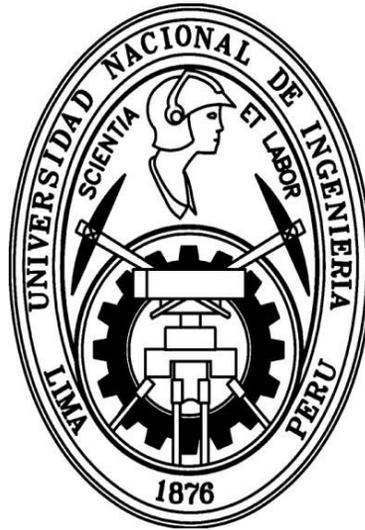


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“ECUACIONES PROPUESTAS PARA EL CÁLCULO  
DEL ÍNDICE DE COMPRESIBILIDAD EN SUELOS  
COHESIVOS EN LOS DEPARTAMENTOS DE  
UCAYALI, SAN MARTÍN Y AMAZONAS”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**Elaborado por**

**CESAR ERNESTO MARROQUIN MARIN**

**Asesor**

**M.Sc Ing. LUIS SERAFIN GONZALES HIJAR**

**LIMA – PERÚ**

**2022**

©2022 Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados.

“El autor autoriza a la UNI a reproducir la tesis en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos”.

Correo: [cesar\\_mm15@hotmail.com](mailto:cesar_mm15@hotmail.com)

Teléfono: +1 347 552 3949

“Uno de los grandes descubrimientos que un hombre puede hacer, una de sus grandes sorpresas, es encontrar que puede hacer lo que temía que no podía hacer.”

Henry Ford.

## **AGRADECIMIENTOS:**

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de continuar teniendo a mis padres a mi lado y por ser mi guía y acompañante en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito esta meta.

Agradecimiento a lo más grande que me dió la vida que son mis padres Cesar y Margot y a mi hermana Cynthia, sin ellos esto nunca hubiera podido cuantificarse. En los momentos más difíciles de la vida uno logra darse cuenta que la familia siempre va a estar presente. Ojalá un día logre devolverles todo lo que hicieron por mí.

Un agradecimiento especial a mis abuelos Ernesto, Hortensia y Rosa por haberme enseñado los valores más importantes de la vida.

Agradezco al presidente del Jurado MSc. Ingeniero César Atala Abad por su comprensión y apoyo para concluir de una manera exitosa mi tesis.

Agradezco a la especialista del Jurado PhD. Diana Calderón Cahuana por su motivación a la exploración en campo y así fortalecer los fundamentos de mi tesis.

Agradezco inmensamente al laboratorio Geotécnico del CISMID, en especial a su jefe de laboratorio durante mis prácticas, el Ingeniero David Luna Duran por su enseñanza y motivación a la investigación en mecánica de suelos y por haberme permitido tomar la información sobre ensayos de consolidación unidimensional para realizar mi investigación.

Un agradecimiento aparte a los técnicos José, David, Wilson y Christian por su paciencia y apoyo en mi aprendizaje.

Un agradecimiento especial a mi asesor de tesis Msc. Luis Gonzales Híjar por ser mucho más que un asesor en todo este proceso y motivarme día a día a lograr

esta meta, por su valiosa orientación profesional y personal. Gracias por sus valiosas aportaciones y por ser un amigo antes, durante y después de este proceso.

Finalmente, un agradecimiento al Msc. Luis Obregón Mallqui, amigo desde la Universidad y compañero de trabajo, gracias por todo el respaldo y aporte de conocimiento geotécnico durante la mi investigación.

---

## ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| ÍNDICE .....   | 1  |
| RESUMEN.....   | 6  |
| ABSTRACT .....   | 8  |
| LISTA DE TABLAS .....  | 10 |
| LISTA DE FIGURAS.....  | 14 |
| LISTA DE GRÁFICOS .....                                      | 17 |
| LISTA DE SIGLAS Y SIMBOLOS .....                             | 21 |
| CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....                               | 24 |
| 1.1    GENERALIDADES .....                                   | 24 |
| 1.2    DESCRIPCION DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....        | 26 |
| 1.3    OBJETIVOS Y ALCANCES: .....                           | 27 |
| 1.3.1.  Objetivo general .....                               | 27 |
| 1.3.2.  Objetivos específicos.....                           | 28 |
| 1.4    ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS .....                     | 28 |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....                | 34 |
| 2.1    FENÓMENO DE CONSOLIDACIÓN .....                       | 34 |
| 2.2    TEORÍA DEL FENÓMENO DE CONSOLIDACIÓN: EL INICIO ..... | 36 |
| 2.3    CONCEPTOS GENERALES SOBRE COMPRESIBILIDAD .....       | 41 |

---

|   |  |     |
|---|--|-----|
| 2.4   | CURVA DE COMPRESIBILIDAD .....                             | 42  |
| 2.5   | ETAPAS DE LA CONSOLIDACION .....                           | 50  |
| 2.5.1.  | Consolidación primaria .....                               | 50  |
| 2.5.2.  | Consolidación secundaria.....                              | 52  |
| 2.6   | LÍMITES DE ATTERBERG .....                                 | 53  |
| 2.6.1.  | Utilización práctica de los Límites de Atterberg.....      | 54  |
| 2.6.2.  | Plasticidad y límites de consistencia.....                 | 56  |
| 2.6.3.  | Límite líquido .....                                       | 58  |
| 2.7   | ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL.....                | 61  |
| 2.7.1.  | Ensayo de consolidación en laboratorio.....                | 66  |
| CAPÍTULO III: ESTADO DEL ARTE .....   |  | 76  |
| 3.1   | ECUACIONES DEL ÍNDICE DE COMPRESIBILIDAD.....              | 76  |
| 3.2   | COMPARACIÓN ENTRE ECUACIONES EXISTENTES .....              | 82  |
| 3.3   | COMPRESIBILIDAD INTRÍNSECA.....                            | 88  |
| 3.3.1.  | Investigaciones.....                                       | 89  |
| 3.3.2.  | Literatura existente. ....                                 | 93  |
| 3.3.3.  | Coefficiente de Compresibilidad Intrínseco $C^*_c$ .....   | 96  |
| 3.3.4.  | 3.3.4 Otras investigaciones de B Cerato Et al. (2003)..... | 98  |
| CAPÍTULO IV: DESCRIPCIÓN DE LA AMAZÓNÍA DEL PERÚ Y SUELOS DE<br>LOS DEPARTAMENTOS EN ESTUDIO..... |  | 104 |
| 4.1   | INTRODUCCIÓN.....  | 104 |

---

---

|   |   |     |
|---|---|-----|
| 4.2   | CLASIFICACION DEL SUELO TROPICAL PERUANO .....                                    | 105 |
| 4.3   | CARACTERISTICAS GEOLOGICAS Y GEOMORFOLOGICAS DE LA SELVA PERUANA .....            | 107 |
| 4.4   | ECOREGIONES Y CLIMA DE LA AMAZONÍA PERUANA .....                                  | 112 |
| 4.4.1.  | Selva alta.....   | 112 |
| 4.4.2.  | Selva baja.....   | 113 |
| 4.5   | CARACTERIZACIÓN DEL SUELO EN ESTUDIO .....  | 114 |
| 4.5.1.  | Propiedades intrínsecas en los suelos a estudiar .....                            | 116 |
| 4.5.2.  | Ucayali.....  | 117 |
| 4.5.3.  | Amazonas .....  | 119 |
| 4.5.4.  | San Martin .....  | 122 |
| CAPÍTULO V: ENSAYOS GEOTECNICOS EJECUTADOS, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE ..... |   | 127 |
| 5.1   | ENSAYOS DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL RECOLECTADOS.....                         | 127 |
| 5.2   | ANALISIS DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE A PARTIR DE ENSAYOS ESTÁNDAR RECOLECTADOS..... | 134 |
| 5.2.1.  | Ucayali.....  | 134 |
| 5.2.2.  | Amazonas .....  | 137 |
| 5.2.3.  | San Martin .....  | 140 |
| 5.3   | ANALISIS DEL ÍNDICE DE COMPRESIBILIDAD CC RECOLECTADOS.....                       | 145 |

