos en la tabla 2 se puede determinar que las muestras 3 (Palestina), 11 (El Obrero) y 25 (Unión Base), están dentro del rango 2.65 – 2.7 que corresponden a suelos limosos; mientras que las 27 muestras restantes entran en el rango de 2.67 – 2.9 que corresponden a arcillas o arcillas limosas.

**Tabla 17: Valores de Gravedad Específica**

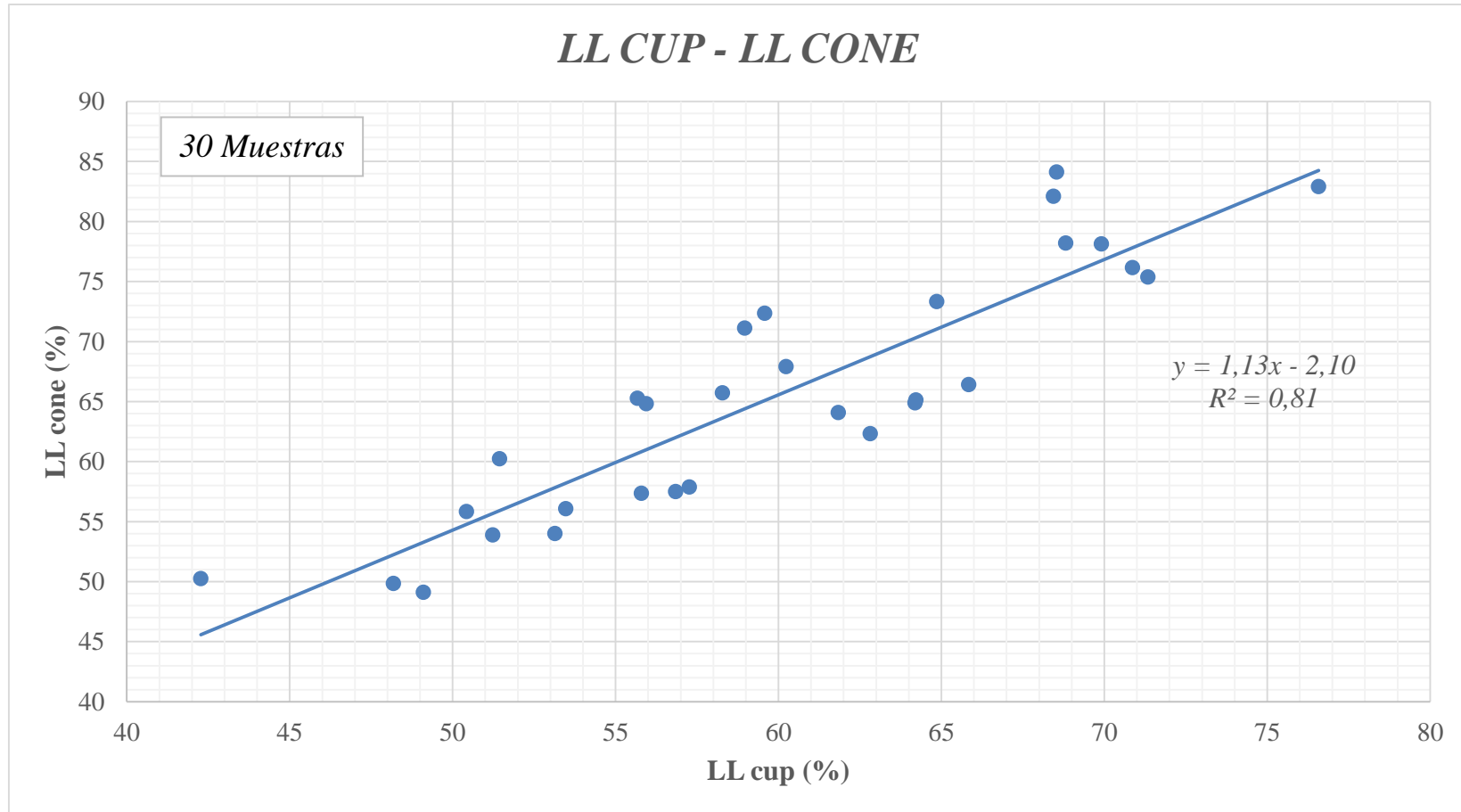
Lugar	N° Muestra	Gs
PINDO CHICO	1	2.6713
	2	2.6696
PALESTINA	3	2.6537
	4	2.6726
FÁTIMA	5	2.7021
	6	2.7193
SANTA MARTHA	7	2.6674
	8	2.6754
LAS AMÉRICAS	9	2.6742
	10	2.7067
EL OBRERO	11	2.6508
	12	2.6765
ELOY ALFARO	13	2.6751
	14	2.6687
PUYO CENTRO	15	2.6710
	16	2.6702
TARQUI	17	2.6763
	18	2.7196
SAN JACINTO	19	2.6827
	20	2.7160
LA LIBERTAD	21	2.7300
	22	2.6956
10 DE AGOSTO	23	2.6955
	24	2.6757
UNIÓN BASE	25	2.6511
	26	2.8890
SHELL	27	2.6805
	28	2.9026
VERACRUZ	29	2.6909
	30	2.7010

RANGOS DE Gs PARA VARIOS SUELOS	
Tipo de Suelo	Gs
Arena	2.63 - 2.67
Limos	2.65 - 2.7
Arcilla y arcilla limosa	2.67 - 2.9
Suelo orgánico	Menos de 2

*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

### 3.1.6. Correlaciones

Figura 70: Correlación entre LL cup y LL cone



Fuente: Lisbeth Pilatasig

Al realizar el diagrama de dispersión entre límite líquido con Copa de Casagrande ( $LL_{cup}$ ) y límite líquido con penetrómetro de cono ( $LL_{cone}$ ), se obtiene un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0.81$ , de ahí se obtiene que el coeficiente de correlación entre estas variables es de  $R = 0.89$ , por lo que se considera que el valor de correlación es bueno, según lo indicado en la tabla 18.

**Tabla 18: Escala de correlación**

Escala de correlación	
Perfecto	1
Excelente	$0.9 < R < 1$
Buena	$0.8 < R < 0.9$
Regular	$0.5 < R < 0.8$
Mala	$R < 0.5$

*Fuente: El coeficiente de correlación de los rangos de spearman caracterización [35].*

Como se observa en la figura 70, los valores de límite líquido con Copa de Casagrande están dentro del rango (42% - 77%) y los valores de límite líquido obtenido por penetrómetro de cono se encuentran en el rango (49% - 85%); con estas variables se obtuvo una ecuación lineal, lo que significa que la relación entre las variables es directa. Esta relación directa se debe a que en los ensayos de laboratorio realizados con ambos equipos se utilizaron muestras con las mismas características, es decir, que pasen el tamiz N° 40, y ambas variables se refieren al contenido de agua por debajo del cual el suelo tiene un comportamiento plástico y por encima del cual el suelo tiene un comportamiento fluido. Del gráfico de dispersión entre  $LL_{cup}$  y  $LL_{cone}$  se tiene una ecuación lineal  $LL_{cone} = 1.13(LL_{cup}) - 2.10$ , la cual nos permite encontrar un factor de conversión, que permitirá encontrar el valor de  $LL_{cup}$  conociendo el valor de  $LL_{cone}$ .



**Tabla 19: Factor de conversión LL cup – LL cone (rango de LLcup)**

LL cup	LL cone	Factor de conversión
40	43.0014	0.9302
45	48.6389	0.9252
50	54.2764	0.9212
55	59.9139	0.9180
60	65.5514	0.9153
65	71.1889	0.9131
70	76.8264	0.9111
75	82.4639	0.9095

*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

**Tabla 20: Factor de conversión LL cup – LL cone ( 30 muestras)**

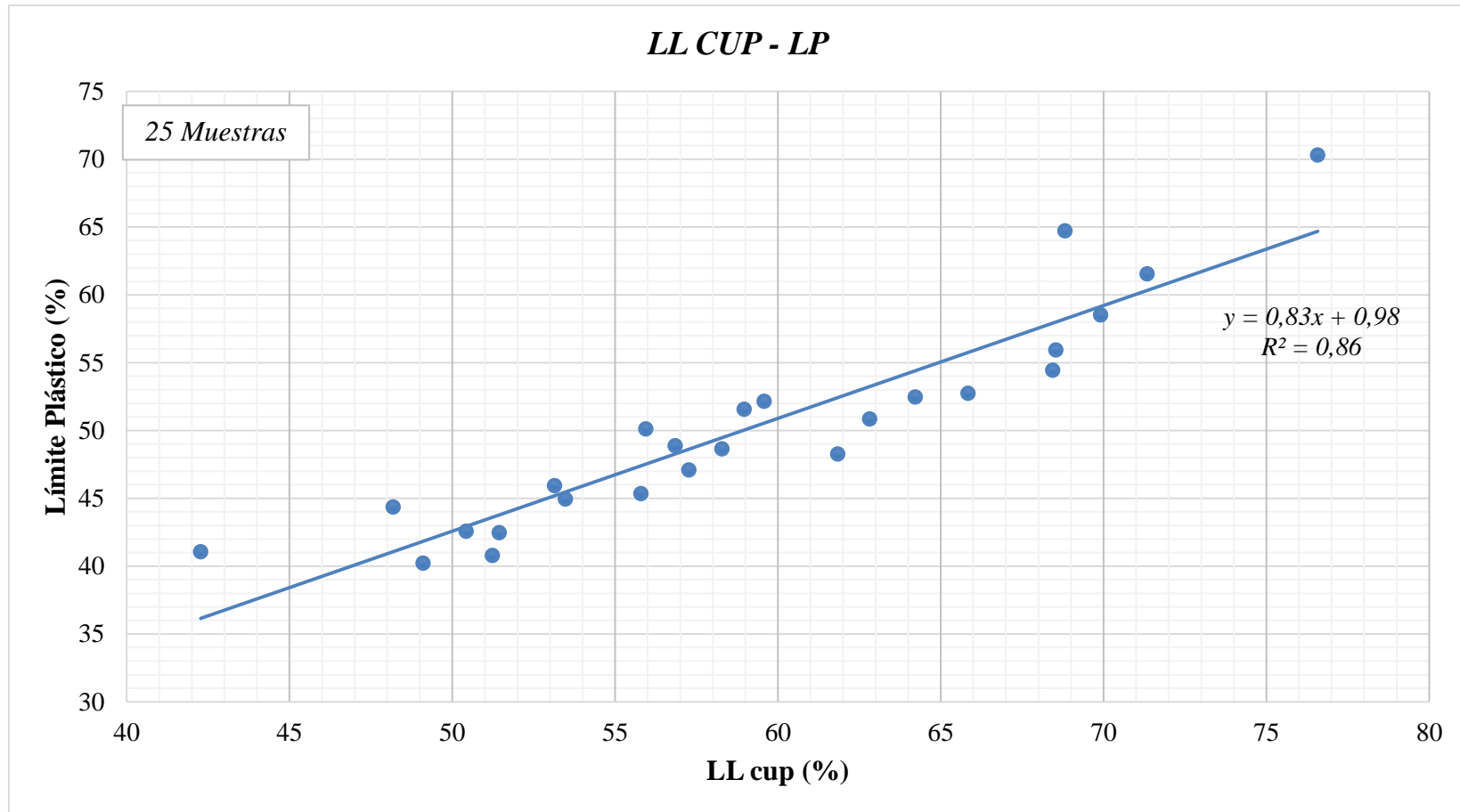
N°	LL cup	LL cone	Factor de conversión
1	50,44	55,84	0,9032
2	55,68	65,27	0,8531
3	48,19	49,85	0,9668
4	69,91	78,14	0,8947
5	60,24	67,90	0,8872
6	64,87	73,34	0,8845
7	65,85	66,42	0,9914
8	64,23	65,14	0,9860
9	55,94	64,82	0,8631
10	64,19	64,88	0,9894
11	42,28	50,25	0,8413
12	51,45	60,23	0,8542
13	70,87	76,16	0,9305
14	61,84	64,09	0,9649
15	55,80	57,36	0,9728
16	51,24	53,88	0,9509
17	68,44	82,11	0,8336
18	68,54	84,12	0,8148
19	58,29	65,72	0,8869
20	76,58	82,91	0,9236
21	68,82	78,19	0,8802
22	71,34	75,37	0,9466
23	58,97	71,13	0,8290
24	59,58	72,36	0,8234
25	49,11	49,12	0,9998
26	62,82	62,33	1,0079
27	56,85	57,50	0,9887
28	53,14	54,00	0,9841
29	57,27	57,88	0,9895
30	53,48	56,08	0,9536

*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

Los factores de conversión se obtuvieron de dos formas diferentes, la primera tomando en cuenta el rango de límites líquidos que se obtuvo con la copa de Casagrande y los valores de límite líquido para penetrómetro de cono se calculó con la ecuación dada en el diagrama de dispersión; con la relación  $LL_{cup}/LL_{cono}$  se obtiene el límite de conversión parcial y con el promedio de estos datos se determina el coeficiente de conversión que dio como resultado 0.9179; en la segunda forma se tomaron en cuenta los valores de límite líquido obtenidos por ambos métodos en ensayos de laboratorio de las 30 muestras, aplicando la misma relación se determinó un factor de conversión de 0.9199.

Como se puede observar en las tablas 19 y 20 los factores de conversión obtenidos son muy similares por lo que se puede utilizar cualquier factor para obtener el límite líquido por Copa de Casagrande teniendo el límite líquido por penetrómetro de cono. Pese a que los equipos utilizados en ambos ensayos tienen características diferentes se logró el objetivo de este trabajo que es encontrar valores similares para límite líquido entre los dos métodos; se pudo apreciar que el ensayo con penetrómetro de cono es más fácil y rápido que el método de Copa de Casagrande, además que es aplicable tanto para suelos finos como granulares. Con el método de Casagrande algunos suelos granulares presentan dificultad para la realización del ensayo u obtención del límite líquido.

*Figura 71: Correlación entre LL cup - LP*

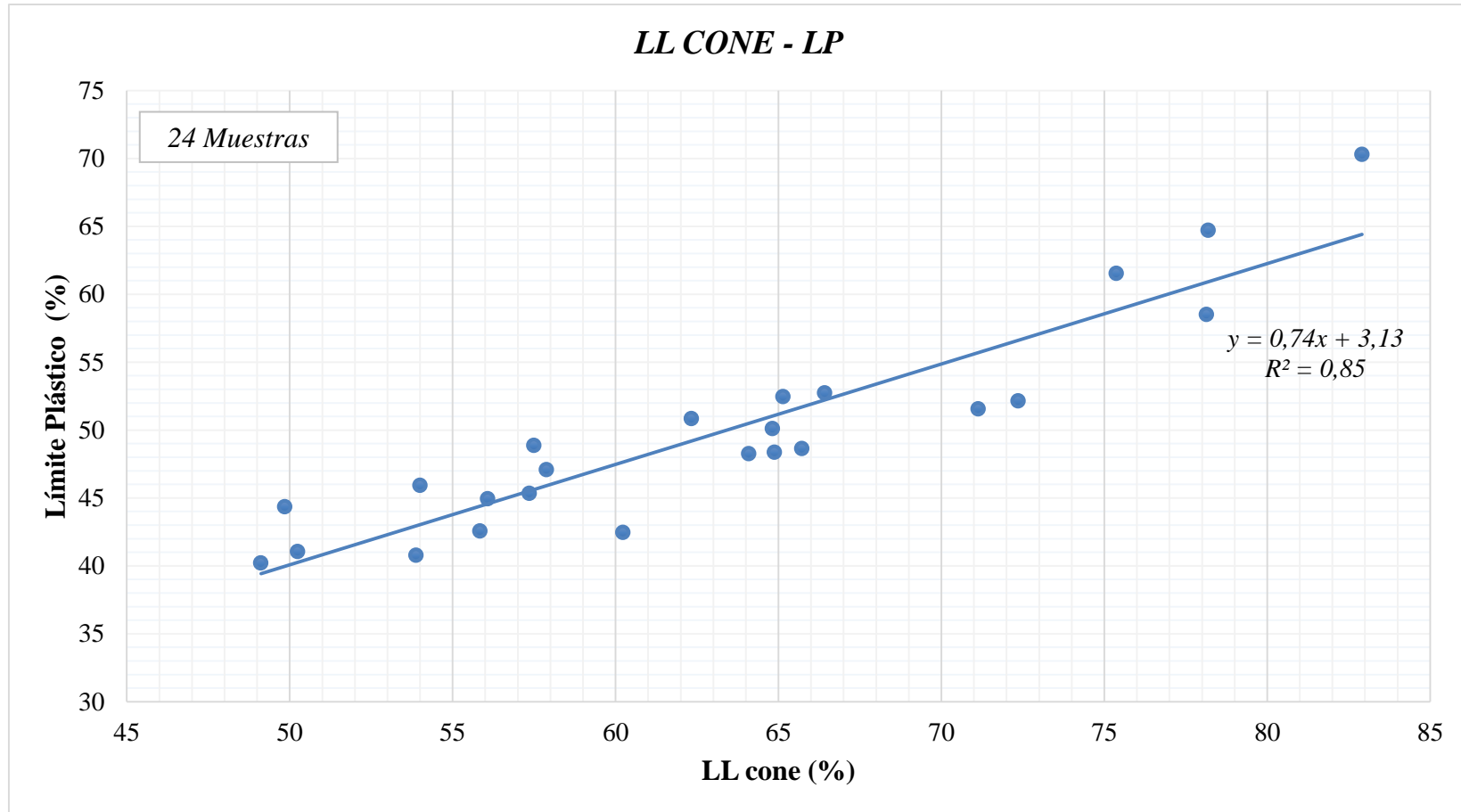


*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

En la correlación entre límite líquido con copa de Casagrande ( $LL_{cup}$ ) y el límite plástico ( $LP$ ), para mejorar el coeficiente de correlación se eliminó 5 muestras cuyos valores están muy dispersos con respecto al resto de muestras; estas muestras corresponden a las muestras número: 2, 5, 6, 10 y 13, con el gráfico de dispersión de estas 25 muestras se obtuvo un coeficiente de correlación de  $R^2 = 0.86$ , por lo que según la tabla 18, esta relación entre las dos variables analizadas tiene un valor de correlación excelente.

De lo mostrado en la figura 71, se obtiene una ecuación lineal  $LP = 0.83(LL_{cup}) + 0.98$ , y se observa que los valores de límite líquido obtenidos por Copa de Casagrande están en un rango de (42% - 77%), mientras que los valores de límite plástico tienen un rango de (40% - 71%); de la ecuación se deduce que la relación entre las variables es directamente proporcional, es decir, si un suelo necesita más porcentaje de humedad para pasar de un estado plástico a un estado líquido, también necesitará mayor porcentaje de humedad para pasar de un estado semisólido a un estado plástico; la relación entre las variables es directa debido a que estas propiedades son muy útiles en la identificación y clasificación de los suelos así que es importante tener resultados confiables y al presentar un alto coeficiente de correlación se logrará el objetivo.

Figura 72: Correlación entre LL cone - LP

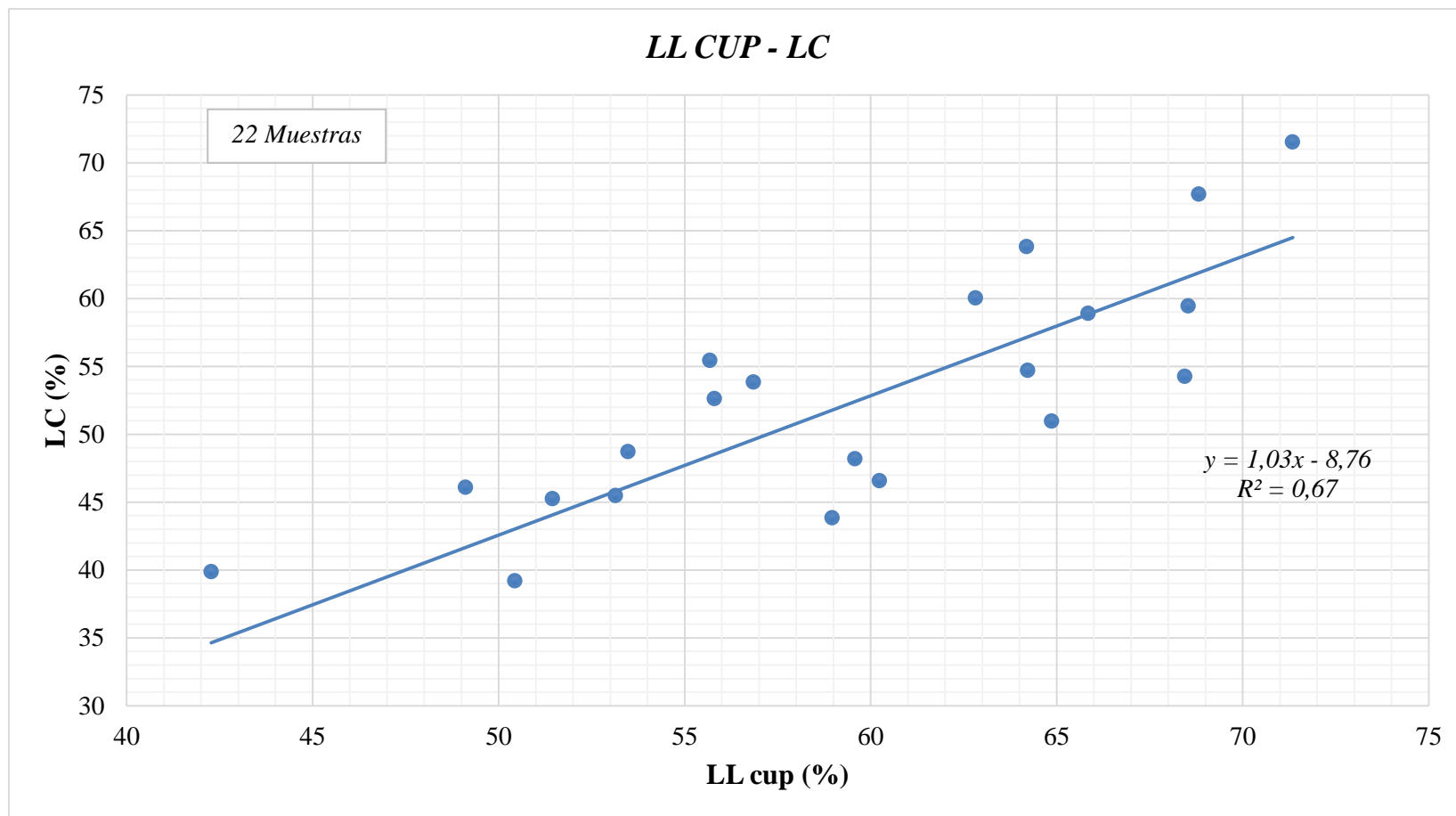


Fuente: Lisbeth Pilatasig

Para la correlación entre límite líquido que se obtuvo con el penetrómetro de cono (*LLcone*) y el límite plástico (*LP*), se descartó 6 de las 30 muestras para que la línea de tendencia se ajuste mejor y el coeficiente de correlación sea mayor, estas muestras son las número (2, 5, 6, 13, 17, y 18); del diagrama de dispersión se obtiene como coeficiente de correlación  $R^2 = 0.85$ , lo que se puede tomar como un valor excelente de correlación.

Del gráfico de dispersión se obtiene una ecuación lineal  $LP = 0.74(LLcone) + 3.13$ , lo que muestra una relación directa entre las variables, debido a que ambas propiedades son necesarias para la clasificación del suelo y para el ensayo de laboratorio se utiliza suelos que pasen el tamiz N° 40 en ambas propiedades. En el gráfico se observa que si los los valores de límite líquido aumentan, los valores de límite plástico también aumentan en el rango de (49% - 83%) que corresponde a *LLcone*.

Figura 73: Correlación entre LL cup – LC



Fuente: Lisbeth Pilatasig

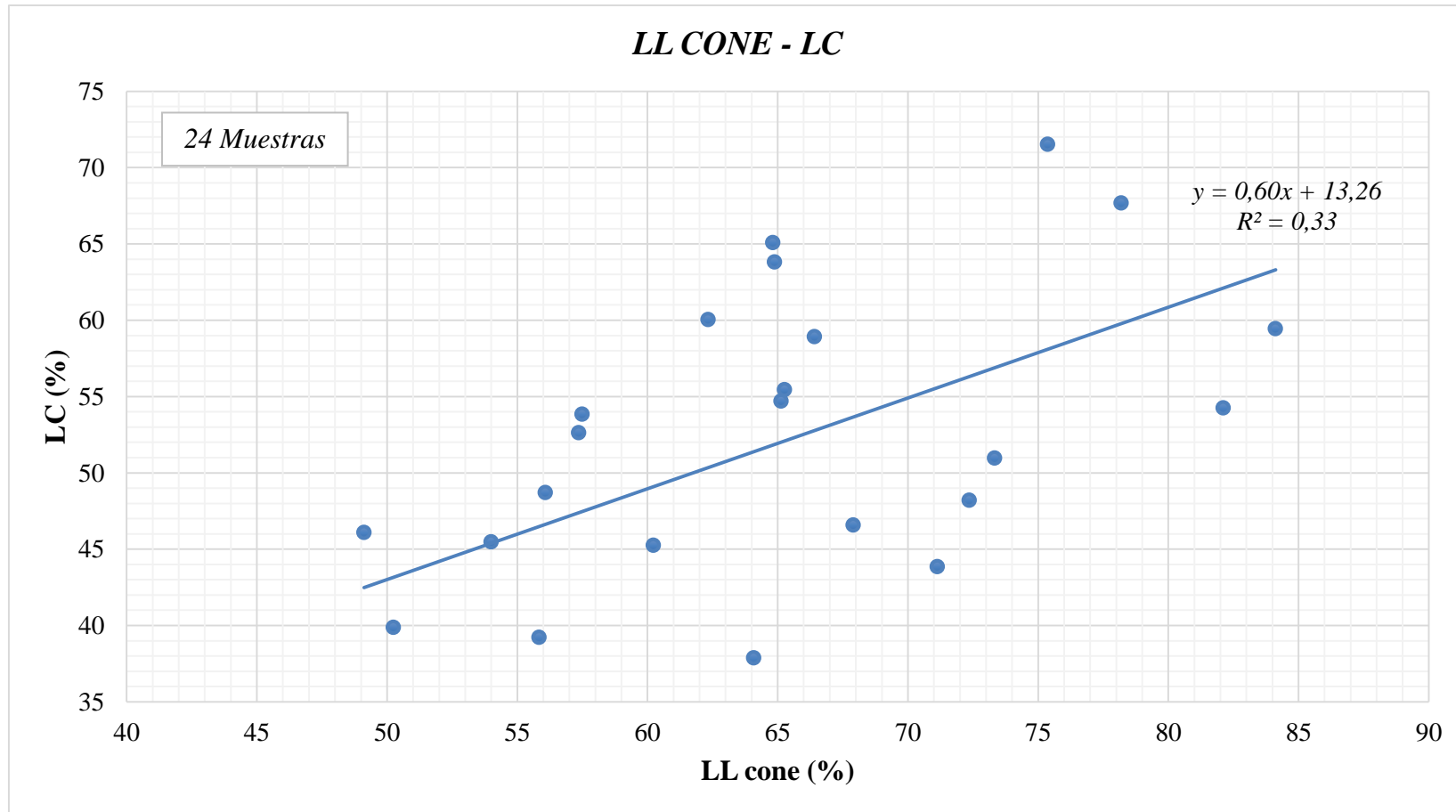
Al realizar la correlación entre límite líquido de Copa de Casagrande ( $LL_{cup}$ ) y el límite de contracción ( $LC$ ), 8 muestras que corresponden a los números 4, 9, 13, 14, 16, 19, 20 y 29 fueron descartadas con el fin de obtener un mejor coeficiente de correlación, dando como resultado un valor de  $R^2 = 0.67$  lo que se considera como una correlación regular.

De lo observado en la figura 73, se obtiene una ecuación lineal  $LC = 1.03(LL_{cup}) - 8.76$ , lo que indica que se tiene una relación directa entre las variables, en el gráfico de dispersión se observa que en el rango (42% - 72%) que corresponde a  $LL_{cup}$ , mientras aumenta el valor de límite líquido también aumentan los valores de límite de contracción que están dentro del rango (39% - 72%), es decir que sí un suelo necesita mayor contenido de humedad para pasar de un estado plástico a un estado semilíquido, también se necesitará mayor contenido de humedad para pasar de un estado sólido a semisólido.

De lo mencionado anteriormente se deduce que un suelo con mayor límite líquido presentará mayor límite de contracción ya que mientras mayor  $LL$  tenga el suelo más plástico se considera y por tanto su capacidad de contracción es mayor, por lo que se considera que las variables son directamente proporcionales.



Figura 74: Correlación entre LL cone – LC

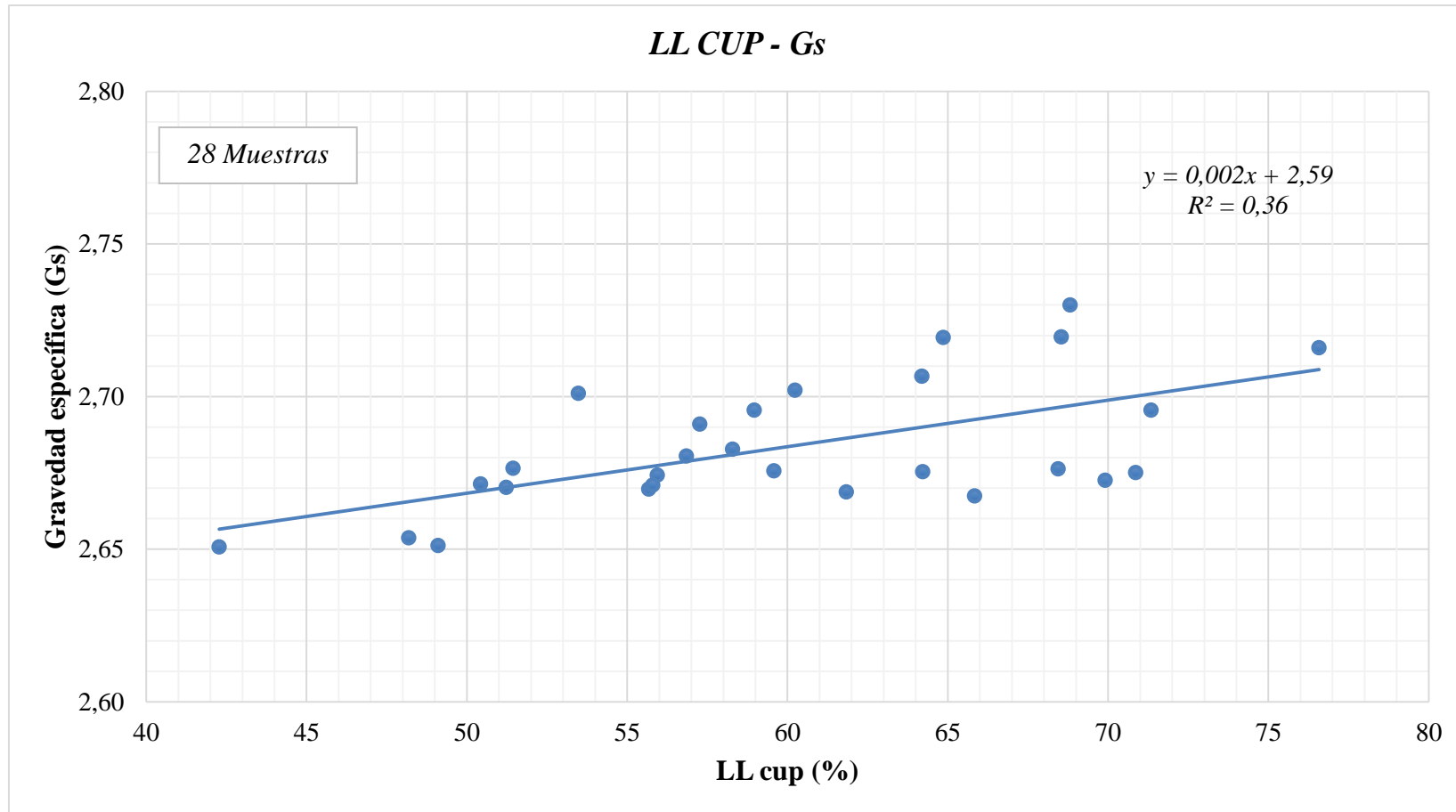


Fuente: Lisbeth Pilatasig

Para correlacionar los valores de límite líquido con penetrómetro de cono (*LL cone*) vs límite de contracción (*LC*), no se tomó en cuenta 6 muestras ( 4, 13, 16, 19, 20 y 29). Al graficar las 24 muestras restantes el gráfico de dispersión da un valor de coeficiente de determinación  $R^2 = 0.33$ , lo que se considera como una correlación regular.

La ecuación que se obtiene del diagrama de dispersión es  $LC = 0.60(LL_{cone}) + 13.26$ , por lo que se tiene una relación lineal directa, eso se debe a que las características de los suelos utilizados en ambas propiedades es la misma, es decir, que se utilizaron para estos ensayos partículas de suelo que pasan el tamiz N° 40, por lo que a medida que el límite líquido del suelo aumenta el límite de contracción aumenta proporcionalmente.

Figura 75: Correlación entre LL cup – Gs

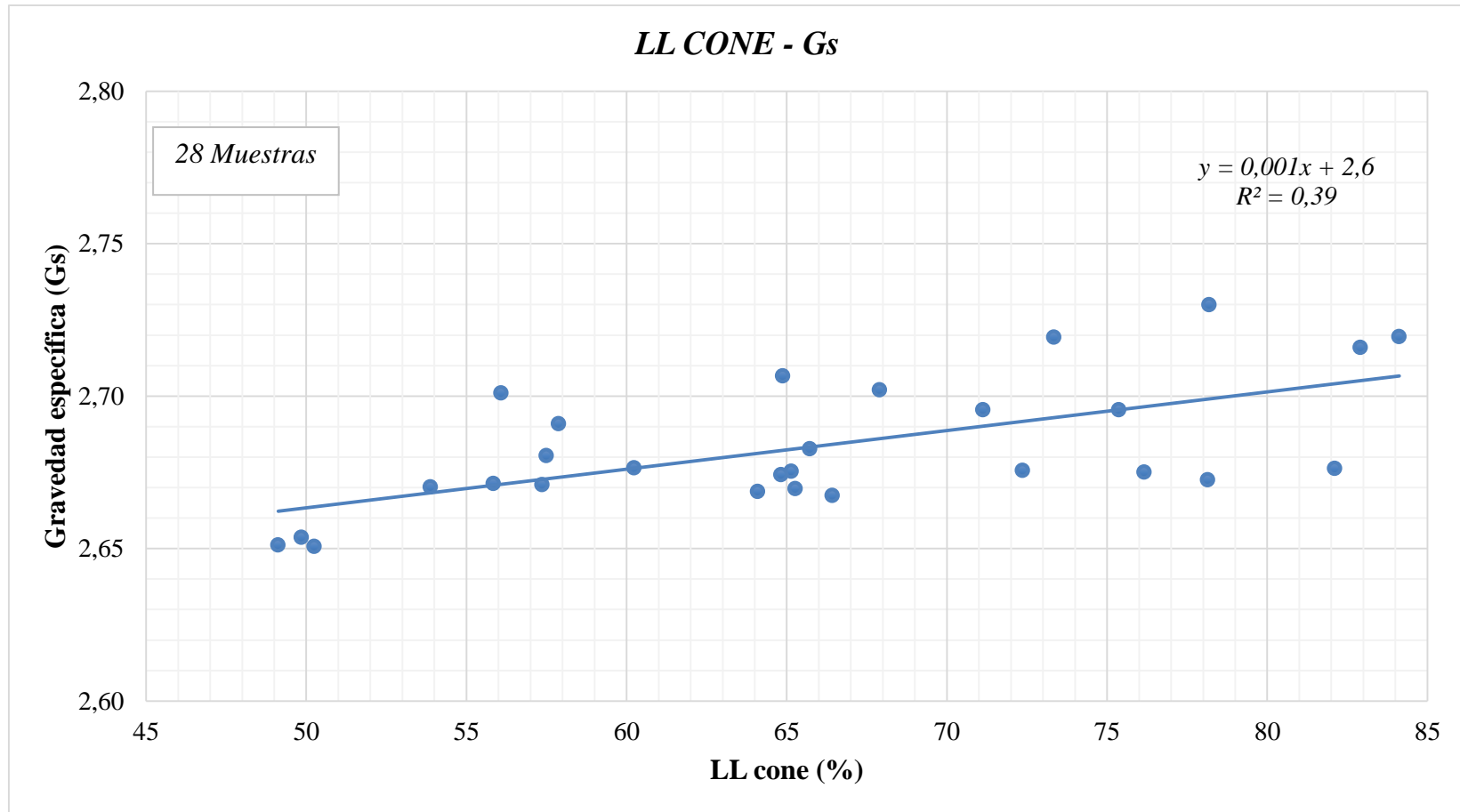


Fuente: Lisbeth Pilatasig

La relación entre las variables de límite líquido de copa de Casagrande ( $LL_{cup}$ ) y la gravedad específica ( $G_s$ ), dio como resultado una correlación de  $R^2 = 0.36$ , tras descartar 2 de las 30 muestras (26 y 28), lo que se considera como una correlación regular.

De lo mostrado en la figura 75, la ecuación que se obtiene del diagrama de dispersión es  $G_s = 0.002(LL_{cup}) + 2.59$ , por lo que se considera que la relación entre las variables es directa; esto se debe a que mientras mayor sea el porcentaje de límite líquido en un suelo más presencia de partículas finas va tener, lo que significa que la gravedad específica del suelo también va a aumentar.

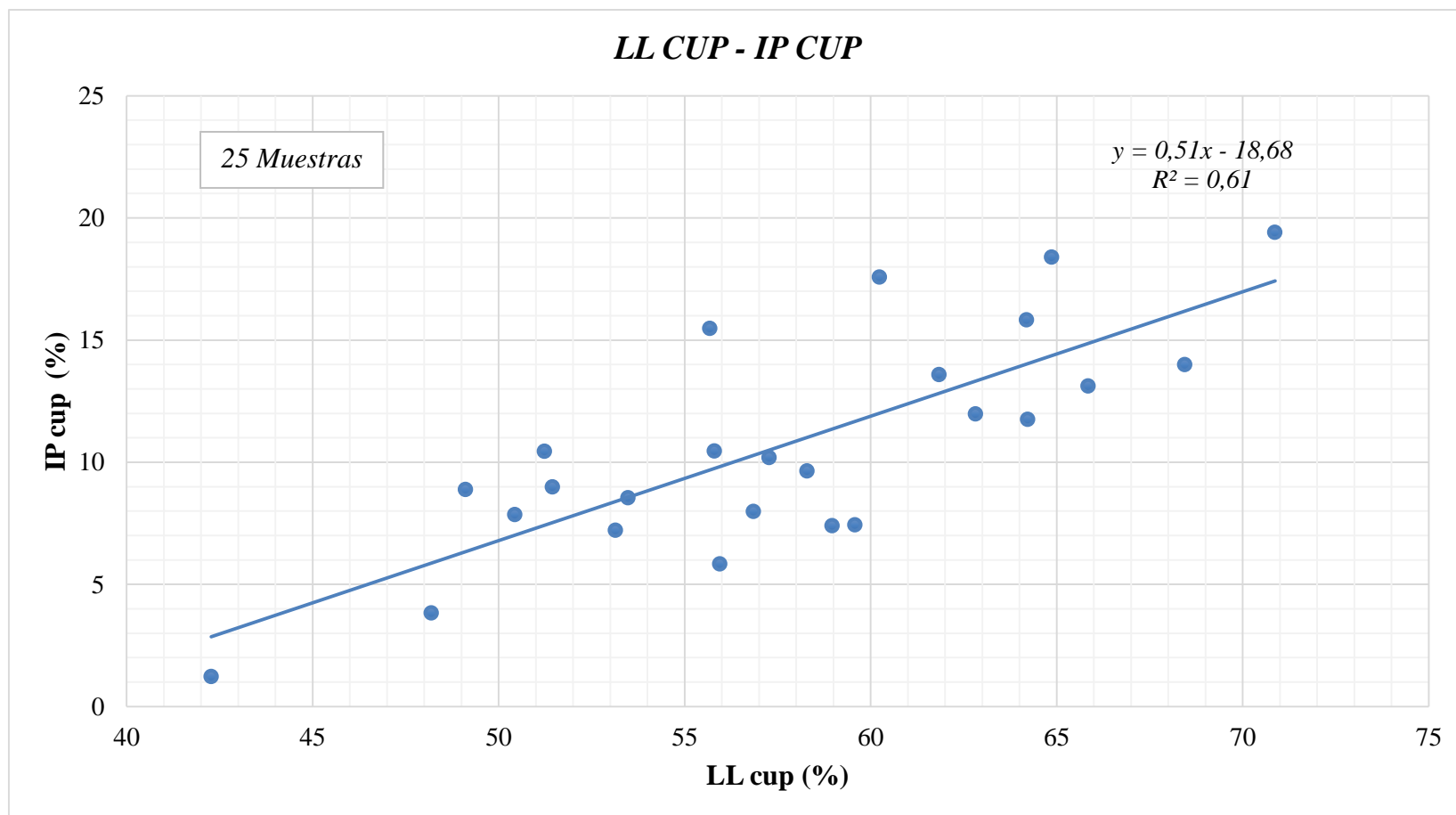
Figura 76: Correlación entre LL cone – Gs



Fuente: Lisbeth Pilatasig

La relación entre las variables de límite líquido con penetrómetro de cono (*LL cone*) y la gravedad específica (*Gs*), dio como resultado una correlación de  $R^2 = 0.39$ , tras eliminar 2 muestras (26 y 28), lo que se considera como una correlación regular, del gráfico de dispersión mostrado en la figura 76, la ecuación que se obtiene es  $Gs=0.001(LL\ cone)+2.6$ , lo que significa que las variables tiene relación entre sí; ambas variables son útiles en la clasificación de los suelos, y se utiliza suelos con partículas finas en ambos ensayos, por lo que a mayor límite líquido también se tendrá mayor valor en la gravedad específica.

*Figura 77: Correlación entre LL cup – IP cup*



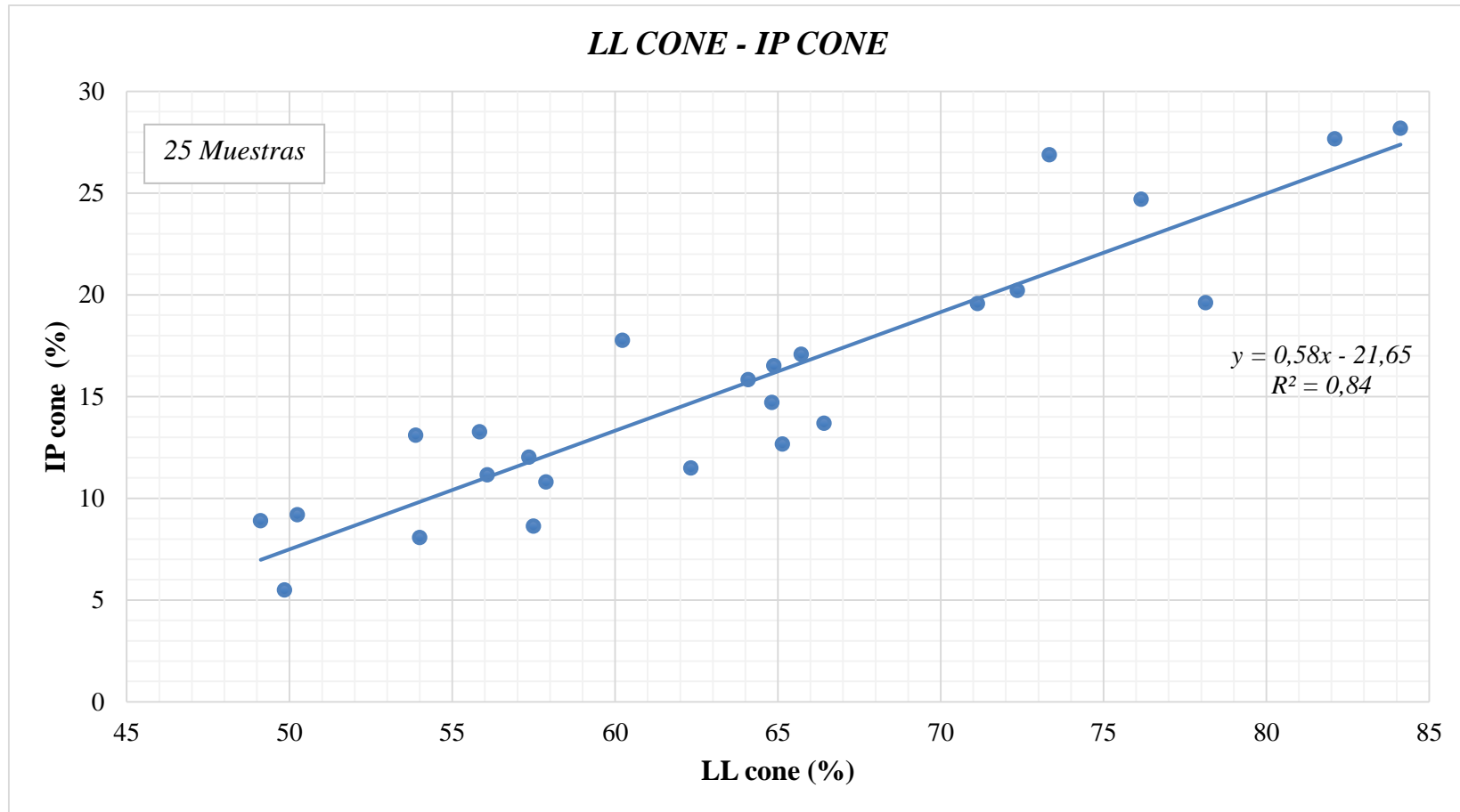
*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

Para la correlación entre límite líquido con Copa de Casagrande vs índice de plasticidad, se descartó 5 muestras (4, 18, 20, 21, 22), con el gráfico de dispersión (LL cup - IP cup) de las 25 muestras restantes, se obtiene un valor de correlación de  $R^2 = 0.61$  lo que se considera como una correlación regular. Al observar el diagrama de dispersión se obtiene la ecuación  $IP\ cup = 0.51(LL\ cup) - 18.68$ , lo que muestra una relación directa entre las variables, esto se debe a que el IP es una propiedad que se deriva directamente de la diferencia entre límite líquido y límite plástico del suelo.

