



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

“ZONIFICACIÓN MEDIANTE EL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS) Y LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO, PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN LA EXPANSIÓN URBANA DEL ANEXO LUCMACUCHO ALTO - SECTOR LUCMACUCHO, DISTRITO DE CAJAMARCA.”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autores:

María Emérita Briones Alva
Nelson Ulices Irigoín Gonzales

Asesor:

Ing. Iván Hedilbrando Mejía Díaz

Cajamarca – Perú
2015

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por los Bachilleres **María Emérita Briones Alva** y **Nelson Ulises Irigoín Gonzales**, denominada:

“ZONIFICACIÓN MEDIANTE EL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS) Y LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO, PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN LA EXPANSIÓN URBANA DEL ANEXO LUCMACUCHO ALTO - SECTOR LUCMACUCHO, DISTRITO DE CAJAMARCA.

Ing. Iván Hedilbrando Mejía Díaz

ASESOR

Dr. Ing. Orlando Aguilar Aliaga

JURADO
PRESIDENTE

Dra. Ing. Rosa Haydee Llique Mondragón

JURADO
SECRETARIA

Ing. Gabriel Cachi Cerna

JURADO

DEDICATORIA

A Dios por sus bendiciones y por permitir que esta tesis se concluya.

A mis padres Felipe Briones Solano y Barbarita Alva Pérez por su apoyo en los momentos difíciles de mi vida, por su amor, comprensión e infinito amor incondicional y por ser la razón que me ha impulsado a continuar todos estos años.

A mis hermanas Zarita y Ely Briones Alva por su apoyo incondicional, esfuerzo, dedicación y entera confianza.

A los miembros de mi familia quienes me apoyaron para culminar mis estudios universitarios.

M. E. B. A.

Con gratitud y cariño a mis padres Demóstenes Irigoin y Asunciona Gonzales por su apoyo permanente e incondicional para realizarme como profesional y ser humano; a mis hermanos que me apoyaron en todo momento para que mi vida sea exitosa y lograr mi objetivo, también agradezco a Dios por brindarme la salud y el bienestar de mi persona.

N.U. I.G.

AGRADECIMIENTO

A Dios todo poderoso quien nos dio la fortaleza espiritual y física necesaria para cumplir nuestro objetivo.

A nuestros padres y hermanos (a) por su gran apoyo en nuestra realización tanto profesional como personal.

A mi asesor de Tesis, Ing. Iván Mejía Díaz. Y el Dr. Ing. Rosa Llique Mondragón por su valioso tiempo y apoyo incondicional en la elaboración de esta tesis.

A nuestros compañeros y amigos por el tiempo brindado y apoyo en la elaboración de la presente tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS	2
DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTO	4
ÍNDICE DE CONTENIDOS	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	8
ÍNDICE DE FÓRMULAS	9
RESUMEN.....	10
ABSTRACT	11
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Realidad problemática	12
1.2. Formulación del problema.....	13
1.3. Justificación	13
1.4. Limitaciones.....	13
1.5. Objetivos.....	14
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	14
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i>	14
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	15
2.1. Antecedentes.....	15
2.1.1. <i>Antecedentes Internacionales.</i>	15
2.1.2. <i>Antecedentes Nacionales.</i>	17
2.2. Bases Teóricas	20
2.2.1. <i>ZONIFICACIÓN.</i>	20
2.2.2. <i>MECANICA DE SUELOS.</i>	21
2.2.2.1. <i>SUELOS.</i>	21
2.2.2.2. <i>CARACTERIZACION DE LOS SUELOS.</i>	22
2.2.2.3. <i>. PRINCIPALES TIPOS DE SUELOS.</i>	26
2.2.2.4. <i>ENSAYOS DE LABORATORIO Y CLASIFICACION DE LOS SUELOS</i>	28

2.3. Definición de términos básicos.....	56
CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS.....	57
3.1. Formulación de la hipótesis	57
3.2. Operacionalización de variables.	57
CAPÍTULO 4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	58
4.1. Tipo de diseño de investigación.....	58
4.2. Material de estudio.....	58
4.2.1. <i>Unidad de estudio.</i>	58
4.2.2. <i>Población.</i>	58
4.2.3. <i>Muestra.</i>	58
4.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.	58
4.3.1. <i>Para recolectar datos.</i>	58
4.3.2. <i>Para analizar información.</i>	59
CAPÍTULO 5. RESULTADOS	62
CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN	66
CONCLUSIONES.....	68
RECOMENDACIONES.....	70
REFERENCIAS	71
ANEXOS.	72
ANEXOS N° 1: HOJAS DE CÁLCULO.....	72
ANEXOS N° 2: PANEL FOTOGRÁFICO.....	73
ANEXOS N° 3: PLANOS.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 1: PERFIL DE METEORIZACIÓN O INTEMPERIZACIÓN.....	23
TABLA N° 2: RANGOS DE VALORES MÁS FRECUENTES DE LA CONSISTENCIA DEL SUELO..	35
TABLA N° 3: SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (EE.UU.) SUCS.	47
TABLA N° 4: PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL SUELO	52
TABLA N° 5: PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL SUELO	53
TABLA N° 6: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	57
TABLA N° 7: RESUMEN DE RESULTADOS - ENSAYOS DE LABORATORIO	62
TABLA N° 8: NOMENCLATURA DE SUELOS SEGÚN SUCS A UNA PROFUNDIDAD DE 1.50 m.	65
TABLA N° 9: ZONIFICACIÓN POR CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO A UNA PROFUNDIDAD DE 1.50 m.....	65
TABLA N° 10: VALORES DE COEFICIENTE DE FRICCIÓN Y COHESIÓN.	66
TABLA N° 11: CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO.....	67

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICA N° 1: FORMACIÓN DE LOS SUELOS.	25
GRAFICA N° 2: RELACIÓN ENTRE LAS FASES DE UN SUELO.	29
GRAFICA N° 3: CURVA GRANULOMETRICA DE UN SUELO.	31
GRAFICA N° 4: CLASIFICACION DE SUELOS EN FUNCION DE LA GRANULOMETRIA.	33
GRAFICA N° 5: ESQUEMA DE LA CONSISTENCIA DEL SUELO	34
GRAFICA N° 6: RELACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO VS ÍNDICE DE PLASTICIDAD.	36
GRAFICA N° 7: DIAGRAMA HIPOTÉTICO DE LOS COMPONENTES DEL SUELO.	38
GRAFICA N° 8: CURVA DE COMPACTACIÓN.	39
GRAFICA N° 9: RELACIÓN ENTRE LA DENSIDAD SECA VS CONTENIDO DE HUMEDAD.....	42
GRAFICA N° 10: CARTA DE PLASTICIDAD PARA SUELOS FINOS.	46
GRAFICA N° 11: FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA DE TERZAGHI.	51

ÍNDICE DE FÓRMULAS

FORMULA N° 1: Peso específico.	30
FÓRMULA N° 2: Coeficiente de Uniformidad.	31
FÓRMULA N° 3: Coeficiente de curvatura.	31
FORMULA N° 4: Índice Plástico.	36
FORMULA N° 5: Índice de liquidez.	36
FORMULA N° 6: Contenido de Humedad.	37
FÓRMULA N° 7: Ecuación para el cálculo de la compactación de los suelos.	41
FÓRMULA N° 8: Capacidad de Carga Última.	50
FORMULA N° 9: Capacidad de carga admisible de diseño.	50

RESUMEN

La presente tesis tuvo como objetivo zonificar el Anexo Lucmacucho Alto mediante la clasificación de suelos (SUCS) y la capacidad portante del suelo para viviendas unifamiliares en la expansión urbana del sector. Hoy en día las diferentes ciudades experimentan un acelerado proceso de urbanización, cuyos habitantes construyen sus viviendas en zonas inestables, debido a que no se realizan estudios que garanticen la estabilidad de suelo de fundación; realidad que se vive en el Sector Lucmacucho Alto y situación que se pretende mejorar con la presente tesis, es por ello que se decidió investigar la zonificación del Anexo Lucmacucho Alto. La investigación se basó fundamentalmente en obtener la capacidad portante del suelo existente en la zona, haciendo uso de la fórmula de Terzaghi y los parámetros característicos del suelo, mediante tablas se determinó la cohesión y ángulo de fricción interna de los tipos de suelos, encontrados en función a la clasificación de los suelos mediante el Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos (SUCS), en las 17 calicatas distribuidas por el método de la cuadrícula en un área aproximada de 6 hectáreas, considerando además como datos asumidos para el cálculo una profundidad de 1.50 m y un ancho de 0.80 m de cimiento corrido, cimentación más común en la construcción de viviendas unifamiliares. Como resultado se obtuvo que, el suelo de la zona en estudio a una profundidad de 1.50 m presenta una capacidad portante admisible de diseño que varía de 0.19 Kg/cm² a 2.03 Kg/cm², y los siguientes tipos de suelos: Limo arenoso (ML), arcilla ligera arenosa (CL), arena limosa (SM), limo elástico arenoso (MH), arenas arcillosas (SC), arcillas limosas orgánicas con baja plasticidad (OL), suelo orgánico con arena (OH), gravas arcillosas (GC) y arenas densas arenosas (CH).

ABSTRACT

This thesis aimed Annex Lucmacucho Alto zoning by classifying soils (USCS) and the bearing capacity for single family homes in the urban expansion of the sector. Today the different cities experiencing rapid urbanization, where people build their houses on unstable areas, because no studies to ensure the stability of soil foundation are made; reality that exists in the Sector Lucmacucho Alto and situation to be improved with this thesis, which is why we decided to investigate the zoning of Annex Lucmacucho Alto. The research was based primarily on getting the bearing capacity of the existing soil in the area, using the formula of Terzaghi and characteristic soil parameters, using tables cohesion and angle of internal friction of soil types were determined Found according to the classification of soils by the Unified System of Soil Classification (USCS), in the 17 pits distributed by the grid method in an area of approximately 6 hectares, as well as considering data assumed for calculation depth 1.50 m and a width of 0.80 m run foundation, common foundation in the construction of houses. As a result it was found that the soil of the study area to a depth of 1.50 m has an allowable bearing capacity of design ranging from 0.19 Kg / cm² to 2.03 kg / cm², and the following soil types: sandy silt (ML), light sandy clay (CL), silty sand (SM), sandy stretch limo (MH), clayey sands (SC), organic silty clays with low plasticity (OL), organic soil with sand (OH), clayey gravels (GC) thick and sandy arenas (CH).

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La creciente ola de inmigrantes que cada día llegan a las diferentes ciudades del mundo por distintas circunstancias, es un fenómeno difícil de soportar en las diferentes capitales, ya que éstas deben albergar gran cantidad de población en terrenos cada vez más estrechos y vulnerables, generalmente en áreas periféricas de difícil urbanización, lo que produce una gran expansión en los límites urbanos y en lugares no aptos para la construcción de viviendas (López, 2004).

Estas viviendas son construidas en los asentamientos humanos por los mismos habitantes, además de su ubicación en terrenos inestables, presentan problemas de construcción. El desconocimiento técnico en el uso de materiales (se combinan materiales no compatibles o se dan tratamientos inadecuados), el desconocimiento en los sistemas de construcción y la mala calidad de los materiales, sumados a las limitaciones económicas de una población de escasos recursos aumentan la vulnerabilidad y el proceso destructivo de las instalaciones precarias frente a cualquier desastre (Audefroy, 2003).

Tal es el caso del sector Lucmacucho en el distrito de Cajamarca, el cual presenta un área ocupada en forma progresiva por viviendas construidas de diversos materiales, de manera desordenada y masificada, sin ninguna planificación. Las casas que se encuentran en construcción y las ya construidas, forman calles en dirección de la pendiente, las cuales presentan zanjas debido a la erosión hídrica, estos problemas se debe a que los pobladores de la zona no cuentan con ningún asesoramiento técnico, control y apoyo de las autoridades, razón por la cual ellos deciden su propio destino urbano, al trazar y construir sus viviendas en forma empírica en áreas donde se desconoce las características del suelo, no considerando factores de riesgos y vulnerabilidad a la que están expuestos.

Además, se debe tener en cuenta que una cimentación inadecuada para el tipo de terreno, mal diseñada o calculada se traduce en la posibilidad de que tanto el propio edificio como las viviendas colindantes sufran asientos diferenciales con el consiguiente deterioro de los mismos pudiendo llegar incluso al colapso, estos problemas se deben a que muchas veces los ciudadanos y ciudadanas realizan construcciones sin haber realizado estudios de suelo y sin tener en cuenta la normatividad vigente, razón por la cual el terreno no soporta el peso y tiende a resquebrajarse, flexionarse o hundirse, causando problemas y amenazas para sus habitantes. (Audefroy, 2003).

En la tarea de facilitar y promover la seguridad y protección de asentamientos, y con la finalidad de garantizar el derecho a las personas a “gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida, se plantea esta investigación, a fin de realizar una zonificación para viviendas unifamiliares empleando el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos y la capacidad portante del suelo.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la zonificación del Anexo Lucmacucho Alto, mediante la Clasificación de suelos SUCS y capacidad portante del suelo para viviendas unifamiliares?

1.3. Justificación

El crecimiento de la población en el Anexo Lucmacucho Alto, ha obligado a la construcción de viviendas en sectores de altas pendientes, rellenos, bordes de quebradas y lugares de poca estabilidad. Por tal motivo se ha planteado realizar una zonificación para viviendas unifamiliares, empleado el Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS) y la capacidad portante del suelo.

Finalmente este proyecto de investigación ayudará como una base para otros investigadores que estén en la línea de suelos y cimentaciones.

1.4. Limitaciones

El estudio se limitará al Anexo Lucmacucho Alto, área donde se proyectará la expansión urbana del Sector Lucmacucho, el estudio desarrollado puede ser replica en otros lugares.

La capacidad portante de los suelos en estudio se obtendrá a través de la tablas que se basa en los parámetros característicos del suelo obtenidos a través del sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), más no se realizará ensayos triaxiales o de corte directo para el cálculo del ángulo de fricción, cohesión.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Zonificar mediante el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) y la capacidad portante del suelo, para viviendas unifamiliares la expansión urbana del Anexo Lucmacucho Alto - sector Lucmacucho, distrito de Cajamarca.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar las características de granulometría de los suelos.
- Determinar los estados de consistencia del suelo mediante el límite de Atterberg.
- Clasificar en base al Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS).
- Determinar los parámetros de Cohesión y el ángulo de fricción interna del suelo mediante las tablas de los parámetros característicos del suelo, en función de su granulometría, límites de Atterberg, peso específico, humedad natural y proctor modificado para el cálculo de la capacidad portante del suelo.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Internacionales.

En el año **2004**, GEOTECO LTDA, efectuó el "ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTACIÓN ELEVADORA EN CAMPO ALEGRE, LOCALIZADA A 14 METROS DE LA AV. CIRCUNVALAR Y 700 METROS DE LA CARRERA 38". En el estudio se determina la estratigrafía del sitio, posición y efecto de las aguas superficiales y subterráneas. Adicionalmente, entrega las recomendaciones necesarias para las construcción de las estructuras que conforman la estación elevadora, emite recomendaciones de excavación, capacidad portante del suelo de fundación, valor de reacción del suelo (K_s) para la losa de fondo, análisis de asentamientos, diagramas de empuje activo para el diseño de la estructura de muros de contención, inclinación de los taludes durante el proceso constructivo. Los ensayos adelantados corresponden básicamente a pruebas índices (ensayos de humedad natural, granulometría, límites Atterberg, pesos unitarios, gravedad específica). Donde se concluye que los materiales que afloran en la zona de estudio corresponden a estratos subhorizontales de rocas sedimentarias, de edad terciaria, de origen marino profundo y transicional-continental, pertenecientes a las formaciones Perdices (Mioceno-Oligoceno) y La Popa (Pleistoceno), intercaladas con unidades de areniscas friables. Estas unidades se encuentran cubiertas por depósitos cuaternarios correspondientes a materiales de origen aluvial, eólico, coluvial y de movimientos en masa.