---

---

|   |  |     |
|---|--|-----|
| 5.3.1.  | Ucayali.....   | 145 |
| 5.3.2.  | San Martin .....   | 150 |
| 5.3.3.  | Amazonas .....   | 156 |
| 5.4   | ENSAYOS DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL<br>EJECUTADOS POR EL INVESTIGADOR.....                           | 162 |
| CAPÍTULO VI. - FORMULACIÓN DE ECUACIONES A PARTIR DE<br>PROPIEDADES ÍNDICE Y VALIDACIÓN DE ECUACIONES EXISTENTES<br>FORMULADAS POR OTROS AUTORES..... |  | 169 |
| 6.1   | VARIABLES INDEPENDIENTES ( $W_n$ , $L_L$ , $e_0$ ) .....   | 171 |
| 6.2   | FORMULACIÓN DE ECUACIONES.....   | 174 |
| 6.2.1.  | San Martin .....   | 175 |
| 6.2.2.  | Amazonas .....   | 178 |
| 6.2.3.  | Ucayali.....   | 182 |
| 6.3   | COMPARACIÓN CON ECUACIONES DE OTROS AUTORES ...  | 190 |
| 6.4   | ECUACIONES DE REGRESIÓN MULTIPLE.....  | 195 |
| 6.5   | VALIDACIÓN DE ECUACIONES FORMULADAS CON ENSAYOS<br>DE CONSOLIDACIÓN EJECUTADOS POR EL INVESTIGADOR ..... | 197 |
| 6.5.1.  | Validación de las ecuaciones $C_c$ para el dpto. de San Martin: .....                                    | 197 |
| 6.5.2.  | Validación de las ecuaciones $C_c$ para el dpto. de Ucayali: .....                                       | 198 |
| 6.5.3.  | Validación de las ecuaciones $C_c$ para el dpto. de Amazonas: .....                                      | 198 |
| 6.6   | RESUMEN DE ECUACIONES FORMULADAS.....  | 199 |
| CONCLUSIONES.....   |  | 200 |

---

---

|                      |     |
|----------------------|-----|
| RECOMENDACIONES..... | 206 |
| BIBLIOGRAFÍA.....    | 208 |
| ANEXOS.....          | 210 |

---

## RESUMEN

El grado de compresión que pueden sufrir los suelos finos depende del índice de compresión  $C_c$ , valor que se obtiene mediante pruebas de consolidación en muestras de suelo inalteradas y remodeladas.

Dado que se necesita mucho tiempo para desarrollar una prueba de consolidación para obtener un índice de compresibilidad, algunos autores correlacionan este parámetro con propiedades índice, como límite líquido, porosidad y contenido de agua natural, que son fáciles de obtener. Al proponer estas relaciones, es necesario considerar el área del sitio de investigación y el tipo de suelo, y tienen grandes usos prácticos, especialmente en la etapa de planificación del proyecto, porque pueden analizar asentamientos con alto grado de confianza. Si los resultados de las pruebas de consolidación no están disponibles, entonces, para estructuras en suelos cohesivos, estas servirán para tomar decisiones sobre el tipo de cimentación más apropiado a usar.

El hecho de que el índice de compresibilidad sea dependiente de la estructura del suelo y de su historia de esfuerzos, convierte este problema en particular para cada sitio. En este trabajo se estudian correlaciones entre el índice de compresibilidad y propiedades índice para suelos de los departamentos de Ucayali, San Martín y Amazonas.

Se analiza la compresibilidad del suelo fino ensayado en estado inalterado y remodelado. Para lo mencionado se realizarán ensayos de consolidación de las muestras de suelo extraídas en el área a investigar. La prueba de suelo remodelado se realiza sobre muestras cuyo contenido de humedad alcanza el

límite líquido, por lo que la curva de compresibilidad generada solo muestra la forma de la pieza original. También se analizaron los resultados de las pruebas de consolidación de 180 suelos cohesivos de lugares cercanos al área de prospección (Ucayali, San Martín y Amazonas).

Realizar análisis estadísticos sobre los datos recolectados con los resultados experimentales ejecutados por el investigador con el fin de proponer correlaciones, de manera que el valor aproximado del índice de compresibilidad obtenido se pueda basar en las siguientes propiedades índice: límite líquido,  $L_L$ , insitu, relación entre intrínseco y contenido de agua,  $W_n$ , y después una combinación de dos elementos:  $(L_L, e_n)$ ,  $(L_L, W_n)$  y  $(e_n, W_n)$ . Asimismo, se comparan los resultados obtenidos en ecuaciones existentes formuladas por diferentes autores sobre suelos con características similares.

Los datos tomados de los 191 ensayos de consolidación unidimensional recolectados son de proyectos ejecutados por diferentes empresas en las zonas en estudio. Como principales proyectos ejecutados en el departamento de Ucayali se tiene Real Plaza de Pucallpa, Hospital Regional, Proyecto Sistema de Agua potable y proyecto de reparación de AV. Miraflores y jirón F. Kennedy en el año 2009, Terminal Portuario en el 2004, etc, en el departamento de San Martín tenemos Puente Yuracyacu en el año 2000, construcción de Línea De Trasmision 220kv, C.H. Naranja II, Carretera Norte-Tramo 2 - Río, etc, por último en el departamento de Amazonas tenemos C.E 17074 en Bagua Grande, Via Carrozable Tiwinza - Ecuador en el año 2000, Puente Santa Maria De Nievas en el año 2010, Carretera Transoceanica, Proyecto Bongara, etc.

---

---

## ABSTRACT

The level of compression that fine soils can undergo depends on the  $C_c$  compression index, a value obtained from consolidation tests on undisturbed and remodeled soil samples.

Since it takes a long time to develop a consolidation test to obtain a compressibility index, some authors correlate this parameter with index properties, such as liquid limit, porosity, and natural water content, which are easy to obtain. In proposing these relationships, it is necessary to consider the area of the research site and the type of soil, and they have great practical uses, especially in the planning stage of the project, because they can analyze settlements with a high degree of confidence. If the results of the consolidation tests are not available, then, for structures in cohesive soils, these will serve to make decisions about the most appropriate type of foundation to use.

The fact that the compressibility index is dependent on the soil structure and its stress history makes this a particular problem for each site. In this work, correlations between the compressibility index and index properties for soils of the departments of Ucayali, San Martín and Amazonas are studied.

The compressibility of the fine soil tested in the undisturbed and remodeled state is analyzed. For the aforementioned, consolidation tests will be carried out on the soil samples extracted in the area to be investigated. The remodeled soil test is performed on samples whose moisture content reaches the liquid limit, so the generated compressibility curve only shows the shape of the original piece. The

---

results of the consolidation tests of 180 cohesive soils from places near the prospecting area (Ucayali, San Martín and Amazonas) were also analyzed.

Statistical analysis is performed on the data collected with the experimental results executed by the researcher in order to propose correlations. So that the approximate value of the compressibility index obtained can be based on the following index properties: liquid limit,  $L_L$ , insitu, ratio between intrinsic and water content,  $W_n$ , and then a combination of two elements:  $(L_L, e_n)$ ,  $(L_L, W_n)$  and  $(e_n$  and  $W_n)$ . Likewise, the results obtained in existing equations formulated by different authors on soils with similar characteristics are compared.

The data taken from the 191 one-dimensional consolidation tests collected are from projects carried out by different companies in the areas under study. The main projects carried out in the department of Ucayali include the Real Plaza de Pucallpa, the Regional Hospital, the Drinking Water System Project and repair project of Miraflores Ave. and F. Kennedy St. in 2009, Port Terminal in 2004, etc. In the department of San Martín, we have Yuracyacu Bridge in the year 2000, construction of a 220 kv Transmission Line, C.H. Naranjal II, Carretera Norte-Section 2 – Río, etc. Finally, in the department of Amazonas we have C.E 17074 in Bagua Grande, Vía Carrozable Tiwinza – Ecuador in 2000, Puente Santa María De Nievas in 2010, Transoceanic Highway, Bongara Project, etc.

---

## LISTA DE TABLAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabla N° 3.1. Ecuaciones para la predicción del índice de compresibilidad CC<br>Fuente: Al-Khafaji et al, 1992.....        | 86  |
| Tabla N° 3.2 Propiedades índice de suelos naturales remoldeados seleccionados<br>de la literatura N°1.....                 | 93  |
| Fuente: Sridharan A. (2000) - Modificada.....  | 93  |
| Tabla N° 3.3 Propiedades índice de suelos naturales remoldeados .....<br>seleccionados de la literatura N°2.....           | 94  |
| Fuente: Sridharan A. (2000)– Mod.....  | 94  |
| Tabla N° 3.4 Propiedades índice de suelos naturales remoldeados.....   | 94  |
| Fuente: Sridharan A. (2000) - Modificada.....  | 94  |
| Tabla N° 4.1. Sistema Unificado de Clasificación de suelos (S.U.C.S.) .....  | 114 |
| Fuente: Arthur Casagrande .....  | 114 |
| Tabla N° 4.2 Probabilidad de clasificación del suelo según la profundidad de<br>exploración en el dpto. de Ucayali .....   | 115 |
| Tabla N° 4.3 Probabilidad de clasificación del suelo según la profundidad de<br>exploración en el dpto. de Amazonas .....  | 115 |
| Tabla N° 4.4 Probabilidad de clasificación del suelo según la profundidad de<br>exploración en el dpto. de San Martín..... | 116 |
| Tabla N° 4.5 SUCS vs Profundidad San Martín .....  | 126 |