Mientras mayor sea el límite líquido mayor será la diferencia con el límite plástico por tanto el índice plástico, eso hace que a medida que el límite líquido aumenta la plasticidad del suelo aumenta proporcionalmente.



Figura 78: Correlación entre LL cone – IP cone



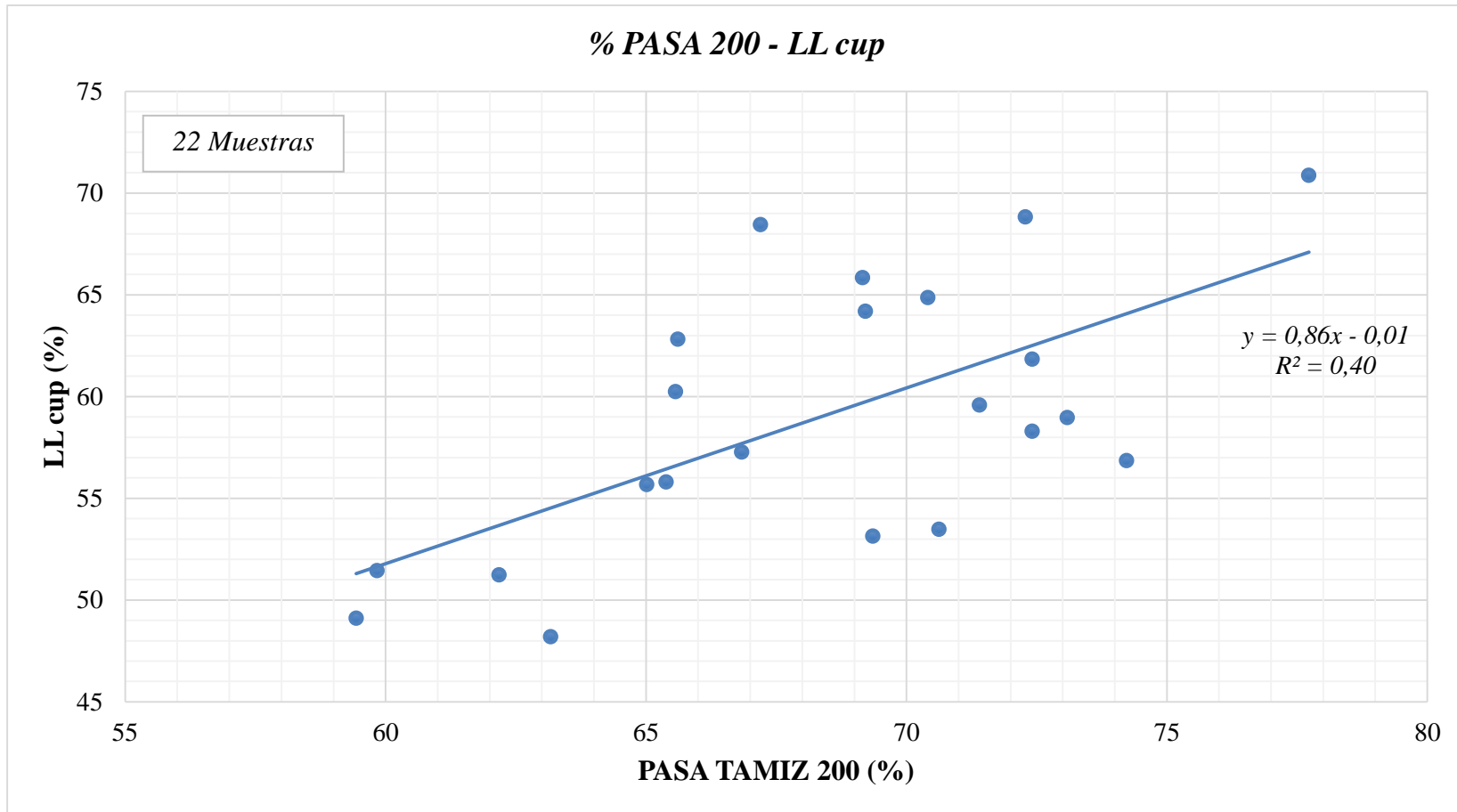
Fuente: Lisbeth Pilatasig

Para el gráfico de dispersión entre límite líquido con penetrómetro de cono (*LL cone*) vs índice de plasticidad (*IP cone*), no se tomó en cuenta 5 muestras (2, 5, 20, 21 y 22), para obtener un mejor valor de correlación, así se obtiene un coeficiente de correlación de  $R^2 = 0.84$ , lo que se considera como una correlación excelente.

En la figura 78 se muestra la ecuación lineal que se obtiene al correlacionar las variables  $IP\ cone = 0.58(LL\ cone) - 21.65$ , por lo que se tiene una relación directa, lo que significa que conforme aumenta el límite líquido el índice de plasticidad también aumenta, esto se debe a que mientras mayor sea la diferencia entre límite líquido y límite plástico mayor será el índice de plasticidad y por tanto mayor será la plasticidad del suelo, así mismo, conforme aumenta el índice de plasticidad la compresibilidad del suelo aumenta proporcionalmente; por tanto el límite líquido y el índice de plasticidad son fundamentales para diferenciar los limos de las arcillas.

Además de las correlaciones entre límite líquido obtenido por ambos métodos señalados con las propiedades índice del suelo, también se va a analizar las correlaciones entre el porcentaje de finos, es decir el porcentaje de suelo que pasa la malla N° 200 con las propiedades índice que se obtuvieron en los ensayos de laboratorio.

**Figura 79: Correlación entre % Pasa 200 – LL cup**

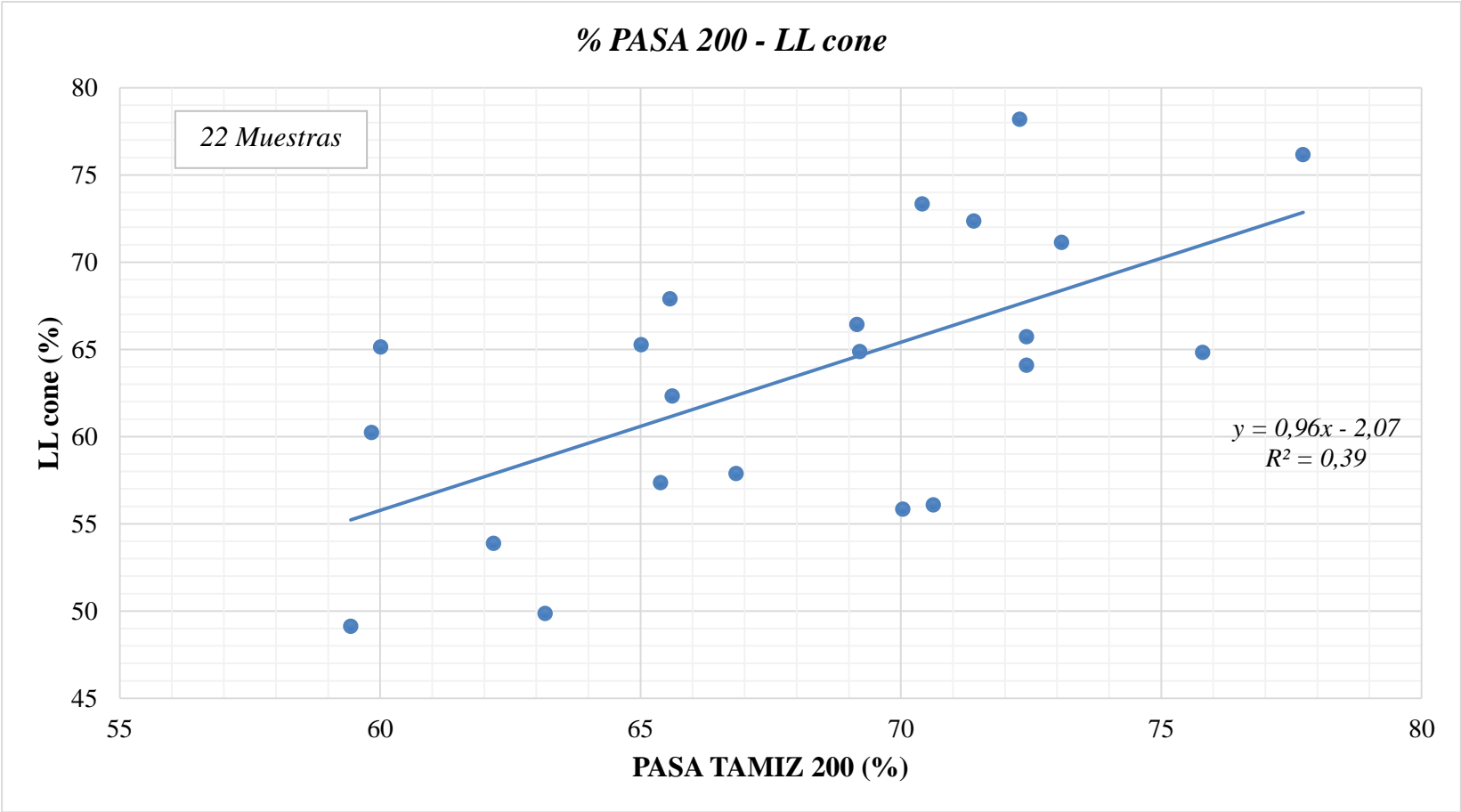


*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

Para obtener el coeficiente de correlación entre el porcentaje de suelo fino vs el límite líquido obtenido por Copa de Casagrande, se descartó 8 muestras que corresponden a los números 1, 4, 8, 9, 11, 18, 20 y 22, esto se hace con el fin de obtener un mejor valor de correlación, dando así como resultado un valor de correlación de  $R^2 = 0.40$ , lo que se considera como una mala correlación.

La ecuación que se obtiene del diagrama de dispersión es  $LL_{cup} = 0.86(\%PASA\ 200) - 0.01$ , de ahí se deduce que la correlación entre las variables es directa pero con bajo grado de relación entre las variables, esto se debe a que para el ensayo de límite líquido se utiliza suelos que pasan el tamiz N° 40, que son suelos con partículas más gruesas que las establecidas en el porcentaje de suelos finos. De lo observado en el diagrama de dispersión se deduce que mientras más presencia de partículas finas presente un suelo más plasticidad va a tener por tanto el límite líquido aumenta a medida que el porcentaje de finos aumenta.

Figura 80: Correlación entre % Pasa 200 – LL cone

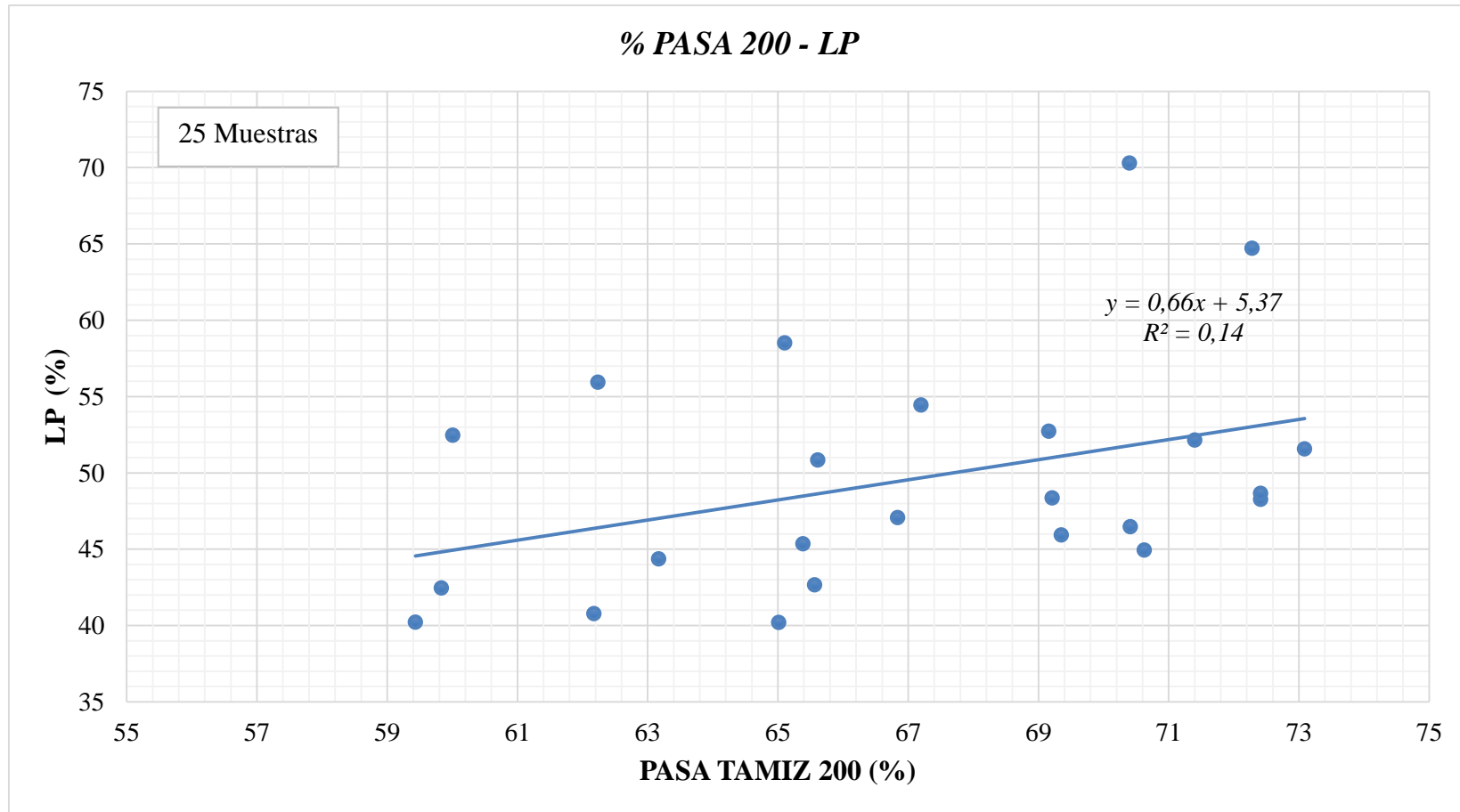


Fuente: Lisbeth Pilatasig

Para obtener el coeficiente de correlación entre el porcentaje de suelo fino vs el límite líquido obtenido por Penetrómetro de Cono, se descartó 8 muestras que corresponden a los números 4, 11, 17, 18, 20, 22, 27 y 28, esto se hace con el fin de obtener un mejor valor de correlación, dando así como resultado un valor de correlación de  $R^2 = 0.39$ , lo que se considera como una correlación regular.

La ecuación que se obtiene del diagrama de dispersión es  $LL_{cone} = 0.96(\%PASA200) - 2.07$ , lo que indica que la relación entre ambas variables es directa pero el coeficiente de correlación no es el óptimo debido a que para el ensayo de límite líquido se utiliza suelos que pasan el tamiz N° 40, que son suelos con partículas más gruesas que las establecidas en el porcentaje de finos.

**Figura 81: Correlación entre % Pasa 200 – LP**



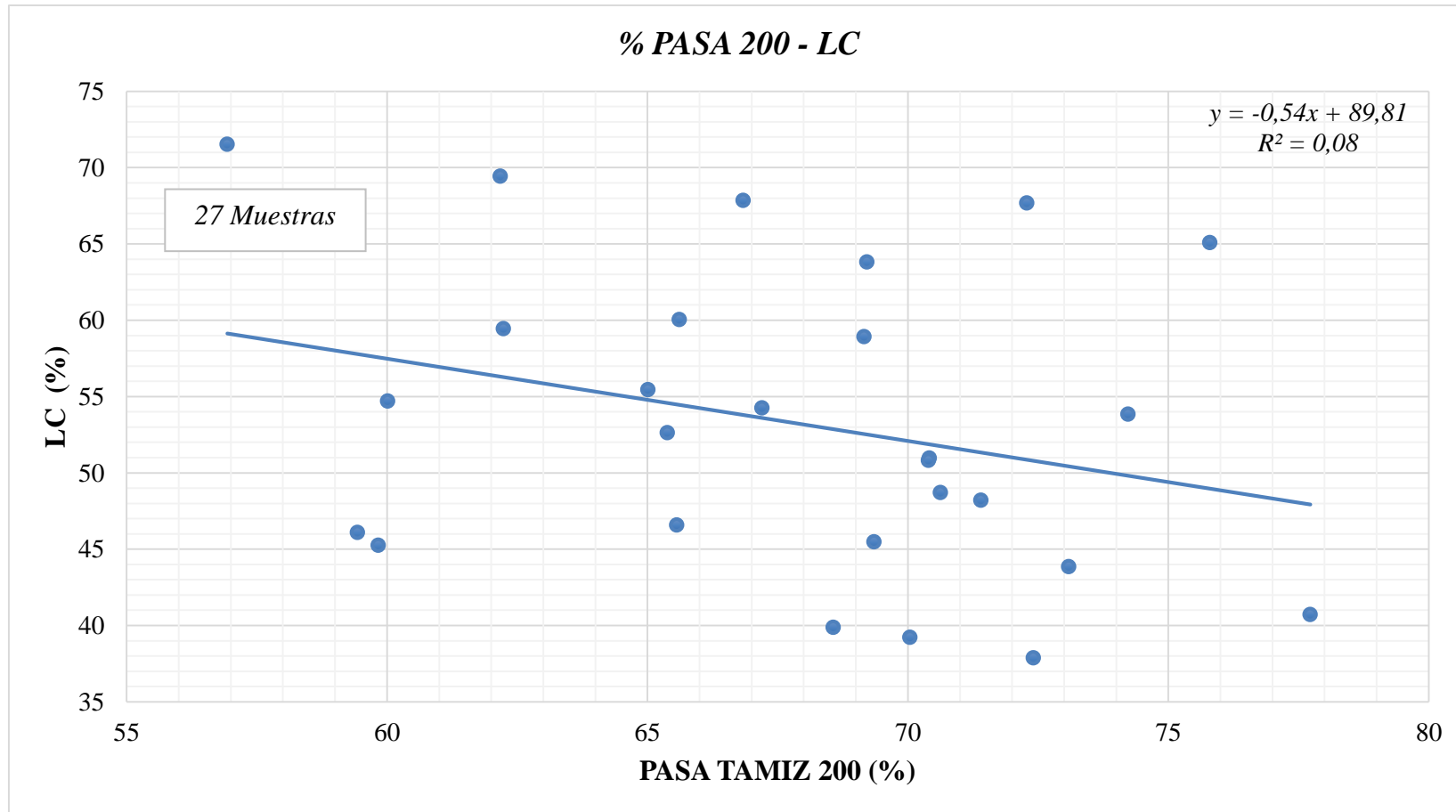
*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

Al correlacionar las variables correspondientes al porcentaje de suelo fino vs el límite plástico de cada muestra, se descartó 5 muestras que corresponden a los números 1, 9, 13, 22 y 27, para obtener un mejor valor de correlación, teniendo así, que al graficar las 25 muestras restantes da como resultado un valor de correlación de  $R^2 = 0.14$ , lo que se considera como una mala correlación, esto se debe a que los datos analizados en el diagrama de dispersión están dispersos ya que para obtener el límite plástico se utiliza la fracción del suelo que pasa el tamiz N° 40, es decir suelos más gruesos que los que pertenecen al porcentaje de finos.

La ecuación que se obtiene del diagrama de dispersión es  $LP = 0.66(\%PASA\ 200) + 5.37$ , de ahí que la relación entre variables es directa, por lo que conforme aumenta el porcentaje de partículas finas en un suelo también aumenta el límite plástico.



*Figura 82: Correlación entre % Pasa 200 – LC*

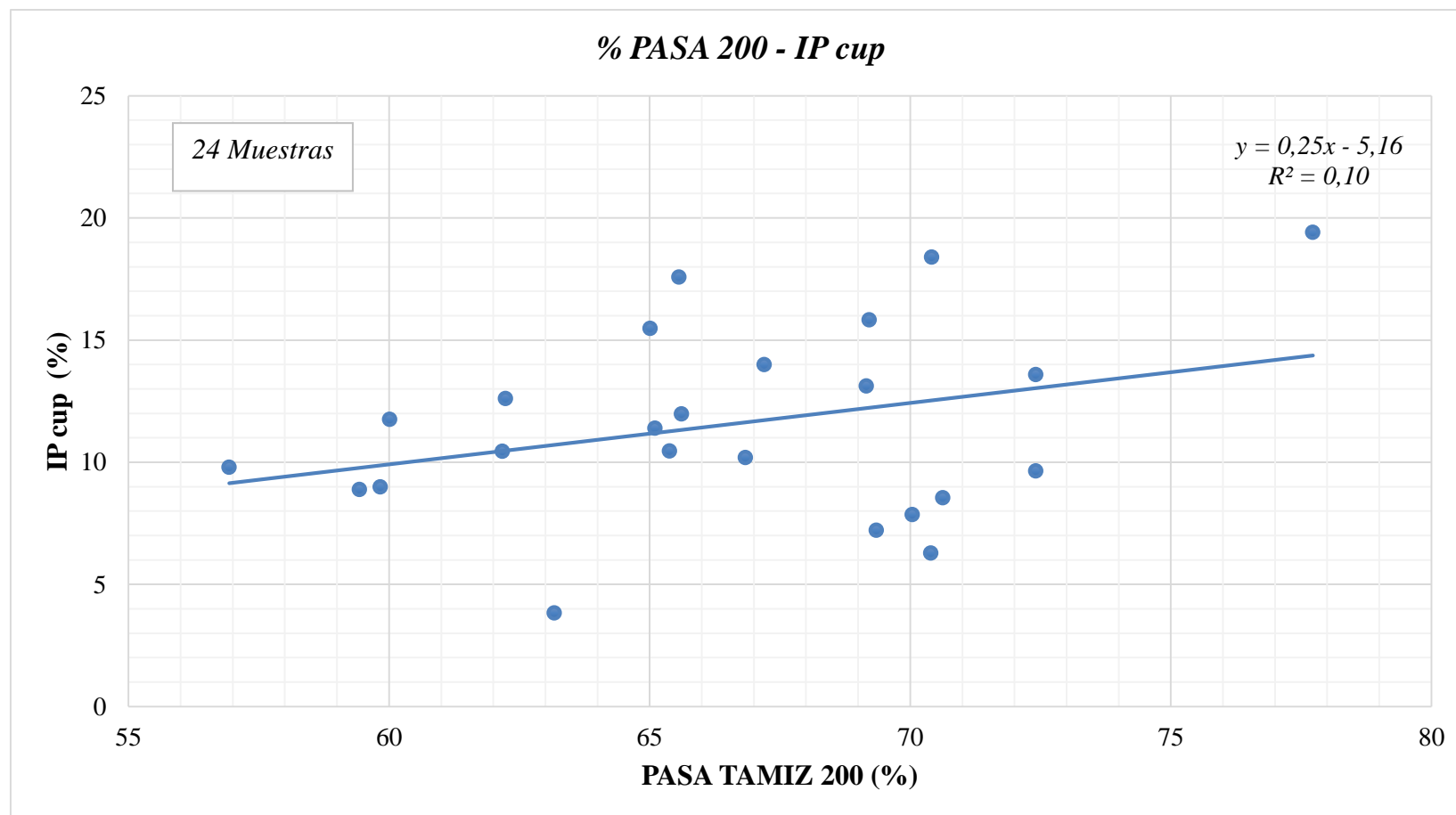


*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

Al correlacionar las variables correspondientes al porcentaje de suelo fino vs el límite de contracción de cada muestra, se descartó 3 muestras que corresponden a los números 3, 4 y 19, para obtener un mejor valor de correlación, teniendo así que al graficar las 27 muestras restantes da como resultado un valor de correlación de  $R^2 = 0.08$ , lo que se considera como una mala correlación. La mala correlación se debe a que el tamaño de las partículas de suelo utilizadas en el ensayo de límite de contracción es mayor al tamaño de partículas que pertenecen al porcentaje de finos que son suelos que pasan el tamiz 200.

Con el gráfico de dispersión la ecuación que se obtiene es  $LC = -0.54 (\%PASA\ 200) + 89.81$ . Conforme la presencia de partículas finas aumenta la plasticidad del suelo también aumenta y por tanto su límite de contracción también aumenta, a medida que el límite de contracción aumenta se produce más asentamientos en suelos compresibles.

**Figura 83: Correlación entre % Pasa 200 – IP cup**

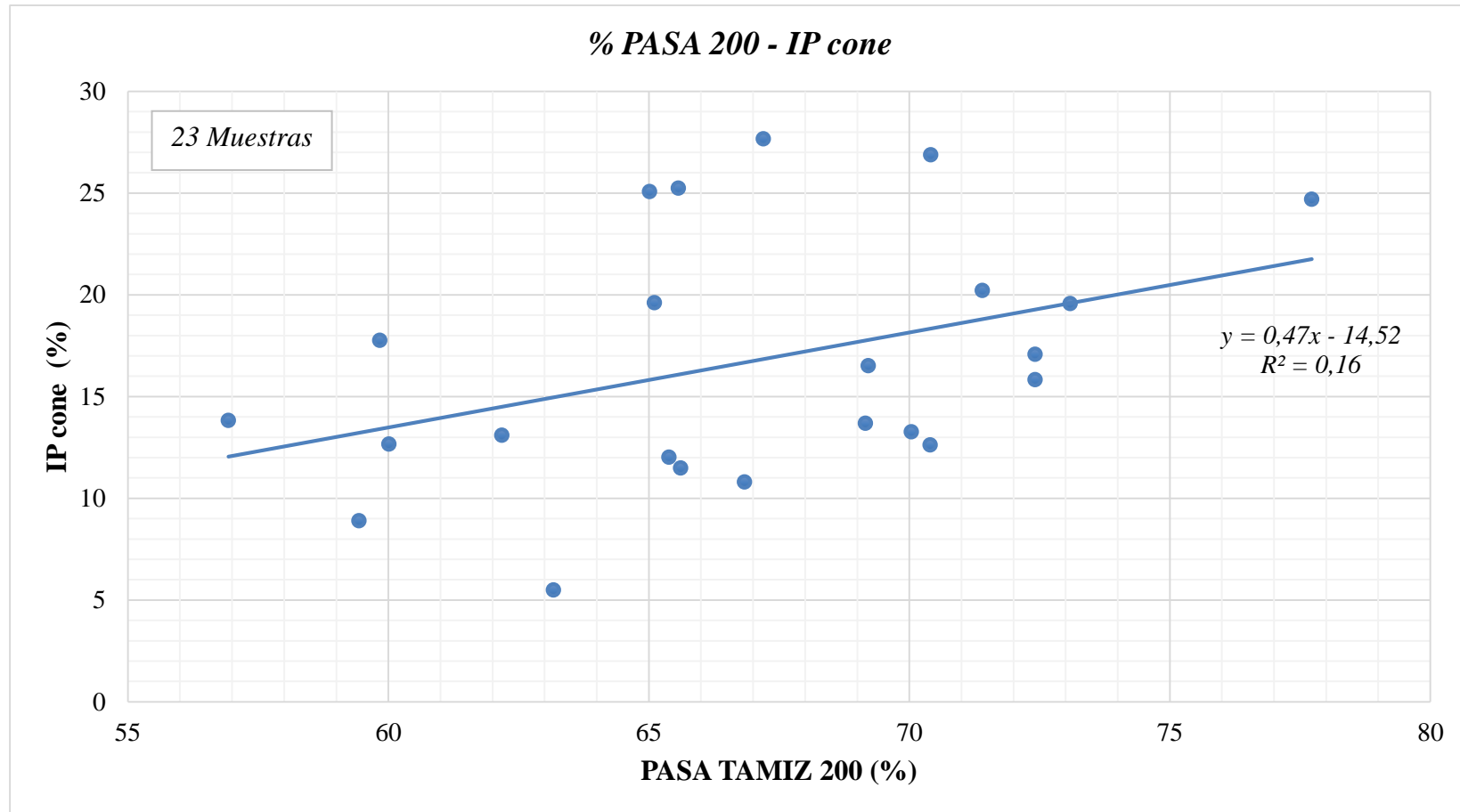


*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

En la correlación de las variables correspondientes al porcentaje de suelo fino vs el índice de plasticidad obtenido del límite líquido obtenido por Copa de Casagrande , se descartó 6 muestras (9, 11, 21, 23, 24 y 27), para obtener un mejor valor de correlación, teniendo así que al graficar las 24 muestras restantes da como resultado un valor de correlación de  $R^2 = 0.10$ , lo que se considera como una mala correlación, esto es debido a que el índice de plasticidad es la diferencia entre límite líquido y límite plástico del suelo los cuales se obtienen a partir de ensayos de laboratorio con partículas de suelo que pasan el tamiz N° 40 lo que significan tamaños de partículas mayores a las pertenecientes al grupo de porcentaje de finos. La ecuación que se obtiene del diagrama de dispersión es  $IP_{cup} = 0.25(\%PASA\ 200) - 5.16$ , de lo que se deduce que las variables tienen relación entre sí.

Como el índice de plasticidad es importante en la clasificación de suelos, a medida que este aumenta significa que mayor plasticidad tiene el suelo y esto a su vez se debe a la cantidad de partículas finas que contiene un suelo, siendo así, que mientras más porcentaje de finos tiene un suelo mayor va a ser su índice de plasticidad.

**Figura 84: Correlación entre % Pasa 200 – IP cone**

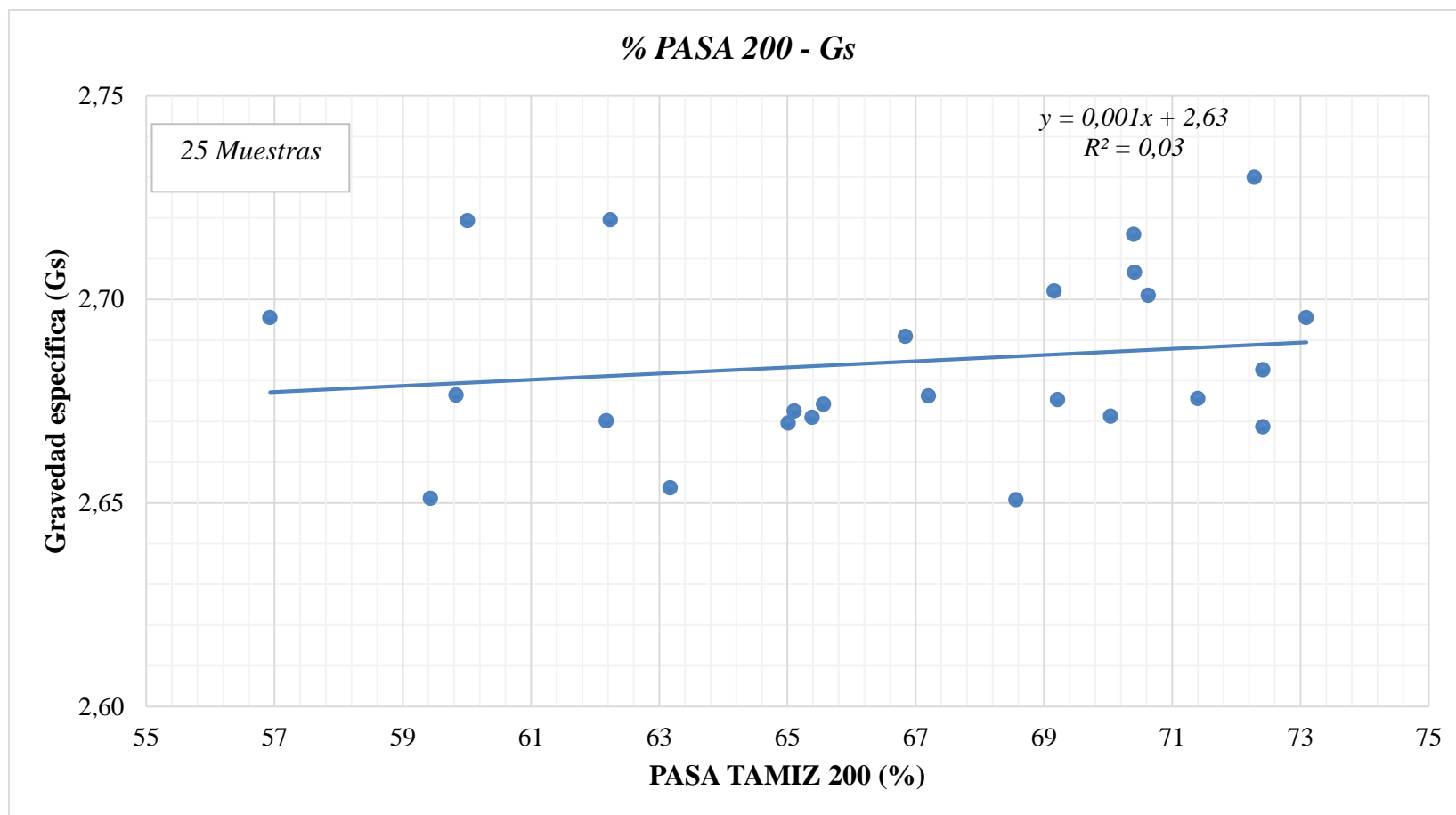


*Fuente: Lisbeth Pilatasig*

En la correlación de las variables correspondientes al porcentaje de suelo fino vs el índice de plasticidad obtenido del límite líquido obtenido por penetrómetro de cono, se descartó 7 muestras (9, 11, 18, 21, 27, 28 y 30), para obtener un mejor valor de correlación, teniendo así que al graficar las 23 muestras restantes da como resultado un valor de correlación de  $R^2 = 0.16$ , lo que se considera como una mala correlación, la ecuación que se obtiene del diagrama de dispersión es  $IP_{cone} = 0.47(\%PASA\ 200) - 14.52$ , lo que significa que las variables tienen una relación directa.

Según el diagrama de dispersión a medida que el porcentaje de finos aumenta el índice de plasticidad aumenta, de ahí se deduce que mientras más porcentaje de finos tenga un suelo más plástico se va a comportar.

Figura 85: Correlación entre % Pasa 200 – Gs



Fuente: Lisbeth Pilatasig

En la correlación de las variables correspondientes al porcentaje de suelo fino vs la gravedad específica de cada muestra, se descartó 5 muestras (9, 13, 26, 27 y 28), para obtener un mejor valor de correlación, teniendo así, que al graficar las 25 muestras restantes da como resultado un valor de correlación de  $R^2 = 0.03$ , lo que se considera como una mala correlación, debido a que los datos presentados en el diagrama están dispersos y las muestras usadas en los ensayos tienen partículas de diferentes tamaños. La ecuación que se obtiene del diagrama de dispersión es  $G_s = 0.001(\%PASA\ 200) + 2.63$ .

Ambas variables están relacionadas directamente ya que son de gran utilidad en la clasificación de suelos, tal es así que a medida que el porcentaje de finos aumenta la gravedad específica también aumenta.

**Tabla 21: Ecuaciones de correlación**

Nº	Ecuación	Coefficiente de correlación R (%)	Nº de muestras	Figura
1	LL cone = 1.1275(LL cup) - 2.0986	89	30	70
2	LP = 0.8317(LL cup) + 0.9821	93	25	71
3	LP = 0.7391(LL cone) + 3.1294	94	24	72
4	LC = 0.9738(LL cup) - 4.2365	71	24	73
5	LC = 0.595(LL cone) + 13.257	57	24	74
6	$G_s = 0.0015(LL\ cup) + 2.5921$	60	28	75
7	$G_s = 0.0013(LL\ cone) + 2.6$	62	28	76
8	IP cup = 0.5095(LL cup) - 18.682	78	25	77
9	IP cone = 0.583(LL cone) - 21.652	92	25	78
10	LL cup = 0.6164(% Finos) + 17.826	45	24	79
11	LL cone = 0.9446(% Finos) + 0.6824	52	24	80
12	LP = 0.6593(% Finos) + 5.3707	38	25	81
13	LC = -0.5387(% Finos) + 89.805	29	27	82
14	IP cup = 0.2514(% Finos) - 5.1642	32	24	83
15	IP cone = 0.3655(% Finos) - 7.2055	29	24	84
16	$G_s = 0.0008(\% \text{ Finos}) + 2.634$	16	25	85

*Fuente: Lisbeth Pilatasig*



**Tabla 22: Propiedades del suelo**

Ubicación	N°	Wnat (%)	Granulometría			Límite líquido (%)		Límite Plástico (%)	Índice Plástico (%)		Gravedad Específica (Gs)	Clasificación		
			Grava (%)	Arena (%)	Fino (%)	Copa Casagrande	Cono de Penetración		Copa Casagrande	Cono de Penetración		SUCS	AASHTO	
													Copa	Cono
PINDO CHICO	1	58.93	0.00	29.96	70.04	50.44	55.84	42.57	7.86	13.27	2.67	MH	A-5	A-7-5
	2	65.55	0.00	34.99	65.01	55.68	65.27	40.20	15.48	25.07	2.67	MH	A-7-5	A-7-5
PALESTINA	3	50.27	0.00	36.83	63.17	48.19	49.85	44.36	3.83	5.49	2.65	ML	A-5	A-5
	4	244.91	0.00	34.89	65.11	69.91	78.14	58.52	11.39	19.62	2.67	MH	A-7-5	A-7-5
FÁTIMA	5	66.48	0.00	34.43	65.57	60.24	67.90	42.66	17.58	25.24	2.70	MH	A-7-5	A-7-5
	6	92.42	0.00	29.59	70.41	64.87	73.34	46.47	18.40	26.87	2.72	MH	A-7-5	A-7-5
SANTA MARTHA	7	201.49	0.00	30.84	69.16	65.85	66.42	52.73	13.12	13.69	2.67	MH	A-7-5	A-7-5
	8	137.89	0.00	39.99	60.01	64.23	65.14	52.47	11.75	12.67	2.68	MH	A-7-5	A-7-5
LAS AMÉRICAS	9	167.75	0.00	24.20	75.80	55.94	64.82	50.10	5.84	14.72	2.67	MH	A-5	A-7-5
	10	191.96	0.00	30.79	69.21	64.19	64.88	48.36	15.83	16.52	2.71	MH	A-7-5	A-7-5
EL OBRERO	11	73.82	0.00	31.43	68.57	42.28	50.25	41.05	1.22	9.20	2.65	ML	A-5	A-5
	12	58.98	0.00	40.16	59.84	51.45	60.23	42.46	8.99	17.77	2.68	MH	A-5	A-7-5
ELOY ALFARO	13	243.59	0.00	22.27	77.73	70.87	76.16	51.46	19.41	24.70	2.68	MH	A-7-5	A-7-5
	14	246.41	0.00	27.59	72.41	61.84	64.09	48.26	13.59	15.83	2.67	MH	A-7-5	A-7-5
PUYO CENTRO	15	69.44	0.00	34.61	65.39	55.80	57.36	45.34	10.46	12.02	2.67	MH	A-5	A-7-5
	16	72.18	0.00	37.82	62.18	51.24	53.88	40.78	10.45	13.10	2.67	MH	A-5	A-7-5
TARQUI	17	196.21	0.00	32.80	67.20	68.44	82.11	54.44	14.00	27.67	2.68	MH	A-7-5	A-7-5
	18	198.60	0.00	37.76	62.24	68.54	84.12	55.93	12.61	28.19	2.72	MH	A-7-5	A-7-5
SAN JACINTO	19	90.86	0.00	27.59	72.41	58.29	65.72	48.65	9.64	17.07	2.68	MH	A-5	A-7-5
	20	71.32	0.00	29.60	70.40	76.58	82.91	70.29	6.29	12.62	2.72	MH	A-5	A-7-5
LA LIBERTAD	21	130.53	0.00	27.72	72.28	68.82	78.19	64.71	4.12	13.48	2.73	MH	A-5	A-7-5
	22	94.77	0.00	43.07	56.93	71.34	75.37	61.55	9.80	13.82	2.70	MH	A-5	A-7-5
10 DE AGOSTO	23	50.26	0.00	26.91	73.09	58.97	71.13	51.56	7.41	19.57	2.70	MH	A-5	A-7-5
	24	55.47	0.00	28.60	71.40	59.58	72.36	52.14	7.44	20.22	2.68	MH	A-5	A-7-5
UNIÓN BASE	25	36.73	0.00	40.56	59.44	49.11	49.12	40.22	8.89	8.90	2.65	ML	A-5	A-5
	26	59.35	0.00	34.39	65.61	62.82	62.33	50.85	11.97	11.48	2.89	MH	A-7-5	A-7-5
SHELL	27	85.79	0.00	25.77	74.23	56.85	57.50	48.87	7.98	8.63	2.68	MH	A-5	A-5
	28	57.98	0.00	30.65	69.35	53.14	54.00	45.92	7.22	8.08	2.90	MH	A-5	A-5
VERACRUZ	29	144.82	0.00	33.16	66.84	57.27	57.88	47.08	10.19	10.80	2.69	MH	A-5	A-5
	30	60.29	0.00	29.37	70.63	53.48	56.08	44.93	8.54	11.15	2.70	MH	A-5	A-7-5

Fuente: Lisbeth Pilatasig

### 3.2. Verificación de hipótesis

Luego de haber determinado las propiedades índice de las 30 muestras de suelo y haberlas correlacionado entre sí, con el método de mínimos cuadrados se obtuvieron resultados que nos permiten verificar la viabilidad del método alternativo propuesto al compararlo con los coeficientes de correlación que se obtuvo con el método tradicional.