En el año **2007**, LORENA VANESSA LOPEZ FLOREZ, FABIO ANDRES ROBAYO GONZALEZ realizaron la tesis “ZONIFICACION GEOTECNICA PRELIMINAR DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE BARRANCABERMEJA, SANTANDER” donde se concluyó que la zonificación por caracterización geotécnica permite evaluar el comportamiento de las diferentes zonas de la ciudad, según esto la ciudad de Barrancabermeja presenta 5 zonas que se clasificaron teniendo como base las propiedades mecánicas, la ubicación y posición del nivel freático, que arrojaron los ensayos de laboratorio. Las zonas más vulnerables son la zona A y C, son suelos de

origen Fluvio – Lacustre, depósitos de terraza del Cuaternario y algunos rellenos antrópicos, se desarrollan bajo suelos blandos o semiblandos con niveles freáticos superficiales. Se encuentran ubicadas sobre la parte noroccidental de la ciudad aledaño a la Refinería de Ecopetrol, sobre el oriente y el sur de la ciudad en cercanías de la Ciénaga Juan Esteban. Igualmente en la zona occidental sobre la ribera del río Magdalena se encuentran depósitos de terrazas constituidos por arenas finas limosas, limos arcillosos y arenosos, gravas finas a gruesas y algunos rastros de materia orgánica.

En el año **2013**, LUCÍA RAQUEL AVILÉS PONCE realizó la tesis “CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DEL SUR DE LA CIUDAD DE QUITO”, Con la finalidad de describir las características geotécnicas del subsuelo más detalladamente, se realizó la zonificación en tres niveles diferentes, nivel superficial (0-3.0 metros), nivel intermedio (3.0-6.0 metros) y nivel inferior (6.0-10.0 metros), obteniendo de esta manera y con la misma metodología tres mapas de zonificación geológica geotécnica, además se concluye con una zonificación de cinco zonas:

Zona I: Zona Excelente, presenta excelentes condiciones del suelo para construcción, no se detectó la presencia de niveles freáticos, litológicamente corresponde a cangahuas, coluviales, aluviales. Se consideran materiales de buena competencia como soporte para cimentaciones; en su totalidad muy favorables para la construcción de viviendas, presentan buena a excelente capacidad portante, plasticidad baja a nula, bajo contenido de humedad, su excavación es fácil con maquinaria liviana, la estabilidad es buena.

Zona II: Zona Buena, presenta buenas condiciones del suelo para construcción, no se detectó la presencia de niveles freáticos, presenta la misma litología que la Zona I, presentan buena capacidad portante.

Zona III: Zona Regular, litológicamente presenta suelos depositados en ambientes fluvio lacustres (limos y arcillas), de composición heterogénea, cangahuas y rellenos de origen antrópico se consideran materiales de regular competencia como soporte para cimentaciones, baja a media humedad y plasticidad, capacidad portante regular a buena, niveles freáticos superficiales.

Zona IV: Zona Mala, estos suelos litológicamente se encuentran depositados en ambientes fluvio lacustres y pertenecen a secuencias de limos-arenosos y en zonas de rellenos, tienen problemas de poca capacidad portante, humedad media a elevada, plasticidad baja a media, niveles freáticos superficiales. Se consideran materiales de mala competencia como soporte para cimentaciones.

Zona V: Zona Muy Mala, estos suelos litológicamente se encuentran depositados en ambientes fluvio lacustres y pertenecen a secuencias de limos-arenosos, zonas de rellenos, zonas pantanosas con abundante contenido de materia orgánica y turbas, presentan una resistencia baja a la penetración, tienen problemas de poca capacidad portante, humedad elevada, plasticidad baja a media, niveles freáticos superficiales. Se consideran materiales de pésima competencia como soporte para cimentaciones.

2.1.2. Antecedentes Nacionales.

En el año **1999**, CISMID, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima - Perú presenta el “ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE PISCO”, realizado por el Laboratorio Geotécnico del CISMID a solicitud de la Oficina Central de Planificación de la UNI. El objetivo del presente trabajo fue proponer microzonas dentro de la ciudad de Pisco, de forma tal de subdividir áreas de la ciudad de similar comportamiento geotécnico. Finalmente se concluye que la ciudad de Pisco se logró Zonificar en Cuatro Zonas:

ZONA I: Involucran la partes sur oeste de Pisco. Está compuesta por una capa superficial de relleno de 0.20 m de espesor, conformada por arcilla mezclada con grava redondeada. Continúa una grava pobremente gradada de formas redondeadas, con boleos redondeados T.M. de 12” y de compactación variando de semi compacta a compacta. El nivel freático no fue detectado. La capacidad admisible para esta zona varía de 2.50 a 3.00 kg/cm², para una cimentación superficial corrida con Df = 0.80m.

ZONA II: Cubre la parte norte y costera central de Pisco. Se presenta una capa superficial de arcilla arenosa semi rígida de 0.50 m de espesor, con raíces y gravillas subangulosas aisladas de T.M. 3/4". Continúa arena limosa fina, húmeda

semidensa, hasta 1.10 m de profundidad. Finalmente se encuentra una grava pobremente gradada, de formas redondeadas con boleos redondeados de T.M. 10", su compacidad varía de semi compacta a compacta. El nivel freático fue localizado a aproximadamente 1.40 m de profundidad en la parte norte de Pisco. La capacidad admisible de carga para esta zona es de 2.0 kg/cm², considerando la cimentación en el estrato gravoso, para una cimentación superficial corrida con Df = 1.10 m.

ZONA IV: Cubre la parte central de Pisco y el área comprendida entre la Carretera Panamericana y el límite del casco urbano. Está conformada por una capa superficial de arcilla arenosa semi rígida de hasta 1.20 m de espesor, con gravillas sub angulosas de T.M. 3/8". Luego continua arena limosa, de húmeda a saturada, en estado suelto a semidensa y hasta profundidades variables entre 2.00 a 4.25 m, presentándose en la zona industrial suelos limo-arenoso (ML). Continúa grava pobremente gradada de formas redondeadas y con boleos redondeados. Se encuentra saturada y su compacidad varía de semidensa a compacta. En la zona industrial este suelo gravoso fue detectado parcialmente a 0.90 m de profundidad en una calicata. En la parte oeste el nivel freático varía de 1.50 a 1.70 m, mientras que en la dirección este, donde se localiza la zona industrial, el nivel freático se encuentra entre 1.00 a 1.80 m de profundidad. Se espera la ocurrencia de licuación de los estratos arenosos saturados ubicados hacia el oeste de esta zona, durante un terremoto severo. La capacidad admisible para esta zona es de 1.00 kg/cm² considerando una cimentación superficial corrida con Df = 0.80 m.

ZONA V: Esta zona cubre la parte sur este de Pisco, encontrándose a continuación de la Zona I. Está compuesta por una capa superficial de relleno conformado por arcilla mezclada con grava redondeada, siendo su espesor variable de 0.80 a 1.20 m en la dirección este y presentando restos de desmonte y boleos redondeados de T.M. 8". Subyaciendo a este estrato se encuentra grava pobremente gradada de formas redondeadas y con boleos redondeados T.M. 12", su humedad es ligera y su compacidad varía de semi compacta a compacta. No se detectó la presencia de nivel freático. La capacidad admisible para esta zona varía de 2.00 a 2.50 kg/cm², la cimentación deberá llegar hasta el terreno natural (grava), es decir Df entre 0.80 a 1.20m.

En el año **2007**, ING. JIMMY CASMA CARHUAYO. Realizo :“ESTUDIO DE SUELOS PARA LA IMPLEMENTACION DE JUZGADOS DE PAZ LETRADOS EN COMISARIAS EN LA ZONAS DE FRONTERA”, ubicado en el Departamento de Tacna; por medio de trabajos de campo a través de pozos de exploración o calicatas “a cielo Abierto”, ensayos de laboratorios a fin de obtener las principales características físicas y mecánicas del suelo, sus propiedades de resistencia, asentamientos y labores de gabinete en base a los datos obtenidos de los perfiles estratigráficos. Donde se concluye que en base al Perfil Estratigráfico el subsuelo del área de estudio es homogéneo en profundidad, estando conformado por arcilla orgánica de alta plasticidad (CH).

En el año **2012**, HERNANDO TAVERA, Realizo el estudio de: “ZONIFICACIÓN SÍSMICA – GEOTÉCNICA DEL ÁREA URBANA DE CHOSICA” donde se concluye que de acuerdo a la elaboración de 15 calicatas y el respectivo análisis de muestras realizadas en laboratorio han permitido identificar para el área urbana de Chosica, la presencia de hasta 7 tipos de suelos, los mismos que ha sido caracterizado de acuerdo a la clasificación SUCS. La capacidad portante de los suelos en un 90% del área total de estudio es denominada como “Media” (1.5 a 2.5 kg/cm²); mientras que, en las quebradas Pedregal, Corrales, Asociación Buenos Aires y en la Urb. Moyopampa, los valores de la capacidad portante es “Baja” (1.0 a 1.5 kg/cm²).

En el año **2014**, IRVING ROYBERT FERNANDEZ GALVEZ, Realizo la tesis para optar el título de Ingeniero Civil: “ZONIFICACIÓN GEOTECNICA MEDIANTE EL ENSAYO DE SPT Y CORTE DIRECTO PARA LA AMPLIACION DE LA SUB ESTACION ELECTRICA DE LA PROVINCIA DE PIURA” El proyecto de desarrollo en el departamento de Piura en un área de 2500 m², el estudio se desarrolló con el fin de mejorar las cimentaciones y los tipos de suelos de las diferentes estructuras como son torres, aisladores , transformadores y otros. Finalmente se concluye que el subsuelo del área en estudio está constituido básicamente por material de tipo SP y SM, descritos en la evaluación geotécnica y el área se zonificó en tres Zonas importantes.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. ZONIFICACIÓN.

Es la parte del plan regulador que trata de la organización integral de una ciudad; mediante la cual se propone la más adecuada utilización del uso del suelo.

La zonificación se consagró a través del tiempo como uno de los instrumentos urbanísticos más poderosos que, desde el punto de vista de la regulación constructiva, fuese capaz de operar sobre un territorio precisamente acotado, a partir del concepto de división en zonas, para potenciar las propiedades intrínsecas de los diferentes fragmentos resultantes. La zonificación contiene una sólida estructura disciplinar que le otorga validez y jerarquía para la mediación de conflictos urbanos relativos a la naturaleza de los destinos y de las prácticas en la ciudad, subordinando a tal ordenamiento las modalidades de transformación y de usos del suelo (Acuña, 2006).

La zonificación es uno de los diversos dispositivos legales empleados para implementar las propuestas de urbanización establecidas en un plan urbano. El plan de usos del suelo trata del uso del suelo y de la intensidad de esos usos pero en forma generalizada, constituyendo un pre requisito para la zonificación. De esta manera no existe zonificación que sea integral y de contenido sólido y firme que no esté basada en un plan de usos del suelo (Acuña, 2006).

La zonificación se enmarca dentro del contexto de la planificación territorial como un modo sistemático de percepción del territorio y sus procesos. Las decisiones y acciones que se tomen sobre el territorio dependen de la percepción que se tenga de éste, de cómo se considera que funciona y de cuál es el rol de nuestra sociedad en el mundo. El que esta percepción territorial sea adecuada es condición fundamental para dar gobernabilidad al territorio permitiendo su desarrollo. Ello trasciende el campo económico e involucra la dimensión sociocultural y política. El pensamiento estratégico, a partir del cual se intenta dar la gobernabilidad mencionada, expresa una filosofía de acción que se vincula directamente a la percepción e

interpretación del escenario territorial. Se debe considerar al territorio como un sistema integrado entre la estructura sociocultural y la biogeológica, articuladas por la tecnología, en un contexto local y global (Soms, 2015)

2.2.2. MECANICA DE SUELOS.

La mayor parte de suelos que cubren la corteza terrestre son el resultado de procesos de meteorización de rocas preexistentes formadas a partir de la erosión del macizo rocoso, y la acción de procesos de meteorización (mecánicos, químicos o biológicos). La Acción antrópica toma un papel fundamental en los procesos geológicos que afectan el entorno natural, cuando se realizan excavaciones, explanaciones, rellenos de quebradas, la respuesta a estas alteraciones del medio natural el terreno, depende de su constitución y las características físicas y mecánicas que posee (Juárez, 2005).

2.2.2.1. SUELOS.

Es común creencia la de que el suelo es un agregado de partículas orgánicas e inorgánicas, no sujetas a ninguna organización definida y propiedades que varían “vectorialmente”. En la dirección vertical generalmente sus propiedades cambian mucho más rápidamente que en la horizontal. El suelo tiene perfil, y este es un hecho del que se hace abundante aplicación (Juárez, 2005).

“Suelo “es un término del que hacen diferentes profesantes. La interpretación varía de acuerdo con sus respectivos intereses, para el Agrónomo, por ejemplo, la palabra se aplica a la parte superficial de la corteza capaz de sustentar vida vegetal, siendo esta interpretación demasiado restringida para el Ingeniero. Para el Geólogo es todo material intemperizados en el lugar en que ahora se encuentra y con contenido de materia orgánica cerca de la superficie (Juárez, 2005).

La palabra Suelo representa todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicio, hasta areniscas parcialmente cementadas o lutitas suaves. El agua contenida juega un papel tan fundamental en el comportamiento

mecánico del suelo, que debe considerarse como la parte integral del mismo (Juárez, 2005).

2.2.2.2. CARACTERIZACION DE LOS SUELOS.

2.2.2.2.1 SUELOS Y ROCAS: ORIGEN DEL SUELO.

La mayoría de los suelos que cubren la tierra están formados por la tierra están formados por la meteorización de las rocas. Los geólogos emplean el término *meteorización de las rocas* para describir todos los procesos externos, por medio de los cuales la roca experimenta descomposición química y desintegración física, proceso mediante el cual masas de roca se rompen en fragmentos pequeños. Esta fragmentación continua es un mero cambio físico y por eso se llama también meteorización mecánica. Por otra parte, la meteorización química de una roca es un proceso de descomposición mediante el cual los minerales constitutivos de rocas allí presentes cambian la composición química. En la descomposición, los minerales persistentes se transforman en minerales de composición y propiedades físicas diferentes. Es preciso indicar que la desintegración física completa la descomposición, ya que los minerales y partículas rocosas de menor tamaño producidos por meteorización mecánica son mucho más susceptibles al cambio químico que los granos minerales firmemente soldados en grandes masas de roca compacta.

La meteorización mecánica es el proceso por el cual las rocas se fracturan en piezas de menor tamaño bajo la acción de las fuerzas físicas, como la corriente de agua de los ríos, viento, olas oceánicas, hielo glacial, acción de congelación, además de expansiones y contracciones causadas por ganancia y pérdida de calor.

La meteorización química es el proceso de descomposición química de la roca original. Entre los distintos procesos de alteración química pueden citarse: La hidratación (paso de anhidrita a yeso), disolución (de los sulfatos en el agua), oxidación (de minerales de hierro expuestos a la intemperie), cementación (por agua conteniendo carbonatos), etc. Por ejemplo, la meteorización química de los feldespatos puede producir minerales arcillosos.

Muy relacionada con la meteorización química se encuentra la **meteorización biológica**, producida fundamentalmente por la actividad bacteriana, originando putrefacciones en materiales orgánicos.