---

---

|  |     |
|--|-----|
| Tabla N° 5.1 Ensayos de consolidación unidimensional realizados en el departamento de Ucayali (96 ensayos).....                                      | 131 |
| Tabla N° 5.2 Ensayos de consolidación unidimensional realizados en el departamento de San Martín (57 ensayos).....                                   | 132 |
| Tabla N° 5.3 Ensayos de consolidación unidimensional realizados en el departamento de Amazonas (39 ensayos).....                                     | 133 |
| Tabla N° 5.4 Humedad mínima y máxima de Ucayali .....  | 135 |
| Tabla N° 5.5 Límite líquido mínimo y máximo de Ucayali .....   | 135 |
| Tabla N° 5.6 Relación de vacíos mínima y máxima de Ucayali.....  | 136 |
| Tabla N° 5.7 Humedad mínima y máxima de Amazonas .....   | 137 |
| Tabla N° 5.8 Humedad #2 mínima y máxima de Amazonas .....  | 138 |
| Tabla N° 5.9 Límite líquido mínimo y máximo de Amazonas .....  | 138 |
| Tabla N° 5.10 Relación de vacíos mínimo y máximo de Amazonas.....  | 139 |
| Tabla N° 5.11 Humedad mínima y máxima de San Martín.....   | 140 |
| Tabla N° 5.12 Humedad #2 mínima y máxima de San Martín.....  | 141 |
| Tabla N° 5.13 Límite líquido mínimo y máximo de San Martín .....   | 142 |
| Tabla N° 5.14 Límite líquido #2 mínimo y máximo de San Martín .....  | 143 |
| Tabla N° 5.15 Relación de vacíos mínimo y máximo de San Martín .....   | 143 |
| Tabla N° 5.16 Relación de vacíos mínimo y máximo de San Martín .....   | 144 |
| Tabla N° 5.17 Valores máximo y mínimo del índice de compresibilidad en cada provincia con sus respectivas propiedades índice (dpto. de Ucayali)..... | 146 |

---

---

|   |     |
|---|-----|
| Tabla N° 5.18 Valores máximo y mínimo del índice de compresibilidad para cada provincia con sus respectivas propiedades índice (dpto. de San Martín). ..... | 152 |
| Tabla N° 5.19 Valores máximo y mínimo del índice de compresibilidad para cada provincia con sus respectivas propiedades índice (dpto. de Amazonas).....     | 157 |
| Tabla N° 5.20 Exploración Geotécnica en el dpto. de San Martín y resultados de ensayo de Consolidación Unidimensional.....                                  | 163 |
| Tabla N° 5.21 Exploración Geotécnica en el dpto. de Ucayali y resultados de ensayo de Consolidación Unidimensional.....                                     | 165 |
| Tabla N° 5.22 Exploración Geotécnica en el dpto. de Amazonas y resultados de ensayo de Consolidación Unidimensional.....                                    | 167 |
| Tabla N° 6.1 Valor de $r^2$ entre propiedades índice.....   | 171 |
| en el dpto. de San Martín.....  | 171 |
| Tabla N° 6.2 Correlación entre propiedades índice.....  | 172 |
| en el dpto. de Amazonas .....   | 172 |
| Tabla N° 6.3 Correlación entre propiedades índice.....  | 173 |
| en el dpto. de Ucayali .....  | 173 |
| Tabla N° 6.4 Datos estadísticos de la regresión múltiple $C_c$ vs $(e_0, W_n)$ en la ciudad de Pucallpa.....  | 196 |
| Tabla N° 6.5 Validación de ecuaciones formuladas para predecir CC en el dpto. de San Martín .....   | 197 |
| Tabla N° 6.6 Validación de ecuaciones formuladas para predecir CC en el dpto. de Ucayali-Pucallpa .....   | 198 |

---

---

|  |     |
|--|-----|
| Tabla N° 6.7 Validación de ecuaciones formuladas para predecir CC en el dpto. de Amazonas.....                         | 198 |
| Tabla N° 6.8 Ecuaciones formuladas para predecir el índice de compresibilidad CC a partir de propiedades índices ..... | 199 |

---

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.1 Modelo mecánico de Terzaghi .....   | 39 |
| Fuente: Juárez, 1976, modificado .....   | 39 |
| Figura 2.2 Curva de compresibilidad: Relación de vacíos vs logaritmo del esfuerzo efectivo. Fuente: Al-Khafaje, 1992 ..... | 46 |
| Figura N° 2.3 Determinación del tipo de consolidación y el coeficiente.....  | 50 |
| de consolidación secundaria.....   | 50 |
| Fuente: Leoni, 2008.....   | 50 |
| Figura 2.4. Límites de Atterberg.....  | 54 |
| Fuente: Albert Mauritz Atterberg .....   | 54 |
| Figura N° 2.5 Trayectoria humedad-volumen de un suelo amasado.....   | 57 |
| Figura N° 2.6 Deslizamiento de un suelo en el límite líquido.....  | 59 |
| Figura N° 2.7 Carta de plasticidad de Casagrande (ASTM D-2487-93) .....  | 61 |
| Fuente: Modificado de Craig y Knappett (2012).....   | 61 |
| Figura N°2.8. Detalle de la colocación de la muestra en el consolidómetro .....  | 62 |
| de anillo flotante .....   | 62 |
| Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de Suelos. Pág. 248 .....  | 62 |
| Figura N° 2.9 Detalle de la colocación de la muestra en el consolidómetro .....  | 63 |
| de anillo fijo.....  | 63 |
| Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de Suelos. Pág. 250 .....  | 63 |

---

---

|  |    |
|--|----|
| Figura N° 2.10 Forma típica de la curva de consolidación en arcillas .....   | 64 |
| Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de Suelos. Pág. 251 .....  | 64 |
| Figura N° 2.11 Forma típica de la curva de compresibilidad en .....  | 65 |
| suelos compresibles .....  | 65 |
| a) Representación aritmética b) Representación logarítmica .....   | 65 |
| Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de Suelos. Pág. 251 .....  | 65 |
| Figura N° 2.12 Curva de compresibilidad.....   | 68 |
| Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de Suelos. Pág. 252 .....  | 68 |
| Figura N° 2.13 Esquema del mecanismo de transmisión de carga de un<br>consolidómetro .....   | 70 |
| Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de Suelos. Pág. 251 .....  | 70 |
| Figura N° 3.1 a) Índice de compresión vs límite líquido, b) Índice de compresión<br>vs contenido de agua, c) $CC / (1+e_0)$ vs contenido de agua. .... | 92 |
| Fuente: Abdrabbo, 1990 .....   | 92 |
| Figura 3.2 Relación entre el índice de compresión y propiedades índice a) limite<br>líquido, b) índice de plasticidad, c) índice de contracción.....   | 95 |
| Fuente: Sridharan, 2000. ....  | 95 |
| Figura 3.3 Correlaciones obtenidas con datos experimentales y recopilados para<br>arcillas naturales.....  | 97 |
| Fuente: Cerato et al.,2003. ....   | 97 |
| Figura 3.4 Correlaciones obtenidas con datos experimentales y recopilados para<br>arcillas artificiales.....   | 98 |

---

---

|  |     |
|--|-----|
| Fuente: Cerato et al.,2003. ....   | 98  |
| Figura 3.5 Ecuaciones polinómicas que correlacionan el Índice de Compresibilidad intrínseca de arcillas naturales y artificiales. .... | 102 |
| Fuente: Cerato et al 2003 .....  | 102 |
| Figura N° 4.1 Región Amazónica Peruana y Tipo de Roca Madre Subyacente   | 108 |
| Fuente: Carrillo-Gil, 1978.....  | 108 |
| Figura N° 4.2 Zonas Morfoestructurales de la Amazonía Peruana.....   | 111 |
| Fuente: Carrillo-Gil, 1978.....  | 111 |
| Figura N° 4.3 Provincias del dpto. de Ucayali .....  | 118 |
| Figura N° 4.4 Provincias del dpto. de Amazonas .....   | 121 |
| Figura N° 4.5 Provincias del dpto. de San Martín.....  | 124 |

---

## LISTA DE GRÁFICOS

|   |     |
|---|-----|
| Gráfico N° 5.1 Curva de consolidación de CC mínimo.....   | 148 |
| Fuente: CISMID.....   | 148 |
| Gráfico N° 5.2 Curva de consolidación de CC máximo.....   | 149 |
| Fuente: CISMID.....   | 149 |
| Gráfico N° 5.3 Curva de consolidación de CC mínimo.....   | 153 |
| Fuente: CISMID.....   | 153 |
| Gráfico N° 5.4 Curva de consolidación de CC máximo.....   | 155 |
| Fuente: CISMID.....   | 155 |
| Gráfico N° 5.5 Curva de consolidación de CC mínimo.....   | 158 |
| Fuente: CISMID.....   | 158 |
| Gráfico N° 5.6 Curva de asentamiento (#07 cargas).....  | 160 |
| <i>Fuente: CISMID.....</i>  | 160 |
| Gráfico N° 5.7 Curva de consolidación de CC máximo.....   | 161 |
| Fuente: CISMID.....   | 161 |
| Gráfico N° 5.8 Curva de consolidación dpto. San Martín.....   | 164 |
| Gráfico N° 5.9 Curva de consolidación dpto. San Martín.....   | 166 |
| Gráfico N° 5.10 Curva de consolidación dpto. Amazonas.....  | 168 |
| Gráfico N° 6.1 Clasificación del suelo en estudio según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)..... | 170 |