**Tabla 23: Resumen de resultados**

<b>Variables de correlación</b>	<b>Coefficiente de determinación R<sup>2</sup> (%)</b>
Límite líquido con Copa de Casagrande vs Límite líquido por penetrómetro de cono <i>LL cup vs LL cone</i>	81
Límite líquido con Copa de Casagrande vs Límite plástico <i>LL cup vs LP</i>	86
Límite líquido con Penetrómetro de cono vs Límite plástico <i>LL cone vs LP</i>	85
Límite líquido con Copa de Casagrande vs Límite de contracción <i>LL cup vs LC</i>	51
Límite líquido con Penetrómetro de cono vs Límite de contracción <i>LL cone vs LC</i>	33
Límite líquido con Copa de Casagrande vs Gravedad específica <i>LL cup vs Gs</i>	36
Límite líquido con Penetrómetro de cono vs Gravedad específica <i>LL cone vs Gs</i>	38
Límite líquido con Copa de Casagrande vs índice de plasticidad <i>LL cup vs IP cup</i>	61
Límite líquido con Penetrómetro de cono vs índice de plasticidad <i>LL cone vs IP cone</i>	83
% de suelo que pasa el tamiz 200 vs límite líquido con Copa de Casagrande <i>% Finos vs LL cup</i>	20
% de suelo que pasa el tamiz 200 vs límite líquido con penetrómetro de cono <i>% Finos vs LL cone</i>	27
% de suelo que pasa el tamiz 200 vs límite líquido con límite plástico <i>% Finos vs LP</i>	14
% de suelo que pasa el tamiz 200 vs límite líquido con límite de contracción <i>% Finos vs LC</i>	8
% de suelo que pasa el tamiz 200 vs índice plástico con Copa de Casagrande <i>% Finos vs IP cup</i>	10
% de suelo que pasa el tamiz 200 vs índice plástico con penetrómetro de cono <i>% Finos vs IP cone</i>	8
% de suelo que pasa el tamiz 200 vs gravedad específica <i>% Finos vs Gs</i>	3

Fuente: Lisbeth Pilatasig

Con el cálculo del factor de conversión en el caso de la correlación entre límite líquido obtenido por los dos métodos estudiados se puede encontrar directamente el valor de una de sus variables conociendo el valor de la otra, y al obtener un coeficiente de correlación de  $R^2=81$  los resultados obtenidos son confiables.

Como se observa en la tabla 23, no todas las correlaciones presentan buenos coeficientes de correlación como se esperaba, por lo que no se puede descartar la hipótesis nula  $H_0$ , sin embargo el coeficientes de correlación obtenido entre límite líquido por copa de casagrande y por penetrómetro de cono es alto lo que permite aceptar la hipótesis alternativa.

La hipótesis alternativa planteada propone que es factible aplicar el método de penetrómetro de cono como un método alternativo para encontrar el límite líquido en suelos de grano fino del cantón Pastaza, provincia de Pastaza, por lo que al tener un alto coeficiente de correlación y factores de conversión similares obtenidos por las dos formas antes mencionadas como se muestra en las tablas 19 y 20, se puede tener valores cercanos a la realidad.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

- El equipo utilizado en los ensayos de penetrómetro de cono se construyó en un taller de torno siguiendo las especificaciones de la norma británica BS 1377-2:1990 y con seguimiento de la autora del trabajo de investigación, el equipo construido funciona satisfactoriamente y arrojó resultados favorables según lo analizado con las correlaciones tanto para límite líquido como para límite plástico que son las propiedades que más coeficiente de correlación presentan, por lo que se concluye que el equipo construido según la norma británica se puede implementar en el laboratorio de mecánica de suelos de la Facultad como método alternativo en la determinación de límite líquido.
- Se realizó diferentes ensayos de laboratorio para encontrar las propiedades físicas de los suelos finos, teniendo así que el contenido de humedad de las muestras ensayadas varía entre 36.73% y 246.41%, siendo estos rangos característicos de los suelos del oriente ecuatoriano que pueden llegar a tener contenidos de humedad de hasta 250%. Con el análisis granulométrico se obtuvo que el porcentaje de arena presente en las muestras va de 22.27% a 43.07%, mientras que el porcentaje de finos presentes va de 56.93% a 77.73%.
- Después de haber realizado el ensayo de gravedad específica en las 30 muestras de suelos de grano fino estudiadas se determinó que las muestras ensayadas corresponden a limos, arcillas y arcillas limosas, ya que presentan valores de  $G_s$  que van de 2.65 a 2.73.
- Se obtuvo los límites de Atterberg de las 30 muestras teniendo que el límite plástico va de 40.20% a 70.29%, el límite de contracción varía entre 17.94% y 72.11%, mientras que el límite líquido por copa de Casagrande varía entre 42.28% y 76.58%, el límite líquido por penetrómetro de va de 49.12% a

84.12%, por lo que se concluyó que los valores obtenidos con penetrómetro de cono son mayores a los obtenidos con copa de Casagrande tal como se muestra en la tabla 15.

- La correlación entre límite líquido obtenido mediante copa de Casagrande (LLcup) y el límite líquido por penetrómetro de cono (LLcone) dio un coeficiente de correlación de  $R^2 = 81\%$ , lo que se considera como una buena correlación, teniendo así que la relación entre las variables es directa y obteniendo una ecuación lineal  $LLcone = 1.13(LLcup) - 2.10$ , se obtuvo una desviación estándar de 4.52 y coeficientes de conversión de 0.9179 y 0.9199, con lo que al aplicar cualquier factor se obtiene datos lo más cercanos a la realidad.
- En la correlación entre límite líquido tanto por copa de casagrande como por penetrómetro de cono y el límite plástico se obtuvo coeficientes de correlación  $R^2$  de 86% y 85%, lo que se considera como excelente correlación entre las variables, lo que significa que con el equipo construido también se puede determinar valores de límite líquido muy cercanos a los obtenidos con el método de obtención tradicional.
- Con el análisis de las correlaciones entre límite líquido y límite de contracción se obtuvieron coeficientes de correlación regulares teniendo así que con el LLcup el coeficiente de correlación  $R^2 = 51\%$ , mientras que con el LL cone el coeficiente de correlación es  $R^2 = 33\%$ . La diferencia entre los coeficientes obtenidos por ambos métodos se debe a que los valores obtenidos con LL cone son mayores a los obtenidos con LL cup lo que ocasiona que los datos esten más dispersos en la correlación con LL cone. Como los coeficientes de correlación en ninguno de los dos casos es satisfactorio, los valores que se obtengan van a tener mayor rango de error por lo que no se puede obtener el límite de contracción directamente con el límite líquido.
- La correlación entre el límite líquido por copa de casagrande y su respectivo índice de plasticidad dio como resultado un coeficiente de correlación  $R^2 =$

61% lo que se considera como una correlación regular. Por otra parte la correlación entre el límite líquido por penetrómetro de cono y su respectivo índice de plasticidad dio como resultado un coeficiente de correlación de  $R^2 = 83\%$ , lo que se considera como una correlación excelente. La diferencia entre ambos coeficientes de correlación se debe a que con los valores de LL cone son mayores a los obtenidos con LL cup por tanto el IP cone es mayor que el IP cup, teniendo así que la relación entre las variables LL cone y IP cone tiene una relación mayor entre las variables.

- El porcentaje de finos vs el límite líquido por copa de Casagrande dio como resultado un coeficiente de correlación  $R^2 = 20\%$  lo que se considera como una mala correlación entre las variables, la correlación entre porcentaje de finos y límite líquido con penetrómetro de cono dio como resultado un coeficiente de correlación de  $R^2 = 27\%$  lo que se considera como una correlación regular, la diferencia entre los coeficientes de correlación de ambos métodos se debe principalmente a la pendiente en la línea de regresión que es mayor en la correlación entre LL cone vs porcentaje de finos, lo que indica una mayor relación entre las variables.
- La correlación entre el porcentaje de finos y el límite plástico es mala teniendo un valor de  $R^2 = 14\%$ , esto se debe a que las variables analizadas a pesar de tener una relación directa según el gráfico de dispersión, las características de las partículas de suelo utilizados en los ensayos de laboratorio son diferentes, es decir que para el ensayo de LP se utiliza la porción de suelo que pasa el tamiz N° 40 que son partículas más gruesas que las del porcentaje de finos.
- El límite de contracción vs el porcentaje de finos dio como correlación un  $R^2$  de 8%, lo que se considera como mala correlación, además con el diagrama de dispersión se determinó que los datos están muy dispersos entre sí, por lo que la correlación presenta un bajo grado de relación entre las variables.
- La correlación entre el porcentaje de finos y el índice de plasticidad obtenido por copa de Casagrande (IP cup) dio como resultado un coeficiente de

correlación  $R^2 = 10\%$ , lo que se considera como mala correlación, esto se debe a que según el diagrama de dispersión la relación entre las variables es baja.

- El porcentaje de finos vs el índice de plasticidad obtenido mediante penetrómetro de cono (IP cono), presentan una correlación mala con un coeficiente de correlación de  $R^2 = 8\%$ , esto se debe a que la relación entre las variables es baja porque la porción de suelo utilizada en la obtención de índice de plasticidad tiene partículas más gruesa que las que corresponden al porcentaje de finos.
- La correlación entre el porcentaje de finos y la gravedad específica dio como resultado un coeficiente de correlación  $R^2 = 16\%$ , lo que se considera como una mala correlación, esto se debe a que para el ensayo de gravedad específica se utiliza suelos con partículas más gruesas que las que corresponden al porcentaje de finos.
- Los valores de límite líquido obtenidos con el método de penetrómetro de cono en las 30 muestras están en el rango de 49% a 85%, por lo que se calculó los límites superior e inferior del intervalo de confianza al 95%; dando así que puede existir una diferencia máxima de 7.23 y una diferencia mínima de 3.85, en relación a los valores de límite líquido obtenidos por Casagrande.
- Como se muestra en la tabla 13, de las 30 muestras obtenidas en diferentes sectores de la ciudad del Puyo, realizando la clasificación según la SUCS, y tomando en cuenta el límite líquido y el índice plástico obtenido por ambos métodos se determinó que 27 muestras pertenecen al grupo (MH) que corresponden a limos inorgánicos de alta plasticidad, mientras que las 3 restantes corresponden al grupo (ML) denominados como limos inorgánicos de baja plasticidad, teniendo así que la clasificación de los suelos no varía en función al método de obtención del límite líquido.

- Al analizar la tabla 14 de clasificación según la AASHTO las 30 muestras se obtuvo que con el valor de límite líquido obtenido mediante Copa de Casagrande 18 de muestras pertenecen al grupo (A-5), es decir son suelos limosos mientras que los 12 restantes pertenecen al grupo (A-7-5) que pertenecen a los suelos arcillosos, por otro lado tomando en cuenta los valores de límite líquido obtenido por penetrómetro de cono se obtuvo que 6 muestras pertenecen al grupo (A-5) y las 24 restantes pertenecen al grupo (A-7-5); esto se debe a que el índice de plasticidad obtenido con el límite líquido por copa de Casagrande es menor al índice de plasticidad obtenido por penetrómetro de cono.
- Se comparó el valor de límite líquido con ambos métodos, Copa de Casagrande y penetrómetro de cono, con lo que se puede establecer una nueva metodología de determinación del límite líquido en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.



## 4.2. Recomendaciones

- Al construir el equipo se recomienda cumplir con los requerimientos establecidos en la norma británica BS1377, para de esa manera obtener resultados con un mínimo margen de error. Al aplicar el método alternativo propuesto que es el de penetrómetro de cono, se recomienda ser cuidadoso al momento de liberar la varilla de acople, para de esta manera evitar el movimiento brusco en la caja de soporte del equipo, ya que al tratarse de un ensayo estático que depende de la resistencia al cizallamiento del suelo los resultados pueden alterarse.
- Para la obtención de las propiedades físicas (contenido de humedad, granulometría, gravedad específica y límites de Atterberg) mediante ensayos de laboratorio de las 30 muestras extraídas, se recomienda seguir las especificaciones de las normas correspondientes a cada ensayo según se muestra en la tabla 8.
- Al realizar los diagramas de dispersión para obtener el coeficiente de correlación, se recomienda eliminar los valores que estén muy dispersos con respecto a los demás para obtener un mejor ajuste y por tanto mejor coeficiente de correlación, considerando según lo establecido en la tabla 18 que una correlación va de buena a excelente en los rangos de 0.8 a 1.
- Para evitar variaciones cuantitativas significativas en los resultados obtenidos por ambos métodos, se recomienda calibrar los equipos utilizados en la determinación de límite líquido, en el caso de la Copa de Casagrande controlar que la caída libre de la copa sea de 1 cm y tenga una velocidad constante de 120 revoluciones por minuto, para el penetrómetro de cono controlar el tiempo de penetración de cono que debe ser de 5 segundos para reducir el porcentaje de error en la prueba.
- Para realizar los ensayos de límite líquido tanto por Copa de Casagrande como por penetrómetro de cono, siempre que sea posible, el ensayo se llevará a cabo con el suelo en estado natural; además se debe mezclar la pasta

durante al menos 10 minutos antes de la prueba para obtener una pasta completamente uniforme y así obtener resultados más confiables.

- En el ensayo de límite líquido con penetrómetro de cono si la segunda lectura de penetración es más de 0.5 mm y menos de 1 mm con respecto a la primera se debe realizar una tercera prueba, una vez realizadas las 3 pruebas y si la diferencia general entre lecturas de penetración es mayor que 1 mm, se debe repetir el ensayo.
- Los ensayos de límite líquido por ambos métodos se deben realizar de ser posible a la misma hora para evitar pérdidas de humedad debido a la temperatura del ambiente.
- Cada vez que se realiza una variación en la humedad de la muestras se debe lavar y secar el recipiente metálico y limpiar la punta del cono en el ensayo de cono de penetración, y el mismo procedimiento de lavado y secado con la taza y el ranurador para el ensayo realizado por Copa de Casagrande.
- Se recomienda aplicar los mismos ensayos con diferentes tipos de suelos ya sean suelos granulares, arenas finas, arenas limosas o arcillosas, etc, con la finalidad de comparar los resultados obtenidos en este trabajo y verificar la viabilidad del método alternativo propuesto.
- Para la clasificación de los suelos además de la clasificación según SUCS y AASHTO, se recomienda realizar la granulometría por hidrómetro según la norma AASHTO T-87, T-88 para la fracción fina de las muestras, es decir para el material que pasa por la malla N° 200.
- Se recomienda la implementación del método de penetrómetro de cono para la determinación del límite líquido en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, como un método alternativo para la determinación del parámetro antes mencionado.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Hrubesova, B. Lunackova, and O. Brodzki, “Comparison of Liquid Limit of Soils Resulted from Casagrande Test and Modified Cone Penetrometer Methodology,” *Procedia Eng.*, vol. 142, pp. 364–370, 2016, doi: 10.1016/j.proeng.2016.02.063.
- [2] H. Ibrahim and K. M. Noori, “Determining Casagrande Liquid Limit Values from Cone Penetration Test Data,” no. August, 2019, doi: 10.21271/ZJPAS.31.s3.16.
- [3] A. El-shinawi, “A Comparison of Liquid Limit Values for Fine Soils : A Case Study at the North Cairo-Suez District , Egypt,” vol. 89, no. March, pp. 339–343, 2017.
- [4] L. C. S. da Silveira, “O CONE DE PENETRAÇÃO COMO ENSAIO ALTERNATIVO NA DETERMINAÇÃO DA PLASTICIDADE DE SOLOS,” pp. 16–19, 2001.
- [5] B. Christaras, “A comparison of the Casagrande and fall cone penetrometer methods for liquid limit determination in marls from Crete, Greece,” vol. 31, pp. 131–142, 1991.
- [6] Y. Teneda, “CORRELACIÓN ENTRE ENSAYO CASAGRANDE Y CONO DE PENETRACIÓN,” Universidad Técnica Particular de Loja, 2007.
- [7] A. Cevallos, “DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO DE LOS SUELOS MEDIANTE EL USO DEL PENETRÓMETRO CÓNICO,” PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR, 2012.
- [8] D. A. Arbito Chica, “Aplicabilidad del penetrómetro cónico en la determinación del límite líquido,” 2019.
- [9] A. Rabat, “Aplicabilidad del penetrómetro cónico en la determinación del límite líquido en suelos de baja y media plasticidad,” Universidad de Alicante, 2016.
- [10] M. C. Rodríguez, L. Benavides, and D. Gil, “DISEÑO, ENSAMBLE Y

CALIBRACION DE EQUIPO PARA LA OBTENCION DEL LIMITE LÍQUIDO Y PLASTICO MEDIANTE EL PENETROMETRO DE CONO MODIFICADO PARA LA NORMA BS-1377-2/1990,” 1990.

- [11] V. P. J, O. K. B. C, H. S. K, and S. Satoru, “Classifying and characterising fine-grained soils using fall cones,” vol. 2, no. 103, pp. 821–826, 2018, doi: 10.1002/cepa.772.
- [12] M. Pacay, “LÍMITE LÍQUIDO EN SUELOS DE GRANO FINO, SEGÚN LOS MÉTODOS DE PENETRÓMETRO DE CONO Y COPA DE CASAGRANDE,” Universidad de San Carlos de Guatemala, 2017.
- [13] C. Crespo Villalaz, *Mecanica De Suelos Y Cimentaciones*, Sexta. .
- [14] L. I. Gonzalez De Vallejo, *Ingeniería Geológica*. .
- [15] M. BRAJA DAS, *Fundamentos de ingeniería geotécnica*, Cuarta. .
- [16] E. Juárez Badillo and A. Rico Rodríguez, *MECÁNICA DE SUELOS Tomo I Fundamentos de la mecánica de suelos*. .
- [17] G. B. Sowers and G. F. Sowers, *Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. .
- [18] M. Antonio and C. Buchner, *MANUAL DE ENSAYO DE SUELOS Y MATERIALES*. .
- [19] D. Braja M, *Principios de Ingenieria de Cimentaciones*, QUINTA. 2004.
- [20] L. Cruz, “Determinación de la gravedad específica los suelos.,” 2013, [Online]. Available: <http://goo.gl/yj12NC>.
- [21] J. E. Bowles, *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingenieria Civil*, vol. 91, no. 5. 2012.
- [22] C. KRAEMER, *INGENIERIA DE CARRETERAS VOLUMEN III*. .
- [23] E. JUAREZ BADILLO and A. R. RODRIGUEZ, *MECANICA DE SUELOS TOMO 1 Fundamentos de la mecanica de suelos*. .
- [24] M. Budhu, *Soil Mechanics and Foundations*. .

- [25] D. W. Taylor, “Principios fundamentales de mecánica de suelos.” .
- [26] K. R. Arora, *Soil Mechanics and foundation engineering*, vol. 12, no. December. 2001.
- [27] V. N. S. Murthy, *Geotechnical Engineering Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering.* .
- [28] BSI, “Soils for civil engineering purposes,” no. 1, p. 72, 2014.
- [29] SOILTEST, “Análisis de Suelo - Límite Líquido,” p. 544.
- [30] W. Rodriguez Serquén, *INGENIERÍA GEOTÉCNICA SUELOS Y CIMENTACIONES.* 2018.
- [31] L. Kazmier and A. Díaz, *ESTADÍSTICA APLICADA A LA ADMINISTRACIÓN Y ECONOMÍA, SEGUNDA.* .
- [32] S. Murray R. and S. Larry j., *Estadística serie Schaum 4ta Edición, Cuarta.* .
- [33] D. Montoro, “Capítulo 9. Regresión lineal simple,” *Regresión Lineal*, p. 11, [Online]. Available: <http://www4.ujaen.es/~dmontoro/Metodos/Tema 9.pdf>.
- [34] M. C. Carollo, “Regresión lineal simple y multiple.,” *Univ. Santiago Compost.*, pp. 1–31, 2011, [Online]. Available: [http://eio.usc.es/eipc1/BASE/BASEMASTER/FORMULARIOS-PHP-DPTO/MATERIALES/Mat\\_50140116\\_Regr\\_simple\\_2011\\_12.pdf](http://eio.usc.es/eipc1/BASE/BASEMASTER/FORMULARIOS-PHP-DPTO/MATERIALES/Mat_50140116_Regr_simple_2011_12.pdf).
- [35] R. M. M. Ortega, L. C. T. Pendás, M. M. Ortega, A. P. Abreu, and A. M. Cánovas, “El coeficiente de correlacion de los rangos de spearman caracterizacion,” *Rev. Habanera Ciencias Medicas*, vol. 8, no. 2, 2009.
- [36] INEC, “Mapa Censal Puyo,” p. 840.

## ANEXOS

### Anexo 1: Materiales y equipos

#### 1.1. Contenido de humedad natural



Recipientes metálicos



Horno electrónico



Balanza electrónica



Espátula

#### 1.2. Gravedad específica



Picnómetro

Balanza electrónica



Horno electrónico



Pipeta



Embudo



Termómetro



Recipientes metálicos

### 1.3. Granulometría



Juego de tamices



Tamizadora



Brocha



Balanza electrónica

#### 1.4. Límite plástico



Recipiente de porcelana



Espátula



Placa de vidrio



Balanza electrónica



Recipientes metálicos



Horno electrónico

#### 1.5. Límite de contracción



Recipiente de porcelana



Cápsulas de contracción



Espátula





Mercurio



Cristal de lucita



Placa tripié



Balanza electrónica

### 1.6. Límite líquido con Copa de Casagrande



Recipiente de porcelana



Mortero



Espátula



Tamiz N° 40 y fuente



Recipientes metálicos



Copa de Casagrande



Ranurador

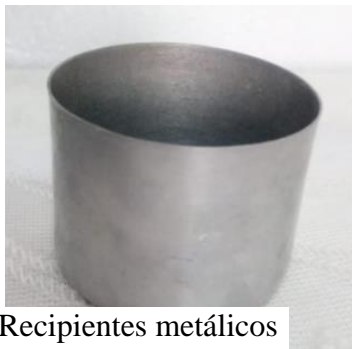


Balanza electrónica

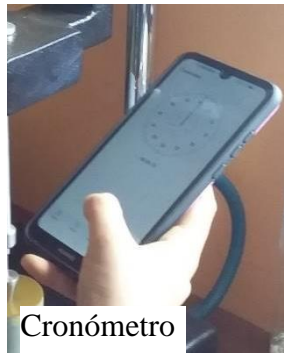


Horno electrónico

### 1.7. Límite líquido con Penetrómetro de cono



Recipientes metálicos



Cronómetro



Penetrómetro de cono



Balanza electrónica



Horno electrónico



Recipiente metálico para LL

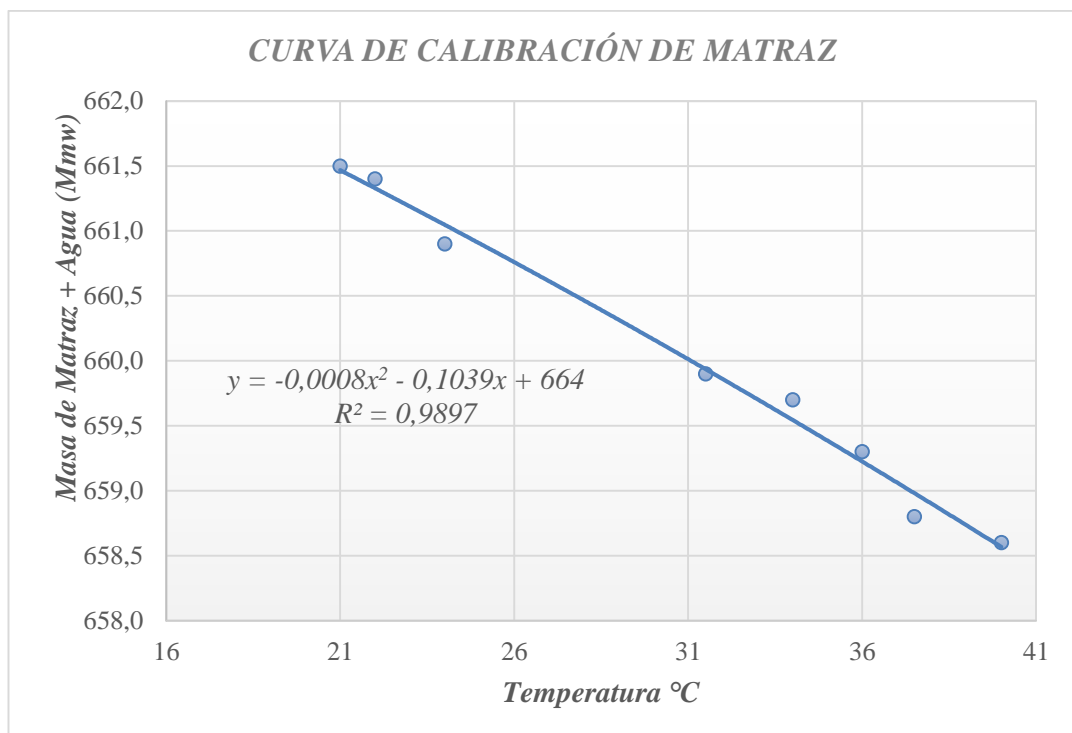


Espátula

## Anexo 2: Calibración de picnómetro usado para el ensayo de gravedad específica

### 2.1. Calibración de matraz

Masa de Matraz (gr)	164.1
Temperatura °C	Mmw (gr)
21.0	661.5
22.0	661.4
24.0	660.9
31.5	659.9
34.0	659.7
36.0	659.3
37.5	658.8
40.0	658.6



## 2.2. Peso de picnómetro + agua

Temperaturas de cada ensayos					
N°	°C	Mmw (gr)	N°	°C	Mmw (gr)
1	29.0	660.31	16	21.0	661.47
2	28.0	660.46	17	20.0	661.60
3	28.0	660.46	18	19.5	661.67
4	21.0	661.47	19	20.0	661.60
5	24.0	661.05	20	20.0	661.60
6	23.0	661.19	21	20.0	661.60
7	24.0	661.05	22	20.0	661.60
8	25.5	660.83	23	19.5	661.67
9	25.0	660.90	24	20.5	661.53
10	25.0	660.90	25	21.0	661.47
11	22.0	661.33	26	19.0	661.74
12	22.0	661.33	27	21.0	661.47
13	23.0	661.19	28	19.5	661.67
14	23.0	661.19	29	22.0	661.33
15	21.5	661.40	30	21.0	661.47

## 2.3. Factor K

Tabla de Valores del factor K			
°C	K	°C	K
16.0	1.0007	23.5	0.9992
16.5	1.0007	24.0	0.9991
17.0	1.0006	24.5	0.9990
17.5	1.0005	25.0	0.9989
18.0	1.0004	25.5	0.9987
18.5	1.0003	26.0	0.9986
19.0	1.0002	26.5	0.9984
19.5	1.0001	27.0	0.9983
20.0	1.0000	27.5	0.9982
20.5	0.9999	28.0	0.9980
21.0	0.9998	28.5	0.9979
21.5	0.9997	29.0	0.9977
22.0	0.9996	29.5	0.9976
22.5	0.9995	30.0	0.9974
23.0	0.9993		

### Anexo 3: Propiedades de los suelos ensayados



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



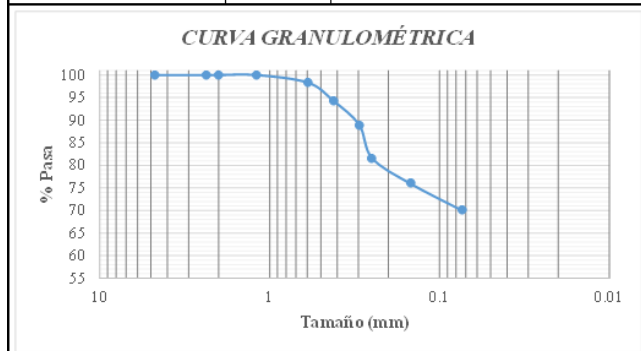
**PINDO CHICO (1)**

#### Contenido de humedad natural

	MUESTRA 1		
	1	2	3
Recipiente N	24	18	19
Peso muestra húmeda + recipiente	97.24	111.31	104.08
Peso muestra seca + recipiente	70.20	79.50	75.30
Peso recipiente	24.12	25.73	26.47
Peso agua	27.04	31.81	28.78
Peso sólidos	46.08	53.77	48.83
Contenido de humedad	58.68	59.16	58.94
Promedio de contenido de humedad	58.93		

#### Granulometría

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Pasa
4	4.76	0	0	0.00	100.00
8	2.38	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0	0.00	100.00
16	1.19	0	0	0.00	100.00
30	0.595	8.4	8.4	1.68	98.32
40	0.42	20.4	28.8	5.76	94.24
50	0.297	26.3	55.1	11.03	88.97
60	0.25	36.7	91.8	18.37	81.63
100	0.149	28.2	120	24.01	75.99
200	0.074	29.7	149.7	29.96	70.04
<b>Fuente</b>		350	499.7	70.04	0.00
		<b>499.7</b>			



#### Gravedad específica

Localización:	PINDO CHICO
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>	
Muestra N°	1
Número de recipientes	63
Temperatura de agua + suelo	29
Peso de recipiente	52.8
Peso de recipiente + suelo seco	101.3
Peso de suelo seco	48.5
Peso picnómetro + agua (Mmw)	660.31
Peso de suelo seco + Mmw	708.81
Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	690.7
Desplazamiento de Agua	18.11
K	0.9977
<b>Gs</b>	<b>2.67</b>

#### Límite de contracción

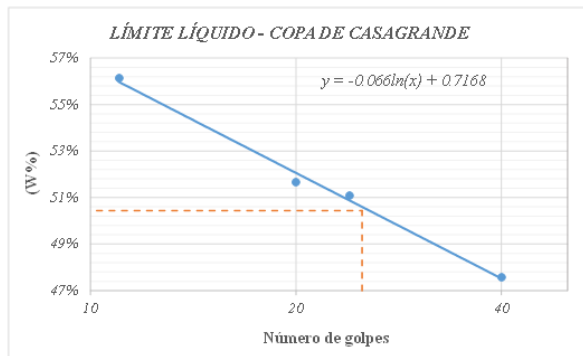
Localización:	PINDO CHICO
<b>LÍMITE DE CONTRACCIÓN</b>	
<i>Determinación de Contenido de humedad (W)</i>	
Muestra N°	1
Cápsula N°	5
Peso de cápsula	22.3
Peso de cápsula + suelo húmedo	54.5
Peso de cápsula + suelo seco	43.1
Peso de Agua	11.4
Peso de suelo seco (Ws)	20.8
Contenido de humedad (W)	0.55
<i>Determinación del volumen de suelo húmedo moldeado</i>	
Peso de la cápsula de contracción + Hg	292.5
Peso de la cápsula de contracción	22.3
Peso de Hg	270.2
Densidad de Hg (g/cm <sup>3</sup> )	13.6
Volumen de la masa (Vm)	19.87
<i>Determinación del volumen de suelo seco moldeado</i>	
Peso de la probeta + Hg	288.1
Peso de la probeta	62
Peso de Hg	226.1
Volumen de suelo contraído (Vo)	16.6
<i>Determinación de límite de contracción</i>	
Densidad de Agua (g/cm <sup>3</sup> )	1
$LC\% = \left( w - \frac{(V_m - V_o)\gamma_o}{W_s} \right) * 100$	
Límite de contracción	39.22

#### Límite Plástico

Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite Plástico
O3	41.21	38.41	31.83	42.55%	42.57%
3	12.32	11.86	10.78	42.59%	

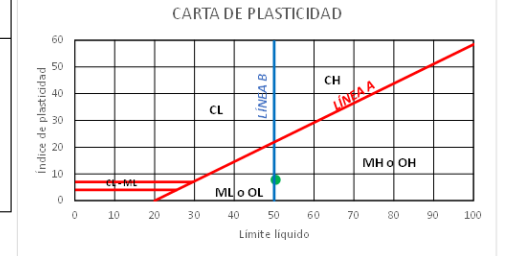
### Límite líquido con Copa de Casagrande

Número de golpes	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	(W%)	Límite Líquido (LLcup)
40	69	22.98	19.30	11.50	47.18%	47.59%	50.44%
	26	24.52	20.20	11.20	48.00%		
20	8A	24.15	19.60	10.90	52.30%	51.65%	
	6	24.39	19.80	10.80	51.00%		
11	16	25.59	20.40	11.10	55.81%	56.12%	
	25	26.23	20.70	10.90	56.43%		
24	38	31.55	24.90	11.80	50.76%	51.06%	
	2	27.55	21.90	10.90	51.36%		

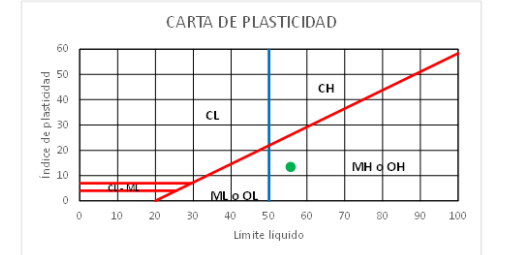


### Clasificación SUCS

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	50.44	42.57	7.87

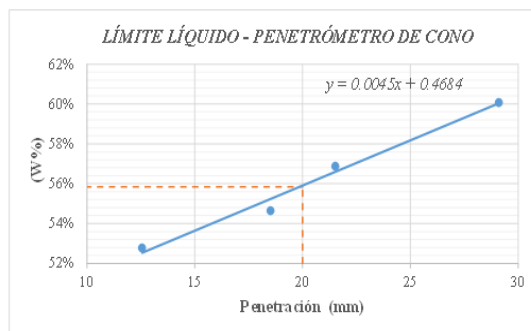


	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	55.84	42.57	13.27



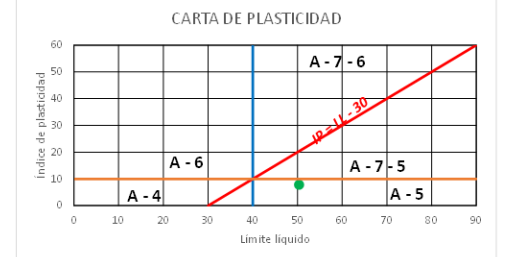
### Límite líquido con Penetrómetro de cono

Penetración (mm)	Penetración promedio (mm)	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	(W%)	Límite líquido (LLcono)
12.92	12.55	18	41.29	31.00	11.50	52.77%	55.84%
12.31							
12.43							
18.28	18.50	64	44.76	32.90	11.20	54.65%	
18.72							
21.63	21.52	79	31.38	24.10	11.30	56.88%	
21.40							
29.02	29.12	78	44.74	32.30	11.60	60.10%	
29.22							

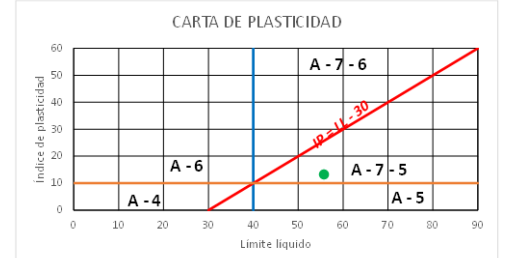


### Clasificación AASHTO

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	50.44	42.57	7.87



	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	55.84	42.57	13.27





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



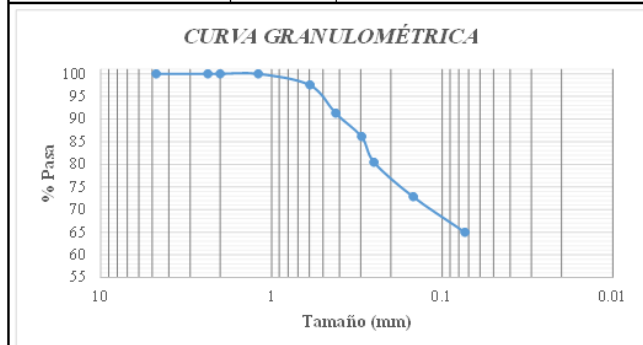
**PINDO CHICO (2)**

**Contenido de humedad natural**

	MUESTRA 2		
	1	2	3
Recipiente N	65	71	57
Peso muestra húmeda + recipiente	101.29	93.43	97.33
Peso muestra seca + recipiente	73.30	68.40	71.40
Peso recipiente	31.10	30.54	31.02
Peso agua	27.99	25.03	25.93
Peso sólidos	42.20	37.86	40.38
Contenido de humedad	66.33	66.11	64.21
Promedio de contenido de humedad	65.55		

**Granulometría**

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Pasa
4	4.76	0	0	0.00	100.00
8	2.38	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0	0.00	100.00
16	1.19	0	0	0.00	100.00
30	0.595	12.6	12.6	2.52	97.48
40	0.42	31.3	43.9	8.78	91.22
50	0.297	25.7	69.6	13.92	86.08
60	0.25	28.4	98	19.60	80.40
100	0.149	37.5	135.5	27.11	72.89
200	0.074	39.4	174.9	34.99	65.01
<b>Fuente</b>		325	499.9	65.01	0.00
		<b>499.9</b>			



**Gravedad específica**

Localización:	PINDO CHICO
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>	
Muestra N°	2
Número de recipientes	79
Temperatura de agua + suelo	28
Peso de recipiente	258.7
Peso de recipiente + suelo seco	300.6
Peso de suelo seco	41.9
Peso picnómetro + agua (Mmw)	660.46
Peso de suelo seco + Mmw	702.36
Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	686.7
Desplazamiento de Agua	15.66
K	0.9980
<b>Gs</b>	<b>2.67</b>

**Límite de contracción**

Localización:	PINDO CHICO
<b>LÍMITE DE CONTRACCIÓN</b>	
<b>Determinación de Contenido de humedad (W)</b>	
Muestra N°	2
Cápsula N°	6
Peso de cápsula	22.7
Peso de cápsula + suelo húmedo	53.2
Peso de cápsula + suelo seco	40.3
Peso de Agua	12.9
Peso de suelo seco (Ws)	17.6
Contenido de humedad (W)	0.73
<b>Determinación del volumen de suelo húmedo moldeado</b>	
Peso de la cápsula de contracción + Hg	284.9
Peso de la cápsula de contracción	22.7
Peso de Hg	262.2
Densidad de Hg (g/cm <sup>3</sup> )	13.6
Volumen de la masa (Vm)	19.28
<b>Determinación del volumen de suelo seco moldeado</b>	
Peso de la probeta + Hg	281.5
Peso de la probeta	62
Peso de Hg	219.5
Volumen de suelo contraído (Vo)	16.1
<b>Determinación de límite de contracción</b>	
Densidad de Agua (g/cm <sup>3</sup> )	1
$LC\% = \left( w - \frac{(V_m - V_o)\gamma_o}{W_s} \right) * 100$	
Límite de contracción	55.46

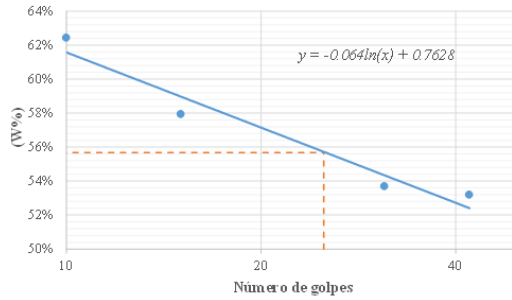
**Límite Plástico**

Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite Plástico
3	34.12	33.50	32.02	41.89%	40.20%
12	12.82	12.20	10.59	38.51%	

### Límite líquido con Copa de Casagrande

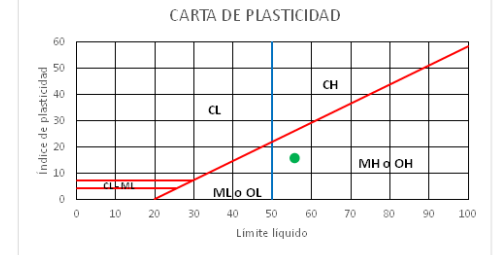
Número de golpes	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Contenido de humedad promedio (W%)	Límite líquido (LLcup)
10	64	26.36	20.50	11.10	62.34%	62.44%	55.68%
	2	28.03	21.40	10.80	62.55%		
15	79	23.35	19.00	11.40	57.24%	57.97%	
	25	28.04	21.70	10.90	58.70%		
31	18	28.90	22.80	11.50	53.98%	53.71%	
	16	26.75	21.30	11.10	53.43%		
42	69	25.70	20.80	11.50	52.69%	53.21%	
	78	27.28	21.80	11.60	53.73%		

LÍMITE LÍQUIDO - COPA DE CASAGRANDE

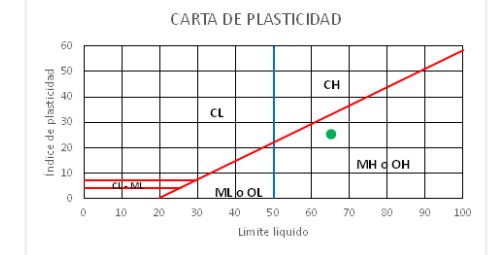


### Clasificación SUCS

Por Copa de Casagrande	LL	IP	IP
	55.68	40.20	15.48



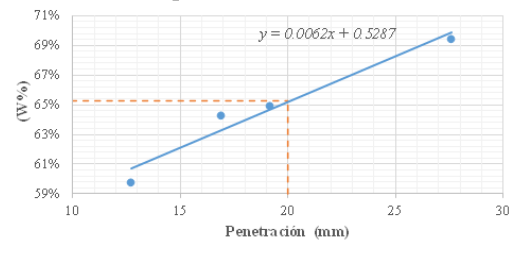
Por Penetrómetro de Cono	LL	IP	IP
	65.27	40.20	25.07



### Límite líquido con Penetrómetro de cono

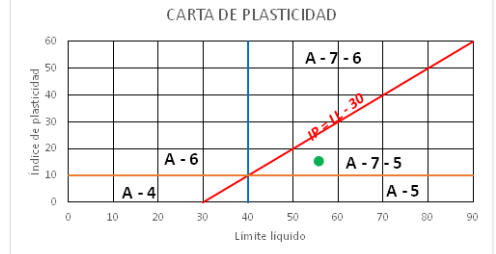
Penetración (mm)	Penetración promedio (mm)	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite líquido (LLcono)
19.06	19.15	38	37.20	27.20	11.80	64.94%	65.27%
19.24							
27.83	27.59	26	37.80	26.90	11.20	69.43%	
27.34							
16.99	16.87	6	33.80	24.80	10.80	64.29%	
16.74							
12.70	12.72	8A	25.60	20.10	10.90	59.78%	
12.73							

LÍMITE LÍQUIDO - PENETRÓMETRO DE CONO

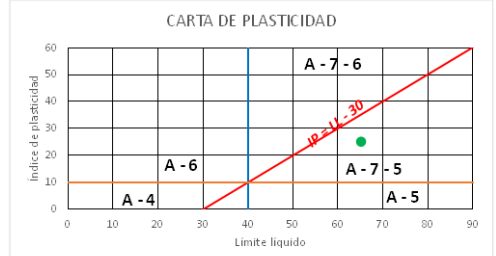


### Clasificación AASHTO

Por Copa de Casagrande	LL	IP	IP
	55.68	40.20	15.48



Por Penetrómetro de Cono	LL	IP	IP
	65.27	40.20	25.07







**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



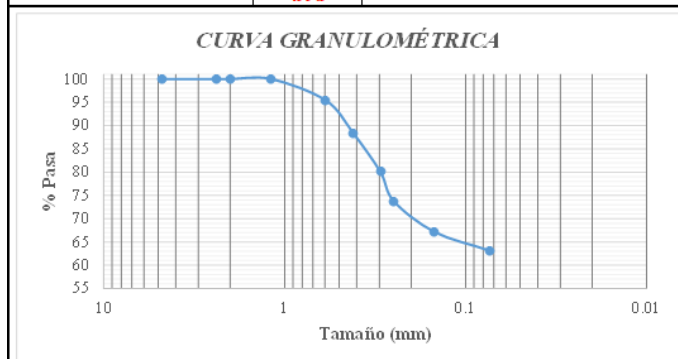
**PALESTINA (3)**

**Contenido de humedad natural**

	MUESTRA 1		
	1	2	3
Recipiente N	97	46	42
Peso muestra húmeda + recipiente	125.52	134.32	130.76
Peso muestra seca + recipiente	94.40	97.00	100.60
Peso recipiente	33.14	30.67	31.67
Peso agua	31.12	37.32	30.16
Peso sólidos	61.26	66.33	68.93
Contenido de humedad	50.80	56.26	43.75
Promedio de contenido de humedad	50.27		

**Granulometría**

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Pasa
4	4.76	0	0	0.00	100.00
8	2.38	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0	0.00	100.00
16	1.19	0	0	0.00	100.00
30	0.595	22.8	22.8	4.56	95.44
40	0.42	34.9	57.7	11.54	88.46
50	0.297	41.7	99.4	19.88	80.12
60	0.25	31.7	131.1	26.23	73.77
100	0.149	33	164.1	32.83	67.17
200	0.074	20	184.1	36.83	63.17
<b>Fuente</b>		315.8	499.9	63.17	0.00
		499.9			



**Gravedad específica**

Localización:	PALESTINA
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>	
Muestra N°	1
Número de recipientes	107
Temperatura de agua + suelo	28
Peso de recipiente	246.4
Peso de recipiente + suelo seco	293.9
Peso de suelo seco	47.5
Peso picnómetro + agua (Mmw)	660.46
Peso de suelo seco + Mmw	707.96
Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	690.1
Desplazamiento de Agua	17.86
K	0.9980
<b>Gs</b>	<b>2.65</b>