La acción conjunta o individual de estos procesos de meteorización da lugar aún perfil de meteorización de la roca en función de la profundidad (ver figura adjunta). En este perfil la roca sana ocupa la zona más profunda, transformándose gradualmente a suelo hacia la parte más superficial. (Muelas, 2015).

TABLA N° 1: PERFIL DE METEORIZACIÓN O INTEMPERIZACIÓN.

PERFIL ESQUEMÁTICO	LOVE (1951) UTTLE (1961)	VARGAS (1951)	SOWERS (1951)	CHANDLER (1951)	GEOLOGICAL SOC. ENG.GROUP (1970)	DEERE Y PATTON (1971)
		ROCAS ÍGNEAS	ÍGNEAS, BASÁLTICAS Y ARENISCAS	ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS	MARGAS Y LIMOLITAS	ROCAS ÍGNEAS
	VI SUELO	SUELO RESIDUAL	ZONA SUPERIOR	V COMPLETAMENTE ALTERADA	VI SUELO RESIDUAL	HORIZONTE IA
	V COMPLETAMENTE ALTERADA	SUELO RESIDUAL JOVEN	ZONA INTERMEDIA	PARCIALMENTE ALTERADA	IV	HORIZONTE IB
	IV ALTAMENTE ALTERADA	CAPAS DE ROCA DESINTEGRADA	ZONA PARCIALMENTE ALTERADA		III	HORIZONTE IC (SAPROLITO)
	II MODERADAMENTE ALTERADA				II	IA TRANSICIÓN CON ROCA METEORIZADA SAPROLITO
	I ALGO ALTERADA	ROCA SANA	ROCA INALTERADA	I ROCA INALTERADA	II DEBILMENTE ALTERADA	IB PARCIALMENTE METEORIZADA
	I ROCA SANA				IB MUY POCO ALTERADA	IA ROCA SANA

Fuente: Muelas, 2015.

Así por ejemplo, la observación de una trinchera recién abierta (una excavación para una carretera, una pared de cantera, etc.), a menudo revelara una sucesión de capas de diferentes materiales térreos. En la base de afloramiento puede haber roca compactada, denominada “roca firme”, se

encuentra todavía en su lugar de origen está relativamente poco modificada. La roca firme suele presentar innumerables grietas, denominadas “juntas o diaclasas”, que son consecuencia de esfuerzos principalmente asociados a una historia anterior de procesos tectónicos. Allí donde existen familias de juntas que se cruzan, la roca firme se desintegra fácilmente en bloques.

Por encima de la roca firme puede haber una capa de materia mineral blanda, denominada “regolita”. (El prefijo rego viene de la palabra griega que significa “manto”.) La regolita puede formarse in situ por descomposición y desintegración de la roca firme inmediatamente adyacente; este tipo se denomina “regolita residual o suelo residual”. Si esta capa de partículas minerales relativamente sueltas o blandas, dispuestas sobre la roca firme, es transportada por agentes tales como corrientes de agua, hielo, viento, olas..., recibe el nombre de “regolita transportada o suelo sedimentario” (Muelas, 2015).

a) Suelos Residuales

Los suelos residuales se originan cuando los productos de la meteorización de las rocas no son transportadas como sedimentos, sino que se acumulan in situ. Si la velocidad de descomposición, se produce una acumulación de suelo residual. Entre los factores que influyen sobre la velocidad de alteración en la naturaleza de los productos de meteorización están el clima (temperatura y lluvia), el tiempo, la naturaleza de la roca original, la vegetación, el drenaje y la actividad bacteriana. Los suelos residuales suelen ser más abundantes en zonas húmedas, templadas, favorables al ataque químico de las rocas y con suficiente vegetación para evitar que los productos de meteorización sean fácilmente arrastrados (Muelas, 2015).

b) Suelos Sedimentarios

La formación de suelos sedimentarios puede explicarse más adecuadamente considerando la formación, el transporte y el depósito de los sedimentos.

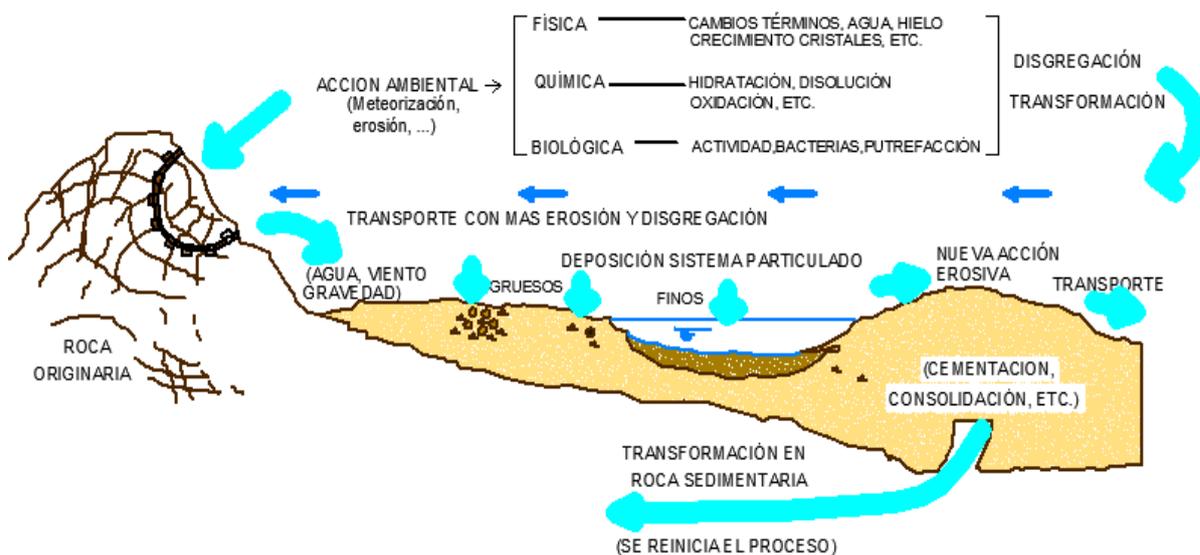
El modo principal de la formación de sedimentos lo constituye la meteorización física y química de las rocas en la superficie terrestre. En general, las partículas de limo, arena y la grava se forman por la

meteorización física de las rocas, mientras que las partículas arcillosas proceden de la alteración química de las mismas.

Los sedimentos pueden ser transportados por cualquiera de cinco agentes siguientes: Agua, aire, hielo, gravedad y organismos vivos.

Después de que las partículas se han formado y han sido transportadas se depositan para formar un suelo sedimentario. Las tres causas principales de este depósito en el agua son la reducción de la velocidad, la disminución de la solubilidad y el aumento de electrolitos. Cuando una corriente de agua desemboca en un lago, océano, etc., pierde la mayor parte de su velocidad. Disminuye así la fuerza de la corriente y se produce una sedimentación (Muelas, 2015).

GRÁFICA N° 1: FORMACIÓN DE LOS SUELOS.



Fuente: Muelas, 2015.

Por tanto, el suelo es el resultado del proceso de meteorización de las rocas, con o sin transporte de los productos de alteración. Los suelos se caracterizan fundamentalmente por los siguientes aspectos:

- Los suelos están formados por partículas pequeñas (desde micras a algunos centímetros) o individualizadas que pueden considerarse indeformables.

- Entre estas partículas quedan huecos con un volumen total del orden de magnitud del volumen ocupado por ellas (desde la mitad a varias veces superior).
- Un suelo es un sistema multifase (sólida, líquida y gaseosa).
- Los huecos pueden estar llenos de agua (suelos saturados), o con aire y agua (suelos semisaturados), lo que condiciona la respuesta de conjunto de material. En condiciones normales de presión y temperatura, el agua se considera incompresible (Muelas, 2015)

2.2.2.3. . PRINCIPALES TIPOS DE SUELOS

De acuerdo con el origen de sus elementos, los suelos se dividen en dos amplios grupos: suelos cuyo origen se debe a la descomposición física y/o química de las rocas, o sea los suelos inorgánicos, y suelos cuyo origen es principalmente orgánico.

Si en los suelos inorgánicos el producto del interperismo de las rocas permanece en el sitio donde se formó. Da origen a un suelo residual: en caso contrario, forman un suelo transportado, cualquiera que haya sido el agente transportador (por gravedad: talud; por agua: aluviales o lacustre; por viento: cólicos; por glaciares: depósitos glaciales).

En cuanto a los suelos orgánicos, ellos se forman casi siempre in situ. Muchas veces la cantidad de materia orgánica, ya sea en forma de humus o de materia no descompuesta, o en su estado de descomposición, es tan alta con relación a la cantidad de suelo inorgánico que las propiedades que pudiera derivar de la porción mineral quedan eliminadas. Esto es muy común en las zonas pantanosas, en las cuales los restos de vegetación acuática llegan a formar verdaderos depósitos de gran espesor, conocidos con el nombre genérico de turbas. Se caracteriza por su color negro o café oscuro, por su poco peso cuando están secos y su gran comprensibilidad y porosidad. La turbe es el primer paso de la conversión de materia vegetal en carbón.

A continuación se describen los suelos más comunes con los nombres generalmente utilizados por el ingeniero civil para su identificación (Whitman, 1972).

2.2.2.3.1 GRAVAS.

Las gravas son acumulaciones sueltas de fragmentos de rocas y que tienen más de dos milímetros de diámetro. Dado el origen, cuando son acarreadas por las aguas las gravas sufren desgaste en sus aristas y son, por lo tanto, redondeadas. Como material suelto suele encontrarse en los lechos, en las márgenes y en los conos de deyección de los ríos, también en muchas depresiones de terrenos rellenados por el acarreo de los ríos, y en muchos otros lugares a los cuales las gravas han sido retransportadas. Las gravas ocupan grandes extensiones, pero casi siempre se encuentran con mayor o menor proporción de cantos rodados, arenas, limos y arcillas. Sus partículas varían desde 7.62cm (3") hasta 2.0 mm (Whitman, 1972).

La forma de las partículas de las gravas y su relativa frescura mineralógica dependen de la historia de su formación, encontrándose variaciones desde elementos rodados a los poliédricos (Whitman, 1972).

2.2.2.3.2 ARENAS.

La arena es el nombre que se le da a los materiales de granos finos procedentes de la desintegración de las rocas o de su trituración artificial, y cuyas partículas varían entre 2mm y 0.05mm de diámetro.

El origen de la existencia de las arenas análoga a la de las gravas: las dos suelen encontrarse juntas en el mismo depósito. La arena de río contiene muy a menudo proporciones relativamente grandes de grava y arcilla. Las arenas estando limpias no se contraen al secarse, no son plásticas, son mucho menos comprensibles que la arcilla y si se aplica una carga en su superficie, se comprimen casi de manera instantánea (Whitman, 1972).

2.2.2.3.3 LIMOS.

Los limos son suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad, pudiendo ser limo inorgánico como el producido en canteras, o limo orgánico como el que suele encontrarse en los ríos, siendo en este último caso de características plásticas. El diámetro de las partículas de los limos está comprendido entre 0.05 mm y 0.005 mm. Los limos sueltos y saturados son completamente inadecuados para soportar cargas por medio de zapatas. Su color varía desde gris claro a muy oscuro. La permeabilidad de los limos orgánicos es muy baja y su comprensibilidad muy alta. Los limos, de no encontrarse en estado denso, a menudo son considerados como suelos pobres para cimentar (Whitman, 1972).

2.2.2.3.4 ARCILLAS.

Se da el nombre de arcillas a las partículas sólidas con diámetro menor de 0.005 mm y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua.

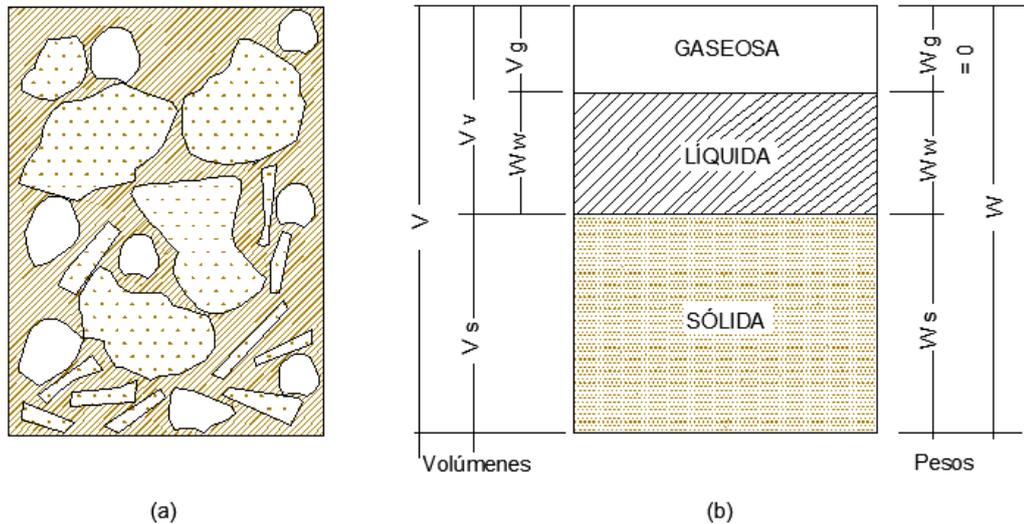
Químicamente es un silicato de alúmina hidratado, aunque en no pocas ocasiones contiene también silicatos de hierro o de magnesio hidratados. La estructura de estos minerales es, generalmente, cristalina y complicada y sus átomos están dispuestos en formar laminar (Whitman, 1972).

2.2.2.4. ENSAYOS DE LABORATORIO Y CLASIFICACION DE LOS SUELOS

2.2.2.4.1 RELACIONES PESO-VOLUMEN.

Como se mencionó en el apartado anterior, el suelo contribuye un sistema de varias fases. La figura siguiente muestra un elemento típico de suelo que contiene 3 fases diferenciales: Sólida (partículas minerales), líquidas (agua generalmente) y gaseosa (aire o gas). La parte de la izquierda representa las tres fases como podrían presentarse en un elemento de suelo natural. En la parte de la derecha se han separado las tres fases con el fin de facilitar la deducción de las relaciones entre ellas.

GRAFICA N° 2: RELACIÓN ENTRE LAS FASES DE UN SUELO.



Fuente: (Muelas, 2015).

- a) Elemento de suelo natural.
- b) División de un elemento en fases.

Los términos que aparecen en la figura anterior representan los siguientes conceptos:

- V : Volumen total del elemento suelo.
- V_s : Volumen ocupado por las partículas de suelo.
- V_w : Volumen ocupado por la fase líquida (agua).
- V_v : Volumen ocupado por los huecos (fase líquida+fase gaseosa).
- W : Peso total del elemento de suelo.
- W_s : Peso de las partículas del suelo.
- W_w : Peso de la fase líquida (agua).
- W_g : Peso de la fase gaseosa (aire)= 0

- **Peso específico.** Es la relación del peso del suelo entre el volumen del suelo, cumpliendo la condición de grado de saturación igual a 100%, se expresa numéricamente con la siguiente ecuación:

FORMULA N° 1: Peso específico.

$$\gamma_{sat} = \frac{W_s + W_w}{V_m} \dots\dots\dots (1)$$

2.2.2.4.2 GRANULOMETRÍA.

El objetivo principal de la granulometría es determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas de suelo.

En cualquier masa de suelo, los tamaños de las partículas varían considerablemente. Para clasificar apropiadamente se debe conocer su distribución granulométrica es decir, la distribución en porcentaje, de los distintos tamaños dentro del suelo.