---

|   |     |
|---|-----|
| Gráfico N°6.2 Correlación entre humedad y relación de vacíos en el dpto. de San Martin .....                          | 172 |
| Gráfico N° 6.3 Correlación entre humedad y relación de vacíos en el dpto. de Amazonas.....                            | 173 |
| Gráfico N° 6.4 Correlación entre humedad y relación de vacíos en el dpto. de Ucayali.....                             | 174 |
| Gráfico N° 6.5 Correlación entre la humedad y el índice de compresibilidad en el dpto. de San Martin .....            | 175 |
| Gráfico N° 6.6 Correlación entre la relación de vacíos y el índice de compresibilidad en el dpto. de San Martin ..... | 176 |
| Gráfico N° 6.7 Correlación entre el Límite Líquido y el índice de compresibilidad en el dpto. de San Martin.....      | 177 |
| Gráfico N° 6.8 Correlación entre humedad y índice de compresibilidad en el dpto. de Amazonas.....                     | 179 |
| Gráfico N° 6.9 Correlación entre la relación de vacíos y el índice de compresibilidad en el dpto. de Amazonas.....    | 180 |
| Gráfico N° 6.10 Correlación entre el Límite Líquido y el índice de compresibilidad en el dpto. de Amazonas .....      | 181 |
| Gráfico N° 6.11 Correlación entre la humedad y el índice de compresibilidad en el dpto. de Ucayali.....               | 183 |
| Gráfico N° 6.12 Correlación entre la humedad y el índice de compresibilidad en la provincia de Coronel Portillo. .... | 184 |

---

---

|                 |   |     |
|-----------------|---|-----|
| Gráfico N° 6.13 | Correlación entre la humedad y el índice de compresibilidad en la ciudad de Pucallpa. ....                              | 185 |
| Gráfico N° 6.14 | Correlación entre la relación de vacíos y el índice de compresibilidad en el departamento de Ucayali.....               | 186 |
| Gráfico N° 6.15 | Correlación entre la relación de vacíos y el índice de compresibilidad en la provincia de Coronel Portillo. ....        | 187 |
| Gráfico N° 6.16 | Correlación entre la relación de vacíos y el índice de compresibilidad en la ciudad de Pucallpa. ....                   | 188 |
| Gráfico N° 6.17 | Correlación entre el límite líquido y el índice de compresibilidad en el departamento de Ucayali. ....                  | 188 |
| Gráfico N°6.18  | Correlación entre el límite líquido y el índice de compresibilidad en el departamento de Ucayali. ....                  | 189 |
| Gráfico N° 6.19 | Correlación entre el límite líquido y el índice de compresibilidad en la ciudad de Pucallpa.....                        | 190 |
| Gráfico N° 6.20 | Ecuaciones de otros autores para predecir el índice de compresibilidad (CC) a partir de la humedad (Wn) .....           | 192 |
| Gráfico N° 6.21 | Ecuaciones de otros autores para predecir el índice de compresibilidad (CC) a partir de la humedad (Wn) .....           | 193 |
| Gráfico N° 6.22 | Ecuaciones de otros autores para predecir el índice de compresibilidad (CC) a partir de la relación de vacíos (e0)..... | 193 |
| Gráfico N° 6.23 | Ecuaciones de otros autores para predecir el índice de compresibilidad (CC) a partir de la relación de vacíos (e0)..... | 194 |

---

Gráfico N° 6.24 Ecuaciones de otros autores para predecir el índice de compresibilidad (CC) a partir de la relación de vacíos ( $e_0$ ) ..... 194

## LISTA DE SIGLAS Y SIMBOLOS

|              |   |
|--------------|---|
| $A$          | Área de la sección transversal.   |
| $a_v$        | Coefficiente de compresibilidad.  |
| $^{\circ}C$  | Grados centígrados.   |
| $c_v$        | Coefficiente de consolidación.  |
| $CC$         | Índice de compresión.   |
| $C_{\alpha}$ | Índice de compresión secundaria.  |
| $C_r$        | Índice de expansión.  |
| $CH$         | Arcillas inorgánicas de alta plasticidad.                                 |
| $CL$         | Arcillas inorgánicas plasticidad baja o media, arcillas arenosas limosas. |
| $e$          | Relación de vacíos.   |
| $G_s$        | Densidad de Sólidos.  |
| $IL$         | Carga incremental.  |
| $I_S$        | Índice de contracción.  |
| $k$          | Coefficiente de permeabilidad.  |
| $m$          | Metros.   |
| $mm$         | Milímetros.   |

---

|        |  |
|--------|--|
| $m_v$  | Coeficiente de compresibilidad volumétrica.  |
| $MH$   | Limos orgánicos, limos elásticos, suelos micáceos o diatomáceos, arenosos o limosos.                     |
| $MH$   | Limos orgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillas ligeramente plásticas |
| $NAF$  | Nivel de aguas freáticas.  |
| $OCR$  | Relación de preconsolidación.  |
| $OH$   | Arcillas orgánicas de mediana o alta plasticidad.  |
| $OL$   | Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.  |
| $P$    | Carga.   |
| $PI$   | Índice de plasticidad.   |
| $R^2$  | Coeficiente de determinación.  |
| $S_r$  | Grado de saturación.   |
| $SUCS$ | Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.  |
| $w_0$  | Contenido de agua inicial.   |
| $w_f$  | Contenido natural de agua final.   |
| $L_L$  | Limite líquido.  |
| $w_n$  | Contenido natural de agua.   |

---

|                |  |
|----------------|--|
| $w_p$          | Límite plástico.                                   |
| $w_s$          | Límite de contracción.                             |
| $w_c$          | Límite de contracción lineal.                      |
| $T$            | Factor de tiempo.                                  |
| $t$            | Tiempo.  |
| $z$            | Profundidad.                                       |
| $\sigma'_{pc}$ | Presión de preconsolidación de un espécimen.       |
| $\sigma'_v$    | Presión vertical efectiva.                         |
| $\gamma_w$     | Peso volumétrico de agua.                          |
| $\gamma_d$     | Peso volumétrico seco del suelo                    |
| $\gamma_m$     | Peso volumétrico del suelo.                        |
| $e_r$          | Relación de vacíos del suelo en estado remoldeado. |
| $e_L$          | Relación de vacíos en el límite líquido            |
| $e_{*100}$     | Relación de vacíos a una carga de 100 kPa          |

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1 GENERALIDADES.

Para el análisis del comportamiento de la Mecánica de Suelos existen muchas investigaciones con teorías las cuales han mejorado según las condiciones y posibles casos más reales y específicos, sin embargo, está claro que los principios teóricos nunca van a cambiar y seguirán siendo usados.

En este caso, el interés está en el estudio de la compresibilidad de suelos cohesivos en donde los métodos para la estimación de  $C_c$  están basados en el análisis del proceso de consolidación.

En el caso de la deformación de un suelo, se puede dar por dos aspectos generales los cuales son en la variación de volumen y forma del mismo. Cuando hablamos de variación de volumen podemos mencionar los conceptos de compresión y de expansión, sin embargo, se seguirá manteniendo la forma. Por otro lado, la deformación por cambio de forma en donde aparecen los conceptos de distorsión o deformación desviadora es en donde se origina la variación de la posición relativa de sus puntos fijos, sin embargo, acá se mantiene el volumen constante.

Mediante una prueba de consolidación podemos calcular la capacidad de deformación de un suelo, ya que las propiedades que se necesitan conocer son las de esfuerzo, deformación y tiempo.

El ingeniero Karl von Terzaghi fue uno de los pioneros en investigar el fenómeno de consolidación en suelos finos saturados. Él llamó a su investigación teoría de la consolidación unidimensional, la cual en la actualidad es la más aplicada para resolver el problema de compresibilidad en suelos finos saturados.

El fenómeno de la consolidación es una combinación de deformación elástica y plástica debido a una fuerza actuante de forma permanente, la cual va aumentando con el tiempo, ocasionando la reducción de la relación de vacíos

En la consolidación de suelos se obtienen los siguientes parámetros: índice de compresibilidad ( $C_c$ ) y coeficiente de consolidación ( $C_v$ );  $C_c$  se relaciona con cuantitativamente con el asentamiento o deformación y  $C_v$  se relaciona con el tiempo en la que se sufrirá dicha consolidación.

Por lo general, debido a una comprensión insuficiente de las condiciones del suelo subterráneo en el sitio, se generan riesgos y costos adicionales en los proyectos de ingeniería civil, por lo que es importante hacer el mejor uso de la información disponible. Con base en la gran cantidad de información geotécnica obtenida de

---

perforaciones convencionales previas, es factible obtener la correlación de variables geotécnicas relevantes en el área de investigación. Para nuestra investigación, la variable es el índice de compresibilidad  $C_c$ .