**Límite de contracción**

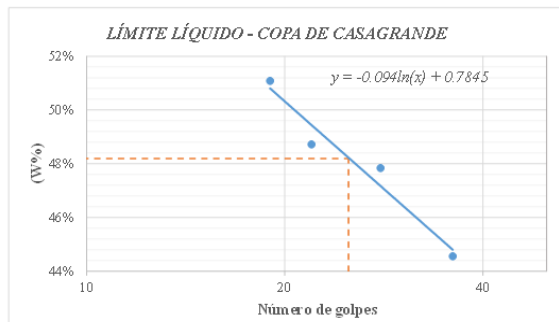
Localización:	PALESTINA
<b>LÍMITE DE CONTRACCIÓN</b>	
<i>Determinación de Contenido de humedad (W)</i>	
Muestra N°	1
Cápsula N°	7
Peso de cápsula	22.6
Peso de cápsula + suelo húmedo	53.9
Peso de cápsula + suelo seco	42.5
Peso de Agua	11.4
Peso de suelo seco (Ws)	19.9
Contenido de humedad (W)	0.57
<i>Determinación del volumen de suelo húmedo moldeado</i>	
Peso de la cápsula de contracción + Hg	287.1
Peso de la cápsula de contracción	22.6
Peso de Hg	264.5
Densidad de Hg (g/cm <sup>3</sup> )	13.6
Volumen de la masa (Vm)	19.45
<i>Determinación del volumen de suelo seco moldeado</i>	
Peso de la probeta + Hg	251
Peso de la probeta	62
Peso de Hg	189
Volumen de suelo contraído (Vo)	13.9
<i>Determinación de límite de contracción</i>	
Densidad de Agua (g/cm <sup>3</sup> )	1
$LC\% = \left( w - \frac{(Vm - Vo)\gamma_o}{Ws} \right) * 100$	
Límite de contracción	29.39

**Límite Plástico**

Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite Plástico
11	29.30	28.66	27.30	47.06%	44.36%
18	12.40	11.90	10.70	41.67%	

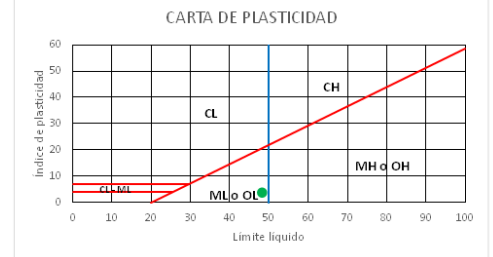
### Límite líquido con Copa de Casagrande

Número de golpes	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Contenido de humedad promedio (W%)	Límite líquido (LLcup)
19	D4	27.40	20.80	7.90	51.16%	51.08%	48.19%
	D5	22.90	17.80	7.80	51.00%		
22	D1	31.30	23.60	7.80	48.73%	48.71%	
	D2	25.70	20.10	8.60	48.70%		
28	D6	26.40	20.40	7.80	47.62%	47.84%	
	D10	27.00	20.80	7.90	48.06%		
36	D8	23.60	18.70	7.70	44.55%	44.55%	
	D9	21.30	16.80	6.70	44.55%		

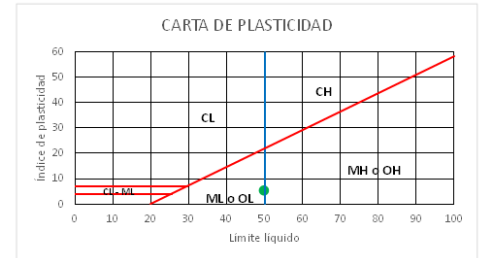


### Clasificación SUCS

Por Copa de Casagrande	LL	LP	IP
	48.19	44.36	3.83

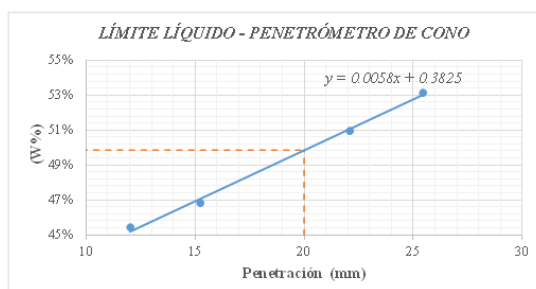


Por Penetrómetro de Cono	LL	LP	IP
	49.85	44.36	5.49



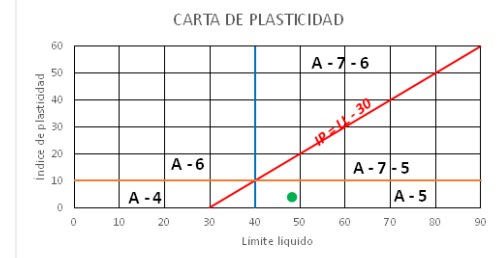
### Límite líquido con Penetrómetro de cono

Penetración (mm)	Penetración promedio (mm)	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite líquido (LLcono)
22.13	22.08	75	42.60	31.90	10.90	50.95%	49.85%
22.03							
15.69	15.24	S3	45.90	33.30	6.40	46.84%	
15.05							
14.98							
12.04	12.02	75	42.60	32.70	10.90	45.41%	
11.99							
25.71	25.47	D12	32.10	23.60	7.60	53.13%	
25.22							

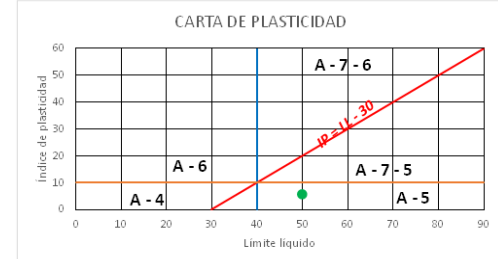


### Clasificación AASHTO

Por Copa de Casagrande	LL	LP	IP
	48.19	44.36	3.83



Por Penetrómetro de Cono	LL	LP	IP
	49.85	44.36	5.49





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



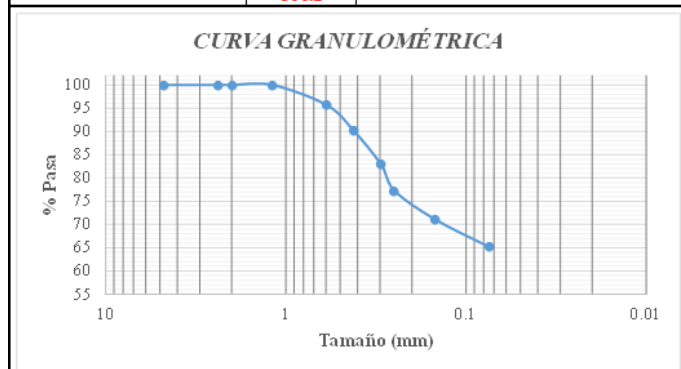
**PALESTINA(4)**

**Contenido de humedad natural**

	MUESTRA 2		
	1	2	3
Recipiente N	89	99	10
Peso muestra húmeda + recipiente	102.41	107.58	102.31
Peso muestra seca + recipiente	52.10	54.50	51.10
Peso recipiente	31.73	32.93	29.91
Peso agua	50.31	53.08	51.21
Peso sólidos	20.37	21.57	21.19
Contenido de humedad	246.98	246.08	241.67
Promedio de contenido de humedad	244.91		

**Granulometría**

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Pasa
4	4.76	0	0	0.00	100.00
8	2.38	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0	0.00	100.00
16	1.19	0	0	0.00	100.00
30	0.595	21.6	21.6	4.32	95.68
40	0.42	27.8	49.4	9.88	90.12
50	0.297	36	85.4	17.08	82.92
60	0.25	28.3	113.7	22.74	77.26
100	0.149	30.8	144.5	28.89	71.11
200	0.074	30	174.5	34.89	65.11
<b>Fuente</b>		325.6	500.1	65.11	0.00
		<b>500.1</b>			



**Límite de contracción**

Localización: PALESTINA	
LÍMITE DE CONTRACCIÓN	
<b>Determinación de Contenido de humedad (W)</b>	
Muestra N°	<b>2</b>
Cápsula N°	9
Peso de cápsula	22.17
Peso de cápsula + suelo húmedo	50.9
Peso de cápsula + suelo seco	40.5
Peso de Agua	10.4
Peso de suelo seco (Ws)	18.33
Contenido de humedad (W)	0.57
<b>Determinación del volumen de suelo húmedo moldeado</b>	
Peso de la cápsula de contracción + Hg	282.4
Peso de la cápsula de contracción	22.17
Peso de Hg	260.23
Densidad de Hg (g/cm <sup>3</sup> )	13.6
Volumen de la masa (Vm)	19.13
<b>Determinación del volumen de suelo seco moldeado</b>	
Peso de la probeta + Hg	225.5
Peso de la probeta	62
Peso de Hg	163.5
Volumen de suelo contraído (Vo)	12.0
<b>Determinación de límite de contracción</b>	
Densidad de Agua (g/cm <sup>3</sup> )	1
$LC\% = \left( w - \frac{(V_m - V_o)\gamma_o}{W_s} \right) * 100$	
Límite de contracción	17.94

**Gravedad específica**

Localización: PALESTINA	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
Muestra N°	<b>2</b>
Número de recipientes	L1
Temperatura de agua + suelo	21
Peso de recipiente	52.8
Peso de recipiente + suelo seco	91.2
Peso de suelo seco	38.4
Peso picnómetro + agua (Mmw)	661.47
Peso de suelo seco + Mmw	699.87
Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	685.5
Desplazamiento de Agua	14.37
K	0.9998
<b>Gs</b>	<b>2.67</b>

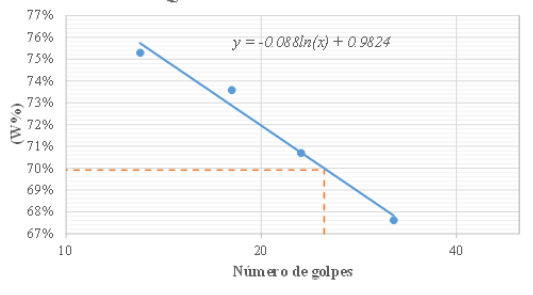
**Límite Plástico**

Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite Plástico
10	15.60	13.80	10.50	54.55%	58.52%
17	16.10	14.10	10.90	62.50%	

### Límite líquido con Copa de Casagrande

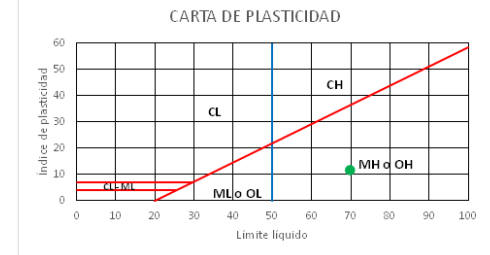
Número de golpes	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Contenido de humedad promedio (W%)	Límite líquido (LLcup)
13	LP1	13.90	10.60	6.70	84.62%	75.29%	69.91%
	LP8	14.20	11.10	6.40	65.96%		
18	25	24.60	18.70	10.90	75.64%	73.60%	
	16	28.60	21.30	11.10	71.57%		
23	6	26.80	20.70	12.30	72.62%	70.68%	
	26	25.60	20.10	12.10	68.75%		
32	64	21.40	17.60	12.10	69.09%	67.60%	
	78	22.10	18.20	12.30	66.10%		

LÍMITE LÍQUIDO - COPA DE CASAGRANDE

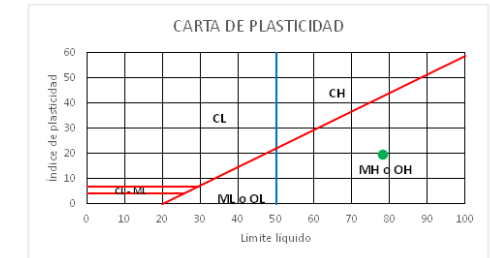


### Clasificación SUCS

Por Copa de Casagrande	LL	LP	IP
	69.91	58.52	11.39



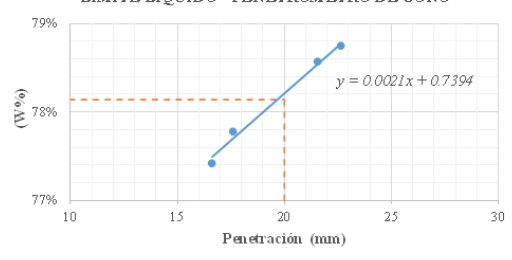
Por Penetrómetro de Cono	LL	LP	IP
	78.14	58.52	19.62



### Límite líquido con Penetrómetro de cono

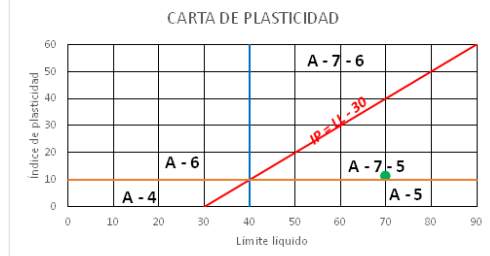
Penetración (mm)	Penetración promedio (mm)	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite líquido (LLcono)
21.68	21.57	LP9	23.70	16.00	6.20	78.57%	78.14%
21.46							
16.37	16.61	LP7	17.40	12.60	6.40	77.42%	
16.85							
17.69	17.59	LP2	19.20	13.60	6.40	77.78%	
17.48							
22.77	22.65	S4	20.90	14.60	6.60	78.75%	
22.53							

LÍMITE LÍQUIDO - PENETRÓMETRO DE CONO

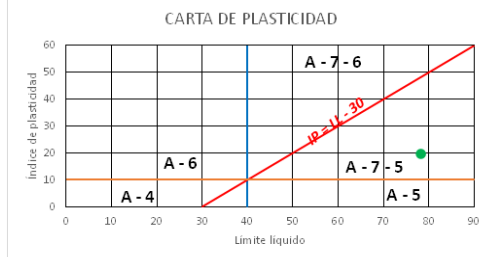


### Clasificación AASHTO

Por Copa de Casagrande	LL	LP	IP
	69.91	58.52	11.39



Por Penetrómetro de Cono	LL	LP	IP
	78.14	58.52	19.62





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



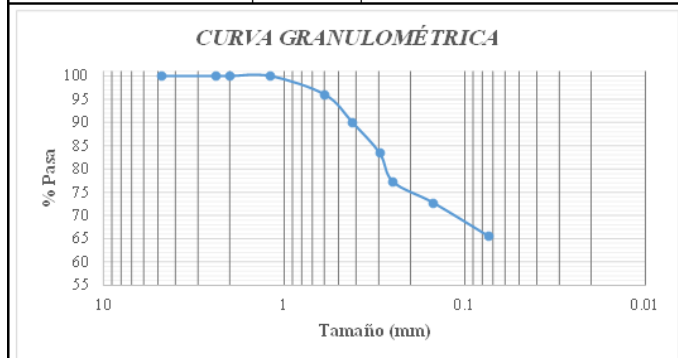
**FÁTIMA (5)**

**Contenido de humedad natural**

	MUESTRA 1		
	1	2	3
Recipiente N	23	94	43
Peso muestra húmeda + recipiente	123.96	134.07	130.36
Peso muestra seca + recipiente	87.10	94.20	90.70
Peso recipiente	31.09	33.55	32.29
Peso agua	36.86	39.87	39.66
Peso sólidos	56.01	60.65	58.41
Contenido de humedad	65.81	65.74	67.90
Promedio de contenido de humedad	66.48		

**Granulometría**

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Pasa
4	4.76	0	0	0.00	100.00
8	2.38	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0	0.00	100.00
16	1.19	0	0	0.00	100.00
30	0.595	20.1	20.1	4.02	95.98
40	0.42	29.7	49.8	9.96	90.04
50	0.297	32.8	82.6	16.53	83.47
60	0.25	31.1	113.7	22.75	77.25
100	0.149	22.8	136.5	27.31	72.69
200	0.074	35.6	172.1	34.43	65.57
<b>Fuente</b>		327.7	499.8	65.57	0.00
		<b>499.8</b>			



**Gravedad específica**

Localización:	FÁTIMA
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>	
Muestra N°	1
Número de recipientes	69
Temperatura de agua + suelo	24
Peso de recipiente	260.5
Peso de recipiente + suelo seco	306.6
Peso de suelo seco	46.1
Peso picnómetro + agua (Mmw)	661.05
Peso de suelo seco + Mmw	707.15
Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	690.1
Desplazamiento de Agua	17.05
K	0.9991
<b>Gs</b>	<b>2.70</b>

**Límite de contracción**

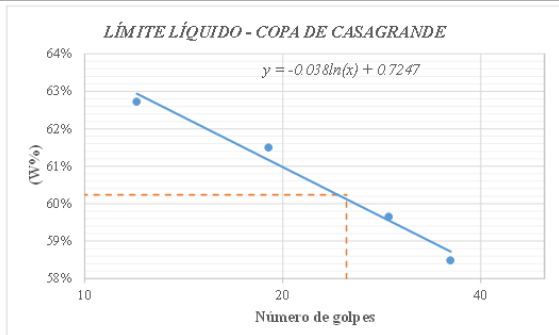
Localización:	FÁTIMA
<b>LÍMITE DE CONTRACCIÓN</b>	
<i>Determinación de Contenido de humedad (W)</i>	
Muestra N°	<b>1</b>
Cápsula N°	12
Peso de cápsula	21.5
Peso de cápsula + suelo húmedo	48.8
Peso de cápsula + suelo seco	37
Peso de Agua	11.8
Peso de suelo seco (Ws)	15.5
Contenido de humedad (W)	0.76
<i>Determinación del volumen de suelo húmedo moldeado</i>	
Peso de la cápsula de contracción + Hg	276.2
Peso de la cápsula de contracción	21.5
Peso de Hg	254.7
Densidad de Hg (g/cm <sup>3</sup> )	13.6
Volumen de la masa (Vm)	18.73
<i>Determinación del volumen de suelo seco moldeado</i>	
Peso de la probeta + Hg	254.4
Peso de la probeta	62
Peso de Hg	192.4
Volumen de suelo contraído (Vo)	14.1
<i>Determinación de límite de contracción</i>	
Densidad de Agua (g/cm <sup>3</sup> )	1
$LC\% = \left( w - \frac{(Vm - Vo) \rho_o}{W_s} \right) * 100$	
Límite de contracción	46.57

**Límite Plástico**

Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite Plástico
50	29.30	28.90	27.48	28.17%	42.66%
11	12.90	12.10	10.70	57.14%	

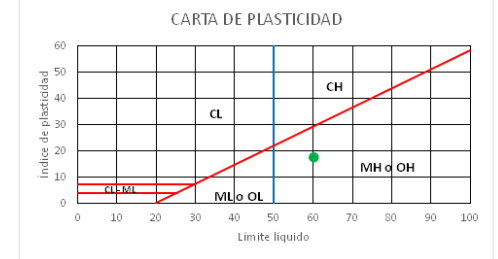
### Límite líquido con Copa de Casagrande

Número de golpes	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Contenido de humedad promedio (W%)	Límite líquido (LLcup)
12	79	24.80	19.60	11.30	62.65%	62.72%	60.24%
	69	25.50	20.10	11.50	62.79%		
19	16	21.50	17.60	11.10	60.00%	61.51%	
	64	30.60	23.10	11.20	63.03%		
29	18	23.40	18.90	11.40	60.00%	59.65%	
	25	24.60	19.50	10.90	59.30%		
36	78	22.90	18.70	11.60	59.15%	58.50%	
	2	27.00	21.10	10.90	57.84%		

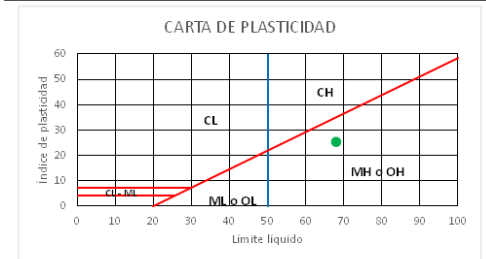


### Clasificación SUCS

Por Copa de Casagrande	LL	LP	IP
	60.24	42.66	17.58

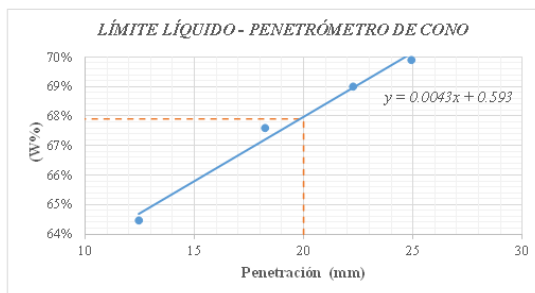


Por Penetrómetro de Cono	LL	LP	IP
	67.90	42.66	25.24



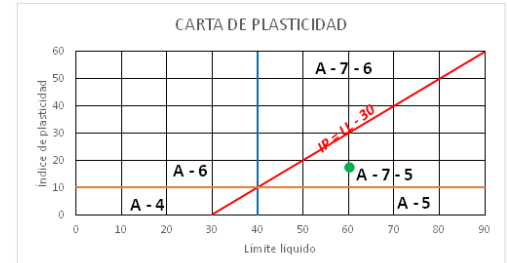
### Límite líquido con Penetrómetro de cono

Penetración (mm)	Penetración promedio (mm)	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite líquido (LLcono)
17.99	18.24	6	34.60	25.00	10.80	67.61%	67.90%
18.52							
18.21							
22.19	22.27	8A	45.88	31.60	10.90	68.99%	
22.34							
12.61	12.44	26	31.10	23.30	11.20	64.46%	
12.26							
25.10	24.94	LP1	36.60	24.30	6.70	69.89%	
24.78							

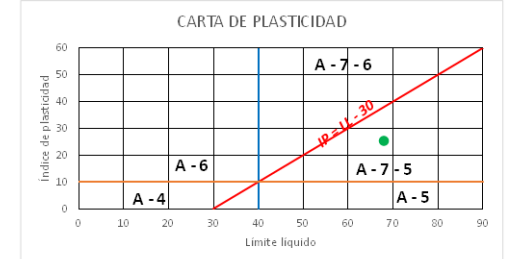


### Clasificación AASHTO

Por Copa de Casagrande	LL	LP	IP
	60.24	42.66	17.58



Por Penetrómetro de Cono	LL	LP	IP
	67.90	42.66	25.24





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



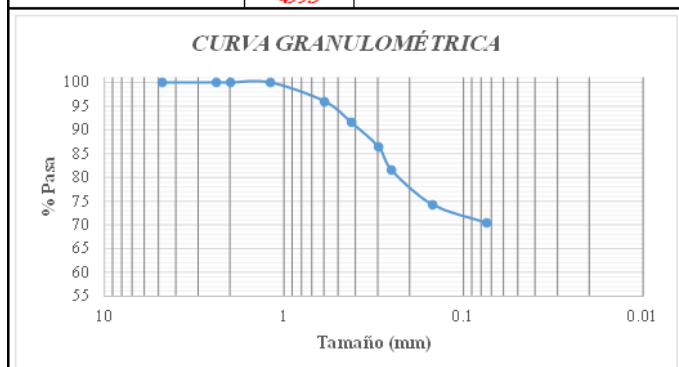
**FÁTIMA (6)**

**Contenido de humedad natural**

	MUESTRA 2		
	1	2	3
Recipiente N	3	85	77
Peso muestra húmeda + recipiente	178.39	125.73	107.56
Peso muestra seca + recipiente	109.70	81.40	70.10
Peso recipiente	33.37	33.14	30.84
Peso agua	68.69	44.33	37.46
Peso sólidos	76.33	48.26	39.26
Contenido de humedad	89.99	91.86	95.42
Promedio de contenido de humedad	92.42		

**Granulometría**

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Pasa
4	4.76	0	0	0.00	100.00
8	2.38	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0	0.00	100.00
16	1.19	0	0	0.00	100.00
30	0.595	19.9	19.9	3.98	96.02
40	0.42	22.6	42.5	8.50	91.50
50	0.297	25.7	68.2	13.64	86.36
60	0.25	24.8	93	18.60	81.40
100	0.149	35.6	128.6	25.73	74.27
200	0.074	19.3	147.9	29.59	70.41
<b>Fuente</b>		352	499.9	70.41	0.00
		<b>499.9</b>			



**Gravedad específica**

Localización:	FÁTIMA
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>	
Muestra N°	2
Número de recipientes	67
Temperatura de agua + suelo	23
Peso de recipiente	254.3
Peso de recipiente + suelo seco	295.9
Peso de suelo seco	41.6
Peso picnómetro + agua (Mmw)	661.19
Peso de suelo seco + Mmw	702.79
Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	687.5
Desplazamiento de Agua	15.29
K	0.9993
<b>Gs</b>	<b>2.72</b>

**Límite de contracción**

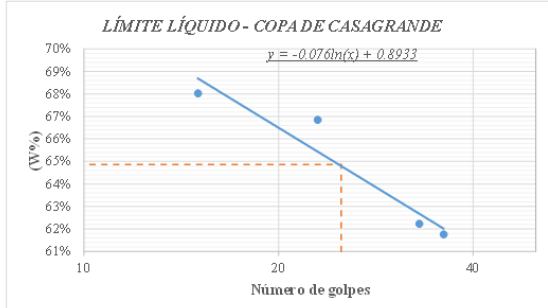
Localización:	FÁTIMA
<b>LÍMITE DE CONTRACCIÓN</b>	
<b>Determinación de Contenido de humedad (W)</b>	
Muestra N°	2
Cápsula N°	2
Peso de cápsula	21.3
Peso de cápsula + suelo húmedo	46.5
Peso de cápsula + suelo seco	34.1
Peso de Agua	12.4
Peso de suelo seco (Ws)	12.8
Contenido de humedad (W)	0.97
<b>Determinación del volumen de suelo húmedo moldeado</b>	
Peso de la cápsula de contracción + Hg	270.6
Peso de la cápsula de contracción	21.3
Peso de Hg	249.3
Densidad de Hg (g/cm3)	13.6
Volumen de la masa (Vm)	18.33
<b>Determinación del volumen de suelo seco moldeado</b>	
Peso de la probeta + Hg	231.4
Peso de la probeta	62
Peso de Hg	169.4
Volumen de suelo contraído (Vo)	12.5
<b>Determinación de límite de contracción</b>	
Densidad de Agua (g/cm3)	1
$LC\% = \left( w - \frac{(Vm - Vo) \gamma_o}{W_s} \right) * 100$	
Límite de contracción	50.98

**Límite Plástico**

Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite Plástico
11	29.60	28.90	27.30	43.75%	46.47%
3	12.60	12.00	10.78	49.18%	

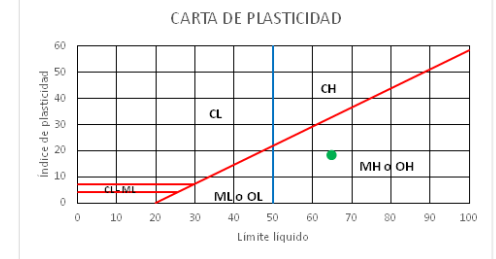
### Límite líquido con Copa de Casagrande

Número de golpes	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Contenido de humedad promedio (W%)	Límite líquido (LLcup)
23	2	23.50	18.50	10.90	65.79%	66.82%	64.87%
	26	25.30	19.60	11.20	67.86%		
33	8A	20.30	16.80	10.90	59.32%	62.24%	
	64	22.10	17.80	11.20	65.15%		
15	69	22.40	18.00	11.50	67.69%	68.02%	
	6	24.10	18.70	10.80	68.35%		
36	25	23.70	18.70	10.90	64.10%	61.74%	
	16	21.30	17.50	11.10	59.38%		

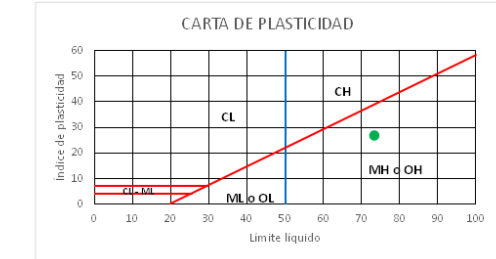


### Clasificación SUCS

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	64.87	46.47	18.40

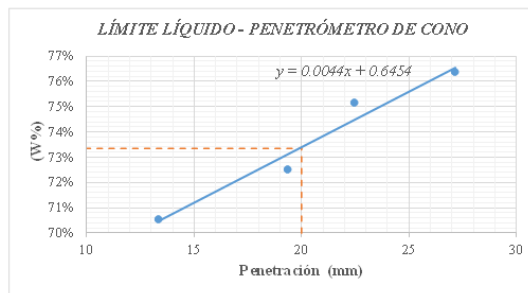


	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	73.34	46.47	26.87



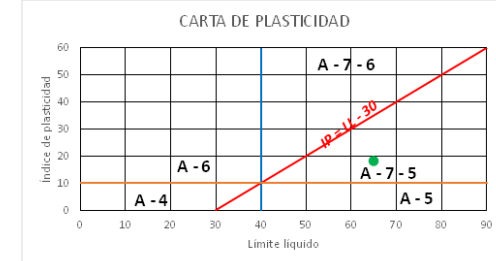
### Límite líquido con Penetrómetro de cono

Penetración (mm)	Penetración promedio (mm)	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite líquido (LLcono)
13.24	13.33	79	36.20	25.90	11.30	70.55%	73.34%
13.42							
23.33							
22.18	22.47	18	39.00	27.20	11.50	75.16%	
21.89							
27.33							
26.94	27.14	78	40.70	28.10	11.60	76.36%	
19.32							
19.33	19.33	38	39.40	27.80	11.80	72.50%	

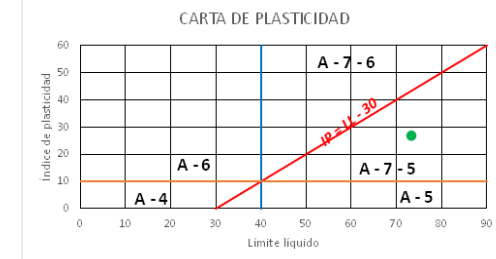


### Clasificación AASHTO

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	64.87	46.47	18.40



	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	73.34	46.47	26.87







**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



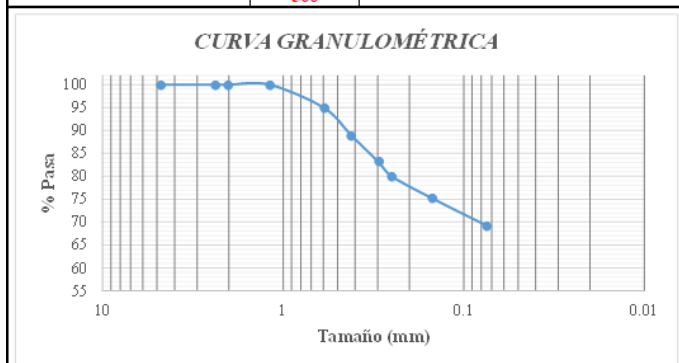
**SANTA MARTHA (7)**

**Contenido de humedad natural**

	MUESTRA 1		
	1	2	3
Recipiente N	46	15	40
Peso muestra húmeda + recipiente	92.43	94.75	83.50
Peso muestra seca + recipiente	47.00	48.00	44.40
Peso recipiente	24.81	25.49	24.04
Peso agua	45.43	46.75	39.10
Peso sólidos	22.19	22.51	20.36
Contenido de humedad	204.73	207.69	192.04
Promedio de contenido de humedad	201.49		

**Granulometría**

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Pasa
4	4.76	0	0	0.00	100.00
8	2.38	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0	0.00	100.00
16	1.19	0	0	0.00	100.00
30	0.595	25.4	25.4	5.08	94.92
40	0.42	30	55.4	11.08	88.92
50	0.297	29	84.4	16.88	83.12
60	0.25	15.8	100.2	20.04	79.96
100	0.149	24	124.2	24.84	75.16
200	0.074	30	154.2	30.84	69.16
<b>Fuente</b>		345.8	500	69.16	0.00
		<b>500</b>			



**Límite de contracción**

Localización:	SANTA MARTHA
<b>LÍMITE DE CONTRACCIÓN</b>	
<i>Determinación de Contenido de humedad (W)</i>	
Muestra N°	<b>1</b>
Cápsula N°	8
Peso de cápsula	21.92
Peso de cápsula + suelo húmedo	50.2
Peso de cápsula + suelo seco	38.3
Peso de Agua	11.9
Peso de suelo seco (Ws)	16.38
Contenido de humedad (W)	0.73
<i>Determinación del volumen de suelo húmedo moldeado</i>	
Peso de la cápsula de contracción + Hg	279.9
Peso de la cápsula de contracción	21.92
Peso de Hg	257.98
Densidad de Hg (g/cm <sup>3</sup> )	13.6
Volumen de la masa (Vm)	18.97
<i>Determinación del volumen de suelo seco moldeado</i>	
Peso de la probeta + Hg	289.4
Peso de la probeta	62
Peso de Hg	227.4
Volumen de suelo contraído (Vo)	16.7
<i>Determinación de límite de contracción</i>	
Densidad de Agua (g/cm <sup>3</sup> )	1
$LC\% = \left( w - \frac{(Vm - Vo) \gamma_o}{Ws} \right) * 100$	
Límite de contracción	58.92

**Gravedad específica**

Localización:	SANTA MARTHA
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>	
Muestra N°	<b>1</b>
Número de recipientes	44
Temperatura de agua + suelo	24
Peso de recipiente	149.7
Peso de recipiente + suelo seco	188
Peso de suelo seco	38.3
Peso picnómetro + agua (Mmw)	661.05
Peso de suelo seco + Mmw	699.35
Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	685
Desplazamiento de Agua	14.35
K	0.9991
<b>Gs</b>	<b>2.67</b>

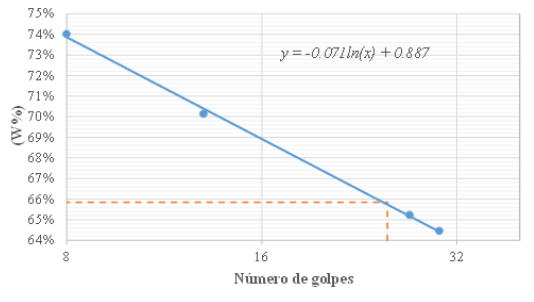
**Límite Plástico**

Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite Plástico
32	28.20	27.50	26.41	64.22%	52.73%
P4	12.00	11.60	10.63	41.24%	

### Límite líquido con Copa de Casagrande

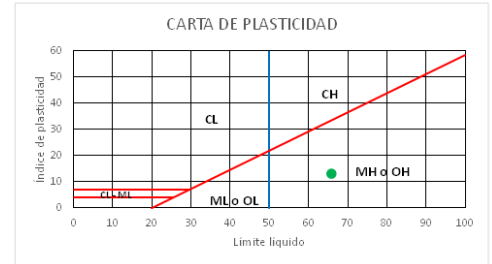
Número de golpes	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Contenido de humedad promedio (W%)	Límite líquido (LLcup)
8	6	24.60	18.70	10.80	74.68%	74.01%	65.85%
	69	27.10	20.50	11.50	73.33%		
13	18	21.50	17.40	11.50	69.49%	70.16%	
	16	23.40	18.30	11.10	70.83%		
30	26	21.80	17.60	11.20	65.63%	64.48%	
	64	21.00	17.20	11.20	63.33%		
27	25	20.90	16.90	10.90	66.67%	65.23%	
	2	20.40	16.70	10.90	63.79%		

LÍMITE LÍQUIDO - COPA DE CASAGRANDE

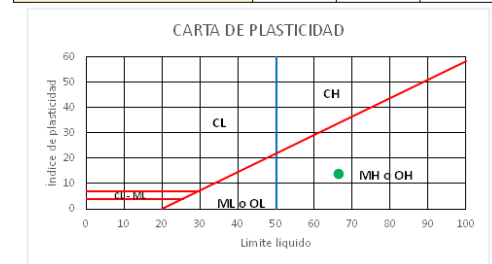


### Clasificación SUCS

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	65.85	52.73	13.12



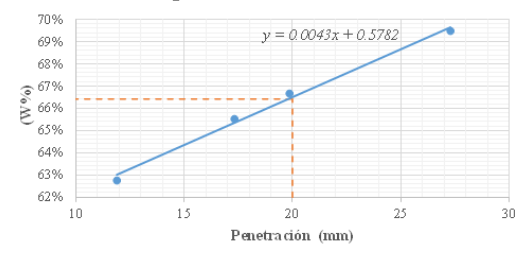
	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	66.42	52.73	13.69



### Límite líquido con Penetrómetro de cono

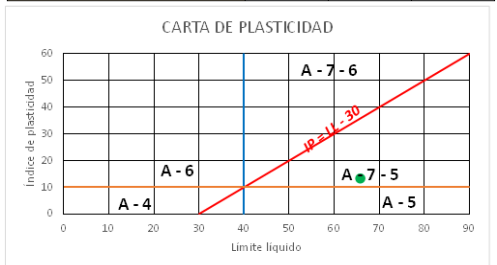
Penetración (mm)	Penetración promedio (mm)	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite líquido (LLcone)
27.05	27.28	LP5	28.30	19.20	6.10	69.47%	66.42%
27.50							
17.09	17.30	LP6	30.80	21.10	6.30	65.54%	
17.51							
11.76	11.91	LP7	23.20	16.80	6.60	62.75%	
12.06							
19.69	19.88	LP10	25.90	18.10	6.40	66.67%	
20.07							

LÍMITE LÍQUIDO - PENETRÓMETRO DE CONO

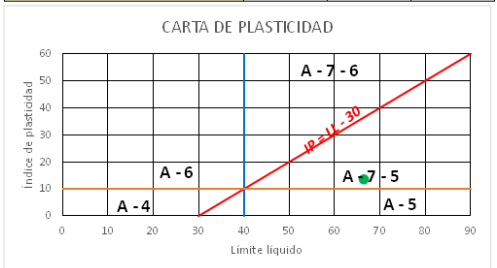


### Clasificación AASHTO

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	65.85	52.73	13.12



	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	66.42	52.73	13.69





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



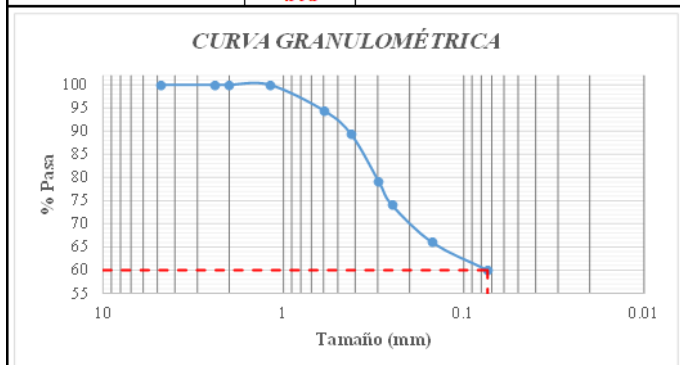
**SANTA MARTHA (8)**

**Contenido de humedad natural**

	MUESTRA 2		
	1	2	3
Recipiente N	5	31	7
Peso muestra húmeda + recipiente	98.34	94.91	93.29
Peso muestra seca + recipiente	54.50	54.70	56.10
Peso recipiente	24.15	24.51	28.76
Peso agua	43.84	40.21	37.19
Peso sólidos	30.35	30.19	27.34
Contenido de humedad	144.45	133.19	136.03
Promedio de contenido de humedad	137.89		

**Granulometría**

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Pasa
4	4.76	0	0	0.00	100.00
8	2.38	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0	0.00	100.00
16	1.19	0	0	0.00	100.00
30	0.595	28	28	5.60	94.40
40	0.42	25.8	53.8	10.76	89.24
50	0.297	50.2	104	20.80	79.20
60	0.25	25.8	129.8	25.97	74.03
100	0.149	40.5	170.3	34.07	65.93
200	0.074	29.6	199.9	39.99	60.01
<b>Fuente</b>		300	499.9	60.01	0.00
		<b>499.9</b>			



**Límite de contracción**

Localización:	SANTA MARTHA
<b>LÍMITE DE CONTRACCIÓN</b>	
<i>Determinación de Contenido de humedad (W)</i>	
Muestra N°	2
Cápsula N°	3
Peso de cápsula	23.38
Peso de cápsula + suelo húmedo	50.4
Peso de cápsula + suelo seco	38.7
Peso de Agua	11.7
Peso de suelo seco (Ws)	15.32
Contenido de humedad (W)	0.76
<i>Determinación del volumen de suelo húmedo moldeado</i>	
Peso de la cápsula de contracción + Hg	282.5
Peso de la cápsula de contracción	23.38
Peso de Hg	259.12
Densidad de Hg (g/cm <sup>3</sup> )	13.6
Volumen de la masa (Vm)	19.05
<i>Determinación del volumen de suelo seco moldeado</i>	
Peso de la probeta + Hg	276
Peso de la probeta	62
Peso de Hg	214
Volumen de suelo contraído (Vo)	15.7
<i>Determinación de límite de contracción</i>	
Densidad de Agua (g/cm <sup>3</sup> )	1
$LC\% = \left( w - \frac{(V_m - V_o)\gamma_o}{W_s} \right) * 100$	
Límite de contracción	54.72

**Gravedad específica**

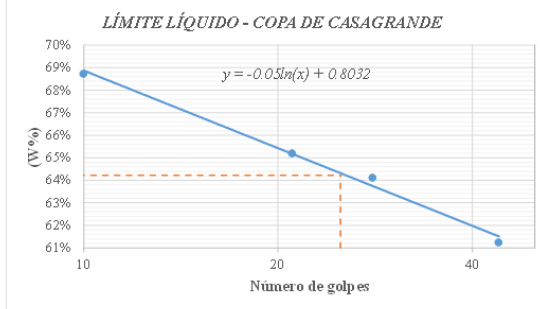
Localización:	SANTA MARTHA
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>	
Muestra N°	2
Número de recipientes	S5g
Temperatura de agua + suelo	25.5
Peso de recipiente	82.3
Peso de recipiente + suelo seco	123.1
Peso de suelo seco	40.8
Peso picnómetro + agua (Mmw)	660.83
Peso de suelo seco + Mmw	701.63
Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	686.4
Desplazamiento de Agua	15.23
K	0.9987
Gs	<b>2.68</b>

**Límite Plástico**

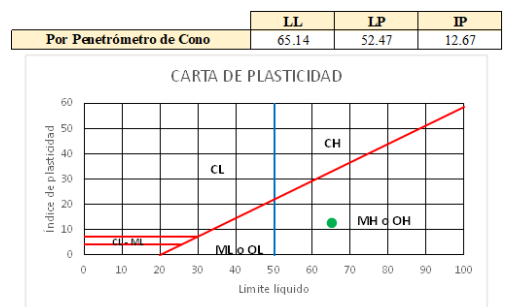
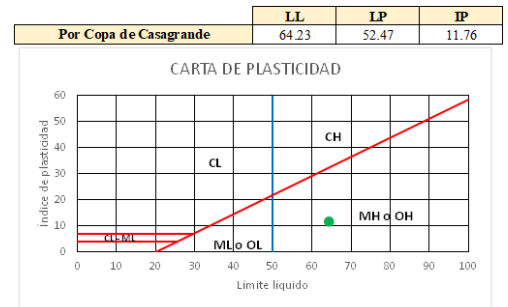
Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite Plástico
76	34.90	33.90	32.08	54.95%	52.47%
50	7.80	7.20	6.00	50.00%	

### Límite líquido con Copa de Casagrande

Número de golpes	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Contenido de humedad promedio (W%)	Límite líquido (LLcup)
44	8A	20.60	17.00	10.90	59.02%	61.24%	64.23%
	78	20.10	16.80	11.60	63.46%		
10	38	21.70	17.70	11.80	67.80%	68.75%	
	79	22.50	17.90	11.30	69.70%		
28	LP3	16.70	12.60	6.30	65.08%	64.12%	
	LP1	16.00	12.40	6.70	63.16%		
21	LP2	18.10	13.50	6.40	64.79%	65.21%	
	LP4	16.70	12.50	6.10	65.63%		