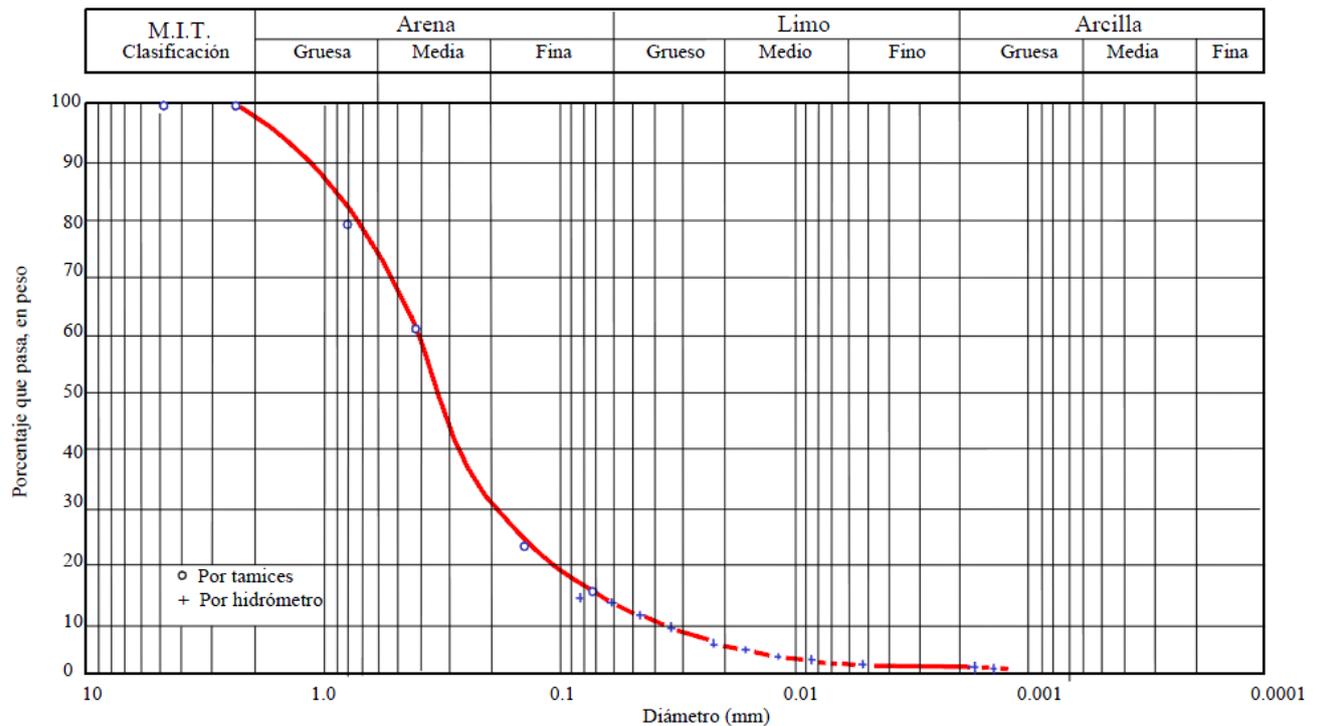
La distribución granulométrica de partícula de tamaño superior a 0.08 mm, se determina generalmente mediante un análisis granulométrico por tamizado. Para partículas de tamaño inferior al mencionado (0,08mm.) se emplea la granulometría por sedimentación (Muelas, 2015).

El **análisis granulométrico por tamizado** se efectúa tomando una cantidad medida del suelo seco, bien pulverizado y pasándolo a través de una serie de tamices (cuyo tamaño de malla suele ir disminuyendo en progresión geométrica de razón 2), agitando el conjunto. La cantidad de suelo retenido en cada tamiz se pesa y se determina el porcentaje acumulado de material que pasa por cada tamiz (Muelas, 2015).

El porcentaje que pasa por cada tamiz, determinado de la forma anterior, se representa en un gráfico semilogarítmico. El diámetro de la partícula se representa en escala logarítmica (abscisas), y el porcentaje de material que

pasa se representa en escala aritmética (ordenadas). En la figura siguiente se muestra un ejemplo de esta curva.

GRAFICA N° 3: CURVA GRANULOMETRICA DE UN SUELO.



Fuente: Según Lambe, 1951.

Una vez determinada dicha curva granulométrica, existen dos coeficientes que se utilizan para una mejor descripción de la granulometría de un suelo. Estos coeficientes son:

FÓRMULA N° 2: Coeficiente de Uniformidad.

$$C_u = D_{60} / D_{10} \quad \dots\dots\dots (2)$$

FÓRMULA N° 3: Coeficiente de curvatura.

$$C_c = D_{30}^2 / (D_{60} \times D_{10}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

El coeficiente de uniformidad representa la relación entre el diámetro correspondiente al tamiz por el que pasa un 60 % de material y el diámetro correspondiente al tamiz por el que pasa un 10%. Si C_u es menor que 5, el suelo tiene una granulometría uniforme. Si $5 < C_u < 20$, el suelo es poco uniforme; y si $C_u > 20$, se considera bien graduado. Cuando más uniforme es el

suelo, más uniforme es el tamaño de sus huecos y más difíciles es su compactación, al no existir una cierta variación de tamaño que rellenen adecuadamente los huecos.

El coeficiente de curvatura, también llamada graduación, ha de adoptar valores entre 1 y 3 para considera el suelo bien graduado. Se determina dividiendo el cuadrado del diámetro correspondiente al tamiz por el que pasa un 30% del material, entre el producto de los diámetros correspondientes a los tamices por los que pasa un 60% y un 10% del material (Muelas, 2015).

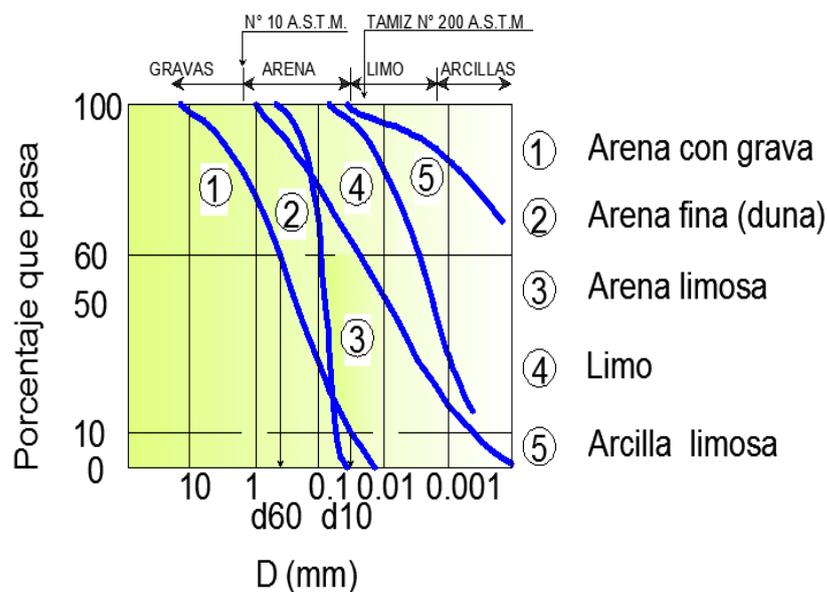
El análisis granulométrico por sedimentación (partículas de tamaño inferior a 0.08 mm) se lleva a cabo en el hidrómetro (ver figura adjunta), y se basa en el principio de la sedimentación de las partículas de suelo en agua. Los hidrómetros están calibrados para mostrar la calidad de suelo que está aún en suspensión en cualquier tiempo dado. Así, con lecturas tomadas en tiempos diferentes en el hidrómetro, el porcentaje de suelo más fino que un diámetro dado puede calcularse y preguntarse una gráfica de la distribución granulométrica (Muelas, 2015).

Con los métodos de análisis granulométricos expuestos puede determinarse la curva granulométrica completa de una muestra de suelo (ver curvas granulométricas adjuntas). En función de la granulometría se clasifican los suelos en cuatro grandes grupos:

- GRAVAS, con tamaño de grano entre unos 80 mm. y 4,75 mm. Los granos son observables directamente, existen grandes huecos entre las partículas y no retienen el agua (Muelas, 2015).
- ARENAS, con partículas de tamaño entre 4,75 mm y 0,075 mm. Estas son observables a simple vista y se mantienen inalterables en presencia de agua (Muelas, 2015).
- LIMOS, son partículas comprendidas entre 0,075 mm. y 0,002 mm. Retienen el agua y si se forma una pasta limo-agua y se coloca sobre la mano, al golpear con la mano se aprecia cómo el agua se exhuda con facilidad.

- **ARCILLAS**, cuyas partículas tienen tamaños inferiores a 0,002 mm. Son partículas de tamaño gel y están formadas por minerales silicatados, constituidos por cadenas de elementos tetraédricos y octaédricos, unidos por enlaces covalentes débiles y pudiendo entrar en moléculas de agua entre las cadenas, produciendo aumento de volumen, a veces muy importantes. Por lo tanto, presentan una gran capacidad de retención de agua, con un porcentaje de huecos muy elevado (huecos pequeños pero con una gran superficie de absorción en las partículas). Debido a que el tamaño de los huecos es muy pequeño (aunque el índice de huecos es elevado), exhiben unos tiempos de expulsión de agua muy elevados y una permeabilidad muy baja (Muelas, 2015).

GRAFICA N° 4: CLASIFICACION DE SUELOS EN FUNCION DE LA GRANULOMETRIA.



Fuente: Muelas, 2015..

2.2.2.4.3 PLASTICIDAD

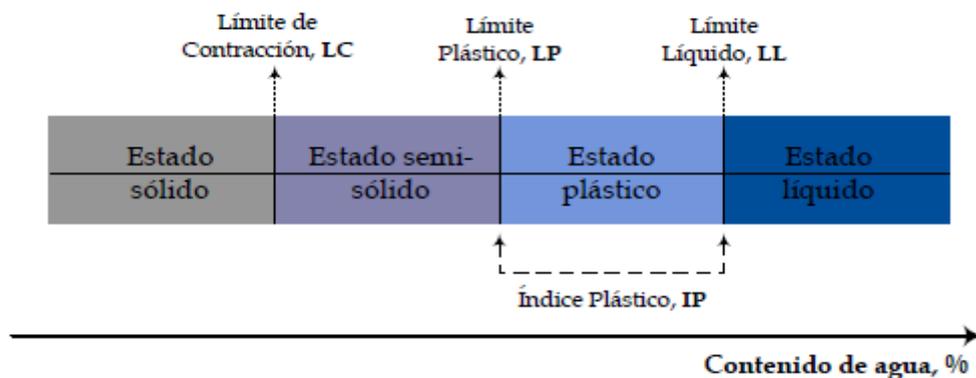
Cuando un suelo arcilloso se mezcla con una cantidad excesiva de agua, este puede fluir como semilíquido. Si el suelo se seca gradualmente, se

comportará como un material plástico, semisólido o sólido, dependiendo de su contenido de agua.

Los contenidos de humedad y los puntos de transición de unos estados a otros se denominan Límite de Atterberg. El concepto de que un suelo puede presentarse en varios estados, en función del contenido de humedad, se basa en que cuanto mayor sea la cantidad de agua que contiene un suelo, menor será la interacción entre partículas adyacentes y más se aproximará el comportamiento del suelo al de un líquido.

Esta variación de la consistencia en función de la humedad (plasticidad) es propia de suelos finos (arcillas y limos), ya que los suelos gruesos (arenas y gravas) no retienen agua y se mantienen inalterables en presencia de ésta (Muelas, 2015).

GRAFICA N° 5: ESQUEMA DE LA CONSISTENCIA DEL SUELO



Fuente: Muelas, 2015.

Donde:

Límite Líquido: El Límite Líquido LL es el contenido de humedad por encima del cual la mezcla suelo-agua pasa a un estado líquido. En este estado la mezcla se comporta como un fluido viscoso y fluye bajo su propio peso. Por debajo de éste contenido de humedad la mezcla se encuentra en estado plástico. Cualquier cambio en el contenido de humedad a cualquier lado de LL produce un cambio en el volumen del suelo.

Límite Plástico: El Límite Plástico LP es el contenido de humedad por encima del cual la mezcla suelo-agua pasa a un estado plástico. En este estado la mezcla se deforma a cualquier forma bajo ligera presión. Por debajo de éste contenido de humedad la mezcla está en un estado semi sólido. Cualquier cambio en el contenido de humedad a cualquier lado de LP produce un cambio en el volumen del suelo.

Límite de Contracción: El Límite de Contracción es el contenido de de humedad por encima del cual la mezcla suelo-agua pasa a un estado semi sólido. Por debajo de éste contenido de humedad la mezcla se encuentra en estado sólido. Cualquier incremento en el contenido de humedad está asociado con un cambio de volumen pero una reducción en el contenido de humedad no produce un cambio de volumen. Este es el mínimo contenido de humedad que provoca saturación completa del a mezcla suelo-agua. El volumen permanece constante mientras la mezcla pasa del estado seco a LC moviéndose desde saturación 0 % a 100 %. En el lado húmedo de LC el volumen de la mezcla se incrementa linealmente con el contenido de humedad.

En la tabla siguiente se muestra los rangos de valores más frecuentes de todos estos parámetros en diferentes tipos de suelos.

TABLA N° 2: RANGOS DE VALORES MÁS FRECUENTES DE LA CONSISTENCIA DEL SUELO.

VALORES TÍPICOS DE CONSISTENCIA DEL SUELO				
PARAMETRO		TIPO DE SUELO		
		ARENA	LIMO	ARCILLA
LL	Límite líquido	15 - 20	30 - 40	40 - 150
LP	Límite plástico	15 - 20	20 - 25	25 - 50
LC	Límite de contracción	12 - 18	14 - 25	8 - 35
IP	Índice de plasticidad	0 - 3	10 -15	10 - 100

Fuente: (Nañón, 2015).

La determinación de los límites de Atterberg se lleva a cabo en laboratorio, definiéndose el límite plástico como el contenido de agua con el cual el suelo se agrieta al formarse un rollito de 3 mm. de diámetro. El límite líquido se determina con la cuchara de Casagrande.

La diferencia entre límite líquido y el límite plástico de un suelo se define como **índice de plasticidad**.

FORMULA N° 4: Índice Plástico

$$IP = LL-LP \dots\dots\dots (4)$$

FORMULA N° 5: Índice de liquidez.

$$IL = \frac{W_n - W_p}{WL - W_p} \dots\dots\dots (5)$$

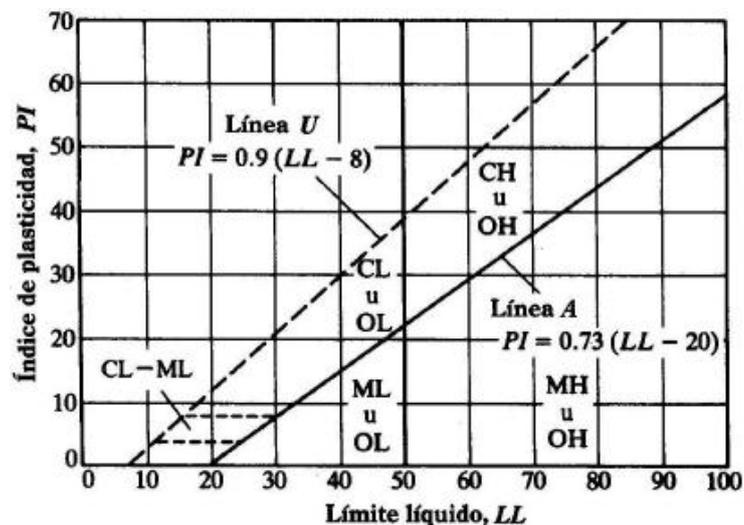
Donde:

W_n : Humedad natural

El índice de plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica, mientras que el índice de liquidez indica la proximidad de la humedad natural del suelo al límite líquido.