Dado que el límite líquido está relacionado con la cantidad de agua atraída por las partículas de arcilla, que a su vez está relacionada con la cantidad de espacio vacío en la masa de suelo saturado, y el tamaño del espacio vacío está relacionado con su compresibilidad, es posible que el límite líquido esté relacionado con la compresibilidad del suelo.

En el Perú hay regiones en las que encontramos suelos finos de gran potencia, particularmente en la costa y en la selva, sin embargo, no existe una investigación basada en resultados de ensayos de consolidación hechos en suelo peruano. A esto se suma la demanda de ensayos en laboratorios Geotécnicos, por tal motivo la formulación de ecuaciones con las que obtengamos un valor preliminar del Índice de Compresión ( $C_c$ ) sería de gran ayuda.

## 1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

Debido al tiempo que implica el desarrollo de un ensayo de consolidación para obtener el índice de compresibilidad, algunos autores han relacionado este parámetro con propiedades índice, tales como el Límite líquido  $L_L$ , la relación de

---

vacíos in situ  $e_n$  y el contenido natural de agua  $W_n$ , las cuales son fáciles de obtener. Estas relaciones se presentan tomando en cuenta la región donde se ubica el sitio en estudio, así como el tipo de suelo, y son de gran utilidad práctica, especialmente durante la etapa de planeación de las obras, debido a que permiten realizar análisis de asentamientos aproximados de las estructuras en suelos cohesivos, cuando no se cuenta con resultados de ensayos de consolidación, por lo tanto, sirven de base para la toma de decisiones acerca del tipo de cimentación más adecuada.

Partiendo de lo anterior y de que la solución a cada problema de mecánica de suelos que se presenta en la práctica depende de las condiciones en particular del sitio donde se ubica, en este trabajo se estudian correlaciones formuladas entre el índice de compresibilidad y propiedades índice para suelos de los departamentos de Ucayali, San Martín y Amazonas en base a resultados de ensayos realizados a lo largo de la historia en estos departamentos. Esto a fin de dotar de una herramienta práctica al especialista que le permita usar valores confiables para realizar análisis preliminares de las condiciones de compresibilidad del suelo, esto sin sustituir las pruebas en laboratorio posteriores.

### 1.3 OBJETIVOS Y ALCANCES:

#### 1.3.1. Objetivo general

- Implementar ecuaciones para el cálculo del Índice de Compresibilidad y así obtener un valor confiable de este en suelos cohesivos en los

departamentos de Ucayali, San Martín y Amazonas, estas ecuaciones nos van a ahorrar tiempo y dinero.

### 1.3.2. **Objetivos específicos**

- Ver la eficiencia de las correlaciones planteadas por otros autores comparando los resultados obtenidos con las correlaciones hechas en esta investigación en base a ensayos en suelo peruano.
- Correlacionar el Índice de Compresibilidad con más propiedades índice.
- Validar las ecuaciones formuladas con ensayos de Consolidación realizados por el investigador en el suelo en estudio.
- Brindar ecuaciones para obtener el Índice de Compresibilidad, las cuales puedan ser estudiadas por otros investigadores y motivarlos a ampliar el estudio aplicando esta metodología en otros ensayos geotécnicos.

## 1.4 **ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS**

Dado el tiempo requerido para realizar una prueba de compresibilidad en suelo fino saturado para obtener  $C_c$ , es deseable correlacionar el índice de compresibilidad del suelo con algunas propiedades índice fácilmente determinadas.

El cambio de volumen de los sedimentos de partículas finas depende de las proporciones relativas de partículas de limo y arcilla, que juntas forman una estructura con una alta porosidad (relación de vacíos). El tamaño de las partículas

---

coloidales (arcilla) con una gran proporción de área por unidad de masa tiene la capacidad de atraer una gran cantidad de agua, lo que determina el tiempo para que ocurra el fenómeno de consolidación.

Se sabe que el límite líquido se puede usar como medida referencial de la capacidad de las partículas de arcilla para absorber agua, por tal motivo se pueden encontrar algunas correlaciones entre este parámetro y la compresibilidad y la relación de vacíos del suelo.

A lo largo del tiempo, se han realizado varios estudios en los que propiedades físicas especiales son halladas a partir de otras propiedades físicas fácilmente determinadas (es decir propiedades halladas a partir de ensayos estándar), como son el límite líquido y la relación de vacíos. Estas relaciones se han calculado mediante procedimientos estadísticos o mediante otros métodos (como el ajuste de curvas, correlaciones). El propósito de la mayoría de las publicaciones es establecer una función para predecir un valor confiable del índice de compresibilidad a partir de las propiedades índice y la relación entre el peso del suelo y el volumen.

Entre las ecuaciones más aceptadas para estimar el índice de compresibilidad se encuentran Skempton 1944, Terzaghi y Peck 1967, Lambe y Whitman 1969, Nishida y Hough 1957 y Mayne 1980. Casi todas están destinadas a ser usadas en arcillas inorgánicas normalmente consolidadas, sólo se libra la de Skempton. Cabe mencionar que en el resto de ecuaciones tienen alto grado de confianza en

---

sus valores, pero solo para ciertas áreas con lo que se comprueba que cada zona de estudio debería tener sus propias ecuaciones.

Excepto por la creencia de que existe una cierta conexión entre  $C_c$  y ciertas características índice del suelo, las ecuaciones mencionadas anteriormente no tienen una base lógica para probar su desarrollo. Con respecto a la relación entre  $C_c$  y otras características del suelo, Nishida en 1952 propuso que esta relación solo se introdujo debido a los resultados que se obtuvieron en base a los ensayos, sin embargo, indica que no tienen una base teórica.

Según la curva  $e$  vs  $\log P$  de sedimentos arcillosos de Lambe y Whitman (1969), la relación de vacíos de equilibrio depende del límite líquido y de la presión de sobre consolidación. Según las conclusiones a las que llegan los investigadores Lambe y Whitman, los sedimentos arcillosos muestran una relación lineal entre la relación del vacío de equilibrio y el límite líquido actuando a una presión constante, estos datos muestran que el límite líquido está relacionado con factores que afectan de manera importante a la forma en que se comporta la variación de volumen en las arcillas, es decir, el límite líquido es un valor que se puede relacionar directamente en el cálculo de los asentamientos en suelos. Los datos del análisis del sedimento arcilloso permiten la determinación de una ecuación que tiene en cuenta tanto el límite líquido como el aumento de presión para calcular la porosidad y por tanto el asentamiento.

También existen ecuaciones empíricas formuladas por otros investigadores que proporcionan un valor referencial del índice de compresibilidad en términos de contenido de agua o porosidad. Sin embargo, Azzout et al. 1976, informó que es necesario involucrar múltiples propiedades índices en la determinación de  $C_c$  para lograr obtener resultados más cercanos.

A partir de las relaciones dadas, solo es necesario determinar cuál de ellas es mejor para calcular el índice de compresibilidad de cada sedimento de arcilla en particular. El propósito de esta investigación es obtener una relación lineal entre  $C_c$  y otros atributos de índice fácilmente determinados sin necesidad de pruebas de consolidación en suelo arcilloso, de igual manera asociar el índice de compresibilidad  $C_c$  con más de una de estas propiedades índice como indica Azzout. También se tiene que revisar la distribución de todos los ensayos en el área de estudio y facilitar un mapa con curvas que abarquen igual valor de índice de compresibilidad  $C_c$ .

A continuación, se muestran las ecuaciones más reconocidas para predecir el Índice de Compresibilidad  $C_c$  a partir de propiedades índice publicadas por distintos autores:

| ECUACION                                | APLICACIONES  | AUTOR DE LA CORRELACIÓN |
|---|---|-------------------------|
| a) $C_c = f(L_L)$                       |   |                         |
| $C_c = 0.007 (L_L - 7)$                 | Arcillas remoldeadas  | Skempton (1994)         |
| $C_c = 0.0046 (L_L - 9)$                | Arcillas de Brasil  | Cozzolino (1961)        |
| $C_c = 0.009 (L_L - 10)$                | Arcillas normalmente consolidadas                                 | Terzaghi y Peck (1967)  |
| $C_c = 0.006 (L_L - 9)$                 | Todas las arcillas con límite líquido menor de 100%               | Azzouz et al. (1976)    |
| $C_c = (L_L - 13)/109$                  | Todas las arcillas  | Mayne (1980)            |
| b) $C_c = f(w_n)$                       |   |                         |
| $C_c = 0.85 \cdot \sqrt{(W_n/100)^3}$   | Lodos finos y arcillas  | Helenelund (1951)       |
| $C_c = 0.0115 \cdot W_n$                | Suelos orgánicos, turbas, limos orgánicos y arcillas              | Moran et al. (1958)     |
| $C_c = 0.01 \cdot (W_n - 5)$            | Todas las arcillas  | Azzouz et al. (1976)    |
| $C_c = 0.01 \cdot W_n$                  | Todas las arcillas  | Koppula (1981)          |
| $C_c = 0.01 \cdot (W_n - 7.549)$        | Todas las arcillas  | Herrero (1983)          |
| c) $C_c = f(e_n)$                       |   |                         |
| $C_c = 0.54 \cdot (e_n - 0.35)$         | Todas las arcillas  | Nishida (1956)          |
| $C_c = 0.29 \cdot (e_n - 0.27)$         | Suelos cohesivos inorgánicos, arcillas y limos                    | Hough (1957)            |
| $C_c = 0.35 \cdot (e_n - 0.50)$         | Suelos granulares con finos orgánicos, limos orgánicos y arcillas | Hough (1957)            |
| $C_c = 0.43 \cdot (e_n - 0.25)$         | Arcillas de Brasil  | Cozzolino (1961)        |
| $C_c = 0.75 \cdot (e_n - 0.50)$         | Suelos de baja plasticidad  | Sowers (1970)           |
| $C_c = 1.21 + 1.055 \cdot (e_n - 1.87)$ | Arcillas jaspeadas de la ciudad de San Paulo                      |                         |