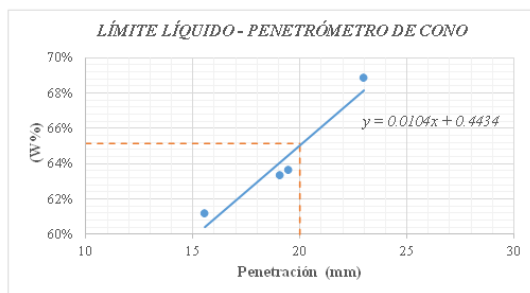


### Clasificación SUCS

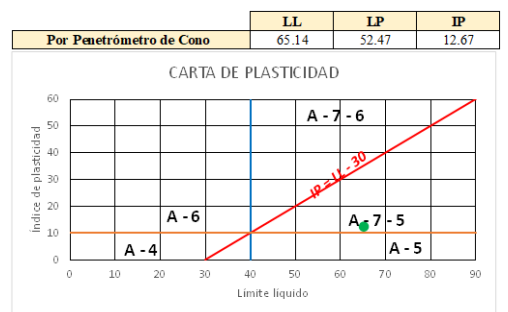
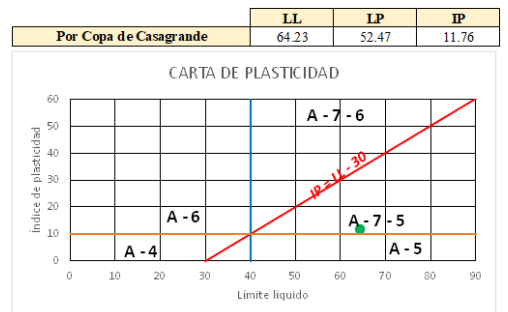


### Límite líquido con Penetrómetro de cono

Penetración (mm)	Penetración promedio (mm)	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite líquido (LLcono)
23.09	22.97	78	26.80	20.60	11.60	68.89%	65.14%
22.84							
18.87	19.05	18	23.10	18.60	11.50	63.38%	
19.22							
15.50	15.54	2	21.70	17.60	10.90	61.19%	
15.58							
19.28	19.45	25	23.50	18.60	10.90	63.64%	
19.61							



### Clasificación AASHTO





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



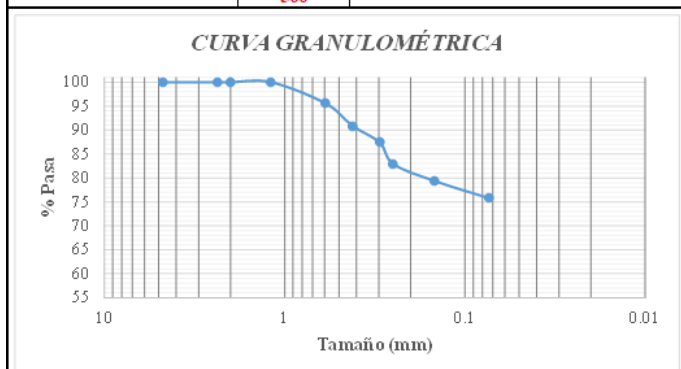
**LAS AMÉRICAS (9)**

**Contenido de humedad natural**

	MUESTRA 1		
	1	2	3
Recipiente N	72	6	4
Peso muestra húmeda + recipiente	85.46	118.18	109.10
Peso muestra seca + recipiente	51.70	65.50	59.40
Peso recipiente	30.74	34.57	30.48
Peso agua	33.76	52.68	49.70
Peso sólidos	20.96	30.93	28.92
Contenido de humedad	161.07	170.32	171.85
Promedio de contenido de humedad	167.75		

**Granulometría**

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Pasa
4	4.76	0	0	0.00	100.00
8	2.38	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0	0.00	100.00
16	1.19	0	0	0.00	100.00
30	0.595	22	22	4.40	95.60
40	0.42	23.7	45.7	9.14	90.86
50	0.297	17.3	63	12.60	87.40
60	0.25	22.4	85.4	17.08	82.92
100	0.149	17.4	102.8	20.56	79.44
200	0.074	18.2	121	24.20	75.80
<b>Fuente</b>		379	500	75.80	0.00



**Límite de contracción**

Localización:		LAS AMÉRICAS
<b>LÍMITE DE CONTRACCIÓN</b>		
<b>Determinación de Contenido de humedad (W)</b>		
Muestra N°	<b>1</b>	
Cápsula N°	1	
Peso de cápsula	22.6	
Peso de cápsula + suelo húmedo	51	
Peso de cápsula + suelo seco	38.8	
Peso de Agua	12.2	
Peso de suelo seco (Ws)	16.2	
Contenido de humedad (W)	0.75	
<b>Determinación del volumen de suelo húmedo moldeado</b>		
Peso de la cápsula de contracción + Hg	279.8	
Peso de la cápsula de contracción	22.6	
Peso de Hg	257.2	
Densidad de Hg (g/cm <sup>3</sup> )	13.6	
Volumen de la masa (Vm)	18.91	
<b>Determinación del volumen de suelo seco moldeado</b>		
Peso de la probeta + Hg	296.7	
Peso de la probeta	62	
Peso de Hg	234.7	
Volumen de suelo contraído (Vo)	17.3	
<b>Determinación de límite de contracción</b>		
Densidad de Agua (g/cm <sup>3</sup> )	1	
$LC\% = \left( w - \frac{(Vm - Vo) \gamma_o}{W_s} \right) * 100$		
Límite de contracción	65.10	

**Gravedad específica**

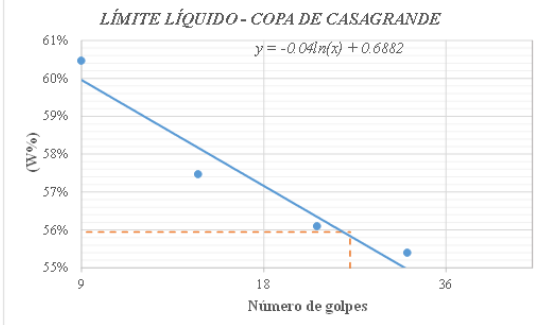
Localización:		LAS AMÉRICAS
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>		
Muestra N°	<b>1</b>	
Número de recipientes	73	
Temperatura de agua + suelo	25	
Peso de recipiente	257.6	
Peso de recipiente + suelo seco	298.3	
Peso de suelo seco	40.7	
Peso picnómetro + agua (Mmw)	660.90	
Peso de suelo seco + Mmw	701.60	
Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	686.4	
Desplazamiento de Agua	15.20	
K	0.9989	
<b>Gs</b>	<b>2.67</b>	

**Límite Plástico**

Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite Plástico
11	14.10	12.90	10.70	54.55%	50.10%
O3	13.80	12.80	10.61	45.66%	

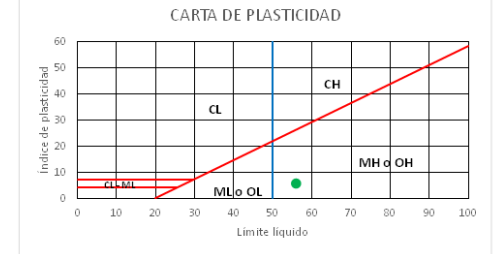
### Límite líquido con Copa de Casagrande

Número de golpes	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Contenido de humedad promedio (W%)	Límite líquido (LLcup)
9	26	24.90	19.70	11.20	61.18%	60.47%	55.94%
	8A	24.80	19.60	10.90	59.77%		
14	64	21.30	17.60	11.20	57.81%	57.48%	
	LP6	19.50	14.70	6.30	57.14%		
31	LP5	15.70	12.30	6.10	54.84%	55.40%	
	LP1	19.80	15.10	6.70	55.95%		
22	LP2	17.60	13.60	6.40	55.56%	56.11%	
	LP3	15.70	12.30	6.30	56.67%		

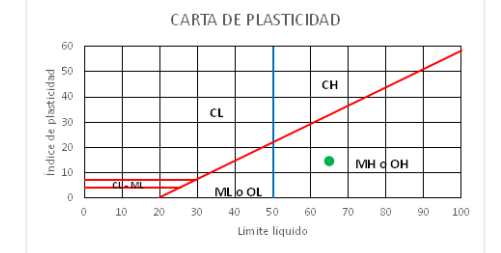


### Clasificación SUCS

Por Copa de Casagrande	LL	LP	IP
	55.94	50.10	5.84

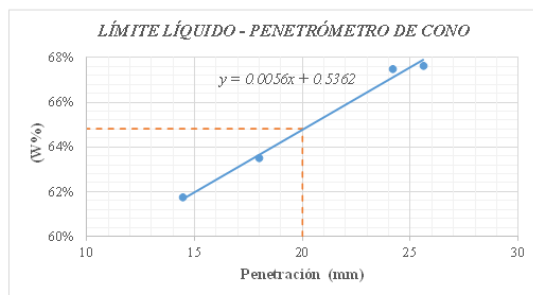


Por Penetrómetro de Cono	LL	LP	IP
	64.82	50.10	14.72



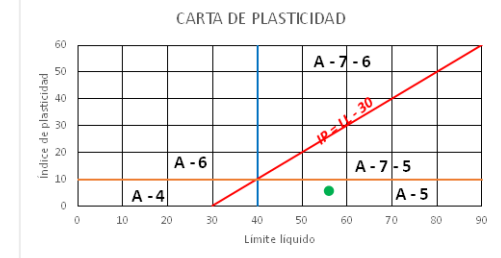
### Límite líquido con Penetrómetro de cono

Penetración (mm)	Penetración promedio (mm)	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite líquido (LLcone)
24.23	24.17	16	24.50	19.10	11.10	67.50%	64.82%
24.11							
17.97	18.00	69	23.60	18.90	11.50	63.51%	
18.03							
25.76	25.60	38	23.20	18.60	11.80	67.65%	
25.44							
14.61	14.46	79	22.30	18.10	11.30	61.76%	
14.31							

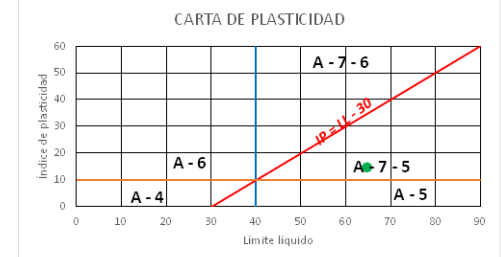


### Clasificación AASHTO

Por Copa de Casagrande	LL	LP	IP
	55.94	50.10	5.84



Por Penetrómetro de Cono	LL	LP	IP
	64.82	50.10	14.72





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



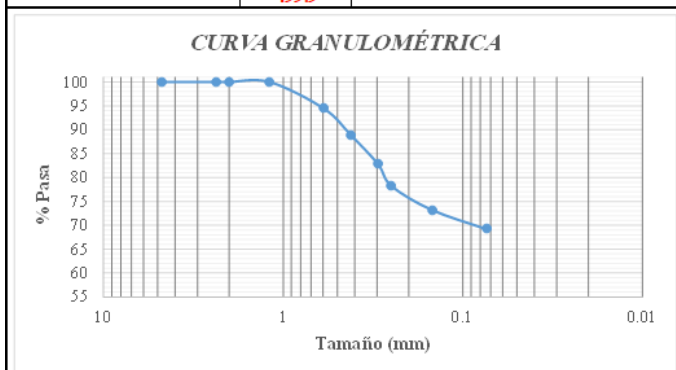
**LAS AMÉRICAS (10)**

**Contenido de humedad natural**

	MUESTRA 2		
	1	2	3
Recipiente N	1	32	45
Peso muestra húmeda + recipiente	91.98	95.77	99.31
Peso muestra seca + recipiente	47.00	50.00	49.70
Peso recipiente	23.73	26.40	23.40
Peso agua	44.98	45.77	49.61
Peso sólidos	23.27	23.60	26.30
Contenido de humedad	193.30	193.94	188.63
Promedio de contenido de humedad	191.96		

**Granulometría**

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Pasa
4	4.76	0	0	0.00	100.00
8	2.38	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0	0.00	100.00
16	1.19	0	0	0.00	100.00
30	0.595	27.7	27.7	5.54	94.46
40	0.42	27.9	55.6	11.12	88.88
50	0.297	30.3	85.9	17.18	82.82
60	0.25	22.8	108.7	21.74	78.26
100	0.149	25.2	133.9	26.79	73.21
200	0.074	20	153.9	30.79	69.21
<b>Fuente</b>		346	499.9	69.21	0.00
		<b>499.9</b>			



**Límite de contracción**

Localización:		LAS AMÉRICAS
<b>LÍMITE DE CONTRACCIÓN</b>		
<b>Determinación de Contenido de humedad (W)</b>		
Muestra N°	2	
Cápsula N°	10	
Peso de cápsula	22	
Peso de cápsula + suelo húmedo	49.6	
Peso de cápsula + suelo seco	37.9	
Peso de Agua	11.7	
Peso de suelo seco (Ws)	15.9	
Contenido de humedad (W)	0.74	
<b>Determinación del volumen de suelo húmedo moldeado</b>		
Peso de la cápsula de contracción + Hg	278.3	
Peso de la cápsula de contracción	22	
Peso de Hg	256.3	
Densidad de Hg (g/cm <sup>3</sup> )	13.6	
Volumen de la masa (Vm)	18.85	
<b>Determinación del volumen de suelo seco moldeado</b>		
Peso de la probeta + Hg	297.2	
Peso de la probeta	62	
Peso de Hg	235.2	
Volumen de suelo contraído (Vo)	17.3	
<b>Determinación de límite de contracción</b>		
Densidad de Agua (g/cm <sup>3</sup> )	1	
$LC\% = \left( w - \frac{(Vm - Vo)\gamma_o}{Ws} \right) * 100$		
Límite de contracción	63.83	

**Gravedad específica**

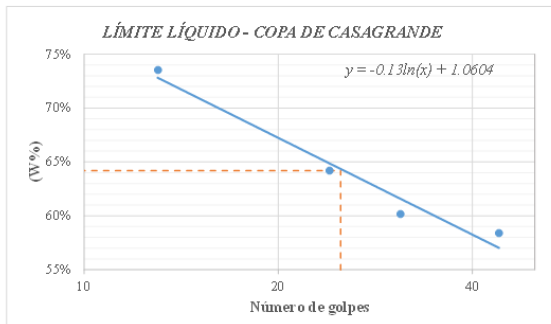
Localización:		LAS AMÉRICAS
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>		
Muestra N°	2	
Número de recipientes	66	
Temperatura de agua + suelo	25	
Peso de recipiente	256.5	
Peso de recipiente + suelo seco	302.3	
Peso de suelo seco	45.8	
Peso picnómetro + agua (Mmw)	660.90	
Peso de suelo seco + Mmw	706.70	
Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	689.8	
Desplazamiento de Agua	16.90	
K	0.9989	
<b>Gs</b>	<b>2.71</b>	

**Límite Plástico**

Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite Plástico
P4	14.60	13.30	10.60	48.15%	48.36%
3	16.00	14.30	10.80	48.57%	

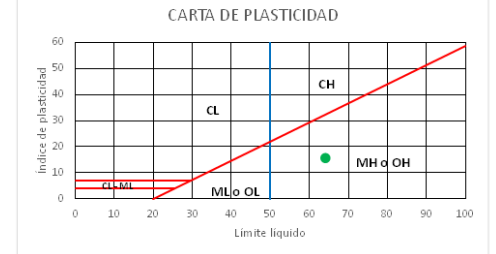
### Límite líquido con Copa de Casagrande

Número de golpes	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Contenido de humedad promedio (W%)	Límite líquido (LLcup)
13	T5	20.20	16.90	13.10	86.84%	73.57%	64.19%
	T8	23.70	19.60	12.80	60.29%		
24	T6	18.10	15.80	12.60	71.88%	64.20%	
	T1	19.70	17.10	12.50	56.52%		
31	T9	18.40	16.30	12.30	52.50%	60.12%	
	T10	17.40	15.30	12.20	67.74%		
44	T3	21.90	18.30	12.40	61.02%	58.39%	
	T4	20.90	18.00	12.80	55.77%		

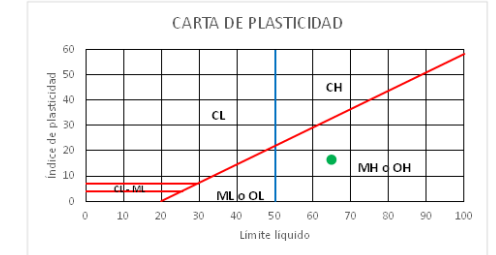


### Clasificación SUCS

Por Copa de Casagrande	LL	LP	IP
	64.19	48.36	15.83

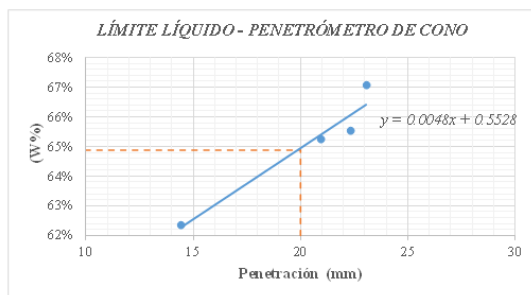


Por Penetrómetro de Cono	LL	LP	IP
	64.88	48.36	16.52



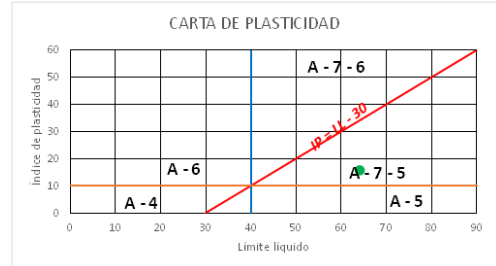
### Límite líquido con Penetrómetro de cono

Penetración (mm)	Penetración promedio (mm)	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite líquido (LLcone)
23.24	23.06	8A	25.10	19.40	10.90	67.06%	64.88%
22.88							
14.63	14.43	69	24.00	19.20	11.50	62.34%	
14.22							
22.46	22.33	2	25.30	19.60	10.90	65.52%	
22.20							
20.84	20.98	64	26.90	20.70	11.20	65.26%	
21.11							

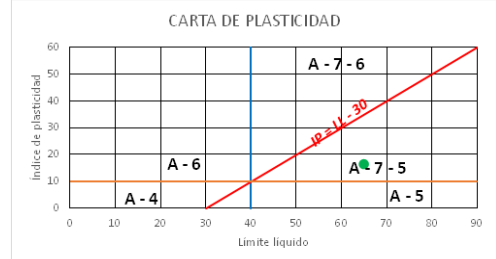


### Clasificación AASHTO

Por Copa de Casagrande	LL	LP	IP
	64.19	48.36	15.83



Por Penetrómetro de Cono	LL	LP	IP
	64.88	48.36	16.52







**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



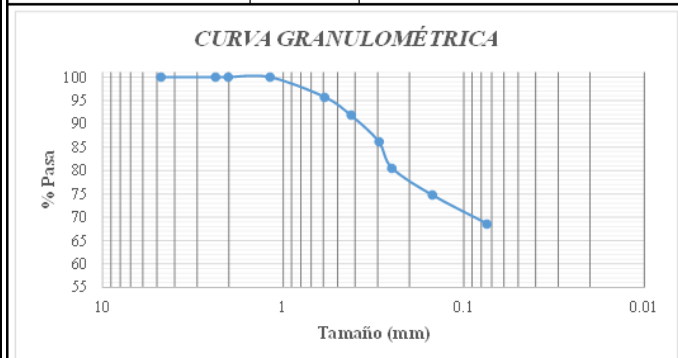
**EL OBRERO (11)**

**Contenido de humedad natural**

	MUESTRA 1		
	1	2	3
Recipiente N	91	86	5
Peso muestra húmeda + recipiente	119.77	131.31	158.55
Peso muestra seca + recipiente	82.60	89.90	105.40
Peso recipiente	32.38	34.34	32.50
Peso agua	37.17	41.41	53.15
Peso sólidos	50.22	55.56	72.90
Contenido de humedad	74.01	74.53	72.91
Promedio de contenido de humedad	73.82		

**Granulometría**

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Pasa
4	4.76	0	0	0.00	100.00
8	2.38	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0	0.00	100.00
16	1.19	0	0	0.00	100.00
30	0.595	21	21	4.20	95.80
40	0.42	20.3	41.3	8.26	91.74
50	0.297	27.4	68.7	13.75	86.25
60	0.25	28.6	97.3	19.47	80.53
100	0.149	29.1	126.4	25.29	74.71
200	0.074	30.7	157.1	31.43	68.57
<b>Fuente</b>		342.7	499.8	68.57	0.00
		<b>499.8</b>			



**Gravedad específica**

Localización:	EL OBRERO
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>	
Muestra N°	<b>1</b>
Número de recipientes	68.00
Temperatura de agua + suelo	22
Peso de recipiente	263.80
Peso de recipiente + suelo seco	312.40
Peso de suelo seco	48.60
Peso picnómetro + agua (Mmw)	661.33
Peso de suelo seco + Mmw	709.93
Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	691.6
Desplazamiento de Agua	18.33
K	0.9996
<b>Gs</b>	<b>2.65</b>

**Límite de contracción**

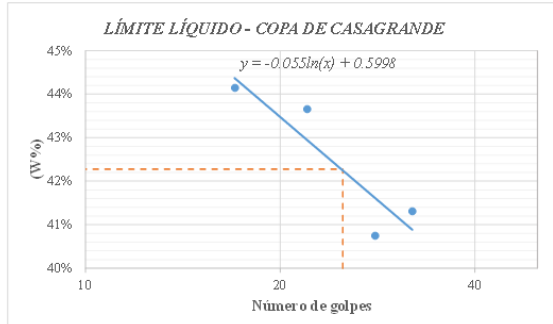
Localización:	EL OBRERO
<b>LÍMITE DE CONTRACCIÓN</b>	
<b>Determinación de Contenido de humedad (W)</b>	
Muestra N°	<b>1</b>
Cápsula N°	13
Peso de cápsula	22.3
Peso de cápsula + suelo húmedo	51.3
Peso de cápsula + suelo seco	39.4
Peso de Agua	11.9
Peso de suelo seco (Ws)	17.1
Contenido de humedad (W)	0.70
<b>Determinación del volumen de suelo húmedo moldeado</b>	
Peso de la cápsula de contracción + Hg	273.5
Peso de la cápsula de contracción	22.3
Peso de Hg	251.2
Densidad de Hg (g/cm <sup>3</sup> )	13.6
Volumen de la masa (Vm)	18.47
<b>Determinación del volumen de suelo seco moldeado</b>	
Peso de la probeta + Hg	244.1
Peso de la probeta	62
Peso de Hg	182.1
Volumen de suelo contraído (Vo)	13.4
<b>Determinación de límite de contracción</b>	
Densidad de Agua (g/cm <sup>3</sup> )	1
$LC\% = \left( w - \frac{(V_m - V_o)\gamma_o}{W_s} \right) * 100$	
Límite de contracción	39.88

**Límite Plástico**

Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite Plástico
76	16.10	14.50	10.70	42.11%	41.05%
O3	16.20	14.60	10.60	40.00%	

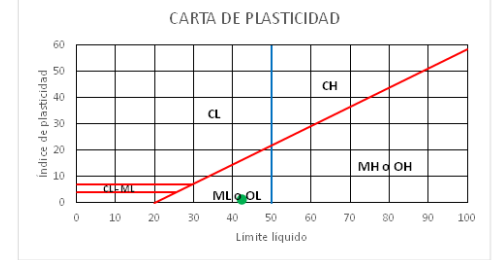
### Límite líquido con Copa de Casagrande

Número de golpes	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Contenido de humedad promedio (W%)	Límite líquido (LLcup)
17	LP5	15.70	12.80	6.10	43.28%	44.14%	42.28%
	LP2	15.10	12.40	6.40	45.00%		
22	LP7	14.60	12.20	6.60	42.86%	43.65%	
	LP1	15.80	13.00	6.70	44.44%		
28	SR1	14.00	11.80	6.40	40.74%	40.74%	
	SR4	14.20	12.00	6.60	40.74%		
32	LP9	14.20	12.00	6.50	40.00%	41.30%	
	SR7	14.40	12.10	6.70	42.59%		

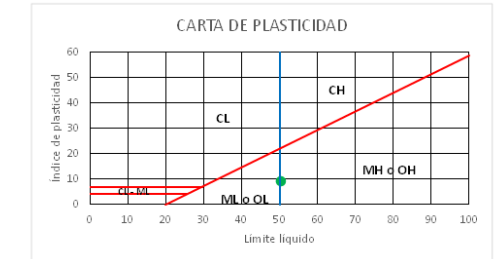


### Clasificación SUCS

Por Copa de Casagrande	LL	LP	IP
	42.28	41.05	1.23

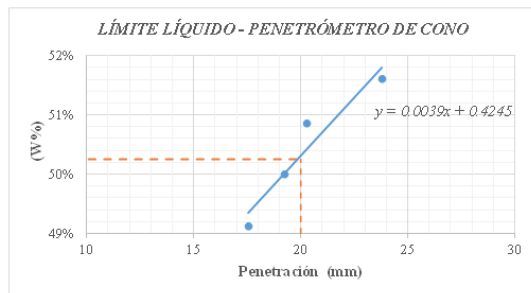


Por Penetrómetro de Cono	LL	LP	IP
	50.25	41.05	9.20



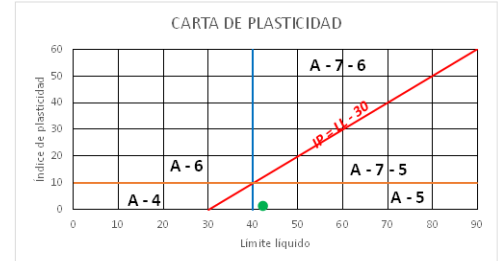
### Límite líquido con Penetrómetro de cono

Penetración (mm)	Penetración promedio (mm)	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite líquido (LLcono)
20.69	20.30	LP9	24.00	18.10	6.50	50.86%	50.25%
20.09							
20.12							
19.22	19.25	LP1	23.20	17.70	6.70	50.00%	
19.27							
23.81	23.78	LP7	20.70	15.90	6.60	51.61%	
23.75							
17.73	17.56	LP10	23.40	17.80	6.40	49.12%	
17.38							

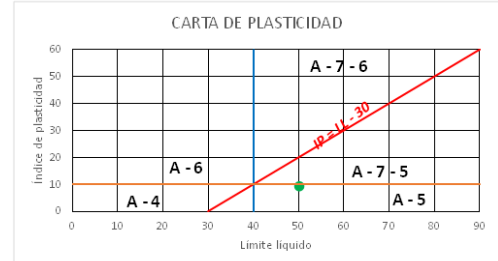


### Clasificación AASHTO

Por Copa de Casagrande	LL	LP	IP
	42.28	41.05	1.23



Por Penetrómetro de Cono	LL	LP	IP
	50.25	41.05	9.20





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



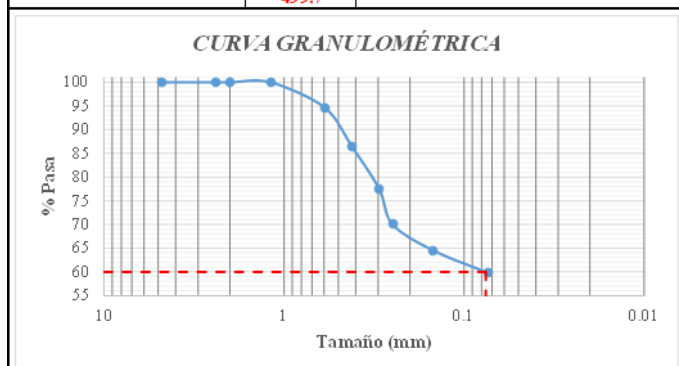
**EL OBRERO (12)**

**Contenido de humedad natural**

	MUESTRA 2		
	1	2	3
Recipiente N	48	2	44
Peso muestra húmeda + recipiente	112.94	121.69	101.08
Peso muestra seca + recipiente	84.80	88.20	73.30
Peso recipiente	37.76	30.73	26.08
Peso agua	28.14	33.49	27.78
Peso sólidos	47.04	57.47	47.22
Contenido de humedad	59.82	58.27	58.83
Promedio de contenido de humedad	58.98		

**Granulometría**

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Pasa
4	4.76	0	0	0.00	100.00
8	2.38	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0	0.00	100.00
16	1.19	0	0	0.00	100.00
30	0.595	26.7	26.7	5.34	94.66
40	0.42	41	67.7	13.55	86.45
50	0.297	44.3	112	22.41	77.59
60	0.25	37.6	149.6	29.94	70.06
100	0.149	27.5	177.1	35.44	64.56
200	0.074	23.6	200.7	40.16	59.84
<b>Fuente</b>		299	499.7	59.84	0.00



**Límite de contracción**

Localización:	EL OBRERO
<b>LÍMITE DE CONTRACCIÓN</b>	
<b>Determinación de Contenido de humedad (W)</b>	
Muestra N°	2
Cápsula N°	11
Peso de cápsula	22.4
Peso de cápsula + suelo húmedo	51.2
Peso de cápsula + suelo seco	38.4
Peso de Agua	12.8
Peso de suelo seco (Ws)	16
Contenido de humedad (W)	0.80
<b>Determinación del volumen de suelo húmedo moldeado</b>	
Peso de la cápsula de contracción + Hg	282.9
Peso de la cápsula de contracción	22.4
Peso de Hg	260.5
Densidad de Hg (g/cm <sup>3</sup> )	13.6
Volumen de la masa (Vm)	19.15
<b>Determinación del volumen de suelo seco moldeado</b>	
Peso de la probeta + Hg	246.9
Peso de la probeta	62
Peso de Hg	184.9
Volumen de suelo contraído (Vo)	13.6
<b>Determinación de límite de contracción</b>	
Densidad de Agua (g/cm <sup>3</sup> )	1
$LC\% = \left( w - \frac{(V_m - V_o) \gamma_o}{W_s} \right) * 100$	
Límite de contracción	45.26

**Gravedad específica**

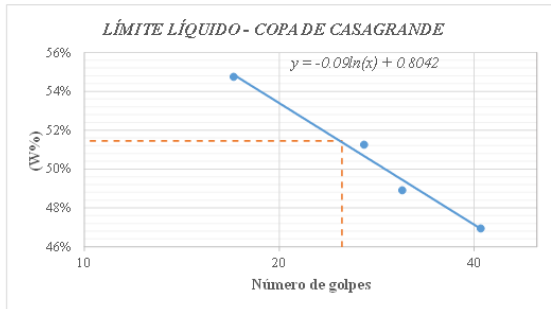
Localización:	EL OBRERO
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>	
Muestra N°	2
Número de recipientes	70.00
Temperatura de agua + suelo	22
Peso de recipiente	252.40
Peso de recipiente + suelo seco	300.40
Peso de suelo seco	48.00
Peso picnómetro + agua (Mmw)	661.33
Peso de suelo seco + Mmw	709.33
Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	691.4
Desplazamiento de Agua	17.93
K	0.9996
<b>Gs</b>	<b>2.68</b>

**Límite Plástico**

Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite Plástico
P4	16.50	14.70	10.60	43.90%	42.46%
O3	16.10	14.50	10.60	41.03%	

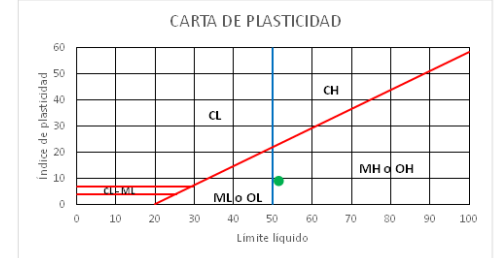
### Límite líquido con Copa de Casagrande

Número de golpes	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Contenido de humedad promedio (W%)	Límite líquido (LLcup)
31	18	24.20	20.00	11.50	49.41%	48.92%	51.45%
	69	21.00	17.90	11.50	48.44%		
17	79	21.40	17.80	11.30	55.38%	54.74%	
	26	20.60	17.30	11.20	54.10%		
27	38	20.10	17.30	11.80	50.91%	51.28%	
	2	24.70	20.00	10.90	51.65%		
41	8A	18.90	16.30	10.90	48.15%	46.96%	
	LP8	15.00	12.30	6.40	45.76%		

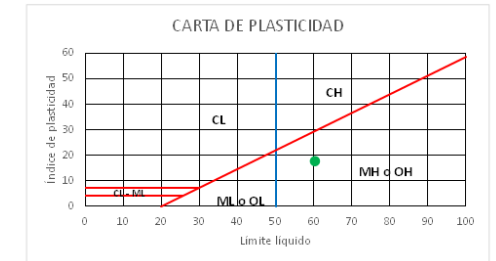


### Clasificación SUCS

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	51.45	42.46	8.99

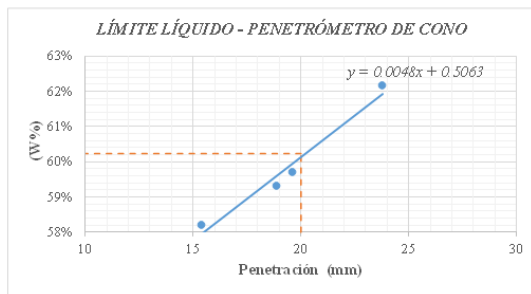


	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	60.23	42.46	17.77



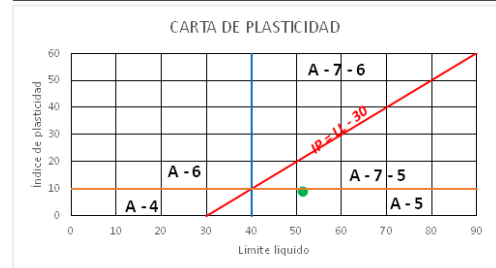
### Límite líquido con Penetrómetro de cono

Penetración (mm)	Penetración promedio (mm)	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite líquido (LLcono)
15.54	15.36	64	21.80	17.90	11.20	58.21%	60.23%
15.18							
19.61	19.59	78	33.00	25.00	11.60	59.70%	
19.56							
18.67	18.87	16	24.80	19.70	11.10	59.30%	
19.07							
23.74	23.78	25	34.90	25.70	10.90	62.16%	
23.82							

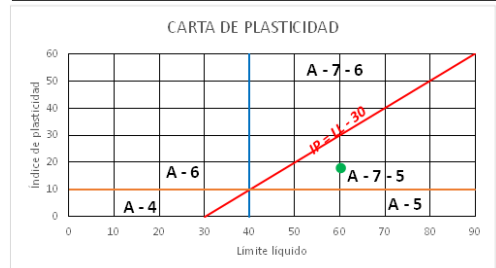


### Clasificación AASHTO

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	51.45	42.46	8.99



	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	60.23	42.46	17.77





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



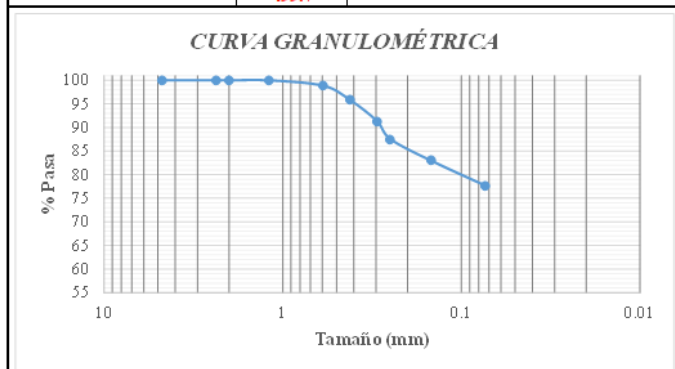
**ELOY ALFARO (13)**

**Contenido de humedad natural**

	MUESTRA 1		
	1	2	3
Recipiente N	69	76	49
Peso muestra húmeda + recipiente	94.87	86.48	89.29
Peso muestra seca + recipiente	49.20	46.90	47.80
Peso recipiente	30.63	30.70	30.55
Peso agua	45.67	39.58	41.49
Peso sólidos	18.57	16.20	17.25
Contenido de humedad	245.93	244.32	240.52
Promedio de contenido de humedad	243.59		

**Granulometría**

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Pasa
4	4.76	0	0	0.00	100.00
8	2.38	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0	0.00	100.00
16	1.19	0	0	0.00	100.00
30	0.595	5.6	5.6	1.12	98.88
40	0.42	15.2	20.8	4.16	95.84
50	0.297	22.3	43.1	8.63	91.37
60	0.25	19.1	62.2	12.45	87.55
100	0.149	22.7	84.9	16.99	83.01
200	0.074	26.4	111.3	22.27	77.73
<b>Fuente</b>		388.4	499.7	77.73	0.00
		<b>499.7</b>			



**Límite de contracción**

Localización:	ELOY ALFARO
<b>LÍMITE DE CONTRACCIÓN</b>	
<b>Determinación de Contenido de humedad (W)</b>	
Muestra N°	<b>1</b>
Cápsula N°	15
Peso de cápsula	22
Peso de cápsula + suelo húmedo	48.3
Peso de cápsula + suelo seco	36.4
Peso de Agua	11.9
Peso de suelo seco (Ws)	14.4
Contenido de humedad (W)	0.83
<b>Determinación del volumen de suelo húmedo moldeado</b>	
Peso de la cápsula de contracción + Hg	282
Peso de la cápsula de contracción	22
Peso de Hg	260
Densidad de Hg (g/cm <sup>3</sup> )	13.6
Volumen de la masa (Vm)	19.12
<b>Determinación del volumen de suelo seco moldeado</b>	
Peso de la probeta + Hg	239.9
Peso de la probeta	62
Peso de Hg	177.9
Volumen de suelo contraído (Vo)	13.1
<b>Determinación de límite de contracción</b>	
Densidad de Agua (g/cm <sup>3</sup> )	1
$LC\% = \left( w - \frac{(V_m - V_o)\gamma_o}{W_s} \right) * 100$	
Límite de contracción	40.72

**Gravedad específica**

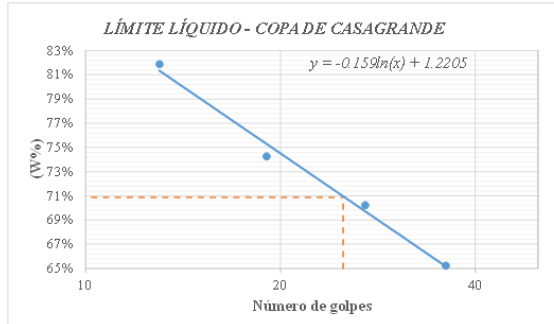
Localización:	ELOY ALFARO
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>	
Muestra N°	<b>1</b>
Número de recipientes	3
Temperatura de agua + suelo	23
Peso de recipiente	256.3
Peso de recipiente + suelo seco	299.9
Peso de suelo seco	43.6
Peso picnómetro + agua (Mmw)	661.19
Peso de suelo seco + Mmw	704.79
Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	688.5
Desplazamiento de Agua	16.29
K	0.9993
<b>Gs</b>	<b>2.68</b>

**Límite Plástico**

Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite Plástico
76	16.30	14.30	10.70	55.56%	51.46%
P4	16.20	14.40	10.60	47.37%	

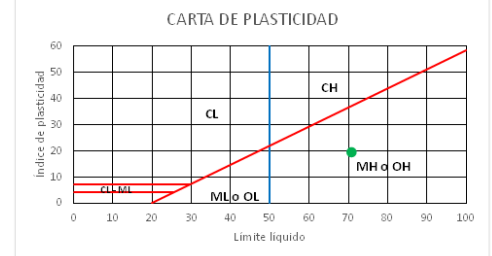
### Límite líquido con Copa de Casagrande

Número de golpes	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Contenido de humedad promedio (W%)	Límite líquido (LLcup)
13	LP9	17.80	12.70	6.50	82.26%	81.90%	70.87%
	LP3	18.10	12.80	6.30	81.54%		
19	LP2	17.70	12.90	6.40	73.85%	74.22%	
	LP10	17.40	12.70	6.40	74.60%		
27	LP6	18.20	13.30	6.30	70.00%	70.21%	
	LP7	18.70	13.70	6.60	70.42%		
36	LP5	17.80	13.20	6.10	64.79%	65.25%	
	LP4	17.70	13.10	6.10	65.71%		

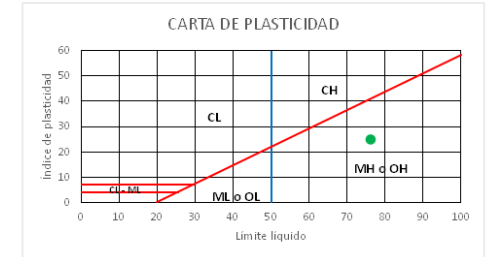


### Clasificación SUCS

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	70.87	51.46	19.41

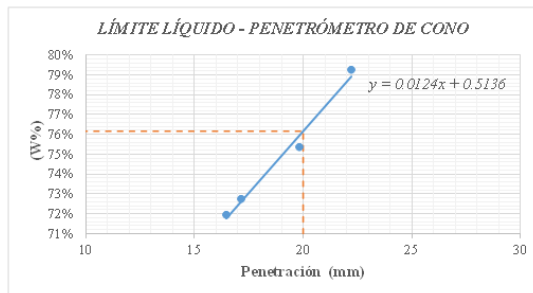


	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	76.16	51.46	24.70



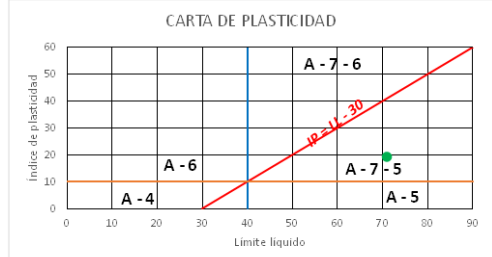
### Límite líquido con Penetrómetro de cono

Penetración (mm)	Penetración promedio (mm)	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite líquido (LLcone)
19.79	19.81	LP4	18.20	13.00	6.10	75.36%	76.16%
19.82							
22.33	22.21	LP6	25.30	16.90	6.30	79.25%	
22.09							
16.44	16.46	LP3	20.40	14.50	6.30	71.95%	
16.48							
17.26	17.15	SR10	19.50	13.90	6.20	72.73%	
17.04							

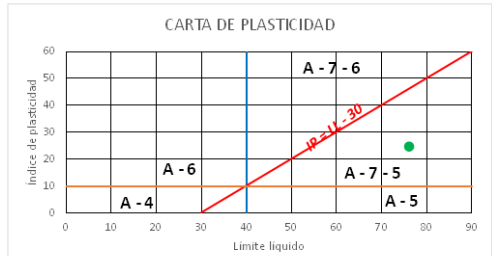


### Clasificación AASHTO

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	70.87	51.46	19.41



	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	76.16	51.46	24.70





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



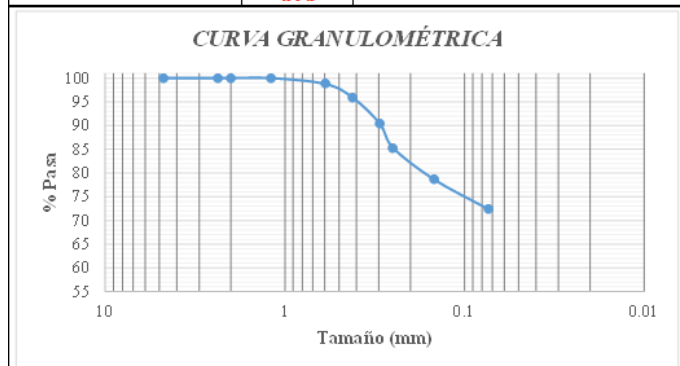
**ELOY ALFARO (14)**

**Contenido de humedad natural**

	MUESTRA 2		
	1	2	3
Recipiente N	16	30	102
Peso muestra húmeda + recipiente	104.56	91.87	106.00
Peso muestra seca + recipiente	51.80	50.30	53.40
Peso recipiente	30.53	33.39	31.96
Peso agua	52.76	41.57	52.60
Peso sólidos	21.27	16.91	21.44
Contenido de humedad	248.05	245.83	245.34
Promedio de contenido de humedad	246.41		

**Granulometría**

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Pasa
4	4.76	0	0	0.00	100.00
8	2.38	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0	0.00	100.00
16	1.19	0	0	0.00	100.00
30	0.595	6.2	6.2	1.24	98.76
40	0.42	14.3	20.5	4.10	95.90
50	0.297	27.3	47.8	9.56	90.44
60	0.25	25.6	73.4	14.68	85.32
100	0.149	33	106.4	21.28	78.72
200	0.074	31.5	137.9	27.59	72.41
<b>Fuente</b>		362	499.9	72.41	0.00
		<b>499.9</b>			