Con el fin de proporcionar una representación adecuada de la plasticidad de una muestra de suelo se emplea la denominada **Carta de Plasticidad de Casagrande**.

GRAFICA N° 6: RELACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO VS ÍNDICE DE PLASTICIDAD.



Fuente: Muelas, 2010.

Casagrande definió que los suelos son LL>50 son de “alta plasticidad” (pueden admitir un mayor contenido de agua y por lo tanto pueden experimentar deformaciones plásticas mayores). Los suelos con LL<50 se denominan de “baja plasticidad”. Complementariamente, Casagrande definió una línea A, que separa los suelos arcillosos de los más limosos. Así, a partir del criterio de alta y baja plasticidad y de la línea A, se puede definir varias zonas en el gráfico anterior. Los suelos limoso y con apreciable contenido orgánico tienen un intervalo de humedad menor para pasar del estado semisólido al estado líquido (menor índice de plasticidad), situándose por debajo de la línea A. En caso de las arcillas, dicho intervalo de humedad es mayor, situándose por encima de la línea A. se definen, por tanto, varios tipos de suelos: arcillas de alta plasticidad (CH), arcillas de baja plasticidad (CL), limos y suelos orgánicos de alta plasticidad (MH-OH) y limos y suelos orgánicos de baja plasticidad (ML-OL) (Muelas, 2015).

2.2.2.4.4 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO

El contenido de humedad de un suelo, se define como la relación del peso del agua entre el peso de las partículas sólidas del suelo, usualmente se indica en forma porcentual; se expresa matemáticamente con la siguiente ecuación:

FORMULA N° 6: Contenido de Humedad.

$$\omega (\%) = \frac{W_w}{W_s} \dots\dots\dots (6)$$

Donde:

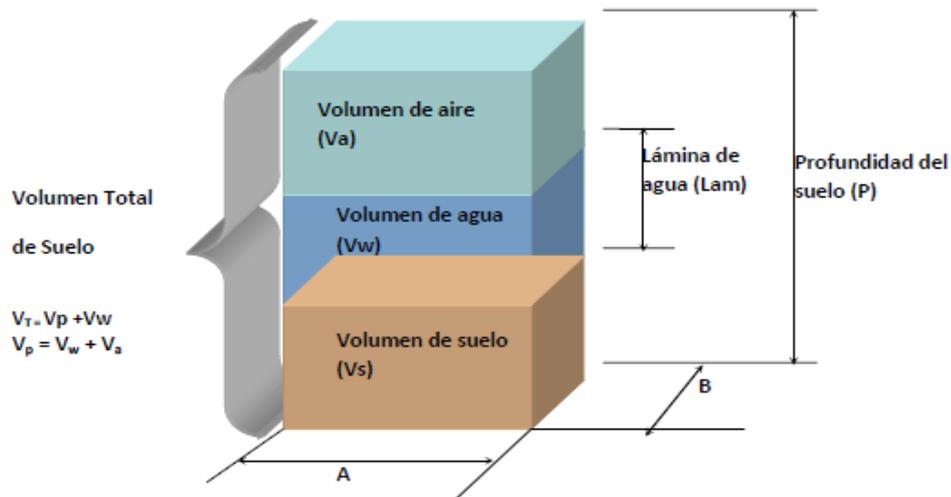
Ww: Peso del agua

Ws: Peso de las partículas sólidas.

ω (%): Contenido de humedad.

Observando la figura, se establece la siguiente relación.

GRAFICA N° 7: DIAGRAMA HIPOTÉTICO DE LOS COMPONENTES DEL SUELO.



Fuente: Ing.Gonzales, 1990.

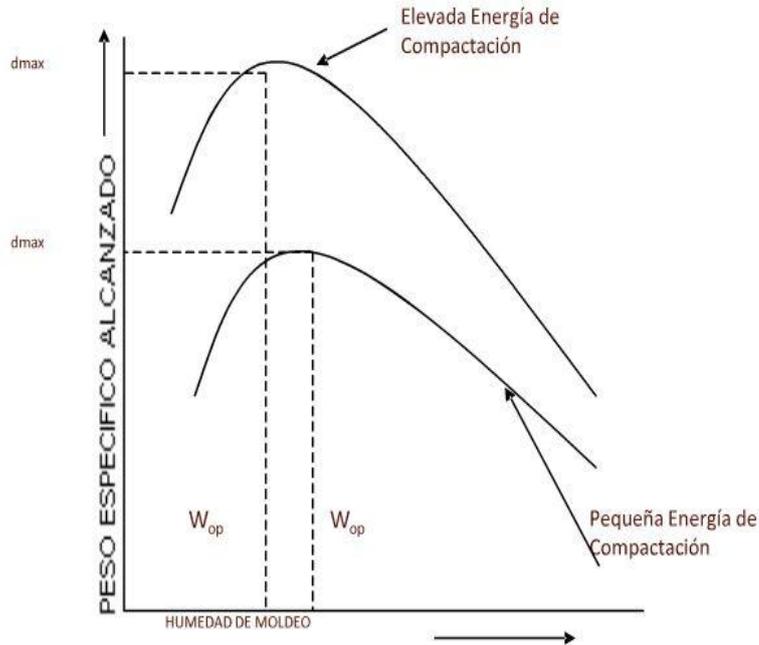
2.2.2.4.5 COMPACTACIÓN DE SUELOS.

La compactación en el proceso realizado generalmente por medios mecánicos por el cual se obliga a las partículas de suelo a ponerse más en contacto con otras, mediante la expulsión del aire de los poros, lo que implica una reducción más o menos rápida de los vacíos, lo que produce en el suelo cambios de volumen de importancia, principalmente en el volumen de aire, ya que por lo general no se expulsa agua de los huecos durante el proceso de compactación, siendo por lo tanto la condición de un suelo compactado la de un suelo parcialmente saturado (Tello, 2012).

El objetivo de la compactación es el mejoramiento de las propiedades de ingeniería de la masa de suelos, con la finalidad de obtener un suelo estructurado que posea y mantenga un comportamiento mecánico adecuado a través de toda la vida útil de la obra (Tello, 2012).

La curva de compactación se obtiene cuando se compacta un suelo bajo diferentes condiciones de humedad y siendo cualquiera el método empleado, se relaciona las densidades con los porcentajes de humedad, lo que da como resultado una curva como la que se muestra:

GRAFICA N° 8: CURVA DE COMPACTACIÓN.



Fuente: Tello, 2012.

Las curvas nos indican un máximo absoluto para el valor de la densidad (MDS) y la humedad correspondiente a este punto. Cada suelo tiene su propia curva de compactación, que es característica del material y distinta de otros suelos.

El estudio de la compactación de suelos en el laboratorio se mide cuantitativamente por la densidad seca del suelo, en cual está íntimamente relacionado con la densidad húmeda del suelo y el contenido de agua que posee este, estando estos valores influenciados por una serie de factores:

- Humedad
- Tipo de Suelo
- Energía Especifica
- El Método de Compactación
- La Recompectación
- La Temperatura y la Presencia de Otras Sustancias (Tello, 2012).

Ventajas de la compactación de los suelos.

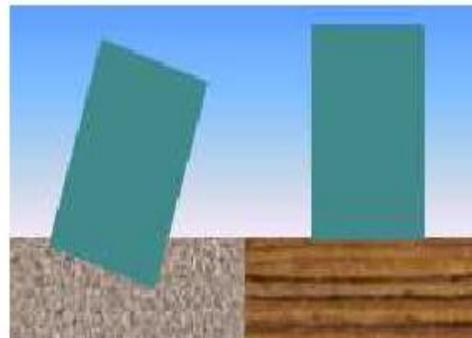
- **Aumenta la capacidad de soporte del suelo.**

Los vacíos producen debilidad del suelo e incapacidad para soportar cargas pesadas. Si disminuyen los vacíos, el suelo puede soportar cargas mayores debidas que aumenta la densidad.



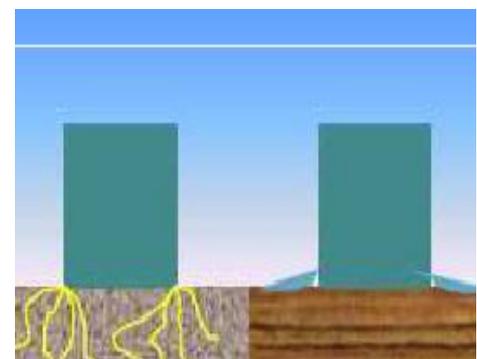
- **Impide el hundimiento del suelo**

Si la estructura se construye en el suelo sin compactar, el suelo se hunde dando lugar a que la estructura se deforme (asentamientos diferenciales). Donde el hundimiento es más profundo en un lado o en una esquina, por lo que se producen grietas o un derrumbe total (Tello, 2012).



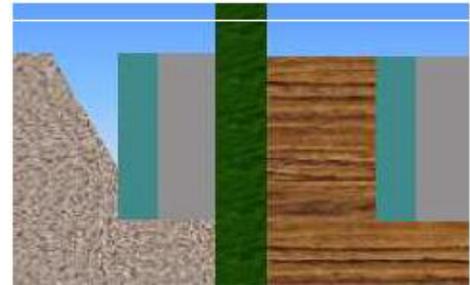
- **Reduce la permeabilidad del suelo**

Un suelo compactado reduce el ingreso del de agua dentro de su masa (Tello, 2012).



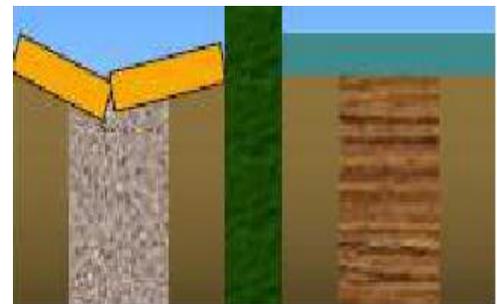
- **Reduce el esponjamiento y la contracción del suelo**

Si hay vacíos, el agua puede penetrar en el suelo y llenar estos vacíos. El resultado sería el esponjamiento del suelo durante la estación de lluvias y la contracción del mismo durante la estación seca.



- **Impide los daños de las heladas**

El agua se expande y aumenta el volumen al congelarse. Esta acción a menudo causa que el pavimento se hinche, y a la vez, las paredes y losas del piso se agrieten. La compactación reduce estas cavidades de agua en el suelo (Tello, 2012).



Compactación del suelo en laboratorio, el propósito de un ensayo de compactación de laboratorio, es determinar la correcta cantidad de agua de amasado a usar cuando se compacte el suelo en terreno, y la densidad seca máxima que se debe obtener al compactarse el suelo con esta humedad óptimo.

Las variables que afectan a la compactación en suelos con cohesión son las siguientes:

- Contenido de agua
- Tipo de suelo
- Energía de Compactación

FÓRMULA N° 7: Ecuación para el cálculo de la compactación de los suelos.

$$E_c = \frac{N * n * W * h}{V} \dots\dots\dots(7)$$

Donde:

N: número de golpes por capa

n: número de capas de suelo

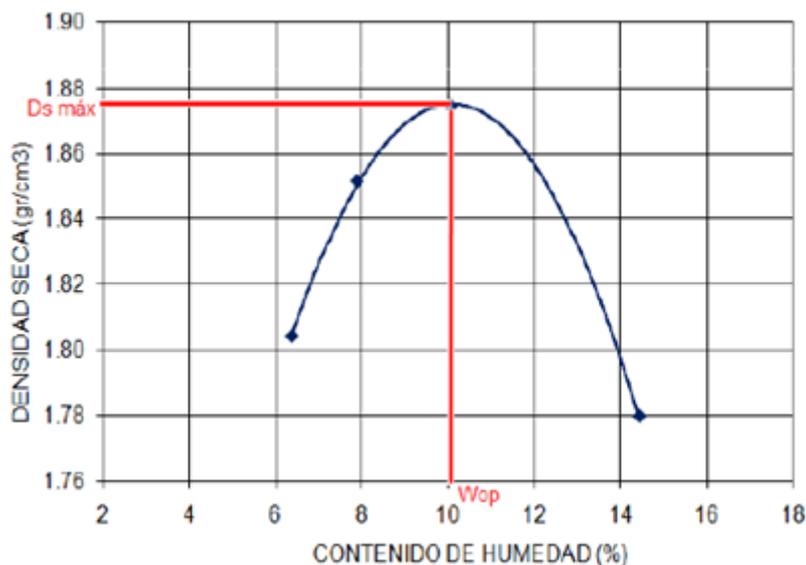
W: peso del martillo (Kg)

h: altura de caída del martillo (cm)

V: volumen del suelo compactado (cm³)

- Con cierta humedad, el suelo llega a su densidad máxima cuando se aplica una cantidad específica de energía.
- La densidad máxima que se obtiene bajo estas condiciones se llama densidad Proctor 100%.
- El valor de la humedad en el punto de densidad máxima se llama humedad Óptima.
- El valor Proctor 100% se utiliza como base para medir el grado de compactación del suelo, por lo tanto, es la medida estándar para la compactación (Tello, 2012).

GRAFICA N° 9: RELACIÓN ENTRE LA DENSIDAD SECA VS CONTENIDO DE HUMEDAD.



Fuente: Tello, 2012.

2.2.2.4.6 SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (EE.UU.) SUCS.

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, SUCS (IRAM 10509 y ASTM D 2487 y 2488) es el de uso más extendido en la práctica geotécnica. Está basado en el análisis granulométrico y en los límites de Atterberg (límites líquido y plástico) de los suelos. Este sistema de clasificación de lo utiliza en cimentaciones.

Para la clasificación se toma en cuenta lo siguiente:

1. Porcentaje de la fracción que pasa por el tamiz N° 200.
2. Forma de la curva de distribución granulométrica.
3. Característica de plasticidad y comprensibilidad.

Los suelos se separan en tres divisiones:

1. Suelos de grano grueso.
2. Suelos de grano fino.
3. Suelos altamente orgánicos.

Los suelos de grano grueso se dividen en gravas (G) y arenas (S).

Las gravas contienen un porcentaje mayor de la fracción gruesa retenida en el tamiz N° 4 (4,76 mm) y las arenas son aquellos suelos cuya poción pasa el tamiz N° 4. Tanto las gravas (G) como las arenas (S), se dividen en cuatro grupos secundarios: *GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM, SC* respectivamente, según la cantidad y el tipo de los finos y la forma de la curva granulométrica (Whitman, 1972).

Los suelos de grano fino se subdividen en *limos (M)* y *arcillas (C)*, según su límite líquido y su índice de plasticidad. Los limos son suelos de grano fino con un límite líquido y un índice de plasticidad que resulten puntos por debajo de la línea “A”. Y arcillas aquellos que dan puntos por encima de la línea “A” (esta definición no es válida para las arcillas orgánicas, puesto que el límite líquido y el índice de plasticidad de estos suelos dan puntos por debajo de la línea “A”).

El limo (M) y la arcilla (C) se dividen a su vez en dos grupos secundarios basados en el hecho de que el suelo tiene un límite líquido relativamente bajo o alto.

Los suelos altamente orgánicos son usualmente muy comprensibles y tienen características inadecuadas para la construcción. Se clasifican dentro del grupo designado por el símbolo P_t : Turba. El humus y suelos de pantano son ejemplos típicos de este tipo de suelos.

G = grava.

S = arena

M = limo, depende del Límite líquido y el Índice de plasticidad.

C = arcilla. Depende del Límite líquido y el Índice de plasticidad.

O = suelo orgánico.

P_t = turba.

W = bien graduado, Depende del C_u y C_c .