Tabla N°1.1 Introducción a las ecuaciones para la predicción del índice de compresibilidad  $C_c$ . Fuente: Al-Khafaji et al, 1992

Estas ecuaciones tienen sus limitaciones y su grado de confianza respectivamente. Después de revisar la información existente, se puede asegurar, que para poder predecir un correcto valor del índice de compresibilidad  $C_c$ , se deben formular ecuaciones con resultados de ensayos de consolidación realizados en la misma zona de estudio, no es recomendable usar estas ecuaciones para distintos sitios.

Podemos asegurar, específicamente que, para los departamentos de Ucayali, San Martín y Amazonas, que estas ecuaciones no brindan un valor correcto ya que se han verificado con los resultados de ensayos de consolidación realizados en las zonas mencionadas y se concluye que el coeficiente de determinación no es fiable, por lo que es de suma importancia la formulación de ecuaciones propias para diversas zonas del Perú.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

### 2.1 FENÓMENO DE CONSOLIDACIÓN

Para suelos finos la presencia de agua en su estructura es un gran problema para el mundo de la construcción, para conocer el comportamiento de este suelo durante la aplicación de cargas es necesario realizar el ensayo de consolidación logrando así conocer el asentamiento total y diferenciales a lo largo del tiempo.

Para evaluar la deformación y la resistencia de dichos suelos se debe investigar sus propiedades físicas y mecánicas, pues son las que rigen su comportamiento y con ello hacer predicciones de los asentamientos que se producirán en los estratos del suelo cuando estos son sometidos a incrementos de esfuerzos por la aplicación de una carga. Para evaluar la deformación y resistencia de estos suelos se deben estudiar sus propiedades físicas y mecánicas, ya que son los factores que controlan su comportamiento. Es obvio que mientras más cargas mayores será el asentamiento, sin embargo, lo importante es ver como este evoluciona respecto al tiempo.

El fenómeno de la consolidación ha sido estudiado por diferentes investigadores con interés en el cambio volumétrico de los suelos, el primer método de consolidación fue planteado por Karl Terzaghi, quien se centró en suelos finos

---

saturados y desarrolló una teoría de consolidación unidimensional. El objetivo principal del ensayo de consolidación es obtener información sobre la compresibilidad del suelo, y junto con ellos determinar los parámetros que expresan la deformabilidad, el coeficiente de consolidación y el cambio de volumen. El equipo utilizado y planteado por Terzaghi ha sido mejorado con ayuda de una moderna instrumentación. Con el paso del tiempo y modernización de la tecnología ahora se puede realizar medición automática, automatización y semiautomático.

El fenómeno de consolidación o ensayo de eliminación de volumen de los líquidos y gases en los suelos ha sido investigado a lo largo del tiempo, tanto para suelos finos inalterados y remoldeados. Se ha conocido que cuando se presenta una carga sobre el suelo, la mayor parte de los materiales sufren una deformación (en este caso debido al asentamiento) la cual mientras mayor es la carga mayor es la deformación.

Como la consolidación se basa en la reducción de vacíos, para el caso de suelos arcillosos los cuales presentan porosidad y relación de vacíos mayor que los suelos granulares, sin embargo, su textura y estructura los hace menos permeable que estos, motivo por el cual la consolidación de este tipo de suelos es progresiva y lenta, resultando al final una arcilla dura y consecuentemente una roca sedimentaria. Aparece el término de presión efectiva, ya que las presiones de poro dejan de existir porque luego de estas ya todo se basa en la eliminación de agua del suelo arcilloso.

Recordar que el proceso de consolidación es diferente al ensayo de compactación ya que la primera se realiza en un estado saturado y la segunda a una saturación

---

específica, a su vez es diferente que un ensayo compresión simple ya que en la consolidación la aplicación de cargas es progresiva en función del tiempo.

Por otro lado, cuando se habla de un suelo granular, al aplicarle estas cargas, debido a su alta permeabilidad la presión efectiva desaparecerá de inmediato por tal motivo el tiempo que le tomará a la muestra consolidarse es mínimo. Entonces al entender que depende mucho de la permeabilidad del suelo el tiempo del fenómeno, para un suelo con presencia de arcillas predominantes el tiempo que tardará en salir el agua por completo del suelo será mayor dando un fenómeno de consolidación más prolongado.

## 2.2 TEORÍA DEL FENÓMENO DE CONSOLIDACIÓN: EL INICIO

El ingeniero Karl Terzaghi en el año de 1925 fue el primer investigador en establecer una ecuación diferencial para la consolidación, publicada en su *Erdbaumechanik*, semejante a la usada en la teoría de transmisión de calor. Se tiene conocimiento que el problema de la consolidación de suelos había sido analizado tiempo atrás, Terzaghi mencionó en su trabajo “Theorie der Setzungen Von Tonschichte”, que en 1856 el investigador John Tyndall había planteado el proceso de consolidación en sus *Fragments of Science*. Años antes también Dimitri cita en 1947 varios casos en donde ya se daban problemas respecto al fenómeno de consolidación, menciona que en el año de 1898 el investigador Sooy Smith no solo detalla la consolidación de suelos en la ciudad de Chicago, sino que

---

también incluye el fenómeno de consolidación secundaria, la cual se refiere al asentamiento debido a la deformación directamente de la parte sólida de la muestra.

Podemos simplificar el fenómeno de consolidación diciendo que es el proceso en que se da la disminución progresiva del volumen del suelo cuando actúan cargas, acá es donde el agua existente en los poros (para este caso saturada) absorbe un porcentaje de la carga que se está aplicando sobre la muestra del suelo, con el paso del tiempo se va eliminando el agua del suelo para que finalmente la parte sólida asuma esa carga.

Para una consolidación primaria se determina que el cambio de volumen total en la masa es igual al volumen de agua y gases drenados.

Todo este conocimiento respecto al proceso de consolidación planteado por Terzaghi se basa en las siguientes hipótesis:

- a) La muestra tiene que ser saturada, es homogénea e isotrópica (propiedades de la muestra no dependen de la dirección de la aplicación de cargas).
  - b) Los estratos de suelo extraídos en campo fueron encontrados confinados lateralmente.
  - c) El agua y la parte sólida del suelo son incompresibles.
  - d) El peso del suelo no es un valor que afecta la consolidación.
-

- e) Las cargas aplicadas y el drenaje del agua son analizadas en una sola dirección.
- f) El incremento de carga se aplica instantáneamente (tiempos programados mínimos).
- g) Es válida aplicar la ley de Darcy para el agua presente en la muestra ya que se considera como agua gravitacional, por lo tanto, el comportamiento del agua por los poros se puede analizar con esta ley.
- h) Las disminuciones de vacíos se llevan al límite.
- i) La presión que se aplica progresivamente y el cambio de la relación de vacíos puede relacionarse linealmente.
- j) La permeabilidad y compresibilidad del suelo permanecen constantes para un incremento de presión determinado.

Luego de un cierto período de carga sedimentaria actúa sobre el suelo, éste alcanza un estado de equilibrio en la estructura y termina la compresión. De esta forma, cuando el volumen del suelo se mantiene constante en un estado de estrés constante, se considera que el suelo está completamente consolidado. Los suelos en las condiciones actuales bajo una presión de consolidación final o extrema generalmente se denominan consolidación. En el caso que el suelo este sufriendo actualmente cargas menores a las que ya han actuado sobre este anteriormente, se considera un suelo pre consolidado.

Karl Terzaghi sustenta su teoría con un modelo mecánico en el cual se considera un cilindro con un pistón perforado sostenido por resortes elásticos, este cilindro está completamente lleno de un fluido que se considera incompresible. Si se aplica una carga al pistón, al permitir que el fluido fluya a través del orificio, este tenderá a caer y el resorte se contraerá hasta que el pistón se detenga. Se puede ver que cuando se aplica la carga, es sostenida primero por el fluido y luego la carga pasa al resorte. Se entiende que el resorte responde por la estructura del suelo y el fluido al agua y vacíos responden por el volumen total de vacíos.