**Límite de contracción**

Localización:	ELOY ALFARO
<b>LÍMITE DE CONTRACCIÓN</b>	
<i>Determinación de Contenido de humedad (W)</i>	
Muestra N°	2
Cápsula N°	BO
Peso de cápsula	22
Peso de cápsula + suelo húmedo	48.7
Peso de cápsula + suelo seco	37.3
Peso de Agua	11.4
Peso de suelo seco (Ws)	15.3
Contenido de humedad (W)	0.75
<i>Determinación del volumen de suelo húmedo moldeado</i>	
Peso de la cápsula de contracción + Hg	278
Peso de la cápsula de contracción	22
Peso de Hg	256
Densidad de Hg (g/cm3)	13.6
Volumen de la masa (Vm)	18.82
<i>Determinación del volumen de suelo seco moldeado</i>	
Peso de la probeta + Hg	241.8
Peso de la probeta	62
Peso de Hg	179.8
Volumen de suelo contraído (Vo)	13.2
<i>Determinación de límite de contracción</i>	
Densidad de Agua (g/cm3)	1
$LC\% = \left( w - \frac{(Vm - Vo) \gamma_o}{W_s} \right) * 100$	
Límite de contracción	37.89

**Gravedad específica**

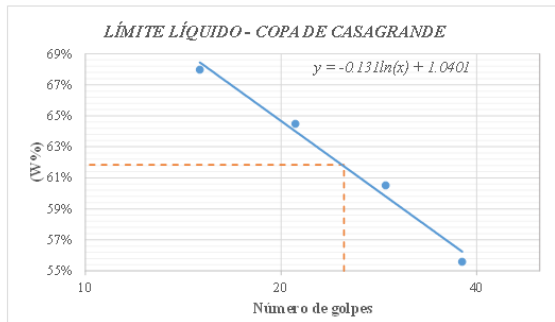
Localización:	ELOY ALFARO
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>	
Muestra N°	2
Número de recipientes	109
Temperatura de agua + suelo	23
Peso de recipiente	86.9
Peso de recipiente + suelo seco	132.8
Peso de suelo seco	45.9
Peso picnómetro + agua (Mmw)	661.19
Peso de suelo seco + Mmw	707.09
Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	689.9
Desplazamiento de Agua	17.19
K	0.9993
<b>Gs</b>	<b>2.67</b>

**Límite Plástico**

Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite Plástico
202	16.40	14.50	10.80	51.35%	48.26%
03	15.10	13.70	10.60	45.16%	

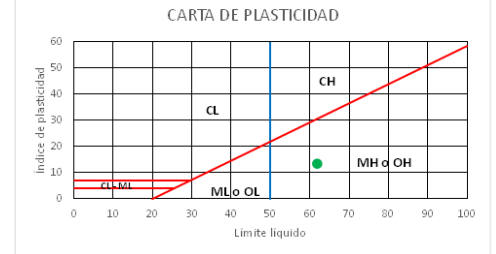
### Límite líquido con Copa de Casagrande

Número de golpes	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Contenido de humedad promedio (W%)	Límite líquido (LLcup)
38	LP1	17.80	13.80	6.70	56.34%	55.57%	61.84%
	LP8	17.70	13.70	6.40	54.79%		
29	78	23.40	18.60	10.70	60.76%	60.51%	
	79	22.80	18.10	10.30	60.26%		
21	69	17.90	15.40	11.50	64.10%	64.48%	
	18	17.60	15.20	11.50	64.86%		
15	16	17.10	14.70	11.10	66.67%	67.95%	
	26	17.80	15.10	11.20	69.23%		

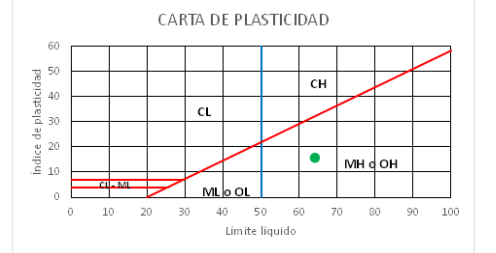


### Clasificación SUCS

Por Copa de Casagrande	LL	LP	IP
	61.84	48.26	13.58

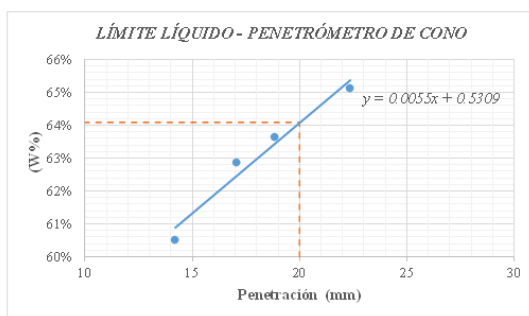


Por Penetrómetro de Cono	LL	LP	IP
	64.09	48.26	15.83



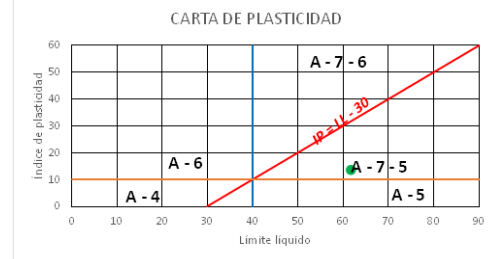
### Límite líquido con Penetrómetro de cono

Penetración (mm)	Penetración promedio (mm)	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite líquido (LLcone)
22.60	22.35	S3	20.50	14.90	6.30	65.12%	64.09%
22.10							
18.71	18.85	SR8	18.70	13.80	6.10	63.64%	
18.99							
17.13	17.03	SR7	22.20	16.10	6.40	62.89%	
16.92							
14.11	14.20	SR1	18.40	13.80	6.20	60.53%	
14.29							

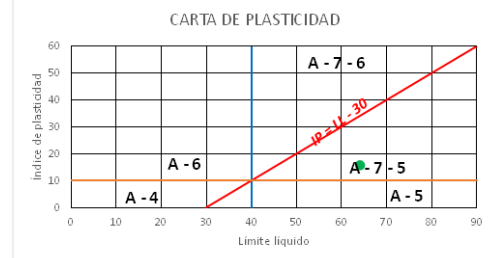


### Clasificación AASHTO

Por Copa de Casagrande	LL	LP	IP
	61.84	48.26	13.58



Por Penetrómetro de Cono	LL	LP	IP
	64.09	48.26	15.83







**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



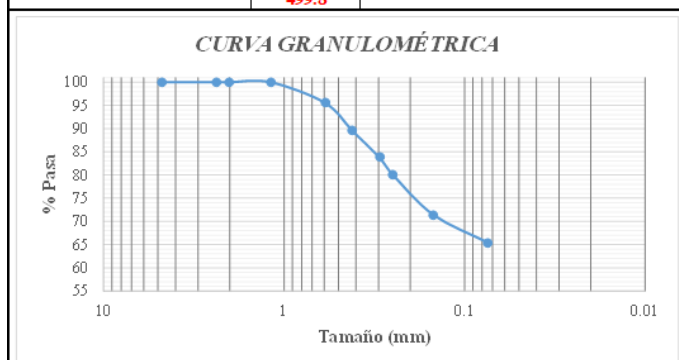
**PUYO CENTRO (15)**

**Contenido de humedad natural**

	MUESTRA 1		
	1	2	3
Recipiente N	92	46A	99
Peso muestra húmeda + recipiente	197.90	218.10	205.90
Peso muestra seca + recipiente	130.40	142.40	134.00
Peso recipiente	33.10	30.70	33.00
Peso agua	67.50	75.70	71.90
Peso sólidos	97.30	111.70	101.00
Contenido de humedad	69.37	67.77	71.19
Promedio de contenido de humedad	69.44		

**Granulometría**

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Pasa
4	4.76	0	0	0.00	100.00
8	2.38	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0	0.00	100.00
16	1.19	0	0	0.00	100.00
30	0.595	22.2	22.2	4.44	95.56
40	0.42	29.9	52.1	10.42	89.58
50	0.297	29	81.1	16.23	83.77
60	0.25	18.6	99.7	19.95	80.05
100	0.149	43.3	143	28.61	71.39
200	0.074	30	173	34.61	65.39
<b>Fuente</b>		326.8	499.8	65.39	0.00
		<b>499.8</b>			



**Gravedad específica**

Localización:	PUYO CENTRO
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>	
Muestra N°	<b>1</b>
Número de recipientes	100
Temperatura de agua + suelo	21.5
Peso de recipiente	131.7
Peso de recipiente + suelo seco	171.5
Peso de suelo seco	39.8
Peso picnómetro + agua (Mmw)	661.40
Peso de suelo seco + Mmw	701.20
Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	686.3
Desplazamiento de Agua	14.90
K	0.9997
<b>Gs</b>	<b>2.67</b>

**Límite de contracción**

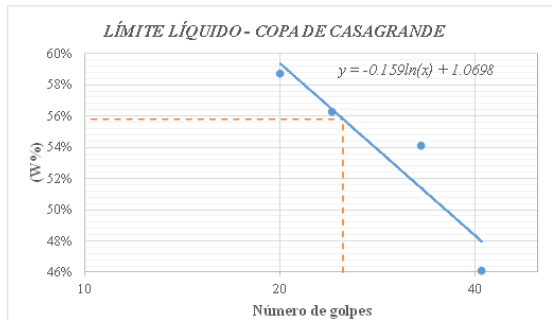
Localización:	PUYO CENTRO
<b>LÍMITE DE CONTRACCIÓN</b>	
<b>Determinación de Contenido de humedad (W)</b>	
Muestra N°	<b>1</b>
Cápsula N°	15
Peso de cápsula	22
Peso de cápsula + suelo húmedo	52.3
Peso de cápsula + suelo seco	40.3
Peso de Agua	12.0
Peso de suelo seco (Ws)	18.3
Contenido de humedad (W)	0.66
<b>Determinación del volumen de suelo húmedo moldeado</b>	
Peso de la cápsula de contracción + Hg	282
Peso de la cápsula de contracción	22
Peso de Hg	260
Densidad de Hg (g/cm <sup>3</sup> )	13.6
Volumen de la masa (Vm)	19.12
<b>Determinación del volumen de suelo seco moldeado</b>	
Peso de la probeta + Hg	289.8
Peso de la probeta	62
Peso de Hg	227.8
Volumen de suelo contraído (Vo)	16.8
<b>Determinación de límite de contracción</b>	
Densidad de Agua (g/cm <sup>3</sup> )	1
$LC\% = \left( w - \frac{(Vm - Vo)\gamma_o}{Ws} \right) * 100$	
Límite de contracción	52.64

**Límite Plástico**

Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite Plástico
11	16.10	14.40	10.70	45.95%	45.34%
76	16.20	14.50	10.70	44.74%	

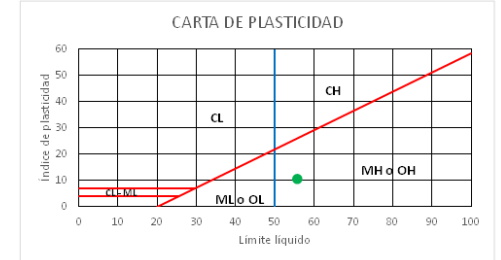
### Límite líquido con Copa de Casagrande

Número de golpes	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Contenido de humedad promedio (W%)	Límite líquido (LLcup)
20	05A	17.80	15.30	11.00	58.14%	58.70%	55.80%
	69	20.00	16.80	11.40	59.26%		
33	06	17.90	15.40	10.80	54.35%	54.10%	
	12	19.00	16.20	11.00	53.85%		
41	39	17.30	15.40	11.10	44.19%	46.13%	
	25	18.60	16.10	10.90	48.08%		
24	26	15.50	14.00	11.20	53.57%	56.27%	
	090A	17.30	15.00	11.10	58.97%		

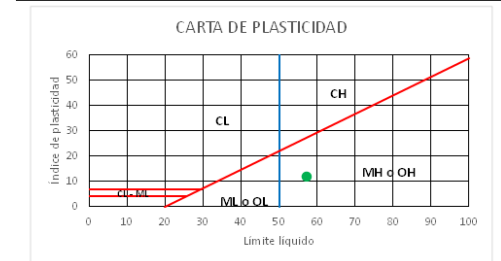


### Clasificación SUCS

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	55.80	45.34	10.46

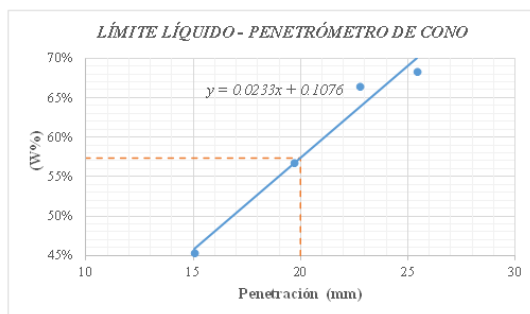


	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	57.36	45.34	12.02



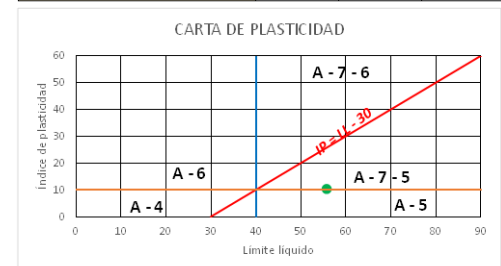
### Límite líquido con Penetrómetro de cono

Penetración (mm)	Penetración promedio (mm)	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite líquido (LLcone)
15.07	15.06	8A	24.90	19.10	6.30	45.31%	57.36%
15.05							
22.86	22.81	LP5	26.90	18.60	6.10	66.40%	
22.75							
19.88	19.73	LP3	26.30	19.10	6.40	56.69%	
19.58							
25.48	25.44	LP4	26.90	18.50	6.20	68.29%	
25.39							

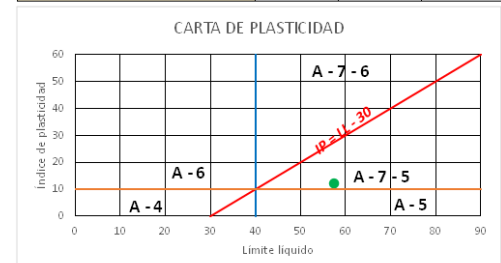


### Clasificación AASHTO

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	55.80	45.34	10.46



	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	57.36	45.34	12.02





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



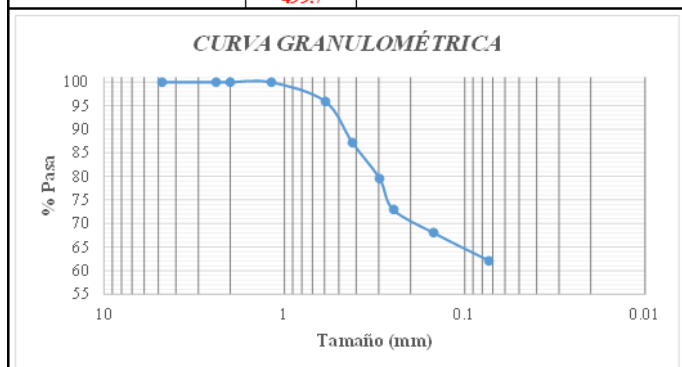
**PUYO CENTRO (16)**

**Contenido de humedad natural**

	MUESTRA 2		
	1	2	3
Recipiente N	72	83	65
Peso muestra húmeda + recipiente	140.40	214.20	137.70
Peso muestra seca + recipiente	93.60	138.10	93.40
Peso recipiente	30.80	30.80	31.10
Peso agua	46.80	76.10	44.30
Peso sólidos	62.80	107.30	62.30
Contenido de humedad	74.52	70.92	71.11
Promedio de contenido de humedad	72.18		

**Granulometría**

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Pasa
4	4.76	0	0	0.00	100.00
8	2.38	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0	0.00	100.00
16	1.19	0	0	0.00	100.00
30	0.595	20.3	20.3	4.06	95.94
40	0.42	43.9	64.2	12.85	87.15
50	0.297	37.8	102	20.41	79.59
60	0.25	32.9	134.9	27.00	73.00
100	0.149	24.9	159.8	31.98	68.02
200	0.074	29.2	189	37.82	62.18
<b>Fuente</b>		310.7	499.7	62.18	0.00
		499.7			



**Gravedad específica**

Localización:	PUYO CENTRO
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>	
Muestra N°	2
Número de recipientes	57
Temperatura de agua + suelo	21
Peso de recipiente	105.6
Peso de recipiente + suelo seco	144.5
Peso de suelo seco	38.9
Peso picnómetro + agua (Mmw)	661.47
Peso de suelo seco + Mmw	700.37
Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	685.8
Desplazamiento de Agua	14.57
K	0.9998
<b>Gs</b>	<b>2.67</b>

**Límite de contracción**

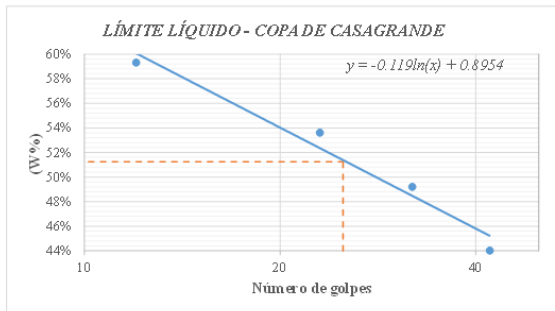
Localización:	PUYO CENTRO
<b>LÍMITE DE CONTRACCIÓN</b>	
<i>Determinación de Contenido de humedad (W)</i>	
Muestra N°	2
Cápsula N°	13
Peso de cápsula	22.2
Peso de cápsula + suelo húmedo	52.5
Peso de cápsula + suelo seco	40.4
Peso de Agua	12.1
Peso de suelo seco (Ws)	18.2
Contenido de humedad (W)	0.66
<i>Determinación del volumen de suelo húmedo moldeado</i>	
Peso de la cápsula de contracción + Hg	273.5
Peso de la cápsula de contracción	22.2
Peso de Hg	251.3
Densidad de Hg (g/cm3)	13.6
Volumen de la masa (Vm)	18.48
<i>Determinación del volumen de suelo seco moldeado</i>	
Peso de la probeta + Hg	320.6
Peso de la probeta	62
Peso de Hg	258.6
Volumen de suelo contraído (Vo)	19.0
<i>Determinación de límite de contracción</i>	
Densidad de Agua (g/cm3)	1
$LC\% = \left( w - \frac{(V_m - V_o)\gamma_o}{W_s} \right) * 100$	
Límite de contracción	69.43

**Límite Plástico**

Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite Plástico
10	15.70	14.20	10.50	40.54%	40.78%
3	16.30	14.70	10.80	41.03%	

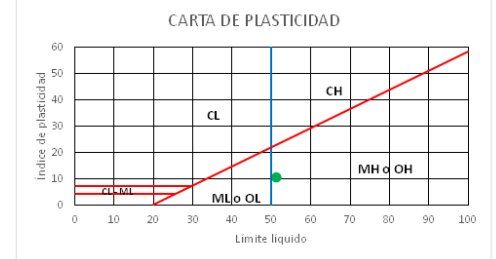
### Límite líquido con Copa de Casagrande

Número de golpes	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Contenido de humedad promedio (W%)	Límite líquido (LLcup)
12	SR2	13.70	11.00	6.30	57.45%	59.34%	51.24%
	SR1	14.30	11.30	6.40	61.22%		
23	SR3	14.60	11.80	6.50	52.83%	53.59%	
	LP9	13.60	11.10	6.50	54.35%		
32	SR7	15.70	12.60	6.30	49.21%	49.16%	
	LP1	15.20	12.40	6.70	49.12%		
42	S3	31.50	28.90	23.00	44.07%	44.03%	
	LP2	13.60	11.40	6.40	44.00%		

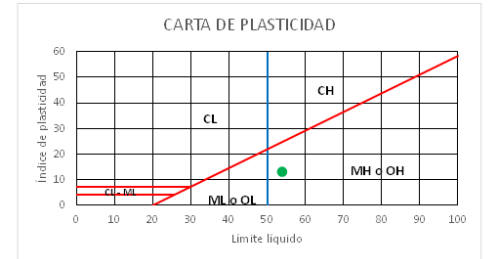


### Clasificación SUCS

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	51.24	40.78	10.46

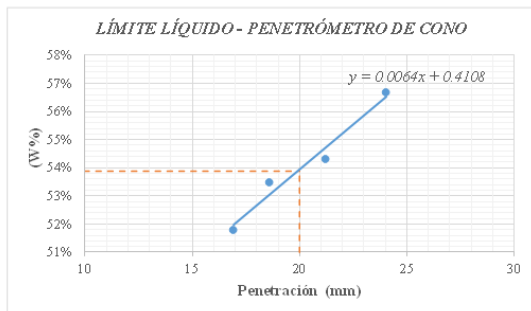


	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	53.88	40.78	13.10



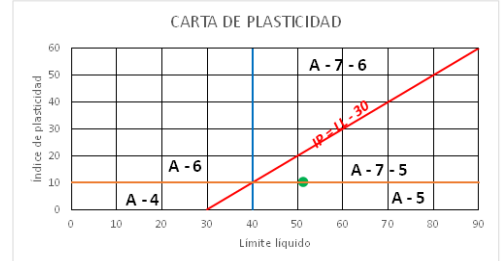
### Límite líquido con Penetrómetro de cono

Penetración (mm)	Penetración promedio (mm)	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite líquido (LLcono)
18.75	18.58	LP8	19.60	15.00	6.40	53.49%	53.88%
18.41							
17.08	16.92	LP10	23.40	17.60	6.40	51.79%	
16.76							
21.03	21.22	LP6	29.60	21.40	6.30	54.30%	
21.40							
24.10	24.03	LP7	31.20	22.30	6.60	56.69%	
23.95							

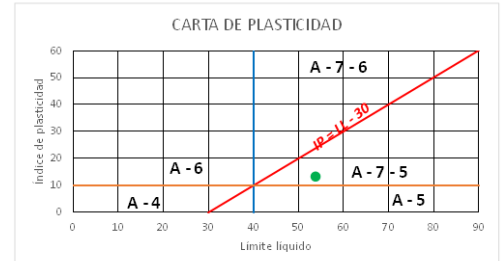


### Clasificación AASHTO

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	51.24	40.78	10.46



	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	53.88	40.78	13.10





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



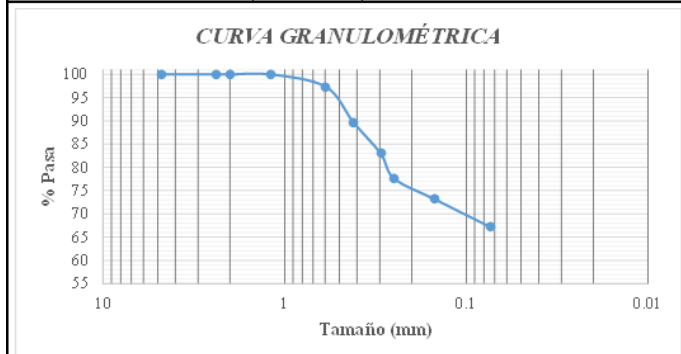
**TARQUI (17)**

**Contenido de humedad natural**

	MUESTRA 1		
	1	2	3
Recipiente N	42	97	4-5
Peso muestra húmeda + recipiente	129.90	171.00	139.80
Peso muestra seca + recipiente	69.50	76.60	66.70
Peso recipiente	32.00	33.20	31.90
Peso agua	60.40	94.40	73.10
Peso sólidos	37.50	43.40	34.80
Contenido de humedad	161.07	217.51	210.06
Promedio de contenido de humedad	196.21		

**Granulometría**

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Pasa
4	4.76	0	0	0.00	100.00
8	2.38	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0	0.00	100.00
16	1.19	0	0	0.00	100.00
30	0.595	13.3	13.3	2.66	97.34
40	0.42	38	51.3	10.26	89.74
50	0.297	33.7	85	17.00	83.00
60	0.25	27	112	22.40	77.60
100	0.149	22.4	134.4	26.88	73.12
200	0.074	29.6	164	32.80	67.20
<b>Fuente</b>		336	500	67.20	0.00
		<b>500</b>			



**Gravedad específica**

Localización:	TARQUI
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>	
Muestra N°	<b>1</b>
Número de recipientes	58
Temperatura de agua + suelo	20
Peso de recipiente	106.3
Peso de recipiente + suelo seco	141.9
Peso de suelo seco	35.6
Peso picnómetro + agua (Mmw)	661.60
Peso de suelo seco + Mmw	697.20
Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	683.9
Desplazamiento de Agua	13.30
K	1.0000
<b>Gs</b>	<b>2.68</b>

**Límite de contracción**

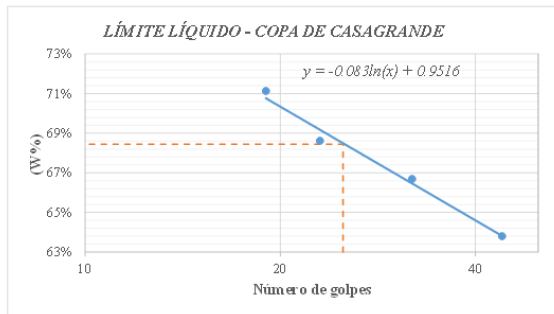
Localización:	TARQUI
<b>LÍMITE DE CONTRACCIÓN</b>	
<i>Determinación de Contenido de humedad (W)</i>	
Muestra N°	<b>1</b>
Cápsula N°	3
Peso de cápsula	23.4
Peso de cápsula + suelo húmedo	48.6
Peso de cápsula + suelo seco	37.1
Peso de Agua	11.5
Peso de suelo seco (Ws)	13.7
Contenido de humedad (W)	0.84
<i>Determinación del volumen de suelo húmedo moldeado</i>	
Peso de la cápsula de contracción + Hg	282.5
Peso de la cápsula de contracción	23.4
Peso de Hg	259.1
Densidad de Hg (g/cm3)	13.6
Volumen de la masa (Vm)	19.05
<i>Determinación del volumen de suelo seco moldeado</i>	
Peso de la probeta + Hg	265.8
Peso de la probeta	62
Peso de Hg	203.8
Volumen de suelo contraído (Vo)	15.0
<i>Determinación de límite de contracción</i>	
Densidad de Agua (g/cm3)	1
$LC\% = \left( w - \frac{(Vm - Vo) \gamma_o}{W_s} \right) * 100$	
Límite de contracción	54.26

**Límite Plástico**

Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite Plástico
10	15.10	13.50	10.50	53.33%	54.44%
3	15.00	13.50	10.80	55.56%	

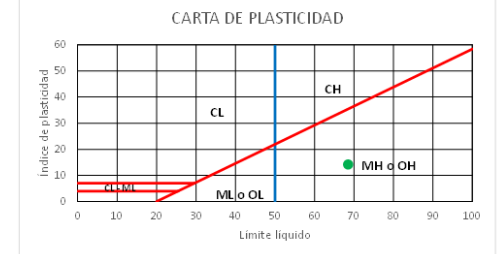
### Límite líquido con Copa de Casagrande

Número de golpes	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Contenido de humedad promedio (W%)	Límite líquido (LLcup)
19	12	17.20	14.60	11.00	72.22%	71.11%	68.44%
	25	19.30	15.80	10.80	70.00%		
32	O6	16.10	14.00	10.80	65.63%	66.68%	
	8A	16.10	14.00	10.90	67.74%		
23	05A	16.50	14.30	11.00	66.67%	68.63%	
	39	17.50	15.10	11.70	70.59%		
44	69	16.30	14.40	11.50	65.52%	63.79%	
	090A	15.70	13.90	11.00	62.07%		

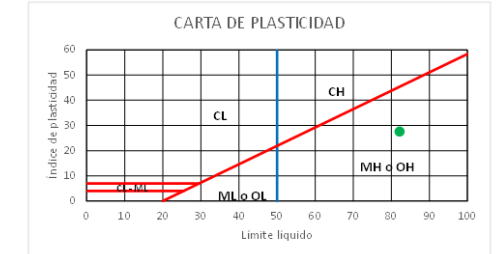


### Clasificación SUCS

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	68.44	54.44	14.00

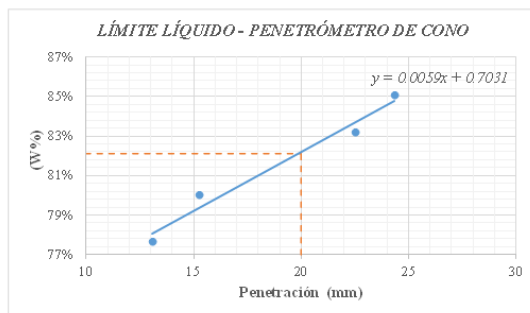


	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	82.11	54.44	27.67



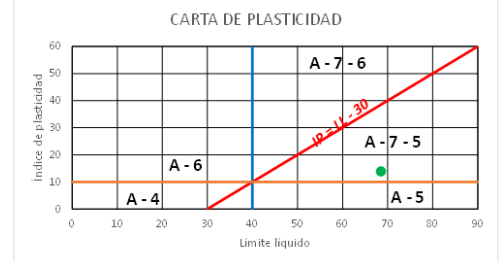
### Límite líquido con Penetrómetro de cono

Penetración (mm)	Penetración promedio (mm)	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite líquido (LLcone)
24.30	24.36	LP2	26.20	17.10	6.40	85.05%	82.11%
24.41							
22.33	22.51	LP4	25.70	16.80	6.10	83.18%	
22.69							
15.42	15.25	SR3	21.80	15.00	6.50	80.00%	
15.08							
13.10	13.08	LP7	20.10	14.20	6.60	77.63%	
13.05							

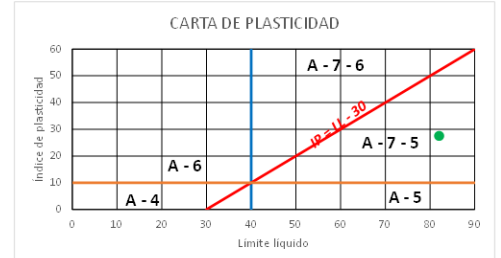


### Clasificación AASHTO

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	68.44	54.44	14.00



	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	82.11	54.44	27.67





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



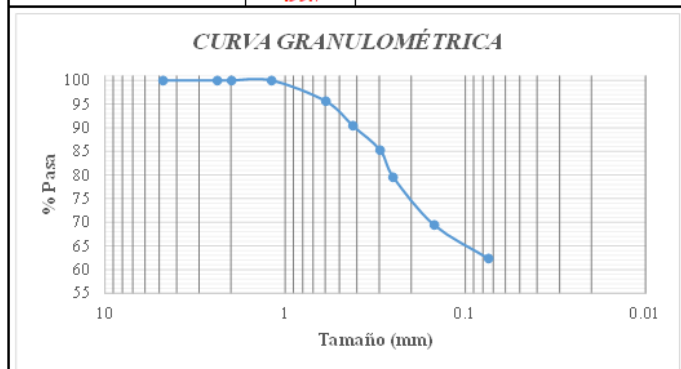
**TARQUI (18)**

**Contenido de humedad natural**

	MUESTRA 2		
	1	2	3
Recipiente N	69	LP2	LP9
Peso muestra húmeda + recipiente	103.90	63.20	70.20
Peso muestra seca + recipiente	54.60	26.40	27.60
Peso recipiente	31.00	6.30	6.70
Peso agua	49.30	36.80	42.60
Peso sólidos	23.60	20.10	20.90
Contenido de humedad	208.90	183.08	203.83
Promedio de contenido de humedad	198.60		

**Granulometría**

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Pasa
4	4.76	0	0	0.00	100.00
8	2.38	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0	0.00	100.00
16	1.19	0	0	0.00	100.00
30	0.595	22.1	22.1	4.42	95.58
40	0.42	26.1	48.2	9.65	90.35
50	0.297	25.7	73.9	14.79	85.21
60	0.25	29	102.9	20.59	79.41
100	0.149	50	152.9	30.60	69.40
200	0.074	35.8	188.7	37.76	62.24
<b>Fuente</b>		311	499.7	62.24	0.00
		<b>499.7</b>			



**Gravedad específica**

Localización:	TARQUI
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
Muestra N°	2
Número de recipientes	99
Temperatura de agua + suelo	19.5
Peso de recipiente	201.2
Peso de recipiente + suelo seco	238.1
Peso de suelo seco	36.9
Peso picnómetro + agua (Mmw)	661.67
Peso de suelo seco + Mmw	698.57
Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	685
Desplazamiento de Agua	13.57
K	1.0001
<b>Gs</b>	<b>2.72</b>

**Límite de contracción**

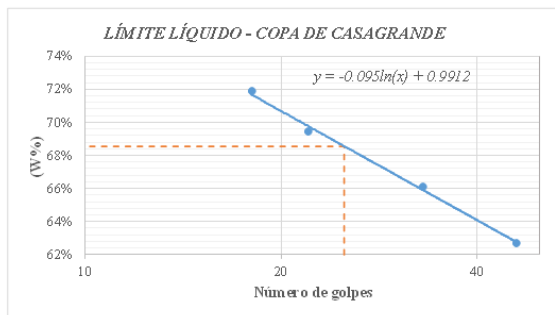
Localización:	TARQUI
LÍMITE DE CONTRACCIÓN	
<b>Determinación de Contenido de humedad (W)</b>	
Muestra N°	2
Cápsula N°	16
Peso de cápsula	22
Peso de cápsula + suelo húmedo	48.8
Peso de cápsula + suelo seco	36.4
Peso de Agua	12.4
Peso de suelo seco (Ws)	14.4
Contenido de humedad (W)	0.86
<b>Determinación del volumen de suelo húmedo moldeado</b>	
Peso de la cápsula de contracción + Hg	284.5
Peso de la cápsula de contracción	22
Peso de Hg	262.5
Densidad de Hg (g/cm <sup>3</sup> )	13.6
Volumen de la masa (Vm)	19.30
<b>Determinación del volumen de suelo seco moldeado</b>	
Peso de la probeta + Hg	272.3
Peso de la probeta	62
Peso de Hg	210.3
Volumen de suelo contraído (Vo)	15.5
<b>Determinación de límite de contracción</b>	
Densidad de Agua (g/cm <sup>3</sup> )	1
$LC\% = \left( w - \frac{(Vm - Vo) \rho_0}{Ws} \right) * 100$	
Límite de contracción	59.46

**Límite Plástico**

Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite Plástico
76	16.10	14.20	10.70	54.29%	55.93%
202	16.00	14.10	10.80	57.58%	

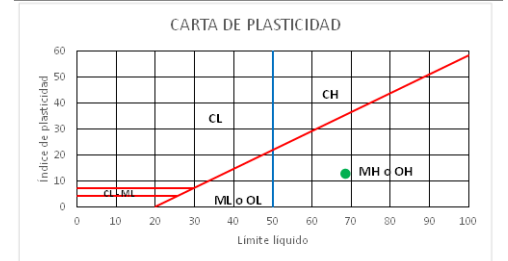
### Límite líquido con Copa de Casagrande

Número de golpes	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Contenido de humedad promedio (W%)	Límite líquido (LLcup)
18	16	17.10	14.60	11.10	71.43%	71.88%	68.54%
	O6	18.90	15.50	10.80	72.34%		
33	26	15.70	13.90	11.20	66.67%	66.09%	
	64	16.00	14.10	11.20	65.52%		
22	38	16.30	14.40	11.80	73.08%	69.43%	
	8A	17.20	14.70	10.90	65.79%		
46	25	16.10	14.10	10.90	62.50%	62.73%	
	O2	15.30	13.60	10.90	62.96%		

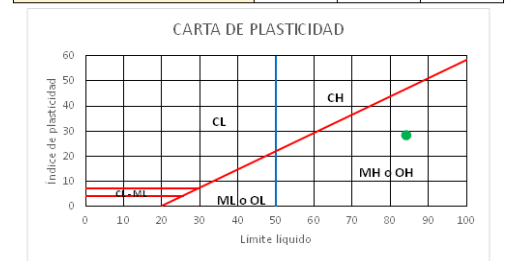


### Clasificación SUCS

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	68.54	55.93	12.61

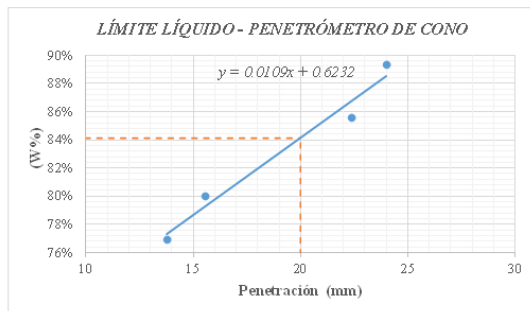


	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	84.12	55.93	28.19



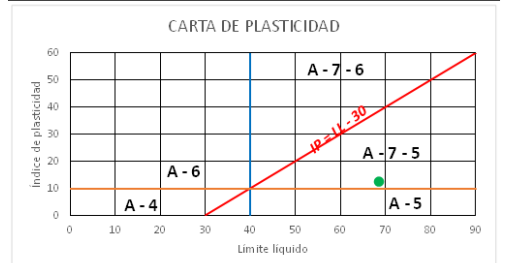
### Límite líquido con Penetrómetro de cono

Penetración (mm)	Penetración promedio (mm)	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite líquido (LLcono)
23.89	24.00	SR7	25.80	16.60	6.30	89.32%	84.12%
24.11							
22.18	22.37	SR10	25.60	16.70	6.30	85.58%	
22.56							
15.72	15.55	SR8	21.70	14.90	6.40	80.00%	
15.37							
13.89	13.78	SR9	20.30	14.30	6.50	76.92%	
13.67							

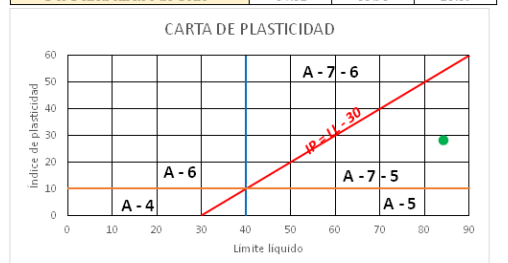


### Clasificación AASHTO

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	68.54	55.93	12.61



	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	84.12	55.93	28.19







**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



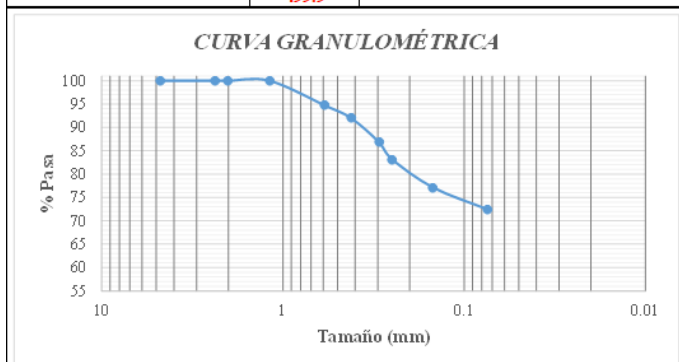
**SAN JACINTO (19)**

**Contenido de humedad natural**

	MUESTRA 1		
	1	2	3
Recipiente N	100	O3	86
Peso muestra húmeda + recipiente	218.30	214.30	200.40
Peso muestra seca + recipiente	126.70	128.20	123.30
Peso recipiente	30.30	33.40	34.40
Peso agua	91.60	86.10	77.10
Peso sólidos	96.40	94.80	88.90
Contenido de humedad	95.02	90.82	86.73
Promedio de contenido de humedad	90.86		

**Granulometría**

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Pasa
4	4.76	0	0	0.00	100.00
8	2.38	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0	0.00	100.00
16	1.19	0	0	0.00	100.00
30	0.595	26	26	5.20	94.80
40	0.42	14.2	40.2	8.04	91.96
50	0.297	25.3	65.5	13.10	86.90
60	0.25	18.7	84.2	16.84	83.16
100	0.149	30	114.2	22.84	77.16
200	0.074	23.7	137.9	27.59	72.41
<b>Fuente</b>		362	499.9	72.41	0.00
		<b>499.9</b>			



**Límite de contracción**

Localización:	SAN JACINTO
<b>LÍMITE DE CONTRACCIÓN</b>	
<i>Determinación de Contenido de humedad (W)</i>	
Muestra N°	<b>1</b>
Cápsula N°	13
Peso de cápsula	22.2
Peso de cápsula + suelo húmedo	52.2
Peso de cápsula + suelo seco	39.9
Peso de Agua	12.3
Peso de suelo seco (Ws)	17.7
Contenido de humedad (W)	0.69
<i>Determinación del volumen de suelo húmedo moldeado</i>	
Peso de la cápsula de contracción + Hg	273.5
Peso de la cápsula de contracción	22.2
Peso de Hg	251.3
Densidad de Hg (g/cm <sup>3</sup> )	13.6
Volumen de la masa (Vm)	18.48
<i>Determinación del volumen de suelo seco moldeado</i>	
Peso de la probeta + Hg	319.6
Peso de la probeta	62
Peso de Hg	257.6
Volumen de suelo contraído (Vo)	18.9
<i>Determinación de límite de contracción</i>	
Densidad de Agua (g/cm <sup>3</sup> )	1
$LC\% = \left( w - \frac{(V_m - V_o)\gamma_o}{W_s} \right) * 100$	
Límite de contracción	72.11

**Gravedad específica**

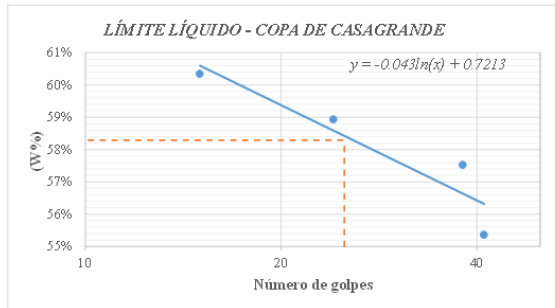
Localización:	SAN JACINTO
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>	
Muestra N°	<b>1</b>
Número de recipientes	59
Temperatura de agua + suelo	20
Peso de recipiente	142.3
Peso de recipiente + suelo seco	180.4
Peso de suelo seco	38.1
Peso picnómetro + agua (Mmw)	661.60
Peso de suelo seco + Mmw	699.70
Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	685.5
Desplazamiento de Agua	14.20
K	1.0000
Gs	<b>2.68</b>

**Límite Plástico**

Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite Plástico
3	16.30	14.50	10.80	48.65%	48.65%
10	16.00	14.20	10.50	48.65%	

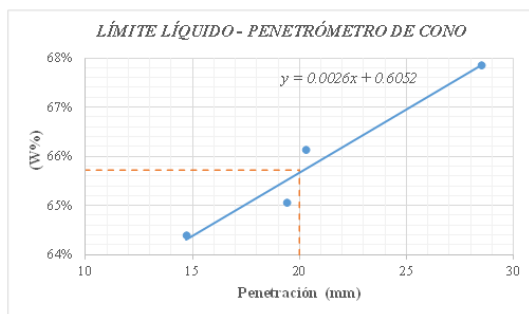
### Límite líquido con Copa de Casagrande

Número de golpes	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Contenido de humedad promedio (W%)	Límite líquido (LLcup)
15	05A	19.50	16.30	11.00	60.38%	60.36%	58.29%
	8A	20.20	16.70	10.90	60.34%		
41	69	18.20	15.80	11.50	55.81%	55.36%	
	090A	18.90	16.10	11.00	54.90%		
24	12	19.00	16.20	11.00	53.85%	58.92%	
	39	19.90	16.70	11.70	64.00%		
38	25	17.40	15.00	10.80	57.14%	57.52%	
	06	16.80	14.60	10.80	57.89%		



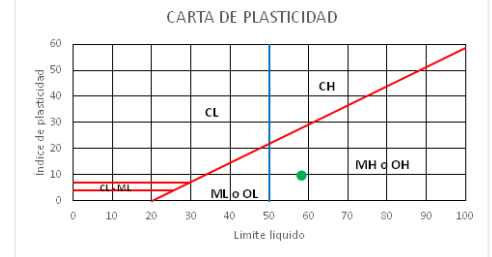
### Límite líquido con Penetrómetro de cono

Penetración (mm)	Penetración promedio (mm)	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite líquido (LLcone)
28.61	28.50	SR7	25.10	17.50	6.30	67.86%	65.72%
28.38							
14.92	14.71	LP9	18.50	13.80	6.50	64.38%	
14.50							
19.54	19.42	26	28.20	21.50	11.20	65.05%	
19.29	20.31	68	32.00	23.60	10.90	66.14%	
20.37							
20.25							