P = mal graduado, depende del C_u y C_c .

L = plasticidad baja.

H = plasticidad alta.

Criterio de clasificación según los resultados por medio de ensayos en laboratorio.

1) Suelos de grano grueso (más del 50% será retenido por la malla N° 200)

Distinción entre grava y arena (G, S):

G: Grava: El 50% ó más es retenido en la malla N° 4. (\geq)

S: Arena: Más del 50% pasa la malla N° 4.

- **Material que pasa por la malla N° 200 (0,074 mm):**

< 5% gravas o arenas limpias, bien o mal graduadas: GW, GP o SW, SP.

> 12% gravas o arenas con finos: GM, GC o SM, SC.

Entre 5 y 12% símbolos mixtos: por ejemplo GW + GC.

- **Determinación de la graduación para suelos de grano grueso con pocos finos:**

a) Coeficiente de uniformidad:

$$C_u = D_{60} / D_{10} \quad \text{debe ser mayor que 4 para GW y SW.}$$

b) Coeficiente de graduación:

$$C_c = D_{30}^3 / D_{10} \cdot D_{60} \quad \text{debe ser entre 1 y 3 para GW y SW.}$$

GP y SP no cumplen estos requisitos.

- **Suelos de grano grueso con fino (GM, GC o SM, SC) se toma en cuenta los siguientes límites:**

a) Para GM y SM (suelos limosos): los límites deben encontrarse bajo la línea “A” o el índice de plasticidad IP debe ser menor de 4.

Nota: Sobre la línea “A” con $4 < IP < 7$ entonces doble símbolo.

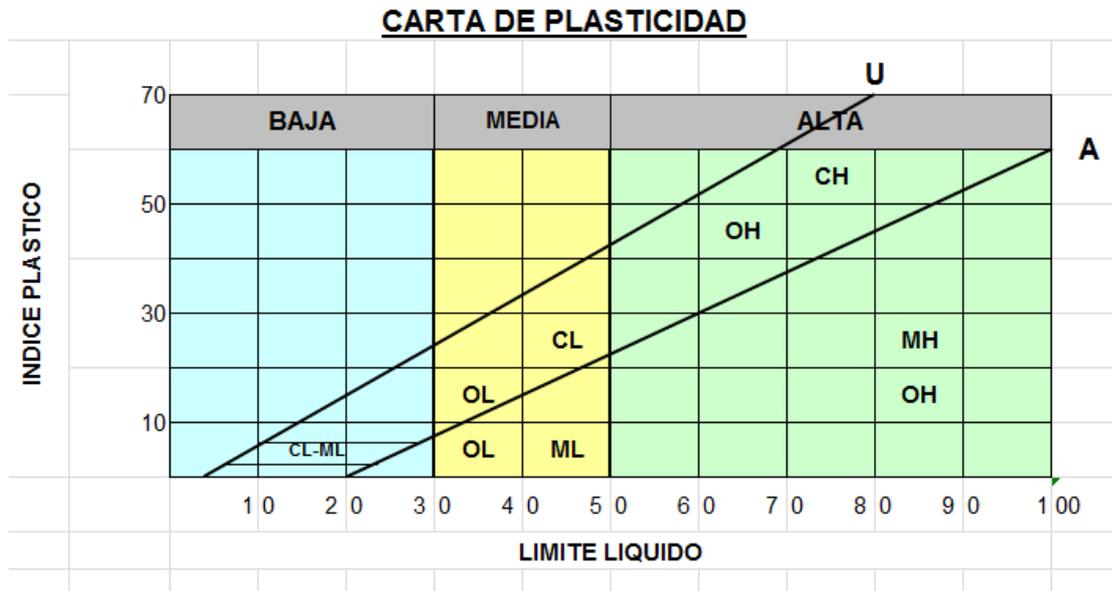
b) Para GC y SC (mezclas bien graduadas con arcilla): los límites debe encontrarse sobre la línea “A” o el índice de plasticidad debe ser mayor de 7.

Nota: En la zona con $4 \leq IP \leq 7$, doble símbolo (CL=ML)

2) **Suelos de grano fino:**

Solo se aplica la carta de plasticidad.

GRAFICA N° 10: CARTA DE PLASTICIDAD PARA SUELOS FINOS.



Fuente: Whitman, 1972.

1. Grupos CL y CH

- a) El grupo CL comprende a la zona sobre la línea “A”
LL 50% y IP 7%.
- b) El grupo CH corresponde a la zona arriba de la línea “A”
LL 50%.

2. Grupos ML y MH.

- a) El grupo ML comprende la zona bajo la línea “A” con LL 50% y una porción sobre la línea “A” con IP 4%.
 - b) El grupo MH corresponde a la zona debajo de la línea “A” con LL 50%.
- Los suelos finos que caen sobre la línea “A”, con 4% IP 7% se consideran como casos de frontera, asignándoles el símbolo doble CL – ML.

3. Grupos OL y OH (suelos orgánicos): las zonas correspondientes son las mismas que las de los grupos ML y MH. Una pequeña adición de materia orgánica coloidal hace que el límite líquido de una arcilla crezca, sin apreciable cambio de su índice plástico (Whitman, 1972).

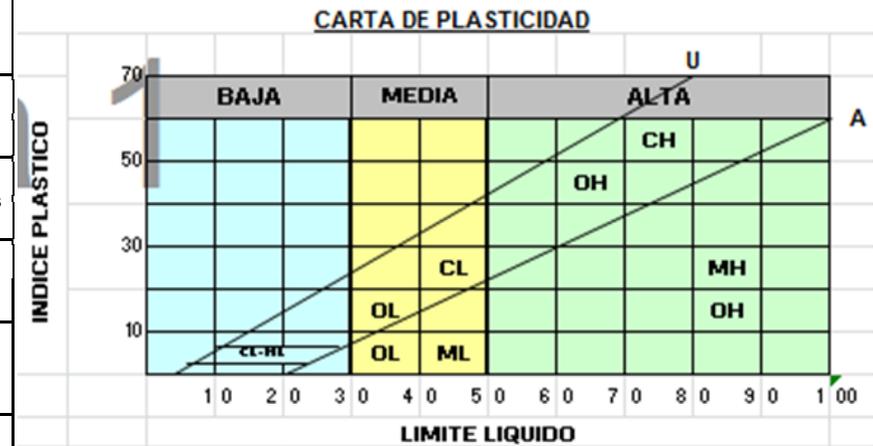
TABLA N° 3: SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (EE.UU.) SUCS.

DIVISIÓN	PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACIÓN EN EL CAMPO		SIMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN LABORATORIO		
SUELO DE PARTÍCULAS GRUESAS Más de la mitad del material es RETENIDO en la malla número 200	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es RETENIDA por la malla N°4.	GRAVAS LIMPIAS (poco o nada de partículas finas)	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de tamaños intermedios	GW	Gravas bien gradadas, mezclas de grava y arena con poco ó nada de finos	Coeficiente de uniformidad Cu : mayor de 4 Coeficiente de curvatura Cc : entre 1 y 3 $Cu = D_{60}/D_{10}$; $Cc = (D_{30})^2/D_{10} \cdot D_{60}$	
			Predominio de un tamaño o un tipo de tamaño, con ausencia de algunos intermedios.	GP	Gravas mal gradadas, mezclas de grava y arena con poco ó nada de finos		No satisfacen todos los requisitos de gradación para GW.
		GRAVAS CON FINOS (cantidad apreciable de partículas finas)	Fracción fino poco o nada plástica (para identificarla véase grupo Mt)	GM	d u	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y arcilla.	Debajo de "A" I.P. menor que 4 Arriba de "A" I.P. mayor que 7 Arriba de "A" y con I.P. entre 4 y 7 casos de frontera, uso de símbolos dobles.
			Fracción fina plástica (para identificarla véase grupo CL)	GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla.		
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa PASA por la malla N°4.	ARENAS LIMPIAS (poco ó nada de partículas finas)	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de tamaños intermedios	SW	Gravas bien gradadas, mezclas de grava y arena con poco ó nada de finos	Coeficiente de uniformidad Cu : mayor de 6 Coeficiente de curvatura Cc : entre 1 y 3 $Cu = D_{60}/D_{10}$; $Cc = (D_{30})^2/D_{10} \cdot D_{60}$	
			Predominio de un tamaño ó un tipo de tamaño , con ausencia de algunos intermedios.	SP	Gravas mal gradadas, mezclas de grava y arena con poco ó nada de finos		No satisfacen todos los requisitos de gradación para SW.
		ARENAS CON FINOS (cantidad apreciable de partículas finas)	Fracción fino poco o nada plástica (para identificarla véase grupo Mt)	SM	d u	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y arcilla.	Debajo de "A" I.P. menor que 4 Arriba de "A" I.P. mayor que 7 Arriba de "A" y con I.P. entre 4 y 7 casos de frontera, uso de símbolos dobles.
			Fracción fina plástica (para identificarla véase grupo CL)	SC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla.		
FRACCIÓN QUE PASA POR LA MALLA N° 200					Menos del 5% : GW, GP, SW, SP. Más de 12% : GM, GC, SM, SC. De 5% al 12% : Casos de frontera se requiere el uso de símbolos dobles.		

VAN...

VIENE...

DIVISIÓN	PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACIÓN EN EL CAMPO	SIMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN LABORATORIO				
SUELO DE PARTÍCULAS FINAS Más de la mitad del material PASA en la malla número 200	PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACIÓN EN LA FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA Nº 40			G = gravas, M = limo, O = orgánicos, W = bien gradadas, S = arenas, C = arcilla, P = mal gradado, L = baja compresibilidad, H = alta compresibilidad.				
	LIMOS Y ARCILLAS	LIMITE LIQUIDO menor de 50	RESISTENCIA EN ESTADO SECO (característica al rompimiento)		MOVILIDAD DEL AGUA (reacción al agitado)	TENACIDAD (consistencia cerca del límite plástico)		
			Nula o ligera		Rápida alenta	Nula	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
			Media a alta		Nula a muy lenta	media	CL	Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
	LIMOS Y ARCILLAS	LIMITE LIQUIDO mayor de 50	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, limos micáceos o diatomeas, limos elásticos.
			Alta a muy alta		Nula a muy lenta	Alta	CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.
		Media a alta	Nula a muy lenta		Ligera a media	OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.	
	SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS	Fácilmente identificable por su color, olor, sensación esponjosa y, frecuentemente, por su textura fibrosa.	Pt		Turbas y otros suelos altamente orgánicos.			



Fuente: Lambe y Whitman, 1981

2.2.2.4.7 CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

En cimentaciones se denomina capacidad portante a la capacidad del terreno para soportar las cargas aplicadas sobre él. Técnicamente la capacidad portante es la máxima presión media de contacto entre la cimentación y el terreno tal que no se produzcan un fallo por cortante del suelo o un asentamiento diferencial excesivo. Por tanto la capacidad portante admisible debe estar basada en uno de los siguientes criterios funcionales:

- Si la función del terreno de cimentación es soportar una determinada tensión independientemente de la deformación, la capacidad portante se denominará carga de hundimiento.
- Si lo que se busca es un equilibrio entre la tensión aplicada al terreno y la deformación sufrida por éste, deberá calcularse la capacidad portante a partir de criterios de asiento admisible.

De manera análoga, la expresión capacidad portante se utiliza en las demás ramas de la ingeniería para referir a la capacidad de una estructura para soportar las cargas aplicadas sobre la misma.

2.2.2.4.8 TEORÍA DE CAPACIDAD DE CARGA ÚLTIMA

Terzaghi (1943) fue el primero en presentar una teoría para evaluar la capacidad última de carga de cimentaciones superficiales, la cual dice que una cimentación es superficial si la profundidad D_f de la cimentación es menor que o igual al ancho de la misma, sin embargo, investigadores posteriores a sugerido que cimentaciones con D_f igual a 3 veces el ancho de la cimentación se definen como cimentaciones superficiales (Braja, 2001).

Terzaghi expreso de la capacidad de carga última respecto a la falla por corte local está dada por la expresión:

FÓRMULA N° 8: Capacidad de Carga Última.

$$q'_c = \frac{2}{3} C N'_c + \gamma D_f N'_q + 0.5 \gamma B N'_\gamma \dots\dots\dots(8)$$

Dónde:

q'_c = Capacidad de carga límite.

C = Cohesión del suelo.

γ = Peso específico del suelo.

D_f = Profundidad de desplante de la cimentación.

B = ancho transversal de la cimentación.

N'_c , N'_q , N'_γ = Factores de capacidad de carga. Se obtienen de la figura: 11, dependen solo del ángulo de fricción interna ϕ .

2.2.2.4.9 CÁLCULO DE CAPACIDAD DE CARGA ÚLTIMA DE DISEÑO

a) Parámetros de Cálculo

Se empleará para el cálculo de capacidad de carga última por corte local, la fórmula propuesta por Terzaghi, para zapatas corridas o continuas (Casma, 2007).

FORMULA N° 9: Capacidad de carga admisible de diseño.

$$q'_{c \text{ dis.}} = \frac{1}{FS} \left(\frac{2}{3} C N'_c + \gamma D_f N'_q + 0.5 \gamma B N'_\gamma \right) \dots\dots\dots(9)$$

Dónde:

q'_c = Capacidad de carga límite.

C = Cohesión del suelo.

γ = Peso específico del suelo.

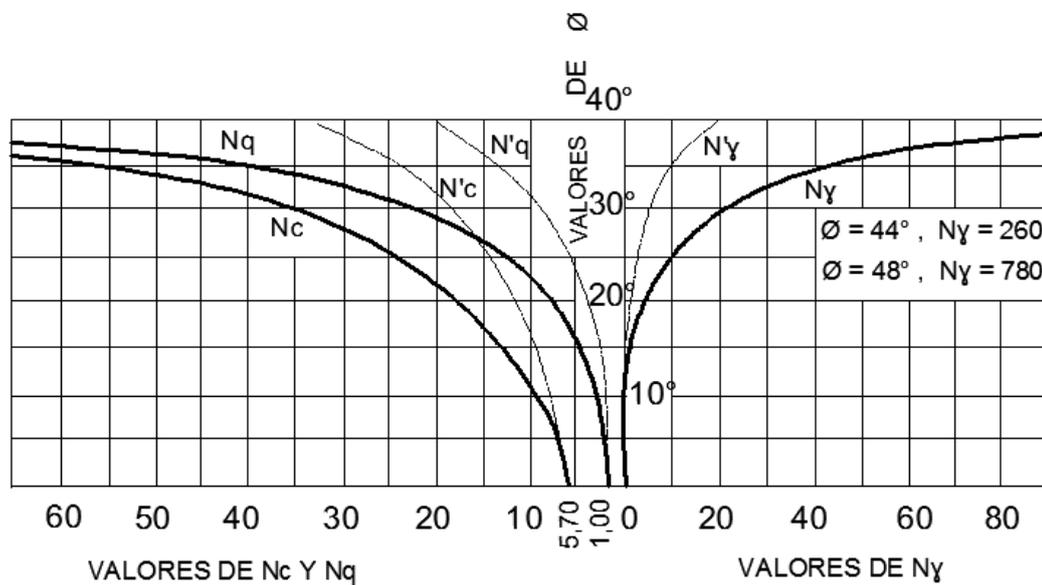
Df = Profundidad de desplante de la cimentación.

B = ancho transversal de la cimentación.

N'c, N'q, N'γ = Factores de capacidad de carga. Se obtienen de la figura: 11, dependen solo del ángulo de fricción interna ϕ .

FS: Factor de Seguridad.

GRAFICA N° 11: FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA DE TERZAGHI.



FUENTE: Mecánica de suelos y cimentaciones Ing. Carlos Crespo Villalaz.