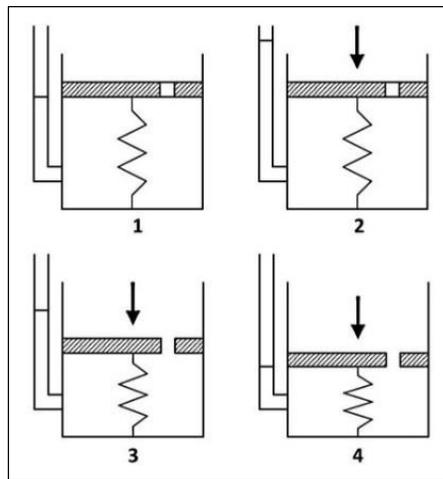


Figura 2.1 Modelo mecánico de Terzaghi

Fuente: Juárez, 1976, modificado

La disminución de volumen que se produce en el suelo se debe a cambios en los vacíos estructurales que originan desplazamientos relativos entre las partículas del suelo, estas finalmente ocupan posiciones más cercanas logrando una

compactación momentánea. Por tanto, la deformabilidad del suelo se atribuye a la disposición al cambio de posición de los granos.

Debido a la diferencia entre los resultados obtenidos mediante la teoría de Terzaghi y los resultados reales obtenidos en el laboratorio, han surgido nuevas investigaciones y se han desarrollado modelos que toman en cuenta los efectos del tiempo en el proceso de consolidación y tienen en cuenta variables como la relación de vacíos, esfuerzo efectivo y sus variaciones a lo largo del tiempo. Taylor y Merchant en 1940 desarrollaron uno de estos modelos considerando estos parámetros, dos años después Taylor actualizó de una mejor manera este modelo y definió el proceso de consolidación como una relación única entre el esfuerzo vertical efectivo, la relación de vacíos y el cambio de los vacíos a lo largo del tiempo [Leroueil, 1985 (citado por Hidalgo, 2007)].

En 1961, Gibson y Lo asumieron que la estructura del suelo se comporta como un modelo mecánico que consiste en un resorte lineal (modelo propuesto por Terzaghi) en serie con un modelo de Kelvin, compuesto por un resorte lineal acoplado en paralelo con un amortiguador lineal, donde la resistencia de la contrapresión es proporcional a la velocidad de compresión. El resorte superior simula la consolidación instantánea, mientras que el modelo Kelvin simula el retraso de la consolidación.

La teoría no lineal de Barden (1965) supone que la muestra de suelo se comporta como un modelo mecánico que consta de un resorte lineales y un amortiguador no lineal en paralelo. Para el amortiguador no lineal, la relación entre la resistencia

---

a la compresión y la velocidad de deformación ( $\epsilon_v$ ) viene dada por una función parabólica.

El ingeniero Leonardo Zeevaert intentó entender el comportamiento de la arcilla lacustre en el Valle de México, y este trabajo lo llevó a desarrollar el concepto de "viscosidad intergranular". Para explicar este fenómeno, Zeevaert desarrolló la teoría explicando el fenómeno de consolidación secundaria basado en el modelo reológico de compresión primaria de Tezaghi y otro modelo creado por el autor. Según Zeevaert, luego de que la consolidación inicial alcanza un alto grado de consolidación, se puede observar que la compresión y el cambio de volumen del suelo continúan ocurriendo, durante este proceso se produce una deformación volumétrica plástico-viscosa y su resistencia disminuye con el tiempo. Dando como resultado la estabilidad de la deformación del suelo bajo carga aplicada.

### 2.3 CONCEPTOS GENERALES SOBRE COMPRESIBILIDAD

Los suelos constan de tres etapas: sólida, líquida y gaseosa; la etapa sólida está compuesta por partículas de minerales que forman la estructura del suelo. Esta estructura no es uniforme y presenta vacíos que son llenados por las otras dos fases que en conjunto es llamada volumen de vacíos.

La reducción de los huecos o cavidades es la base de la compresión de un suelo ya que en este tipo de estudio se considera que el cambio de volumen por la parte sólida o el agua es mínimo, es decir estos dos elementos se reducen en poco porcentaje hasta ser considerado despreciable. Esta reducción de cavidades se da porque al recibir las cargas el suelo, las partículas sólidas se acomodan hasta

---

encontrar una posición final estable. En un material granular las partículas sólidas al interactuar entre estas no tienen una resistencia motivo por el cual un suelo granular se reduce en volumen casi inmediatamente.

Todos los suelos experimentan deformación a consecuencia de un cambio en las condiciones de esfuerzo. Si las oquedades del suelo están en su totalidad llenas de agua, es decir, si se trata de un suelo saturado, la compresión del suelo se dará como resultado del escape del agua contenida en las oquedades. La compresión gradual de un suelo bajo tales condiciones, cuando actúan sobre él fuerzas gravitatorias tales como las producidas por la misma deposición de los estratos o las estructuras levantadas sobre el suelo, se le llama consolidación. Está claro que la facilidad con que se acomodan las partículas se define por el enlace que hay entre estas y no por la geometría de su estructura.

#### 2.4 CURVA DE COMPRESIBILIDAD

Los dos principales parámetros a estimar durante la consolidación serían  $C_c$  y  $C_v$ , los cuales representan al índice y a al coeficiente de compresibilidad respectivamente, el primero te refleja todo el volumen que se logra comprimir por medio de la consolidación y el segundo te estima en cuanto tiempo se logra comprimir cierto volumen, con estos dos datos podemos estimar los cambios que podrían sufrir los suelos a diferentes cargas a lo largo del tiempo. Para el ensayo se hace uso de un odómetro.

Este ensayo de consolidación se expresa en un gráfico semilogarítmico donde participa la relación de vacíos, presiones y deformación a lo largo del tiempo. El gráfico semilogarítmico de  $e$  contra  $\log P$  ó  $\epsilon$  contra  $\log P$ , en el caso de suelos con

---

alto grado de finos (cohesivos) para muestras inalteradas, tienen las siguientes características:

- a) La parte inicial de la curva no tiene un crecimiento considerable que se expresa gráficamente por una pendiente mínima o plana, considerar que estas muestras son extraídas de excavaciones por lo que las primeras cargas son en la mayoría menores a las que ya soportaban antes, se debe tener en cuenta que el suelo al ser saturado y reacomodado recupera volumen mucho más que antes de ser extraída.
- b) La curva va cogiendo pendiente cuando las cargas van aumentando y acercándose a la sobrecarga in situ ( $p_0$ ). Las arcillas que se forman en agua salada son más sensitivas y presentan una mayor pendiente, caso contrario a las pocas sensitivas que son las que se forman en agua dulce.
- c) Más allá del punto  $p_0$ , la gráfica es aproximadamente lineal para arcillas no sensitivas. Para arcillas sensitivas, la curva exhibe alguna concavidad. Ésta pendiente, relativamente fuerte y la característica de concavidad, puede obedecer en parte a un colapso de la estructura a una presión mayor que  $p_0$ .
- d) Si se carga a alguna presión,  $p_1$ , una muestra de suelo inalterada, el proceso de descarga y recarga hace que las curvas formen una curva de histéresis. Se ha encontrado que la curva de recarga toma consistentemente la forma general de la parte inicial de la curva de carga. Cuando el ciclo nuevo de recarga excede de  $p_1$ , la curva de recarga llegará a ser una extensión aproximada de la curva original de carga.

- e) Se debe considerar y analizar el proceso de carga y descarga, este cambio de cargas hace que se forme una curva denominada de histéresis. Si uno realiza el ensayo se puede encontrar con que sea la carga nueva que se coloque, su inicio va a ser el punto inicial de la carga  $p_0$ , es decir al darse la descarga la curva regresa a su punto inicial y al recuperarse con segunda carga esta tomara el mismo camino que la inicial.
- f) Para el caso de una muestra remoldeada, se origina una curva de compresión virgen:
- Para este tipo de muestras la pendiente es menor a la de una muestra inalterada, debemos recordar que esta al ser moldeada posee una estructura más compacta y orientada lo cual evita que se formen cambios repentinos al sufrir cargas.
  - Cuando las muestras remoldeada se descargan, las curvas de histéresis se forman tal como en el caso de las muestras inalteradas.
  - Lo que no varía al ser inalterado o remoldeada es el origen y forma del proceso de formación de la curva de histéresis.
- g) Esta curva logarítmica es dependiente de las cargas que ha sufrido la muestra de suelo previo al ensayo, esto está claro ya que las cargas iniciales en el ensayo son constantes y no todas las muestras han resistido a lo largo de la historia las mismas cargas y ya vimos líneas arriba que la pendiente de la curva depende de lo que ha sufrido antes.
- h) Durante la deposición normal de un suelo se obtiene la curva virgen de compresibilidad.
-

La curva obtenida en el ensayo de consolidación se expresa como la evolución de la sedimentación con el tiempo y la relación del vacío  $e$  vs la presión en escala logarítmica, o la deformación vs la presión en escala logarítmica. A veces, se utilizan gráficos  $e$  vs  $P$  en lugar de gráficos semilogarítmico. Estas figuras muestran las siguientes tres etapas:

- Etapa I: Compresión inicial, principalmente causada por la precarga.
- Etapa II: Consolidación primaria, donde el exceso de presión de poro es gradualmente transferido al esqueleto sólido mediante la expulsión del agua de los poros (presión efectiva).
- Etapa III: Consolidación secundaria, ocurre después de la eliminación total del exceso de presión de poro. En esta etapa el suelo sufre una deformación por reajuste plástico de la estructura del suelo.