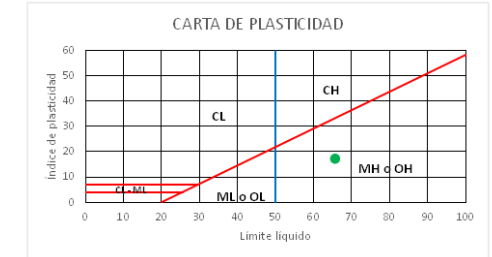


### Clasificación SUCS

Por Copa de Casagrande	LL	LP	IP
	58.29	48.65	9.64

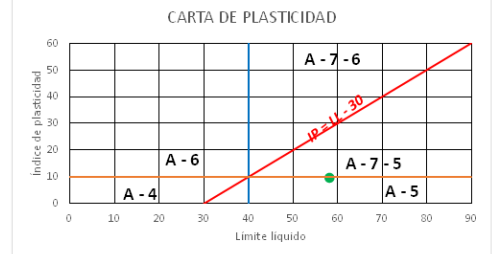


Por Penetrómetro de Cono	LL	LP	IP
	65.72	48.65	17.07

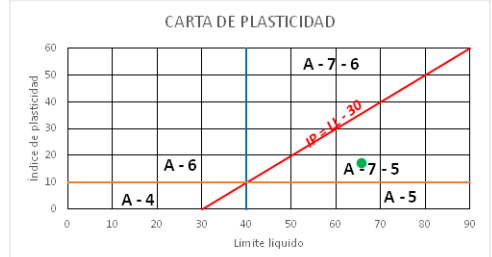


### Clasificación AASHTO

Por Copa de Casagrande	LL	LP	IP
	58.29	48.65	9.64



Por Penetrómetro de Cono	LL	LP	IP
	65.72	48.65	17.07





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



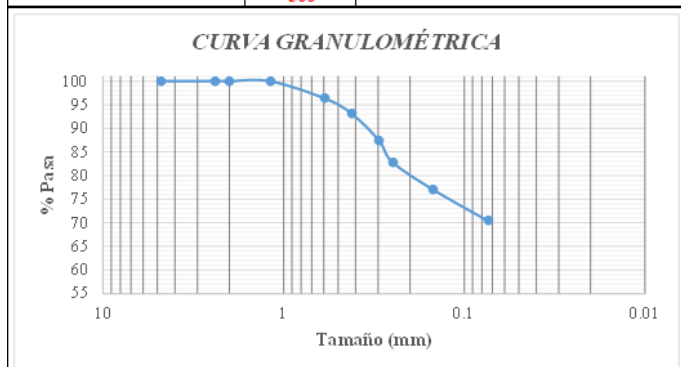
**SAN JACINTO (20)**

**Contenido de humedad natural**

	MUESTRA 2		
	1	2	3
Recipiente N	32	07	24
Peso muestra húmeda + recipiente	151.10	155.50	153.00
Peso muestra seca + recipiente	98.00	103.00	100.40
Peso recipiente	26.40	28.80	24.20
Peso agua	53.10	52.50	52.60
Peso sólidos	71.60	74.20	76.20
Contenido de humedad	74.16	70.75	69.03
Promedio de contenido de humedad	71.32		

**Granulometría**

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Pasa
4	4.76	0	0	0.00	100.00
8	2.38	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0	0.00	100.00
16	1.19	0	0	0.00	100.00
30	0.595	18.2	18.2	3.64	96.36
40	0.42	16.3	34.5	6.90	93.10
50	0.297	28.4	62.9	12.58	87.42
60	0.25	23	85.9	17.18	82.82
100	0.149	29.1	115	23.00	77.00
200	0.074	33	148	29.60	70.40
<b>Fuente</b>		352	500	70.40	0.00
		<b>500</b>			



**Límite de contracción**

Localización:	SAN JACINTO
<b>LÍMITE DE CONTRACCIÓN</b>	
<i>Determinación de Contenido de humedad (W)</i>	
Muestra N°	2
Cápsula N°	16
Peso de cápsula	22
Peso de cápsula + suelo húmedo	50.7
Peso de cápsula + suelo seco	36.9
Peso de Agua	13.8
Peso de suelo seco (Ws)	14.9
Contenido de humedad (W)	0.93
<i>Determinación del volumen de suelo húmedo moldeado</i>	
Peso de la cápsula de contracción + Hg	284.5
Peso de la cápsula de contracción	22
Peso de Hg	262.5
Densidad de Hg (g/cm <sup>3</sup> )	13.6
Volumen de la masa (Vm)	19.30
<i>Determinación del volumen de suelo seco moldeado</i>	
Peso de la probeta + Hg	239.8
Peso de la probeta	62
Peso de Hg	177.8
Volumen de suelo contraído (Vo)	13.1
<i>Determinación de límite de contracción</i>	
Densidad de Agua (g/cm <sup>3</sup> )	1
$LC\% = \left( w - \frac{(Vm - Vo) \gamma_o}{Ws} \right) * 100$	
Límite de contracción	50.82

**Gravedad específica**

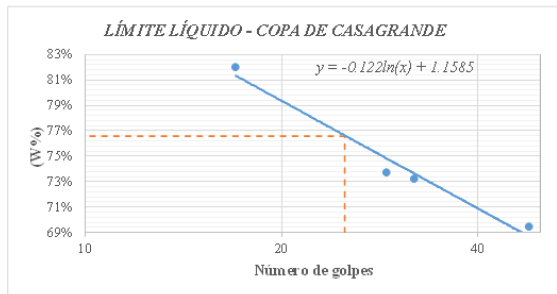
Localización:	SAN JACINTO
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>	
Muestra N°	2
Número de recipientes	14 Hv
Temperatura de agua + suelo	20
Peso de recipiente	66.3
Peso de recipiente + suelo seco	102.7
Peso de suelo seco	36.4
Peso picnómetro + agua (Mmw)	661.60
Peso de suelo seco + Mmw	698.00
Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	684.6
Desplazamiento de Agua	13.40
K	1.0000
Gs	2.72

**Límite Plástico**

Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite Plástico
50	8.90	7.70	6.00	70.59%	70.29%
76	15.80	13.70	10.70	70.00%	

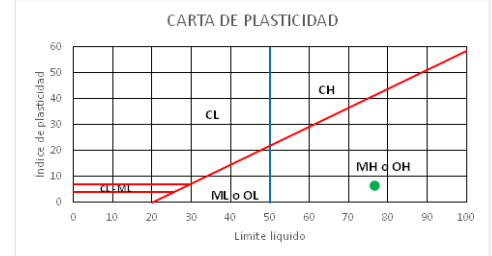
### Límite líquido con Copa de Casagrande

Número de golpes	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Contenido de humedad promedio (W%)	Límite líquido (LLcup)
17	LP2	14.40	10.80	6.40	81.82%	82.02%	76.58%
	LP4	14.30	10.60	6.10	82.22%		
29	LP7	13.60	10.70	6.60	70.73%	73.70%	
	LP8	17.00	12.40	6.40	76.67%		
48	SP1	23.10	19.40	14.00	68.52%	69.49%	
	S4	30.60	27.50	23.10	70.45%		
32	LP3	12.20	9.70	6.30	73.53%	73.25%	
	LP1	13.10	10.40	6.70	72.97%		

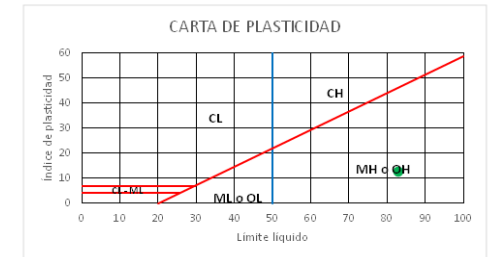


### Clasificación SUCS

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	76.58	70.29	6.29

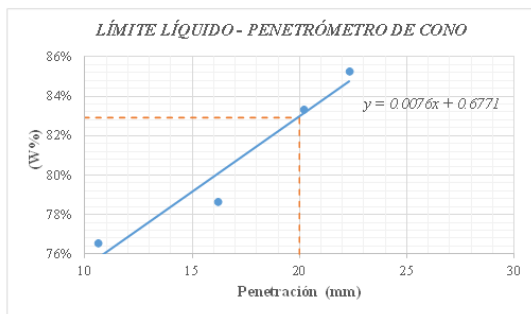


	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	82.91	70.29	12.62



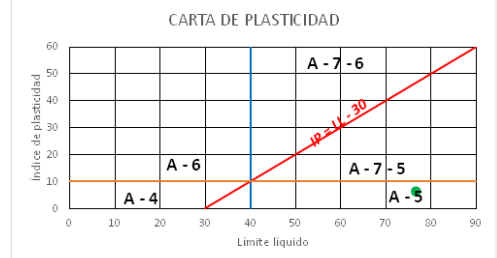
### Límite líquido con Penetrómetro de cono

Penetración (mm)	Penetración promedio (mm)	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite líquido (LLcono)
10.54	10.63	LP5	20.40	14.20	6.10	76.54%	82.91%
10.72							
16.41	16.22	LP6	24.70	16.60	6.30	78.64%	
16.02							
20.20	20.19	SR1	27.30	17.80	6.40	83.33%	
20.18							
22.55	22.32	LP10	30.30	19.30	6.40	85.27%	
22.08							

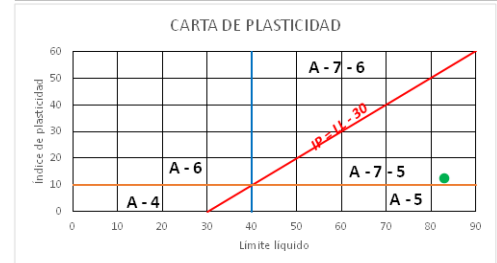


### Clasificación AASHTO

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	76.58	70.29	6.29



	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	82.91	70.29	12.62





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



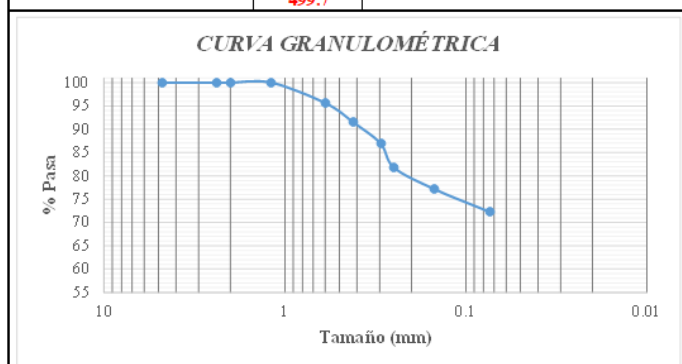
**LA LIBERTAD (21)**

**Contenido de humedad natural**

	MUESTRA 1		
	1	2	3
Recipiente N	41	64	49
Peso muestra húmeda + recipiente	145.70	146.00	139.30
Peso muestra seca + recipiente	79.50	81.40	78.40
Peso recipiente	31.10	30.70	30.60
Peso agua	66.20	64.60	60.90
Peso sólidos	48.40	50.70	47.80
Contenido de humedad	136.78	127.42	127.41
Promedio de contenido de humedad	130.53		

**Granulometría**

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Pasa
4	4.76	0	0	0.00	100.00
8	2.38	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0	0.00	100.00
16	1.19	0	0	0.00	100.00
30	0.595	22.2	22.2	4.44	95.56
40	0.42	20.3	42.5	8.51	91.49
50	0.297	22.6	65.1	13.03	86.97
60	0.25	26	91.1	18.23	81.77
100	0.149	23.3	114.4	22.89	77.11
200	0.074	24.1	138.5	27.72	72.28
<b>Fuente</b>		361.2	499.7	72.28	0.00
		<b>499.7</b>			



**Gravedad específica**

Localización: LA LIBERTAD	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
Muestra N°	1
Número de recipientes	69
Temperatura de agua + suelo	20
Peso de recipiente	260.3
Peso de recipiente + suelo seco	291.7
Peso de suelo seco	31.4
Peso picnómetro + agua (Mmw)	661.60
Peso de suelo seco + Mmw	693.00
Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	681.5
Desplazamiento de Agua	11.50
K	1.0000
Gs	<b>2.73</b>

**Límite de contracción**

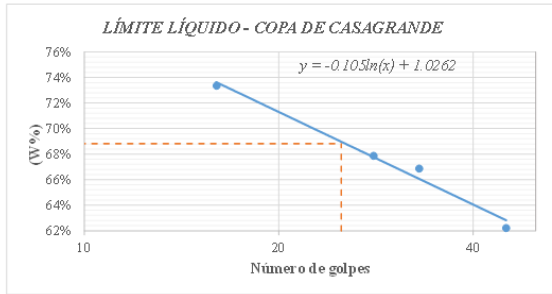
Localización: LA LIBERTAD	
LÍMITE DE CONTRACCIÓN	
<b>Determinación de Contenido de humedad (W)</b>	
Muestra N°	1
Cápsula N°	3
Peso de cápsula	23.4
Peso de cápsula + suelo húmedo	49.4
Peso de cápsula + suelo seco	37.3
Peso de Agua	12.1
Peso de suelo seco (Ws)	13.9
Contenido de humedad (W)	0.87
<b>Determinación del volumen de suelo húmedo moldeado</b>	
Peso de la cápsula de contracción + Hg	282.5
Peso de la cápsula de contracción	23.4
Peso de Hg	259.1
Densidad de Hg (g/cm <sup>3</sup> )	13.6
Volumen de la masa (Vm)	19.05
<b>Determinación del volumen de suelo seco moldeado</b>	
Peso de la probeta + Hg	284.5
Peso de la probeta	62
Peso de Hg	222.5
Volumen de suelo contraído (Vo)	16.4
<b>Determinación de límite de contracción</b>	
Densidad de Agua (g/cm <sup>3</sup> )	1
$LC\% = \left( w - \frac{(V_m - V_o)\gamma_o}{W_s} \right) * 100$	
Límite de contracción	67.69

**Límite Plástico**

Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite Plástico
O3	16.20	14.00	10.60	64.71%	64.71%
11	16.30	14.10	10.70	64.71%	

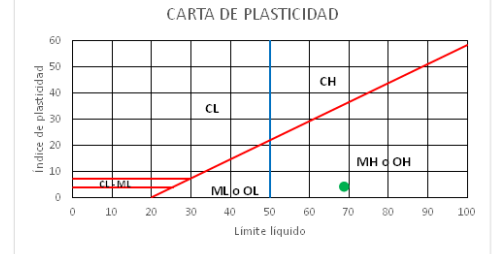
### Límite líquido con Copa de Casagrande

Número de golpes	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Contenido de humedad promedio (W%)	Límite líquido (LLcup)
16	61	18.90	15.70	11.40	74.42%	73.36%	68.82%
	14	22.30	17.60	11.10	72.31%		
28	74	19.60	16.40	11.50	65.31%	67.88%	
	20	18.90	15.80	11.40	70.45%		
33	4	19.90	16.30	11.10	69.23%	66.82%	
	33A	20.80	17.00	11.10	64.41%		
45	36	16.30	14.60	11.30	51.52%	62.24%	
	42	18.30	15.60	11.90	72.97%		

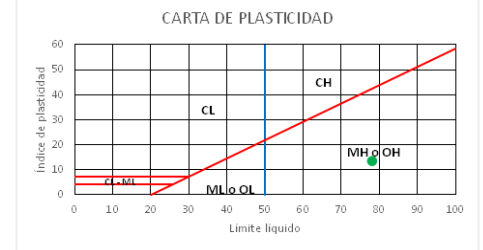


### Clasificación SUCS

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	68.82	64.71	4.11

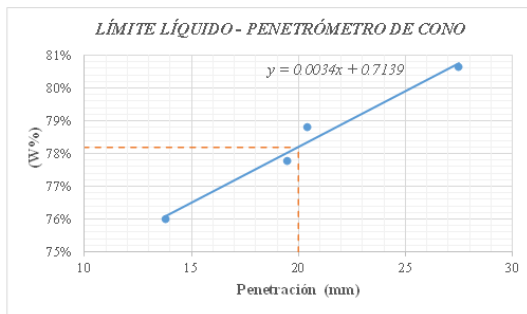


	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	78.19	64.71	13.48



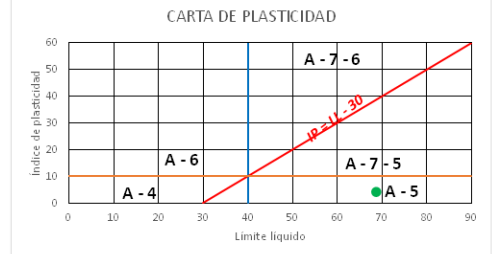
### Límite líquido con Penetrómetro de cono

Penetración (mm)	Penetración promedio (mm)	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite líquido (LLcone)
27.46	27.48	LP2	23.20	15.70	6.40	80.65%	78.19%
27.49							
19.66	19.48	LP10	19.20	13.60	6.40	77.78%	
19.30							
13.64	13.78	LP4	14.90	11.10	6.10	76.00%	
13.91							
20.54	20.42	LP5	21.30	14.60	6.10	78.82%	
20.29							

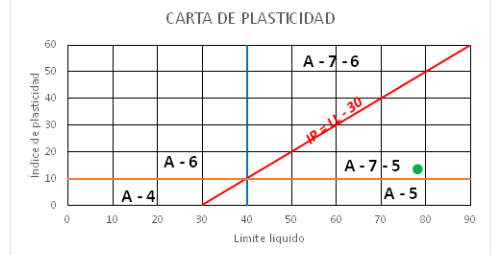


### Clasificación AASHTO

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	68.82	64.71	4.11



	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	78.19	64.71	13.48





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



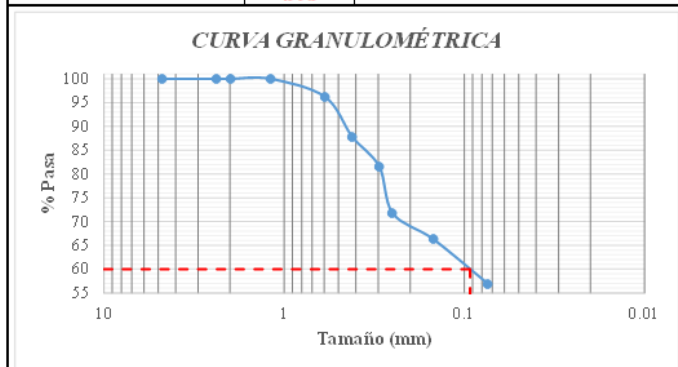
**LA LIBERTAD (22)**

**Contenido de humedad natural**

	MUESTRA 2		
	1	2	3
Recipiente N	81	O2	10
Peso muestra húmeda + recipiente	175.30	179.90	190.70
Peso muestra seca + recipiente	105.60	107.00	112.10
Peso recipiente	30.30	30.80	30.30
Peso agua	69.70	72.90	78.60
Peso sólidos	75.30	76.20	81.80
Contenido de humedad	92.56	95.67	96.09
Promedio de contenido de humedad	94.77		

**Granulometría**

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Pasa
4	4.76	0	0	0.00	100.00
8	2.38	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0	0.00	100.00
16	1.19	0	0	0.00	100.00
30	0.595	18.8	18.8	3.76	96.24
40	0.42	41.8	60.6	12.12	87.88
50	0.297	31.5	92.1	18.42	81.58
60	0.25	49.1	141.2	28.25	71.75
100	0.149	27.1	168.3	33.67	66.33
200	0.074	47	215.3	43.07	56.93
<b>Fuente</b>		284.6	499.9	56.93	0.00
		<b>499.9</b>			



**Límite de contracción**

Localización:	LA LIBERTAD
<b>LÍMITE DE CONTRACCIÓN</b>	
<b>Determinación de Contenido de humedad (W)</b>	
Muestra N°	2
Cápsula N°	15
Peso de cápsula	22
Peso de cápsula + suelo húmedo	51.6
Peso de cápsula + suelo seco	38.3
Peso de Agua	13.3
Peso de suelo seco (Ws)	16.3
Contenido de humedad (W)	0.82
<b>Determinación del volumen de suelo húmedo moldeado</b>	
Peso de la cápsula de contracción + Hg	282
Peso de la cápsula de contracción	22
Peso de Hg	260
Densidad de Hg (g/cm3)	13.6
Volumen de la masa (Vm)	19.12
<b>Determinación del volumen de suelo seco moldeado</b>	
Peso de la probeta + Hg	299.7
Peso de la probeta	62
Peso de Hg	237.7
Volumen de suelo contraído (Vo)	17.5
<b>Determinación de límite de contracción</b>	
Densidad de Agua (g/cm3)	1
$LC\% = \left( w - \frac{(V_m - V_o) \gamma_o}{W_s} \right) * 100$	
Límite de contracción	71.54

**Gravedad específica**

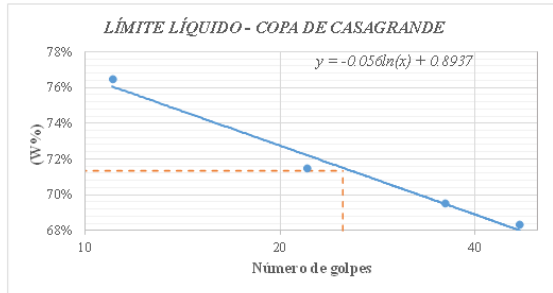
Localización:	LA LIBERTAD
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>	
Muestra N°	2
Número de recipientes	69
Temperatura de agua + suelo	20
Peso de recipiente	260.3
Peso de recipiente + suelo seco	294
Peso de suelo seco	33.7
Peso picnómetro + agua (Mmw)	661.60
Peso de suelo seco + Mmw	695.30
Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	682.8
Desplazamiento de Agua	12.50
K	1.0000
Gs	2.70

**Límite Plástico**

Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite Plástico
76	16.60	14.40	10.70	59.46%	61.55%
10	15.90	13.80	10.50	63.64%	

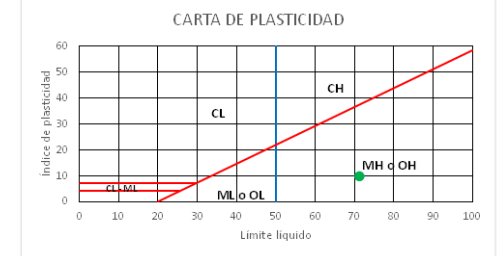
### Límite líquido con Copa de Casagrande

Número de golpes	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Contenido de humedad promedio (W%)	Límite líquido (LLcup)
11	05A	17.70	14.80	11.00	76.32%	76.46%	71.34%
	06	19.10	15.50	10.80	76.60%		
22	26	20.20	16.40	11.20	73.08%	71.44%	
	25	19.90	16.20	10.90	69.81%		
36	61	17.70	15.10	11.40	70.27%	69.51%	
	12	19.10	15.80	11.00	68.75%		
47	8A	16.20	14.10	10.90	65.63%	68.34%	
	90A	17.60	14.90	11.10	71.05%		

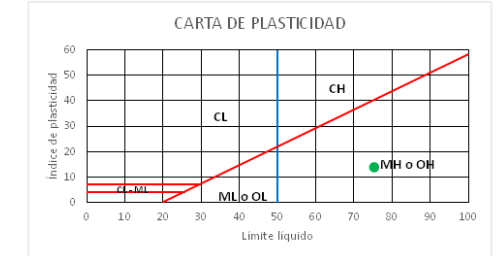


### Clasificación SUCS

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	71.34	61.55	9.79

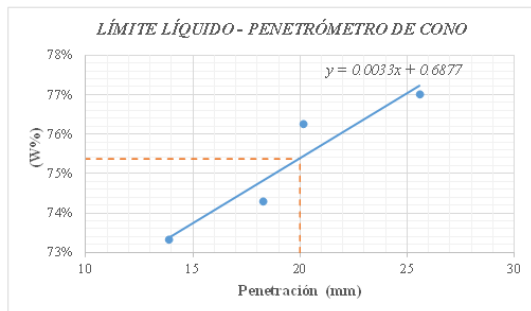


	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	75.37	61.55	13.82



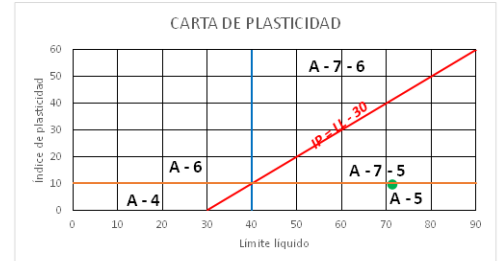
### Límite líquido con Penetrómetro de cono

Penetración (mm)	Penetración promedio (mm)	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite líquido (LLcone)
13.82	13.91	LP8	16.80	12.40	6.40	73.33%	75.37%
14.00							
20.26	20.18	LP6	20.40	14.30	6.30	76.25%	
20.09							
18.36	18.29	LP10	18.60	13.40	6.40	74.29%	
18.22							
25.60	25.58	LP2	24.10	16.40	6.40	77.00%	
25.55							

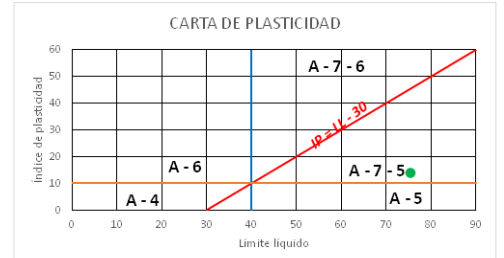


### Clasificación AASHTO

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	71.34	61.55	9.79



	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	75.37	61.55	13.82







**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



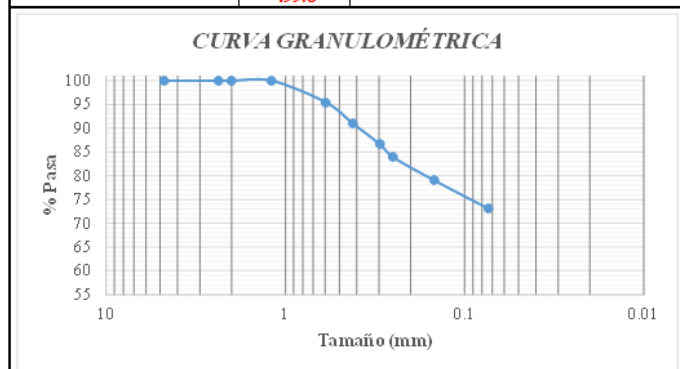
**10 DE AGOSTO (23)**

**Contenido de humedad natural**

	MUESTRA 1		
	1	2	3
Recipiente N	31	18	46
Peso muestra húmeda + recipiente	164.50	174.40	167.60
Peso muestra seca + recipiente	118.70	125.10	118.50
Peso recipiente	24.60	25.80	24.90
Peso agua	45.80	49.30	49.10
Peso sólidos	94.10	99.30	93.60
Contenido de humedad	48.67	49.65	52.46
Promedio de contenido de humedad	50.26		

**Granulometría**

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Pasa
4	4.76	0	0	0.00	100.00
8	2.38	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0	0.00	100.00
16	1.19	0	0	0.00	100.00
30	0.595	22.7	22.7	4.54	95.46
40	0.42	22.3	45	9.00	91.00
50	0.297	21.9	66.9	13.39	86.61
60	0.25	13.6	80.5	16.11	83.89
100	0.149	24	104.5	20.91	79.09
200	0.074	30	134.5	26.91	73.09
<b>Fuente</b>		365.3	499.8	73.09	0.00
		<b>499.8</b>			



**Gravedad específica**

Localización:	10 DE AGOSTO
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>	
Muestra N°	1
Número de recipientes	G6
Temperatura de agua + suelo	19.5
Peso de recipiente	106.2
Peso de recipiente + suelo seco	145.2
Peso de suelo seco	39
Peso picnómetro + agua (Mmw)	661.67
Peso de suelo seco + Mmw	700.67
Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	686.2
Desplazamiento de Agua	14.47
K	1.0001
<b>Gs</b>	<b>2.70</b>

**Límite de contracción**

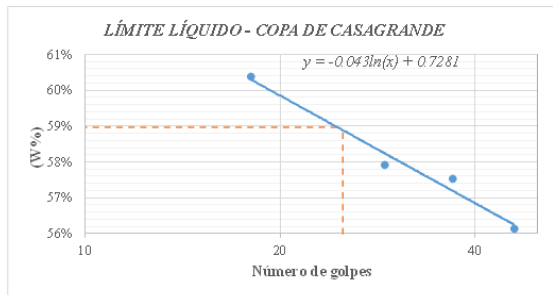
Localización:	10 DE AGOSTO
<b>LÍMITE DE CONTRACCIÓN</b>	
<b>Determinación de Contenido de humedad (W)</b>	
Muestra N°	1
Cápsula N°	15
Peso de cápsula	22
Peso de cápsula + suelo húmedo	53.3
Peso de cápsula + suelo seco	41.1
Peso de Agua	12.2
Peso de suelo seco (Ws)	19.1
Contenido de humedad (W)	0.64
<b>Determinación del volumen de suelo húmedo moldeado</b>	
Peso de la cápsula de contracción + Hg	282
Peso de la cápsula de contracción	22
Peso de Hg	260
Densidad de Hg (g/cm <sup>3</sup> )	13.6
Volumen de la masa (Vm)	19.12
<b>Determinación del volumen de suelo seco moldeado</b>	
Peso de la probeta + Hg	270
Peso de la probeta	62
Peso de Hg	208
Volumen de suelo contraído (Vo)	15.3
<b>Determinación de límite de contracción</b>	
Densidad de Agua (g/cm <sup>3</sup> )	1
$LC\% = \left( w - \frac{(Vm - Vo) \gamma_o}{W_s} \right) * 100$	
Límite de contracción	43.86

**Límite Plástico**

Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite Plástico
11	15.60	13.90	10.70	53.13%	51.56%
03	15.70	14.00	10.60	50.00%	

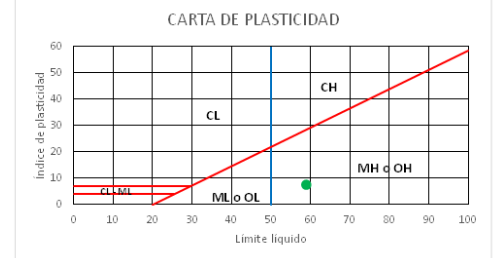
### Límite líquido con Copa de Casagrande

Número de golpes	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Contenido de humedad promedio (W%)	Límite líquido (LLcup)
18	69	19.50	16.40	11.50	63.27%	60.38%	58.97%
	14	17.40	15.10	11.10	57.50%		
29	39	19.00	16.40	11.70	55.32%	57.92%	
	12	17.10	14.80	11.00	60.53%		
46	74	16.90	15.00	11.50	54.29%	56.14%	
	36	19.20	16.30	11.30	58.00%		
37	O6	16.20	14.20	10.80	58.82%	57.54%	
	33A	16.10	14.30	11.10	56.25%		

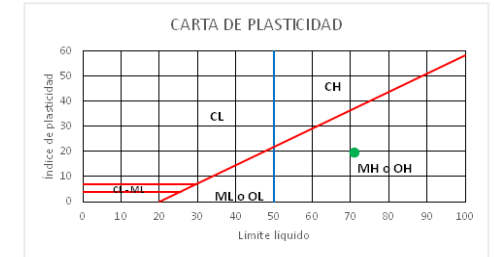


### Clasificación SUCS

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	58.97	51.56	7.41

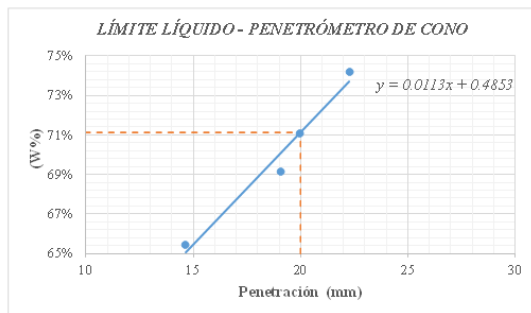


	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	71.13	51.56	19.57



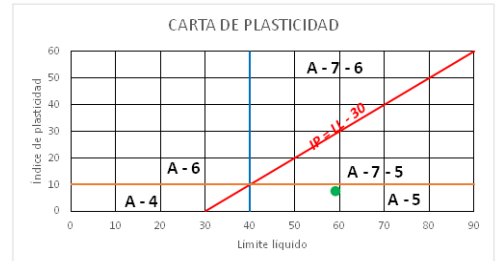
### Límite líquido con Penetrómetro de cono

Penetración (mm)	Penetración promedio (mm)	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite líquido (LLcone)
14.80	14.64	LP1	20.10	14.80	6.70	65.43%	71.13%
14.47							
19.19							
18.94							
20.12	19.94	SR2	20.50	14.60	6.30	71.08%	
19.76							
22.06	22.28	LP3	22.50	15.60	6.30	74.19%	
22.49							

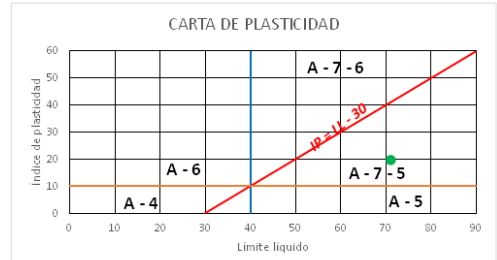


### Clasificación AASHTO

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	58.97	51.56	7.41



	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	71.13	51.56	19.57





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



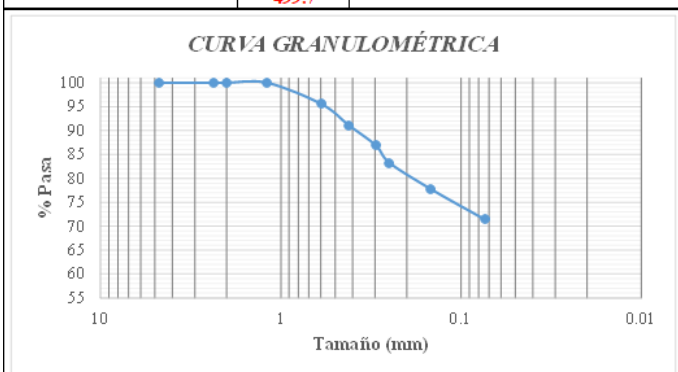
**10 DE AGOSTO (24)**

**Contenido de humedad natural**

	MUESTRA 2		
	1	2	3
Recipiente N	76	57	52
Peso muestra húmeda + recipiente	195.10	167.90	171.60
Peso muestra seca + recipiente	136.80	118.90	121.30
Peso recipiente	30.70	31.00	31.00
Peso agua	58.30	49.00	50.30
Peso sólidos	106.10	87.90	90.30
Contenido de humedad	54.95	55.75	55.70
Promedio de contenido de humedad	55.47		

**Granulometría**

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Pasa
4	4.76	0	0	0.00	100.00
8	2.38	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0	0.00	100.00
16	1.19	0	0	0.00	100.00
30	0.595	22.3	22.3	4.46	95.54
40	0.42	22.1	44.4	8.89	91.11
50	0.297	21.2	65.6	13.13	86.87
60	0.25	18	83.6	16.73	83.27
100	0.149	27	110.6	22.13	77.87
200	0.074	32.3	142.9	28.60	71.40
<b>Fuente</b>		356.8	499.7	71.40	0.00
		<b>499.7</b>			



**Límite de contracción**

Localización:	10 DE AGOSTO
<b>LÍMITE DE CONTRACCIÓN</b>	
<i>Determinación de Contenido de humedad (W)</i>	
Muestra N°	<b>2</b>
Cápsula N°	3
Peso de cápsula	23.4
Peso de cápsula + suelo húmedo	52.5
Peso de cápsula + suelo seco	41.2
Peso de Agua	11.3
Peso de suelo seco (Ws)	17.8
Contenido de humedad (W)	0.63
<i>Determinación del volumen de suelo húmedo moldeado</i>	
Peso de la cápsula de contracción + Hg	282.5
Peso de la cápsula de contracción	23.4
Peso de Hg	259.1
Densidad de Hg (g/cm <sup>3</sup> )	13.6
Volumen de la masa (Vm)	19.05
<i>Determinación del volumen de suelo seco moldeado</i>	
Peso de la probeta + Hg	284.1
Peso de la probeta	62
Peso de Hg	222.1
Volumen de suelo contraído (Vo)	16.3
<i>Determinación de límite de contracción</i>	
Densidad de Agua (g/cm <sup>3</sup> )	1
$LC\% = \left( w - \frac{(V_m - V_o)\gamma_o}{W_s} \right) * 100$	
Límite de contracción	48.20

**Gravedad específica**

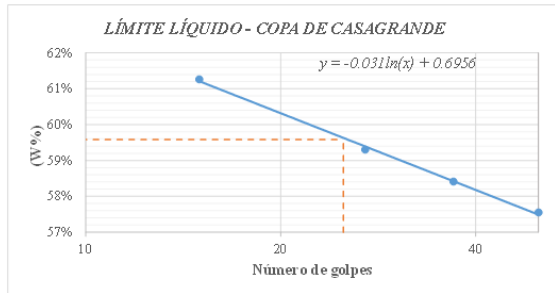
Localización:	10 DE AGOSTO
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>	
Muestra N°	<b>2</b>
Número de recipientes	72
Temperatura de agua + suelo	20.5
Peso de recipiente	254.1
Peso de recipiente + suelo seco	295.4
Peso de suelo seco	41.3
Peso picnómetro + agua (Mmw)	661.53
Peso de suelo seco + Mmw	702.83
Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	687.4
Desplazamiento de Agua	15.43
K	0.9999
<b>Gs</b>	<b>2.68</b>

**Límite Plástico**

Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite Plástico
3	16.80	14.80	10.80	50.00%	52.14%
50	11.40	9.50	6.00	54.29%	

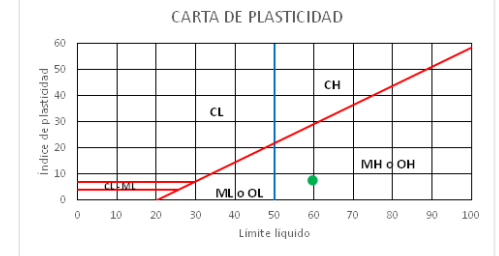
### Límite líquido con Copa de Casagrande

Número de golpes	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Contenido de humedad promedio (W%)	Límite líquido (LLcup)
15	20	18.60	15.90	11.40	60.00%	61.25%	59.58%
	O4	18.90	15.90	11.10	62.50%		
27	61	18.40	15.80	11.40	59.09%	59.31%	
	5A	17.70	15.20	11.00	59.52%		
37	25	19.20	16.10	10.80	58.49%	58.41%	
	26	18.80	16.00	11.20	58.33%		
50	LP1	11.90	10.00	6.70	57.58%	57.54%	
	LP4	12.40	10.10	6.10	57.50%		

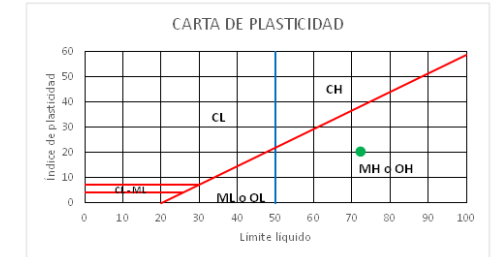


### Clasificación SUCS

Por Copa de Casagrande	LL	LP	IP
	59.58	52.14	7.44

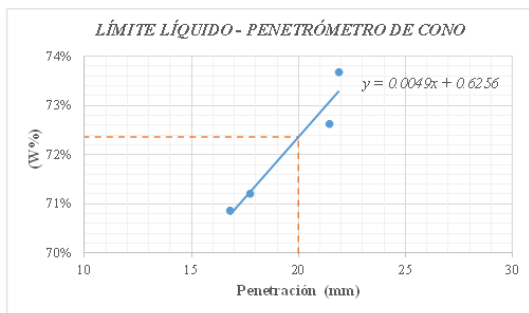


Por Penetrómetro de Cono	LL	LP	IP
	72.36	52.14	20.22



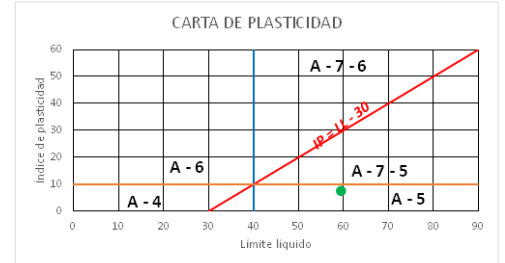
### Límite líquido con Penetrómetro de cono

Penetración (mm)	Penetración promedio (mm)	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite líquido (LLcono)
17.60	17.76	LP6	17.60	12.90	6.30	71.21%	72.36%
17.92							
21.22	21.45	SR6	22.80	15.90	6.40	72.63%	
21.68							
21.85	21.88	PS	30.50	23.50	14.00	73.68%	
21.90							
16.92	16.82	18	29.10	21.80	11.50	70.87%	
16.71							

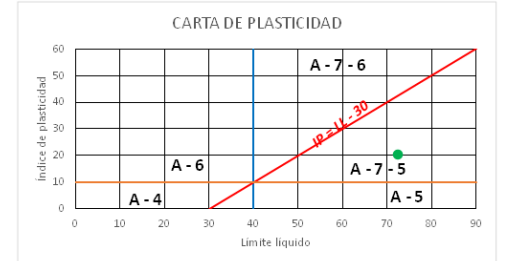


### Clasificación AASHTO

Por Copa de Casagrande	LL	LP	IP
	59.58	52.14	7.44



Por Penetrómetro de Cono	LL	LP	IP
	72.36	52.14	20.22





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



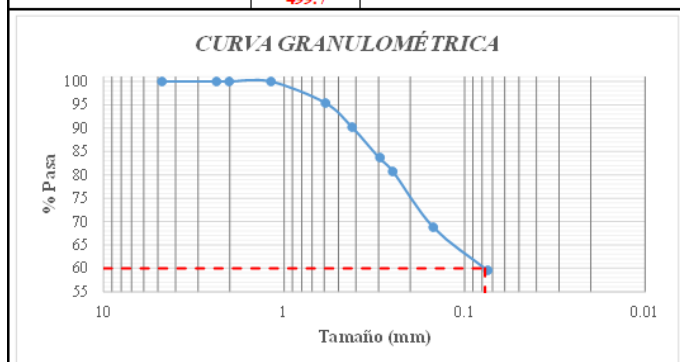
**UNIÓN BASE (25)**

**Contenido de humedad natural**

	MUESTRA 1		
	1	2	3
Recipiente N	LP5	LP6	LP8
Peso muestra húmeda + recipiente	67.50	109.20	99.30
Peso muestra seca + recipiente	52.80	84.10	69.90
Peso recipiente	6.20	6.30	6.50
Peso agua	14.70	25.10	29.40
Peso sólidos	46.60	77.80	63.40
Contenido de humedad	31.55	32.26	46.37
Promedio de contenido de humedad	36.73		

**Granulometría**

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Pasa
4	4.76	0	0	0.00	100.00
8	2.38	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0	0.00	100.00
16	1.19	0	0	0.00	100.00
30	0.595	22.7	22.7	4.54	95.46
40	0.42	26.4	49.1	9.83	90.17
50	0.297	32.8	81.9	16.39	83.61
60	0.25	14.2	96.1	19.23	80.77
100	0.149	60	156.1	31.24	68.76
200	0.074	46.6	202.7	40.56	59.44
<b>Fuente</b>		297	499.7	59.44	0.00
		<b>499.7</b>			



**Gravedad específica**

Localización:	UNIÓN BASE
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>	
Muestra N°	1
Número de recipientes	70
Temperatura de agua + suelo	21
Peso de recipiente	252.4
Peso de recipiente + suelo seco	295
Peso de suelo seco	42.6
Peso picnómetro + agua (Mmw)	661.47
Peso de suelo seco + Mmw	704.07
Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	688
Desplazamiento de Agua	16.07
K	0.9998
<b>Gs</b>	<b>2.65</b>