TABLA N° 4: PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL SUELO

TIPOS DE SUELOS	DENSIDADES APARENTES			Angulo de Fricción Interna (grados)	COHESIÓN	
	Sobre nivel Freático		Bajo nivel Freático			
	Húmedo (Tn/m ³)	Saturado (Tn/m ³)	Freático (Tn/m ³)	Tn/m ²	Kg/Cm ²	
NO COHESIVOS						
Arena suelta (compacidad 0,3)	1.7	1.9		30°		
Arena media compacta (compacidad 0,3 - 0,5)	1.8	2.0		32,5°		
Arena compacta (compacidad 0,5)	1.9	2.1		35°		
Grava	1.7	2.0		35°		
Grava - Arena (heterogénea)	1.9	2.1		35°		
Piedras, piedra picada	1.7			35°		
COHESIVOS						
Arcilla media dura	2.1		1.1	15°	2.5	0.25
Arcilla rígida	2.0		1.0	15°	1.0	0.1
Arcilla plástica	1.8		0.8	15°	0	0
Arcilla arenosa (marga) rígido duro	2.2		1.2	22,5°	0.5	0.05
Arcilla arenosa (marga) plástica limo rígido duro	2.1		1.1	22,5°	0	0
Limo rígido plástico duro	2.0		1.0	22,5°	0.2	0.02
Limo plástico	1.9		0.9	22,5°	0	0
Limo orgánico (arcilla orgánico)	1.7		0.7	10°	0	0
Turba	1.1		0.1	15°	0	0

FUENTE: pág. 61 del Manual de Mecánica de Suelos por el Ing^o Peter Wilhelm Wicke.

TABLA N° 5: PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL SUELO

TIPO DE SUELO	GRANULOMETRIA		LIMITES DE ATTEMBERG			PESO ESPECIFICO		HUMD NATURAL	PROCTOR NORMAL		DEFORMABILIDAD		RESISTENCIA AL CORTE			PERMEABILIDAD
	< 0.06	< 2.00	(Fracción < 0.04 mm)			Y	Ysum		D. Seca	wpm	Es = Eo	(σ/σt)	φ	C	φ'p	
	N° 200	N° 10	WL	WP	Ip	T/m3	T/m3	w	T/m3	%	Eskp/cm2	α	(°)	T/m2		m/s
	%	%	%	%	%			%								
Grava	< 5	< 60	-	-	-	1.6	0.95	5	1.7	8	400	0.6	34	-	32	2.00E-02
			-	-	-	1.9	1.05	2	1.9	5	900	0.4	42	-	35	1.00E-02
Grava arenosa con pocos finos	< 5	< 60	-	-	-	2.1	1.15	7	2	7	400	0.7	35	-	32	1.00E-02
			-	-	-	2.3	1.35	13	2.25	4	1100	0.5	45	-	35	1.00E-02
Grava arenosa con finos limosos o arcillosos que no alteran la estructura granular	8	< 60	20	16	4	2.1	1.15	9	2.1	7	400	0.7	35	1	32	1.00E-02
	15		45	25	25	2.4	1.45	3	2.35	3	1200	0.5	43	0	35	1.00E-02
Mezcla de gravas y arenas envueltas por finos	20	< 60	20	16	4	2	1.05	13	1.9	10	150	0.9	28	3	22	1.00E-02
	40		50	25	30	2.25	1.3	5	2.2	5	400	0.7	35	0.5	30	1.00E-02
Arena uniforme fina	< 5	< 100	-	-	-	1.6	0.95	22	1.6	15	150	0.75	32	-	30	2.00E-02
			-	-	-	1.9	1.1	8	1.75	10	300	0.6	40	-	22	1.00E-02
Arena uniforme gruesa	< 5	< 100	-	-	-	1.6	0.95	16	1.6	13	250	0.7	34	-	30	5.00E-02
			-	-	-	1.9	1.1	8	1.75	8	700	0.55	42	-	34	2.00E-02
Arena bien graduada y arena con grava	< 5	< 100	-	-	-	1.8	1	11	1.9	10	200	0.7	33	-	32	5.00E-02
			-	-	-	2.1	1.2	5	2.15	6	600	0.55	41	-	34	2.00E-02
Arena con finos que no alteran la estructura	8	> 60	20	16	4	2.9	1.05	15	2	13	150	0.8	32	1	30	1.00E-02

VAN...

VIENE

TIPO DE SUELO	GRANULOMETRIA		LIMITES DE ATTEMBERG			PESO ESPECIFICO		HUMD NATURAL	PROCTOR NORMAL		DEFORMABILIDAD		RESISTENCIA AL CORTE			PERMEABILIDAD
	< 0.06	< 2.00	(Fracción < 0.04 mm)			Y	Ysum		D. Seca	wpm	Es = Eo	(σ/σt)	φ	C	φ'p	
	N° 200	N° 10	WL	WP	Ip			w								K
Limo poco plástico	> 50	> 80	25	20	4	1.75	0.95	28	1.6	22	40	0.8	28	2	25	1.00E-02
			35	28	11	2.1	1.1	15	1.8	15	110	0.6	35	0.5	30	5.00E-02
Limo de plasticidad media a alta	> 80	> 100	35	22	7	1.7	0.85	35	1.55	23	30	0.9	25	3	22	2.00E-02
			50	25	20	2	1.05	20	1.75	16	70	0.7	33	1	29	2.00E-02
Arcilla de baja plasticidad	> 80	100	25	15	7	1.9	0.95	28	1.65	20	20	1	24	6	20	1.00E-02
			35	22	16	2.2	1.2	14	1.85	14	50	0.9	32	1.5	28	2.00E-02
Arcilla de plasticidad media	> 90	100	40	18	16	1.8	0.85	38	1.55	23	10	1	20	8	10	5.00E-02
			50	25	28	2.1	1.1	18	1.75	17	30	0.95	30	2	20	1.00E-02
Arcilla de alta plasticidad	100	100	60	20	33	1.65	0.7	55	1.45	27	6	1	17	10	6	1.00E-02
			85	35	55	2	1	20	1.65	20	20	1	27	3	15	1.00E-02
Limo o arcilla orgánicos	> 80	100	45	30	10	1.55	0.55	60	1.45	27	5	1	20	7	15	1.00E-02
			70	45	30	1.9	0.9	30	1.7	18	20	0.8	26	2	22	1.00E-02
Turba	-	-	-	-	-	1.04	0.04	800	-	-	3	1	25	1.5	-	1.00E-02
	-	-	-	-	-	1.3	0.03	100	-	-	8	1	30	0.5	-	1.00E-02
Fango	-	-	100	30	50	1.25	0.25	200	-	-	4	1	22	2	-	1.00E-02
	-	-	250	80	170	1.6	0.6	50	-	-	15	0.9	28	0.5	-	1.00E-02

Fuente: Pág. 32 del curso aplicado de cimentaciones (Aut. José María Rodríguez Ortiz - Jesús Serrad Tuesta)

Dónde:

WL = Límite líquido.

WP = Límite plástico.

IP = índice plástico.

Y = Peso específico del suelo.

Ysum. = Peso específico del suelo sumergido.

w = Humedad natural.

D. Seca = Densidad seca.

Φ = Angulo de fricción.

C = cohesión.

2.3. Definición de términos básicos

- **Zonificación:** Es la parte del plan regulador que trata de la organización integral de una ciudad; mediante la cual se propone la más adecuada utilización de la tierra (Reglamento Nacional – Plan Regulador y Zonificación).
- **Plano de Zonificación:** Es el documento Gráfico, parte de un Plan Regulador, en el que se muestran los diferentes usos asignados al suelo urbano. La parte escrita, normativa y legal, la constituye el respectivo Reglamento de Zonificación (Reglamento Nacional – Plan Regulador y Zonificación).
- **Suelo.** El suelo es el material suelto no consolidado resultado de la alteración meteorológica o de la disgregación física y química de las rocas (Muelas, 2015).
- **Clasificación SUCS.** Este método de ensayo describe un sistema para la clasificación de suelos minerales y orgánicos con propósitos de ingeniería, basado en la determinación en el laboratorio de las características de granulometría, límite líquido e índice plástico (NTP 339.134 – 1999).
- **Granulometría.** Consiste en la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de los suelos (NTP 339.128 – 1999).
- **Límite Líquido.** Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico (NTP 339.128 – 1999).
- **Límite Plástico.** Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados plástico y semisólido (NTP 339.128 – 1999).
- **Límite de Contracción.** Es el contenido de agua con el cual el suelo no sufre ningún cambio adicional de volumen con la pérdida del agua (Muelas, 2015).
- **Índice Plástico (IP).** Es el rango del contenido de humedad sobre el cual un suelo se comporta plásticamente. Numéricamente es la diferencia entre el límite líquido y plástico (NTP 339.128 – 1999).

CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS

3.1. Formulación de la hipótesis

El Anexo Lucmacucho Alto se zonifica como un suelo limoso, arcilloso, arenoso con una capacidad portante admisible de diseño que varía de 0.15 Kg/cm² a 2.10 Kg/cm².

3.2. Operacionalización de variables.

Variable independiente : Suelo

Variable dependiente : Zonificación.

TABLA N° 6: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN	INDICADORES	ÍNDICE
Suelo	El suelo es el material suelto no consolidado resultado de la alteración meteorológica o de la disgregación física y química de las rocas.	-Contenido de humedad -Densidad natural - Peso específico - Límite de atterberg - Granulometría - Proctor modificado	Porcentaje (%) g/cm ³ g/cm ³ Porcentaje (%) Porcentaje (%) g/cm ³

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN	INDICADORES	ÍNDICE
Zonificación	Es la división del área en estudio teniendo en cuenta la calidad del suelo en función a sus propiedades físicas y mecánicas.	La Clasificación de suelos (SUCS). Capacidad portante del suelo.	Tipo de suelo. Kg/ cm ² .

CAPÍTULO 4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Tipo de diseño de investigación.

Transeccional o transversal: Descriptivo.

4.2. Material de estudio.

4.2.1. Unidad de estudio.

Unidad de estudio: El suelo.

4.2.2. Población.

Población de estudio: Los suelos del Anexo Lucmacucho Alto.

4.2.3. Muestra.

El estudio se ha trabajado con un total de 30 muestras de 20 kg cada muestra, obtenidas de cada estrato encontrado en las calicatas.

4.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.

4.3.1. Para recolectar datos.

Para generar el mapa de suelos, se aplicó el método de la cuadrícula donde en cada punto donde se cruce las líneas se hará una calicata a una profundidad de 3.00 metros. En cada punto donde se ha excavado se sacará la muestra por cada estrato y luego se evaluarán los siguientes parámetros en laboratorio:

- Ensayo de límites de Atterberg (NTP 339.129 – 1999)
- Ensayo para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS) (NTP 339.134 – 1999).
- Ensayos granulométricos por tamizado y por sedimentación (NTP 339.128 – 1999).
- Determinación del peso específico de las partículas.

- Ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada ($2700 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$ ($56000 \text{ pie}\cdot\text{lb}/\text{pie}^3$)) (NTP 339.141 – 1999).
- Descripción e identificación de suelos. Procedimiento visual – manual. (NTP 339.150– 1999)

- **Fase de campo.**

Reconocimiento de la zona de estudio.

Distribución de calicatas en la zona de estudio. Para la distribución de calicatas se ha tenido en cuenta el reglamento Nacional de Edificaciones donde dice que por 1 hectárea se tiene que realizar tres puntos de investigación en terreno habilitado. (Urbanizaciones para viviendas unifamiliares hasta 3 pisos)

Ubicación de calicatas: se ha utilizado la metodología de la cuadrícula. Luego se realizó el levantamiento de cada calicata con GPS.

Extracción de muestras: La extracción de muestras se ha realizado por cada estrato encontrado en la calicata.

4.3.2. Para analizar información.

A continuación se describe los procedimientos que se realizaron para el análisis de información en los diferentes componentes de la clasificación de suelos y la capacidad portante del suelo.

Trabajo de gabinete.

La fase de gabinete está dada por las siguientes actividades:

Análisis de muestras en laboratorio: En el laboratorio de mecánica de suelos se ha realizado los siguientes ensayos de acuerdo a la norma Técnica Peruana.

- Ensayo de límites de Atterberg (NTP 339.129 – 1999)
- Ensayos granulométricos por tamizado y por sedimentación (NTP 339.128 – 1999).
- Determinación del peso específico de las partículas.

- Ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada ($2700 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$ ($56000 \text{ pie}\cdot\text{lb}/\text{pie}^3$)) (NTP 339.141 – 1999).
- Densidad Natural.

Procesamiento de Resultados de los ensayos obtenidos en el laboratorio. En esta etapa se ha procesado cada ensayo realizado en el laboratorio.

Análisis e interpretación de los ensayos de laboratorio: En esta etapa se ha analizado y se ha interpretado cada una de los resultados obtenidos en el laboratorio. Luego de obtener todos los resultados de la granulometría y plasticidad se ha procedido a realizar la clasificación de suelos con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Calculo de la capacidad portante del suelo: Para el cálculo de la capacidad portante se aplicó la fórmula de TERZAGHI. Y para obtener el ángulo de fricción interna de suelo y la cohesión se ha empleado las tablas de los parámetros característicos del Ing. José María Rodríguez Ortiz - Jesús Serrad Tuesta y la tabla del Ing. Peter Wilhelm Vicke, las dimensiones de la cimentación se ha escogido un cimiento corrido con un ancho (B) de 0.80 m. peso específico del suelo se ha tomado como datos los resultados obtenidos del laboratorio.

Plano de zonificación por tipo de suelo: El plano de zonificación por tipo de suelo se ha elaborado en base al resultado obtenido de la clasificación de suelos por el Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) a una profundidad de 1.50m.

Plan de zonificación por capacidad portante: El plano de zonificación por capacidad portante se ha elaborado en base a los resultados obtenidos de cada calicata después de aplicar la fórmula de TERZAGHI. Para la zonificación se ha tomado rangos que se los ha distribuidos de la siguiente manera (0 – 0.5) (0.5 - 1) (1 – 1.5) (2.0 – 2.5). Se realizó esta metodología

“ZONIFICACIÓN MEDIANTE EL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS) Y LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO, PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN LA EXPANSIÓN URBANA DEL ANEXO LUCMACUCHO ALTO - SECTOR LUCMACUCHO, DISTRITO DE CAJAMARCA.”

con el único fin de poder unir cada una de las calicatas que contengas resultados similares.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

TABLA N° 7: RESUMEN DE RESULTADOS - ENSAYOS DE LABORATORIO

ENSAYO : CALICATA	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO ESPECÍFICO (gr/cm ³)	DENSIDAD NATURAL (gr/cm ³)	GRANULOMETRÍA (%)		LÍMITES		PROCTOR MODIFICADO Dens. Seca. (gr/cm ³)	CLASIFICACIÓN (SUCS)	CAPACIDAD PORTANTE Df = 1.50 m. q' _c : (kg/cm ²)	CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE DE DISEÑO q' _c /3.5 = (kg/cm ²)
				> N° 4	> N° 200	LÍQUIDO	PLÁSTICO				
C - 01											
E - 01	39.82	2.14	1.83	99.78	95.06	68	49	-	MH	-	-
E - 02	54.60	2.10	1.77	99.96	98.04	78	65	1.44	MH	1.60	0.46
C - 02											
E - 01	14.66	2.20	1.72	96.48	53.74	36	29	-	ML	-	-
E - 02	21.86	2.17	1.55	99.36	48.74	57	47	1.59	SM	3.95	1.13
C - 03											
E - 01	15.68	2.35	1.8	100.00	69.76	45	27	-	CL	-	-
E - 02	23.58	2.44	1.7	99.74	51.64	57	39	1.65	MH	2.09	0.60
C - 04											
E - 01	35.37	2.11	1.76	99.98	56.86	50	NTP	1.57	MH	1.61	0.46
C - 05											
E - 01	18.70	2.35	1.43	99.68	45.24	41	NTP	1.49	SM	4.28	1.22
C - 06											
E - 01	21.45	2.27	1.58	98.64	69.48	38	24	-	CL	-	-
E - 02	21.45	2.35	1.9	55.00	49.12	39	25	2.28	GC	7.06	2.02

VAN

VIENE...

ENSAYO :	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO ESPECÍFICO (gr/cm ³)	DENSIDAD NATURAL (gr/cm ³)	GRANULOMETRÍA		LÍMITES		PROCTOR MODIFICADO Dens. Seca (gr/cm ³)	CLASIFICACIÓN (SUCS)	CAPACIDAD PORTANTE Df = 1.50 m. q' _c : (kg/cm ²)	CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE DE DISEÑO q' _c /3.5 = (kg/cm ²)
				(%)		LÍQUIDO	PLÁSTICO				
				> N° 4	> N° 200						
C - 06											
E - 01	21.45	2.27	1.58	98.64	69.48	38	24	-	CL	-	-
E - 02	21.45	2.35	1.9	55.00	49.12	39	25	2.28	GC	7.06	2.02
C - 07											
E - 01	9.66	2.38	1.45	100.00	77.50	43	29	-	OL	-	-
E - 02	10.21	2.43	1.61	99.98	78.46	27	19	-	CL - ML	-	-
E - 03	11.75	2.60	1.72	100.00	96.22	40	26	1.81	CL - ML	1.77	0.51
C - 08											
E - 01	11.47	2.60	1.51	99.94	61.16	48	NTP	-	ML	-	-
E - 02	34.91	2.15	1.22	100.00	74.58	50	44	1.46	MH	1.64	0.47
C - 09											
E - 01	24.36	2.40	2.04	99.92	49.32	73	36	-	SC	-	-
E - 02	26.45	2.42	1.97	99.94	64.68	42	27	1.69	CL	4.50	1.29
C - 10											
E - 01	21.05	2.26	1.66	99.92	82.32	66	38	-	MH	-	-
E - 02	20.25	2.34	1.78	99.96	89.00	69	32	1.75	CH	1.93	0.55
C - 11											
E - 01	9.29	2.37	1.66	99.84	66.94	36	25	-	OL	-	-
E - 02	16.07	2.37	1.78	34.82	23.28	43	25	1.95	GC	7.10	2.03

VAN...

VIENE...

ENSAYO :	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PESO ESPECÍFICO (gr/cm ³)	DENSIDAD NATURAL (gr/cm ³)	GRANULOMETRÍA		LÍMITES		PROCTOR MODIFICADO Dens. Seca (gr/cm ³)	CLASIFICACIÓN (SUCS)	CAPACIDAD PORTANTE Df = 1.50 m. q'c: (kg/cm ²)	CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE DE DISEÑO q'c/3.5 = (kg/cm ²)
				(%)		LÍQUIDO	PLÁSTICO				
				> N° 4	> N° 200						
C - 12											
E - 01	17.28	2.74	2.14	99.96	86.74	34	27	2.04	OL	0.82	0.23
C - 13											
E - 01	11.13	2.66	1.95	99.46	87.36	48	29	-	OL	-	-
E - 02	11.93	2.69	2.04	100.00	97.14	42	28	1.93	OL	0.81	0.23
C - 14											
E - 01	12.47	2.34	2.24	100.00	92.04	39	10	-	CL	-	-
E - 02	14.82	2.54	2.11	98.70	86.54	38	23	2.15	CL	2.16	0.62
C - 15											
E - 01	12.49	2.25	1.75	99.80	93.58	50	31	1.71	OH	0.68	0.19
C - 16											
E - 01	2.15	2.38	2.23	99.44	93.64	52	37	-	OH	-	-
E - 02	2.37	2.38	1.95	99.98	95.12	34	24	2.02	OL	0.74	0.21
C - 17											
E - 01	28.59	2.28	1.75	100.00	70.60	44	42	1.58	ML	3.26	0.93

TABLA N° 8: NOMENCLATURA DE SUELOS SEGÚN SUCS A UNA PROFUNDIDAD DE 1.50 m.

NOMENCLATURA POR TIPO DE SUELO	
PROFUNDIDAD :	1.50 m
SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
ML	Limo arenoso
SM	Arena limosa
MH	Limo elástico arenoso
CL	Arcilla ligera arenosa
GC	Gravas arcillosas
SC	Arenas arcillosas
CH	Arcillas densas arenosas
OL	Arcillas limosas orgánicas con baja plasticidad
OH	Suelo orgánico con arena

TABLA N° 9: ZONIFICACIÓN POR CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO A UNA PROFUNDIDAD DE 1.50 m.

ZONAS	CLASIFICACIÓN (SUCS)	CAPACIDAD PORTANTE RANGOS
ZONA I	MH, OH, OL	[0 - 0.5]
ZONA II	CL, CH, ML	[0.5 - 1]
ZONA III	SM, SC	[1.0 - 1.5]
ZONA IV	GC	[2.0 - 2.5]

CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN

CLASIFICACIÓN DE SUELOS MEDIANTE EL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS).

- El suelo de la zona en estudio a una profundidad de 1.50 m presenta los siguientes tipos de suelos: Limo arenoso (ML), arcilla ligera arenosa (CL), arena limosa (SM), limo elástico arenoso (MH), arenas arcillosas (SC), arcillas limosas orgánicas con baja plasticidad (OL), suelo orgánico con arena (OH), gravas arcillosas (GC) y arenas densas arenosas (CH).

CÁLCULO DE SU CAPACIDAD PORTANTE.

- En función de la granulometría, contenido de humedad, límites, peso específico y proctor, se determinó los valores del coeficiente de fricción y cohesión con la tabla de parámetros característicos del suelo cuyos valores obtenidos son:

TABLA N° 10: VALORES DE COEFICIENTE DE FRICCIÓN Y COHESIÓN.

N° Calicata a (Df = 1.50 m.)	CLASIFICACIÓN (SUCS)	[Ø] ÁNG. FRIC. (°)	[C] COHESIÓN (Kg/cm ²)
CALICATA - 01	MH	22.50	0.02
CALICATA - 02	SM	32.50	0.00
CALICATA - 03	CL	22.50	0.05
CALICATA - 04	MH	22.50	0.02
CALICATA - 05	SM	32.50	0.00
CALICATA - 06	GC	35.00	0.10
CALICATA - 07	CL	22.50	0.00
CALICATA - 08	MH	22.50	0.02
CALICATA - 09	SC	32.50	0.00
CALICATA - 10	CH	22.50	0.05
CALICATA - 11	GC	35.00	0.10
CALICATA - 12	OL	10.00	0.00
CALICATA - 13	OL	10.00	0.00
CALICATA - 14	CL	22.50	0.05
CALICATA - 15	OH	10.00	0.00
CALICATA - 16	OL	10.00	0.00
CALICATA - 17	ML	22.50	0.00

- Con los datos obtenidos (coeficiente de fricción y cohesión), se determinó la capacidad portante del suelo, y la capacidad portante admisible de diseño del suelo, cuyos valores obtenidos son:

TABLA N° 11: CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO.

N° Calicata a (Df =1.50 m)	CLASIFICACIÓN (SUCS)	[Ø] ÁNG. FRIC. (°)	[C] COHESIÓN (Kg/cm ²)	CAPACIDAD PORTANTE q'c: (kg/cm ²)	CAPAC.PORT. ADMISIBLE DE DISEÑO q'c/3.5: (kg/cm ²)	ZONAS
C - 01	MH	22.50	0.02	1.60	0.46	ZONA I
C - 02	SM	32.50	0.00	3.95	1.13	ZONA III
C - 03	CL	22.50	0.05	2.09	0.60	ZONA II
C - 04	MH	22.50	0.02	1.61	0.46	ZONA I
C - 05	SM	32.50	0.00	4.28	1.22	ZONA III
C - 06	GC	35.00	0.10	7.06	2.02	ZONA IV
C - 07	CL	22.50	0.00	1.77	0.51	ZONA II
C - 08	MH	22.50	0.02	1.64	0.47	ZONA I
C - 09	SC	32.50	0.00	4.50	1.29	ZONA III
C - 10	CH	22.50	0.05	1.93	0.55	ZONA II
C - 11	GC	35.00	0.10	7.10	2.03	ZONA IV
C - 12	OL	10.00	0.00	0.82	0.23	ZONA I
C - 13	OL	10.00	0.00	0.81	0.23	ZONA I
C - 14	CL	22.50	0.05	2.16	0.62	ZONA II
C - 15	OH	10.00	0.00	0.68	0.19	ZONA I
C - 16	OL	10.00	0.00	0.74	0.21	ZONA I
C - 17	ML	22.50	0.00	3.26	0.93	ZONA II

CONCLUSIONES

- 1) La hipótesis de la investigación ha sido demostrada: El Anexo Lucmacucho Alto se zonifica como un suelo limoso, arcilloso, arenoso con una capacidad portante admisible de diseño que varía de 0.15 Kg/cm² a 2.1 Kg/cm², los resultados obtenidos se encuentran dentro de estos rangos.
- 2) El suelo del área en estudio a una profundidad de 1.50 m, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) está constituido básicamente por los siguientes tipos de suelos: Limo arenoso (ML), arcilla ligera arenosa (CL), arena limosa (SM), limo elástico arenoso (MH), arenas arcillosas (SC), arcillas limosas orgánicas con baja plasticidad (OL), suelo orgánico con arena (OH), gravas arcillosas (GC) y arenas densas arenosas (CH).
- 3) A una profundidad de 1.50 m y en función a su granulometría, límites de Atterberg, proctor, peso específico, contenido de humedad, se obtuvieron el ángulo de fricción y de cohesión de los suelos del sector Anexo Lucmacucho Alto, y considerando además como datos asumidos para el cálculo una profundidad de 1.50 m y un ancho de 0.80 m de cimiento corrido, cimentación más común en la construcción de viviendas unifamiliares, se obtuvo que la capacidad portante admisible de diseño varía de 0.19 Kg/cm² a 2.03 Kg/cm².
- 4) Según la zonificación por capacidad portante del suelo, se ha obtenido 4 zonas:

ZONA I: Está compuesta por los siguientes suelos: Suelos orgánicos con arena (OH), arcillas limosas orgánicas con baja plasticidad (OL), limo elástico arenoso (MH). La capacidad admisible de diseño para esta zona varía de 0 a 0.50 kg/cm², esta Zona presenta baja capacidad portante.

ZONA II: Está compuesta por los siguientes suelos: Arcilla ligera arenosa (CL), arcillas densas arenosas (CH), limo arenoso (ML). La capacidad admisible de diseño para esta zona varía de 0.5 a 1 kg/cm², esta zona presenta baja capacidad portante.

ZONA III: Está compuesta por los siguientes suelos: Arena limosa (SM), arenas arcillosas (SC). La capacidad admisible de diseño para esta zona varía de 1 a 1.50 kg/cm², esta Zona presenta una capacidad portante media.

ZONA IV: Está compuesta por los siguientes suelos: Gravetas arcillosas (GC). La capacidad admisible de diseño para esta zona varía de 2 a 2.5 kg/cm², esta zona presenta capacidad portante alta.

RECOMENDACIONES

- 1) Se recomienda realizar investigaciones comparando las capacidades portantes obtenidas a través SUCS y las tablas de los parámetros característicos del suelo con los Ensayos de Corte directo y triaxial.
- 2) Se recomienda realizar investigaciones de zonificación geotécnica teniendo en cuenta las formaciones geológicas.
- 3) Se recomienda realizar investigaciones sobre el tipo de cimentación más apropiada para dichos suelos estudiados.
- 4) Se recomienda realizar estudios para determinar la capacidad portante con la teoría de Meyerhof.

REFERENCIAS

BIBLIOGRAFÍA.

- Acuña, V. P. (2006). Zonificación y Uso del Suelo. *Hatun Llaqta*, 20-22.
- Audefroy, J. (2003). La problemática de los desastres en el hábitat urbano en América latina. *revistainvi*, 11-13.
- Braja, M. D. (1999). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. California: Thomson Learning.
- Gonzales, M. C. (1990). *Contenido de Humedad del Agua en el Suelo*. Bogota: Raspa.
- Juárez, B. E. (2005). *Mecánica de Suelos - Fundamentos de Mecánica de Suelos*. México: Limusa.
- López, J. J. (2004). El Urbanismo de Ladera: Un reto Ambiental, Tecnológico y del Ordenamiento Territorial. *Bitacora Urbano Territorial*, 96-97.
- Whitman, L. (1972). *Mecánica de Suelos*. Limusa-Willey S.A.

WEBGRAFÍA

- Casma, C. J. (2007, 09 10). www.bvcooperacion.pe/biblioteca/bitstream/123456789/3533/1/BVCI0003220.pdf. Retrieved from <http://www.bvcooperacion.pe>
- Muelas, R. A. (2015, octubre 02). http://www.uned.es/dpto-icf/mecanica_del_suelo_y_cimentaciones/images/mecansueloycimentacionescap_1.pdf. Retrieved from <http://www.uned.es>
- Nañón, B. L. (2015, setiembre 10). http://sirio.ua.es/proyectos/manual_%20carreteras/. Retrieved from <http://sirio.ua.es>
- Soms, E. y. (2015, AGOSTO 19). www.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/btca/.../cuad1-zon.planterrit.pdf. Retrieved septiembre 10, 2015, from <https://www.google.com.pe>
- Tello, I. G. (2012, Diciembre). <http://es.slideshare.net/ERaCC1/compactacion-de-suelos-15469536>. Retrieved from <http://es.slideshare.net/ERaCC1/compactacion-de-suelos-15469536>: <http://webcache.googleusercontent.com>.
- Terzaghi, K. V. (n.d.). https://es.wikipedia.org/wiki/Capacidad_portante. Retrieved octubre 5, 2015, from <https://es.wikipedia.org>

ANEXOS.

ANEXOS N° 1: HOJAS DE CÁLCULO.

ANEXOS N° 2: PANEL FOTOGRÁFICO.



FOTO N ° 1: Vista panorámica del área en estudio.



FOTO N ° 2: Inspección de campo con el asesor de la tesis y tesistas.



FOTO N ° 3: Inspección visual de la calicata N° 03 con el asesor de la tesis.



FOTO N ° 4: Cuadrilla de trabajo para la excavación de las calicatas.



FOTO N ° 5: Toma de puntos de coordenadas UTM.



FOTO N ° 6: Extracción de muestras para la densidad natural del suelo.



FOTO N ° 7: Secado de muestra a la intemperie.



FOTO N ° 8: Muestras para secado en horno, durante 24 h. (Contenido de humedad)



FOTO N ° 9: Lavado del suelo fino. (Granulometría)



FOTO N ° 10: Colocación de muestra en la copa de casa grande (Límite líquido)



FOTO N ° 11: Muestras extraídas del horno. (Límite Plástico)



FOTO N ° 12: Colocación de muestra en la fiola (Peso específico).



FOTO N ° 13: Peso de los cilindros + muestra (Densidad natural).



FOTO N ° 14: Compactación de suelos (Proctor modificado)

“ZONIFICACIÓN MEDIANTE EL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS) Y LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO, PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN LA EXPANSIÓN URBANA DEL ANEXO LUCMACUCHO ALTO - SECTOR LUCMACUCHO, DISTRITO DE CAJAMARCA.”

ANEXOS N° 3: PLANOS.