**Límite de contracción**

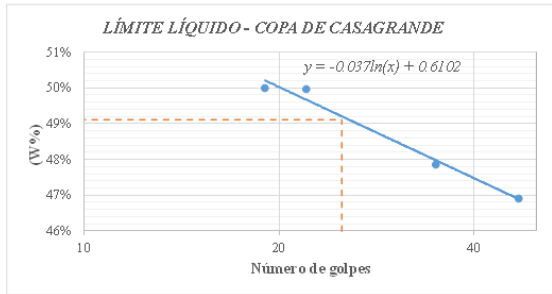
Localización:	UNIÓN BASE
<b>LÍMITE DE CONTRACCIÓN</b>	
<b>Determinación de Contenido de humedad (W)</b>	
Muestra N°	1
Cápsula N°	13
Peso de cápsula	22.2
Peso de cápsula + suelo húmedo	55.1
Peso de cápsula + suelo seco	43.9
Peso de Agua	11.2
Peso de suelo seco (Ws)	21.7
Contenido de humedad (W)	0.52
<b>Determinación del volumen de suelo húmedo moldeado</b>	
Peso de la cápsula de contracción + Hg	273.5
Peso de la cápsula de contracción	22.2
Peso de Hg	251.3
Densidad de Hg (g/cm <sup>3</sup> )	13.6
Volumen de la masa (Vm)	18.48
<b>Determinación del volumen de suelo seco moldeado</b>	
Peso de la probeta + Hg	297
Peso de la probeta	62
Peso de Hg	235
Volumen de suelo contraído (Vo)	17.3
<b>Determinación de límite de contracción</b>	
Densidad de Agua (g/cm <sup>3</sup> )	1
$LC\% = \left( w - \frac{(Vm - Vo) \gamma_o}{Ws} \right) * 100$	
Límite de contracción	46.09

**Límite Plástico**

Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite Plástico
O3	17.40	15.50	10.60	38.78%	40.22%
76	15.80	14.30	10.70	41.67%	

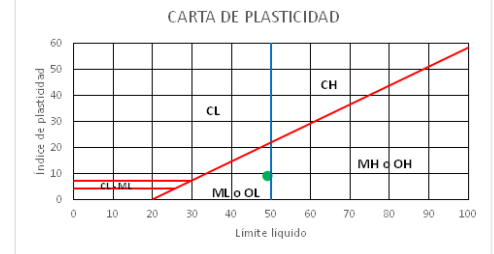
### Límite líquido con Copa de Casagrande

Número de golpes	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Contenido de humedad promedio (W%)	Límite líquido (LLcup)
19	33A	21.60	18.10	11.10	50.00%	50.00%	49.11%
	14	19.50	16.70	11.10	50.00%		
22	20	20.20	17.20	11.40	51.72%	49.97%	
	74	19.80	17.10	11.50	48.21%		
35	69	19.40	16.80	11.50	49.06%	47.86%	
	O6	17.40	15.30	10.80	46.67%		
47	25	18.20	15.90	10.90	46.00%	46.91%	
	90A	17.90	15.70	11.10	47.83%		

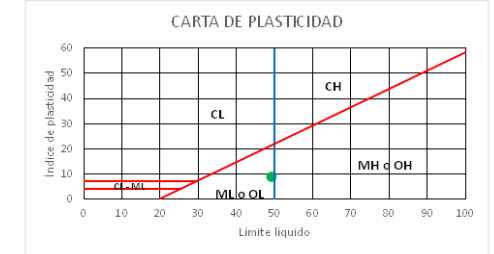


### Clasificación SUCS

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	49.11	40.22	8.89

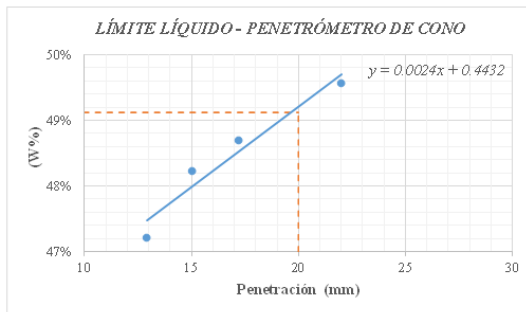


	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	49.12	40.22	8.90



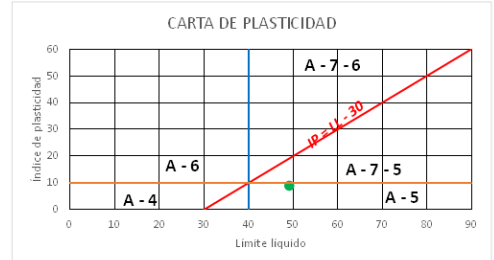
### Límite líquido con Penetrómetro de cono

Penetración (mm)	Penetración promedio (mm)	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite líquido (LLcone)
12.95	12.93	LP6	17.93	14.20	6.30	47.22%	49.12%
12.90							
15.14	15.04	LP2	27.79	20.83	6.40	48.23%	
14.94							
17.23	17.20	LP4	24.24	18.30	6.10	48.69%	
17.17							
21.93	22.01	LP5	27.19	20.20	6.10	49.57%	
22.09							

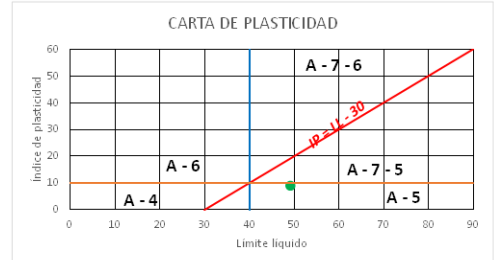


### Clasificación AASHTO

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	49.11	40.22	8.89



	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	49.12	40.22	8.90





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



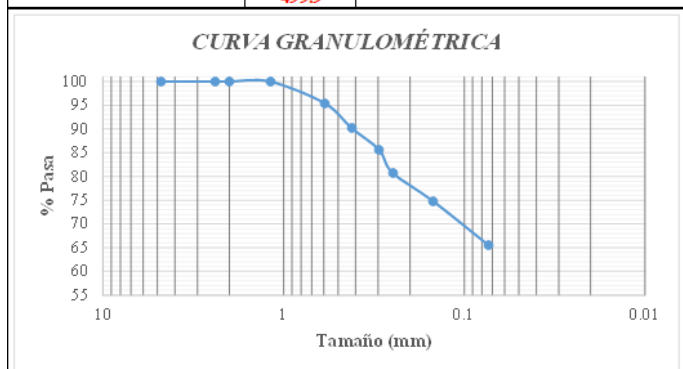
**UNIÓN BASE (26)**

**Contenido de humedad natural**

	MUESTRA 2		
	1	2	3
Recipiente N	LP1	LP7	LP10
Peso muestra húmeda + recipiente	113.70	80.70	98.70
Peso muestra seca + recipiente	73.50	53.10	64.60
Peso recipiente	6.60	6.60	6.40
Peso agua	40.20	27.60	34.10
Peso sólidos	66.90	46.50	58.20
Contenido de humedad	60.09	59.35	58.59
Promedio de contenido de humedad	59.35		

**Granulometría**

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Pasa
4	4.76	0	0	0.00	100.00
8	2.38	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0	0.00	100.00
16	1.19	0	0	0.00	100.00
30	0.595	22.7	22.7	4.54	95.46
40	0.42	26.4	49.1	9.82	90.18
50	0.297	22.6	71.7	14.34	85.66
60	0.25	24.2	95.9	19.18	80.82
100	0.149	30	125.9	25.19	74.81
200	0.074	46	171.9	34.39	65.61
<b>Fuente</b>		<b>328</b>	<b>499.9</b>	<b>65.61</b>	<b>0.00</b>



**Límite de contracción**

Localización:	UNIÓN BASE
<b>LÍMITE DE CONTRACCIÓN</b>	
<b>Determinación de Contenido de humedad (W)</b>	
Muestra N°	<b>2</b>
Cápsula N°	16
Peso de cápsula	22
Peso de cápsula + suelo húmedo	54.2
Peso de cápsula + suelo seco	41.5
Peso de Agua	12.7
Peso de suelo seco (Ws)	19.5
Contenido de humedad (W)	0.65
<b>Determinación del volumen de suelo húmedo moldeado</b>	
Peso de la cápsula de contracción + Hg	284.5
Peso de la cápsula de contracción	22
Peso de Hg	262.5
Densidad de Hg (g/cm <sup>3</sup> )	13.6
Volumen de la masa (Vm)	19.30
<b>Determinación del volumen de suelo seco moldeado</b>	
Peso de la probeta + Hg	311
Peso de la probeta	62
Peso de Hg	249
Volumen de suelo contraído (Vo)	18.3
<b>Determinación de límite de contracción</b>	
Densidad de Agua (g/cm <sup>3</sup> )	1
$LC\% = \left( w - \frac{(V_m - V_o) \gamma_o}{W_s} \right) * 100$	
Límite de contracción	60.04

**Gravedad específica**

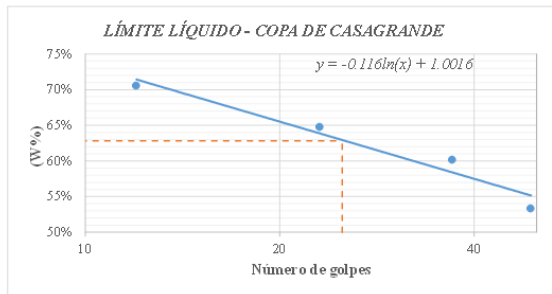
Localización:	UNIÓN BASE
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>	
Muestra N°	<b>2</b>
Número de recipientes	49
Temperatura de agua + suelo	19
Peso de recipiente	113.4
Peso de recipiente + suelo seco	155.1
Peso de suelo seco	41.7
Peso picnómetro + agua (Mmw)	661.74
Peso de suelo seco + Mmw	703.44
Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	689
Desplazamiento de Agua	14.44
K	1.0002
<b>Gs</b>	<b>2.89</b>

**Límite Plástico**

Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite Plástico
10	15.70	14.00	10.50	48.57%	50.85%
11	15.60	13.90	10.70	53.13%	

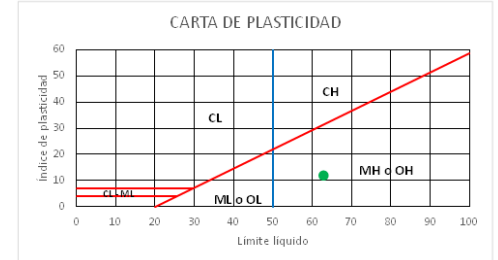
### Límite líquido con Copa de Casagrande

Número de golpes	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Contenido de humedad promedio (W%)	Límite líquido (LLcup)
23	36	17.40	15.00	11.30	64.86%	64.79%	62.82%
	26	16.80	14.60	11.20	64.71%		
37	12	18.10	15.40	11.00	61.36%	60.23%	
	8A	17.90	15.30	10.90	59.09%		
49	5A	16.80	14.60	11.00	61.11%	53.28%	
	O4	15.90	14.40	11.10	45.45%		
12	61	16.80	14.60	11.40	68.75%	70.58%	
	39	16.70	14.60	11.70	72.41%		

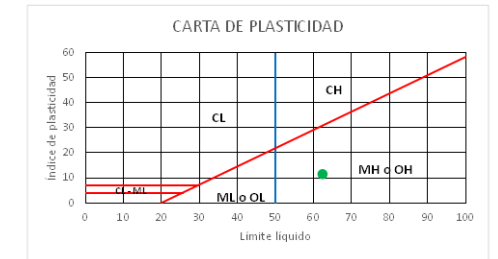


### Clasificación SUCS

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	62.82	50.85	11.97

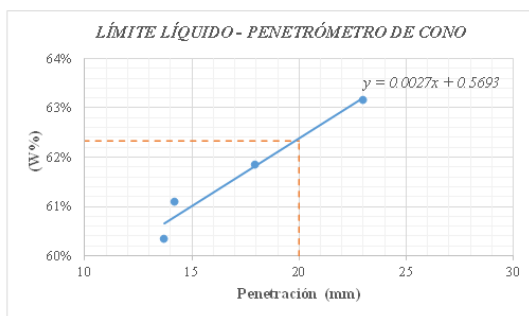


	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	62.33	50.85	11.48



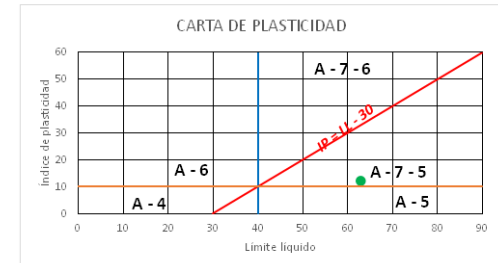
### Límite líquido con Penetrómetro de cono

Penetración (mm)	Penetración promedio (mm)	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite líquido (LLcono)
22.88	22.98	LP3	24.90	17.70	6.30	63.16%	62.33%
23.07							
13.56	13.69	S4	15.90	12.40	6.60	60.34%	
13.82							
14.24	14.20	SR5	12.20	10.00	6.40	61.11%	
14.15							
18.45	17.93	SR6	18.70	14.00	6.40	61.84%	
17.68							
17.40							

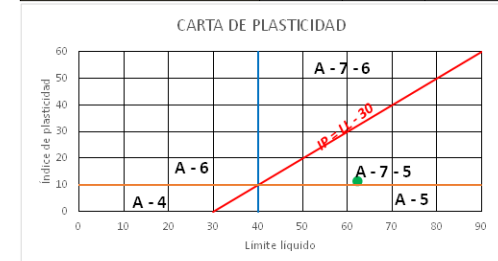


### Clasificación AASHTO

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	62.82	50.85	11.97



	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	62.33	50.85	11.48







**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



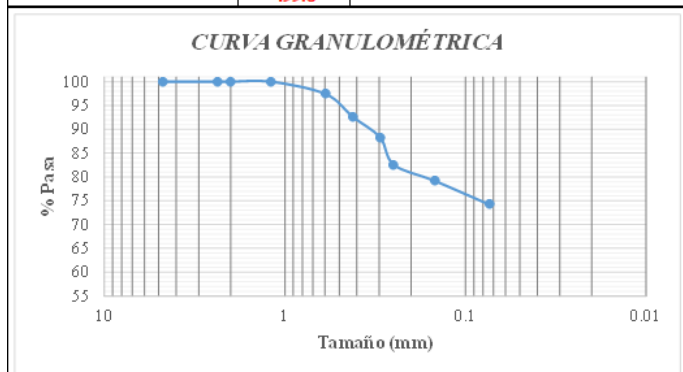
**SHELL (27)**

**Contenido de humedad natural**

	MUESTRA 1		
	1	2	3
Recipiente N	LP4	LP3	SR3
Peso muestra húmeda + recipiente	88.80	95.20	79.80
Peso muestra seca + recipiente	54.60	58.60	40.30
Peso recipiente	6.10	6.30	6.50
Peso agua	34.20	36.60	39.50
Peso sólidos	48.50	52.30	33.80
Contenido de humedad	70.52	69.98	116.86
Promedio de contenido de humedad	85.79		

**Granulometría**

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Pasa
4	4.76	0	0	0.00	100.00
8	2.38	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0	0.00	100.00
16	1.19	0	0	0.00	100.00
30	0.595	13	13	2.60	97.40
40	0.42	24	37	7.40	92.60
50	0.297	21.5	58.5	11.70	88.30
60	0.25	28.5	87	17.41	82.59
100	0.149	16.8	103.8	20.77	79.23
200	0.074	25	128.8	25.77	74.23
<b>Fuente</b>		371	499.8	74.23	0.00
		<b>499.8</b>			



**Límite de contracción**

Localización:	SHELL
<b>LÍMITE DE CONTRACCIÓN</b>	
<i>Determinación de Contenido de humedad (W)</i>	
Muestra N°	<b>1</b>
Cápsula N°	15
Peso de cápsula	22
Peso de cápsula + suelo húmedo	55.1
Peso de cápsula + suelo seco	42.3
Peso de Agua	12.8
Peso de suelo seco (Ws)	20.3
Contenido de humedad (W)	0.63
<i>Determinación del volumen de suelo húmedo moldeado</i>	
Peso de la cápsula de contracción + Hg	282
Peso de la cápsula de contracción	22
Peso de Hg	260
Densidad de Hg (g/cm <sup>3</sup> )	13.6
Volumen de la masa (Vm)	19.12
<i>Determinación del volumen de suelo seco moldeado</i>	
Peso de la probeta + Hg	296.6
Peso de la probeta	62
Peso de Hg	234.6
Volumen de suelo contraído (Vo)	17.3
<i>Determinación de límite de contracción</i>	
Densidad de Agua (g/cm <sup>3</sup> )	1
$LC\% = \left( w - \frac{(Vm - Vo)\gamma_o}{Ws} \right) + 100$	
Límite de contracción	53.85

**Gravedad específica**

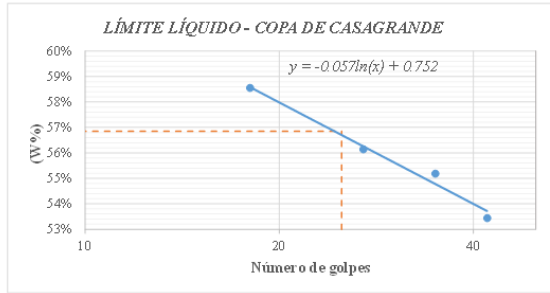
Localización:	SHELL
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>	
Muestra N°	<b>1</b>
Número de recipientes	68
Temperatura de agua + suelo	21
Peso de recipiente	263.6
Peso de recipiente + suelo seco	305.6
Peso de suelo seco	42
Peso picnómetro + agua (Mmw)	661.47
Peso de suelo seco + Mmw	703.47
Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	687.8
Desplazamiento de Agua	15.67
K	0.9998
<b>Gs</b>	<b>2.68</b>

**Límite Plástico**

Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite Plástico
O3	16.20	14.50	10.80	45.95%	48.87%
50	11.51	9.63	6.00	51.79%	

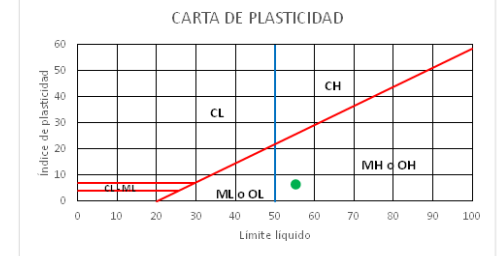
### Límite líquido con Copa de Casagrande

Número de golpes	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Contenido de humedad promedio (W%)	Límite líquido (LLcup)
18	LP10	15.30	12.00	6.40	58.93%	58.56%	56.85%
	LP6	15.00	11.80	6.30	58.18%		
27	LP7	16.10	12.60	6.60	58.33%	56.15%	
	LP5	15.80	12.40	6.10	53.97%		
35	LP4	14.50	11.40	6.10	58.49%	55.17%	
	LP1	14.90	12.10	6.70	51.85%		
42	LP8	14.30	11.50	6.40	54.90%	53.45%	
	LP2	14.00	11.40	6.40	52.00%		

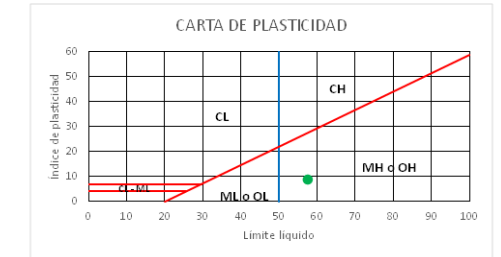


### Clasificación SUCS

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	55.18	48.87	6.31

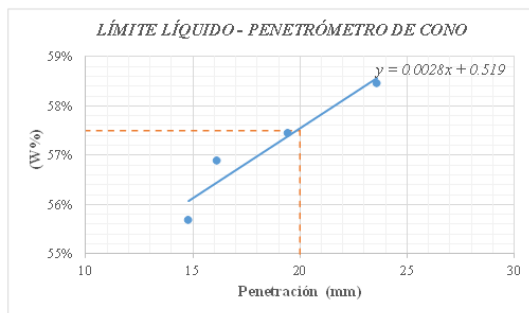


	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	57.59	48.87	8.72



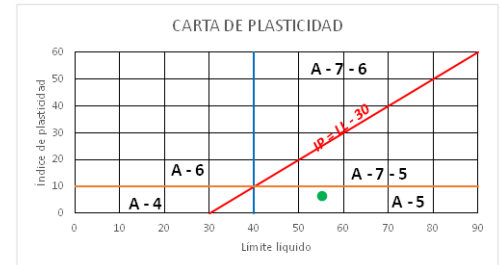
### Límite líquido con Penetrómetro de cono

Penetración (mm)	Penetración promedio (mm)	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite líquido (LLcone)
16.09	16.13	LP7	30.84	22.05	6.60	56.89%	57.50%
16.16							
23.52	23.58	LP10	32.77	23.04	6.40	58.47%	
23.64							
14.79	14.78	LP1	25.32	18.66	6.70	55.69%	
14.77							
19.57	19.42	LP8	23.50	17.26	6.40	57.46%	
19.27							

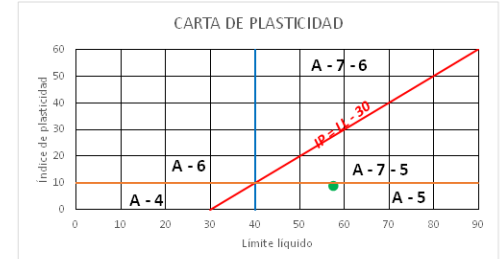


### Clasificación AASHTO

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	55.18	48.87	6.31



	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	57.59	48.87	8.72





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



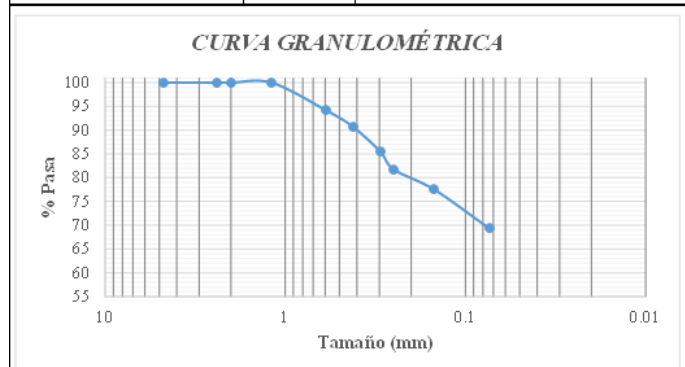
**SHELL (28)**

**Contenido de humedad natural**

	MUESTRA 2		
	1	2	3
Recipiente N	SR1	SR7	SR2
Peso muestra húmeda + recipiente	82.50	81.20	92.70
Peso muestra seca + recipiente	55.10	52.30	62.10
Peso recipiente	6.40	6.30	6.30
Peso agua	27.40	28.90	30.60
Peso sólidos	48.70	46.00	55.80
Contenido de humedad	56.26	62.83	54.84
Promedio de contenido de humedad	57.98		

**Granulometría**

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Pasa
4	4.76	0	0	0.00	100.00
8	2.38	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0	0.00	100.00
16	1.19	0	0	0.00	100.00
30	0.595	29	29	5.80	94.20
40	0.42	17.6	46.6	9.32	90.68
50	0.297	26	72.6	14.52	85.48
60	0.25	18.7	91.3	18.26	81.74
100	0.149	21.2	112.5	22.50	77.50
200	0.074	40.7	153.2	30.65	69.35
<b>Fuente</b>		346.7	499.9	69.35	0.00
		<b>499.9</b>			



**Gravedad específica**

Localización:	SHELL
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>	
Muestra N°	2
Número de recipientes	3
Temperatura de agua + suelo	19.5
Peso de recipiente	98.4
Peso de recipiente + suelo seco	146.2
Peso de suelo seco	47.8
Peso picnómetro + agua (Mmw)	661.67
Peso de suelo seco + Mmw	709.47
Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	693
Desplazamiento de Agua	16.47
K	1.0001
<b>Gs</b>	<b>2.90</b>

**Límite de contracción**

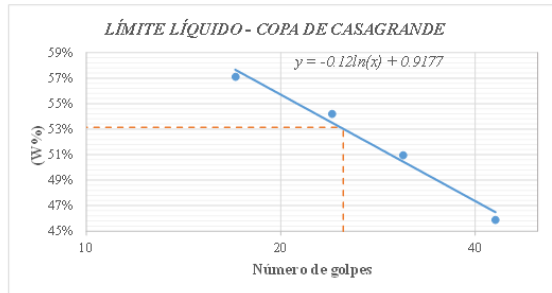
Localización:	SHELL
<b>LÍMITE DE CONTRACCIÓN</b>	
<b>Determinación de Contenido de humedad (W)</b>	
Muestra N°	2
Cápsula N°	3
Peso de cápsula	23.4
Peso de cápsula + suelo húmedo	54.2
Peso de cápsula + suelo seco	42.6
Peso de Agua	11.6
Peso de suelo seco (Ws)	19.2
Contenido de humedad (W)	0.60
<b>Determinación del volumen de suelo húmedo moldeado</b>	
Peso de la cápsula de contracción + Hg	282.5
Peso de la cápsula de contracción	23.4
Peso de Hg	259.1
Densidad de Hg (g/cm <sup>3</sup> )	13.6
Volumen de la masa (Vm)	19.05
<b>Determinación del volumen de suelo seco moldeado</b>	
Peso de la probeta + Hg	282.1
Peso de la probeta	62
Peso de Hg	220.1
Volumen de suelo contraído (Vo)	16.2
<b>Determinación de límite de contracción</b>	
Densidad de Agua (g/cm <sup>3</sup> )	1
$LC\% = \left( w - \frac{(V_m - V_o)\gamma_o}{W_s} \right) * 100$	
Límite de contracción	45.48

**Límite Plástico**

Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite Plástico
LP1	12.08	10.37	6.70	46.59%	45.92%
LP6	11.50	9.88	6.30	45.25%	

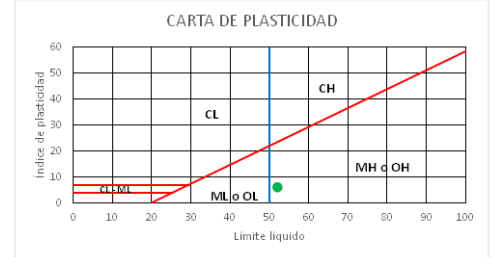
### Límite líquido con Copa de Casagrande

Número de golpes	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Contenido de humedad promedio (W%)	Límite líquido (LLcup)
17	78	24.20	19.60	11.60	57.50%	57.06%	53.14%
	79	24.50	19.80	11.50	56.63%		
24	69	23.70	19.50	11.50	52.50%	54.17%	
	18	23.40	19.10	11.40	55.84%		
31	16	23.50	19.40	11.50	51.90%	50.95%	
	06	23.10	19.00	10.80	50.00%		
43	26	22.90	19.20	11.20	46.25%	45.91%	
	64	22.70	19.10	11.20	45.57%		

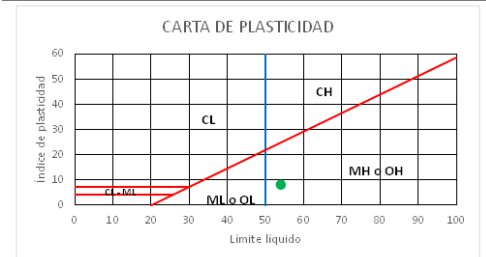


### Clasificación SUCS

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	52.10	45.92	6.18

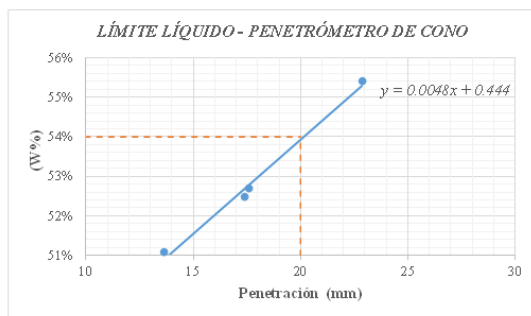


	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	54.00	45.92	8.08



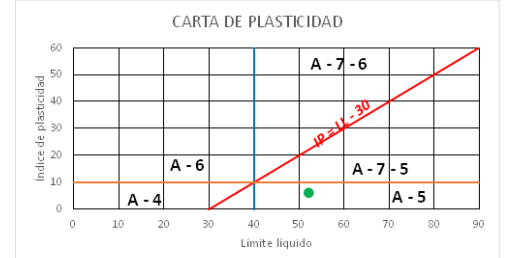
### Límite líquido con Penetrómetro de cono

Penetración (mm)	Penetración promedio (mm)	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite líquido (LLcone)
13.89	13.65	SR2	17.60	13.78	6.30	51.07%	54.00%
13.41							
17.48							
17.26	17.37	SR6	18.72	14.48	6.40	52.48%	
22.79	22.87	SR1	21.91	16.38	6.40	55.41%	
22.95							
17.83							
17.35	17.59	S6	18.41	14.30	6.50	52.69%	

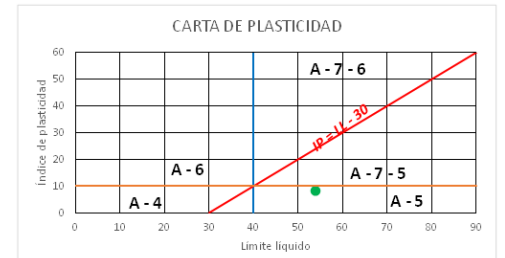


### Clasificación AASHTO

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	52.10	45.92	6.18



	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	54.00	45.92	8.08





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



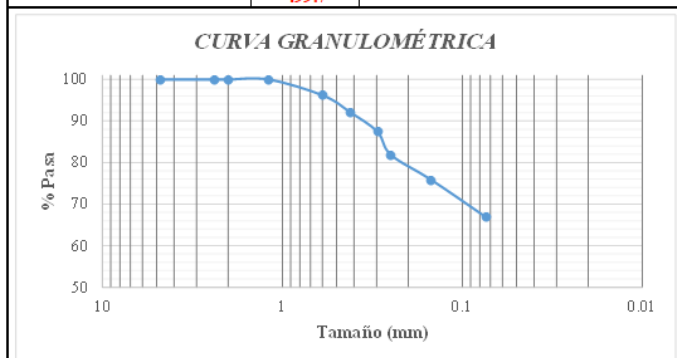
**VERACRUZ (29)**

**Contenido de humedad natural**

	MUESTRA 1		
	1	2	3
Recipiente N	23	71	82
Peso muestra húmeda + recipiente	102.80	114.40	112.30
Peso muestra seca + recipiente	58.60	65.10	66.10
Peso recipiente	31.10	30.50	30.90
Peso agua	44.20	49.30	46.20
Peso sólidos	27.50	34.60	35.20
Contenido de humedad	160.73	142.49	131.25
Promedio de contenido de humedad	144.82		

**Granulometría**

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Pasa
4	4.76	0	0	0.00	100.00
8	2.38	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0	0.00	100.00
16	1.19	0	0	0.00	100.00
30	0.595	19.3	19.3	3.86	96.14
40	0.42	20.2	39.5	7.90	92.10
50	0.297	23.4	62.9	12.59	87.41
60	0.25	27.8	90.7	18.15	81.85
100	0.149	30.1	120.8	24.17	75.83
200	0.074	44.9	165.7	33.16	66.84
<b>Fuente</b>		334	499.7	66.84	0.00
		<b>499.7</b>			



**Gravedad específica**

Localización:	VERACRUZ
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>	
Muestra N°	<b>1</b>
Número de recipientes	66
Temperatura de agua + suelo	22
Peso de recipiente	256.3
Peso de recipiente + suelo seco	287.6
Peso de suelo seco	31.3
Peso picnómetro + agua (Mmw)	661.33
Peso de suelo seco + Mmw	692.63
Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	681
Desplazamiento de Agua	11.63
K	0.9996
<b>Gs</b>	<b>2.69</b>

**Límite de contracción**

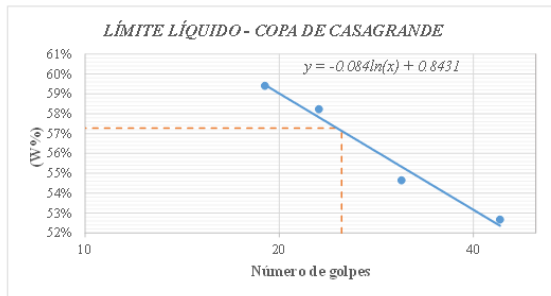
Localización:	VERACRUZ
<b>LÍMITE DE CONTRACCIÓN</b>	
<i>Determinación de Contenido de humedad (W)</i>	
Muestra N°	<b>1</b>
Cápsula N°	16
Peso de cápsula	22
Peso de cápsula + suelo húmedo	49.4
Peso de cápsula + suelo seco	36.8
Peso de Agua	12.6
Peso de suelo seco (Ws)	14.8
Contenido de humedad (W)	0.85
<i>Determinación del volumen de suelo húmedo moldeado</i>	
Peso de la cápsula de contracción + Hg	284.5
Peso de la cápsula de contracción	22
Peso de Hg	262.5
Densidad de Hg (g/cm <sup>3</sup> )	13.6
Volumen de la masa (Vm)	19.30
<i>Determinación del volumen de suelo seco moldeado</i>	
Peso de la probeta + Hg	289.7
Peso de la probeta	62
Peso de Hg	227.7
Volumen de suelo contraído (Vo)	16.7
<i>Determinación de límite de contracción</i>	
Densidad de Agua (g/cm <sup>3</sup> )	1
$LC\% = \left( w - \frac{(Vm - Vo) \gamma_o}{W_s} \right) * 100$	
Límite de contracción	67.85

**Límite Plástico**

Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite Plástico
O3	15.92	14.16	10.80	52.38%	47.08%
50	10.48	9.16	6.00	41.77%	

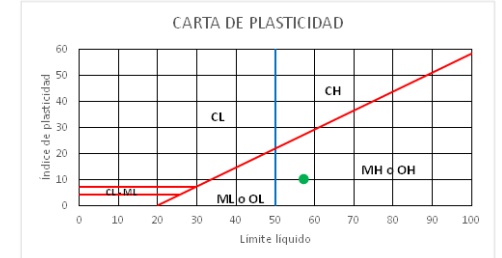
### Límite líquido con Copa de Casagrande

Número de golpes	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Contenido de humedad promedio (W%)	Límite líquido (LLcup)
19	68	24.70	19.60	10.90	58.62%	57.27%	57.27%
	62	24.30	19.30	11.00	60.24%		
	74	23.80	19.30	11.50	57.69%		
23	61	24.10	19.40	11.40	58.75%	58.22%	57.27%
	42	23.30	19.30	11.90	54.05%		
31	33A	22.90	18.70	11.10	55.26%	54.66%	57.27%
	O4	22.70	18.80	11.10	50.65%		
44	O4	22.70	18.80	11.10	50.65%	52.66%	57.27%
	20	23.00	18.90	11.40	54.67%		

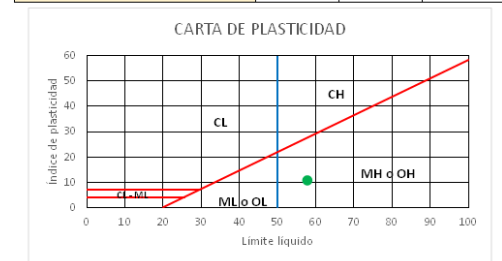


### Clasificación SUCS

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	57.27	47.08	10.19

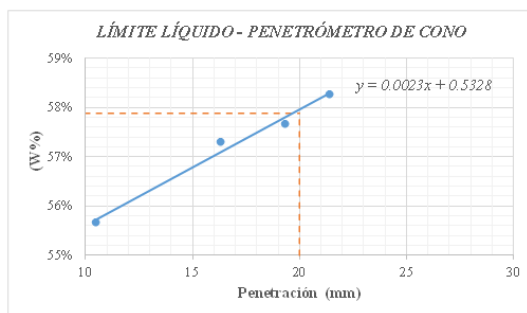


	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	57.88	47.08	10.80



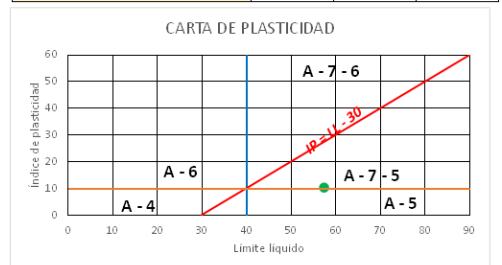
### Límite líquido con Penetrómetro de cono

Penetración (mm)	Penetración promedio (mm)	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite líquido (LLcono)
10.39	10.49	SR2	12.90	10.54	6.30	55.66%	57.88%
10.58							
21.78							
21.27	21.38	SR8	28.40	20.30	6.40	58.27%	57.88%
20.98							
19.57	19.34	SR7	25.30	18.35	6.30	57.68%	57.88%
19.10							
16.40	16.31	S3	17.37	13.41	6.50	57.31%	57.88%
16.22							

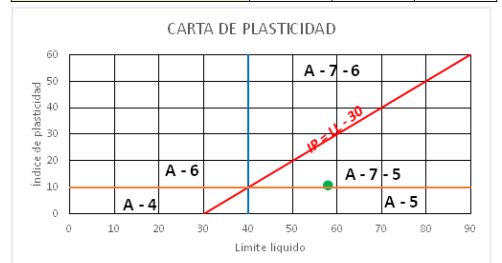


### Clasificación AASHTO

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	57.27	47.08	10.19



	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	57.88	47.08	10.80





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



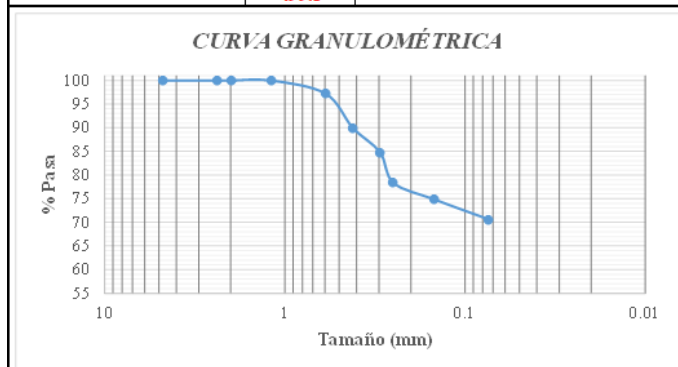
**VERACRUZ (30)**

**Contenido de humedad natural**

	MUESTRA 2		
	1	2	3
Recipiente N	85	91	16
Peso muestra húmeda + recipiente	229.90	284.20	249.60
Peso muestra seca + recipiente	155.60	188.00	168.90
Peso recipiente	33.20	32.40	30.60
Peso agua	74.30	96.20	80.70
Peso sólidos	122.40	155.60	138.30
Contenido de humedad	60.70	61.83	58.35
Promedio de contenido de humedad	60.29		

**Granulometría**

Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Pasa
4	4.76	0	0	0.00	100.00
8	2.38	0	0	0.00	100.00
10	2	0	0	0.00	100.00
16	1.19	0	0	0.00	100.00
30	0.595	13.9	13.9	2.78	97.22
40	0.42	36.3	50.2	10.04	89.96
50	0.297	25.6	75.8	15.17	84.83
60	0.25	32.4	108.2	21.65	78.35
100	0.149	17.4	125.6	25.13	74.87
200	0.074	21.2	146.8	29.37	70.63
<b>Fuente</b>		<b>353</b>	<b>499.8</b>	<b>70.63</b>	<b>0.00</b>



**Límite de contracción**

Localización:	VERACRUZ
<b>LÍMITE DE CONTRACCIÓN</b>	
<i>Determinación de Contenido de humedad (W)</i>	
Muestra N°	2
Cápsula N°	13
Peso de cápsula	22.2
Peso de cápsula + suelo húmedo	53.6
Peso de cápsula + suelo seco	41.9
Peso de Agua	11.7
Peso de suelo seco (Ws)	19.7
Contenido de humedad (W)	0.59
<i>Determinación del volumen de suelo húmedo moldeado</i>	
Peso de la cápsula de contracción + Hg	273.5
Peso de la cápsula de contracción	22.2
Peso de Hg	251.3
Densidad de Hg (g/cm <sup>3</sup> )	13.6
Volumen de la masa (Vm)	18.48
<i>Determinación del volumen de suelo seco moldeado</i>	
Peso de la probeta + Hg	284.7
Peso de la probeta	62
Peso de Hg	222.7
Volumen de suelo contraído (Vo)	16.4
<i>Determinación de límite de contracción</i>	
Densidad de Agua (g/cm <sup>3</sup> )	1
$LC\% = \left( w - \frac{(V_m - V_o) \gamma_o}{W_s} \right) * 100$	
Límite de contracción	48.72

**Gravedad específica**

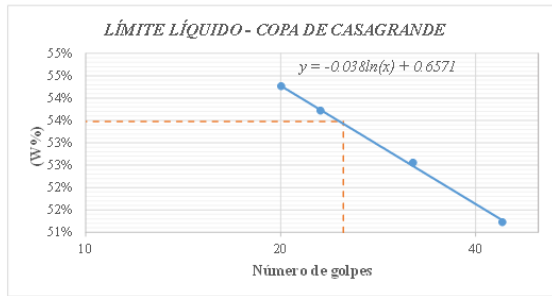
Localización:	VERACRUZ
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>	
Muestra N°	2
Número de recipientes	50
Temperatura de agua + suelo	21
Peso de recipiente	104.3
Peso de recipiente + suelo seco	145
Peso de suelo seco	40.7
Peso picnómetro + agua (Mmw)	661.47
Peso de suelo seco + Mmw	702.17
Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	687.1
Desplazamiento de Agua	15.07
K	0.9998
<b>Gs</b>	<b>2.70</b>

**Límite Plástico**

Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite Plástico
10	16.20	14.50	10.50	42.50%	44.93%
76	16.30	14.50	10.70	47.37%	

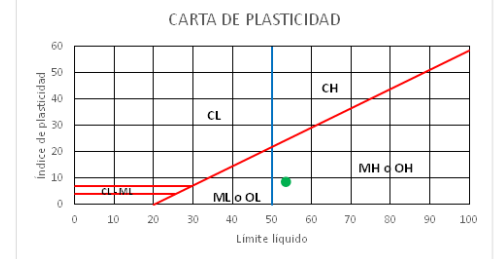
### Límite líquido con Copa de Casagrande

Número de golpes	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Contenido de humedad promedio (W%)	Límite líquido (LLcup)
23	39	20.30	17.30	11.70	53.57%	53.71%	53.48%
	68	20.90	17.40	10.90	53.85%		
20	14	18.70	16.00	11.10	55.10%	54.28%	
	69	20.40	17.30	11.50	53.45%		
44	SR1	15.70	12.50	6.40	52.46%	51.23%	
	SR7	14.40	11.70	6.30	50.00%		
32	90A	18.40	15.90	11.00	51.02%	52.56%	
	8A	20.30	17.00	10.90	54.10%		

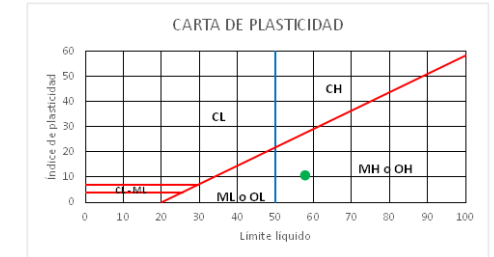


### Clasificación SUCS

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	53.48	44.93	8.55

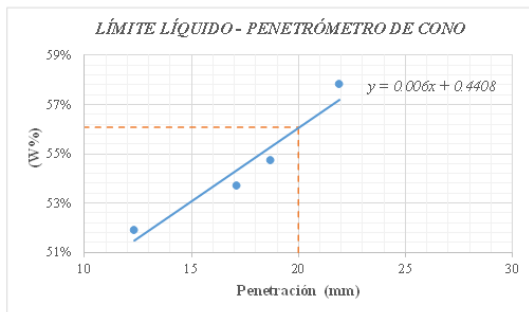


	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	56.08	44.93	11.15



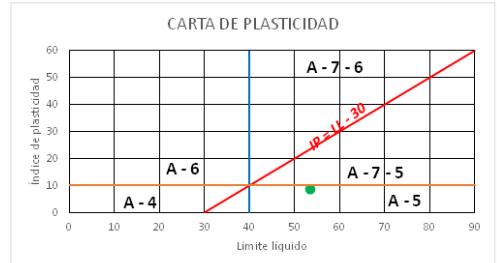
### Límite líquido con Penetrómetro de cono

Penetración (mm)	Penetración promedio (mm)	Número de recipiente	Suelo húmedo + recipiente	Suelo seco + recipiente	Peso de recipiente	Contenido de humedad (W%)	Límite líquido (LLcone)
18.81	18.69	LP10	19.40	14.80	6.40	54.76%	56.08%
18.57							
12.45	12.33	LP8	14.30	11.60	6.40	51.92%	
12.21							
17.32	17.11	LP2	16.70	13.10	6.40	53.73%	
16.90							
22.03	21.91	LP4	29.30	20.80	6.10	57.82%	
21.79							



### Clasificación AASHTO

	LL	LP	IP
Por Copa de Casagrande	53.48	44.93	8.55



	LL	LP	IP
Por Penetrómetro de Cono	56.08	44.93	11.15