Cada aumento de tensión produce una deformación vertical en la muestra de suelo, lo que significa que la relación de vacíos del material disminuye, luego de aplicar una serie de presiones finalmente se obtiene la curva de compresibilidad. Cuando la presión total aplicada a la muestra es mayor que la presión efectiva máxima en el pasado, el cambio de la relación de vacíos será mayor y la relación  $e$ - $\log \sigma'$  es realmente lineal y la pendiente pronunciada. La curva de compresibilidad presenta dos tramos con diferente comportamiento, estos tramos se definen de acuerdo con el historial de esfuerzos, como se desarrollan estos tramos en la curva se dan de la siguiente manera:

- a) Pre consolidación: el tramo AB en la figura 2.2 define esta etapa. A través de la curva se establece el esfuerzo de preconsolidación (esfuerzo máximo

que ha soportado el suelo en estudio, en toda su historia geológica.), que representa la transición entre la consolidación estructurada (recompresión) y es estructurada del suelo. Con el esfuerzo de preconsolidación, se puede definir la relación de preconsolidación (OCR) para un suelo con:

$$OCR = \frac{\sigma'_{Pc}}{\sigma'_v}$$

Dónde:  $\sigma'_{Pc}$  es la presión de preconsolidación de un espécimen

$\sigma'_v$  es la presión vertical efectiva presente

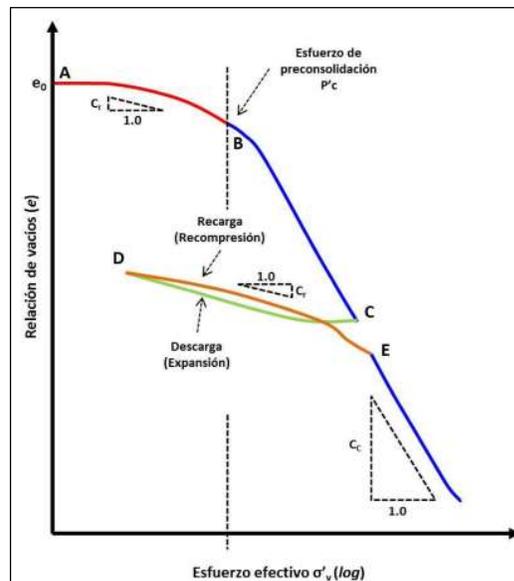


Figura 2.2 Curva de compresibilidad: Relación de vacíos vs logaritmo del esfuerzo efectivo. Fuente: Al-Khafaje, 1992

- b) Normalmente consolidado: es la presión de sobrecarga efectiva presente en el suelo; es decir, teóricamente el suelo nunca ha sufrido esfuerzos efectivos

superiores a los que tiene en el momento de estudio. El tramo BC de la figura 2.2 define esta etapa, una línea recta con una pendiente abrupta denominada índice de compresión (CC).

Las gráficas de consolidación y compresibilidad juegan un papel importante, a partir de ellos se determinan varios parámetros que pueden predecir la velocidad y magnitud del asentamiento formado por la estructura sobre el suelo cohesivo.

- c) Coeficiente de compresibilidad ( $a_v$ ): Expresa la variación de la relación de vacíos con el esfuerzo aplicado.

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma_v}$$

- d) Coeficiente de compresibilidad volumétrica ( $m_v$ ): Definido como el cambio de volumen por unidad de incremento en el esfuerzo efectivo. Las unidades del coeficiente de compresibilidad volumétrica ( $m_v$ ) son inversas a la presión y la variación de volumen puede graficarse en función de la variación de la relación de vacíos o del espesor del suelo.

$$m_v = \frac{a_v}{1+e_0}$$

- e) Coeficiente de consolidación (CV): Representa la velocidad a la que se disipa la presión efectiva una vez aumentada la carga (Flores, 2009). El
-

coeficiente de consolidación generalmente disminuye a medida que aumenta el límite de líquido. También depende de la permeabilidad  $k$  y de la compresibilidad volumétrica del suelo.

Cuando se sobrecarga la muestra, tenemos dos metodologías gráficas de uso común para determinar el  $C_v$  basado en la prueba de consolidación unidimensional que se hace en el laboratorio. Uno es el método de tiempo en escala logarítmica propuesto por Casagrande y Fadum en 1940, el otro es el método de raíz cuadrada del tiempo propuesto por Taylor en 1942. Para calcular el coeficiente de consolidación para cada incremento de carga, use la siguiente expresión:

$$c_v = \frac{T \cdot H^2}{t}$$

dónde:

$c_v$  = Coeficiente de consolidación.

$T$  = Es el factor tiempo cuyo valor para el 50% de la consolidación primaria es de 0.197 y para el 90 % es de 0.848.

$H$  = Longitud del máximo camino de drenaje (espesor del estrato) durante un incremento de esfuerzo. Cuando el drenaje es doble el valor de  $H$  se tomará con la mitad.

$T$  = Tiempo para el factor de tiempo correspondiente, se obtiene de la curva de consolidación.

- f) Índice de compresión (CC): Representa el cambio lineal del índice de vacíos con respecto al logaritmo de los esfuerzos aplicados. Para el cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$C_C = \frac{e_0 - e_{0+1}}{\log e_{0+1}/e_0}$$

$e_0$  = Relación de vacíos para un estado determinado

- g) Índice de compresión secundaria ( $C_\alpha$ ): Luego que se elimina por completo el exceso de la presión de poro, se observa un asentamiento debido al ajuste plástico de la estructura del suelo. A este tipo de compresión se le conoce como consolidación secundaria (véase figura 2.3). El índice de compresión secundaria se define como:

$$C_\alpha = \frac{\Delta e}{\log \frac{t_2}{t_1}}$$

Dónde:

$C_\alpha$  = índice de compresión secundaria

$\Delta e$  = cambio en la relación de vacíos

$t_1$  y  $t_2$  tiempos definidos

- h) Índice de expansión (CS): El índice de expansión está definido por la rama de descarga, y su tamaño es significativamente menor que el índice de compresión, generalmente se determina mediante pruebas de laboratorio utilizando la siguiente fórmula:

$$C_C = \frac{e_0 + e_{0+1}}{\log \frac{e_{0+1}}{e_0}}$$

---

El valor del índice de expansión es de 1/4 a 1/3 del índice de compresión.  
Calcular el valor del índice de hinchamiento es primordial para calcular el asentamiento por consolidación de una arcilla sobreconsolidadas.

- i) Coeficiente de permeabilidad (k): La permeabilidad en suelos cohesivos se calcula según la fórmula mostrada. Se debe considerar que el valor de  $m_v$  es variable y depende del nivel de esfuerzo aplicado al suelo, por lo que el coeficiente de conductividad hidráulica o permeabilidad cambiará.

$$k = C_v \cdot m_v \cdot \gamma_w$$

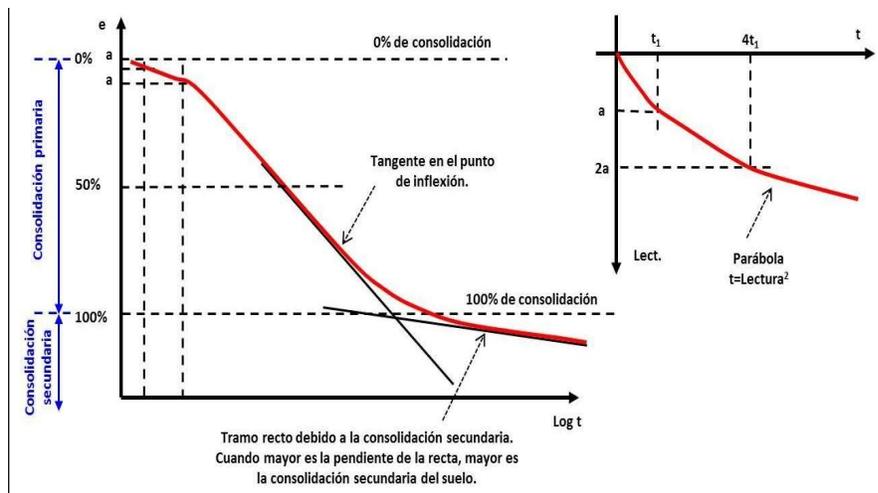


Figura N° 2.3 Determinación del tipo de consolidación y el coeficiente de consolidación secundaria.

Fuente: Leoni, 2008

## 2.5 ETAPAS DE LA CONSOLIDACION

### 2.5.1. Consolidación primaria

Al observar los sedimentos de suelos blandos ubicadas en el fondo de masas de agua (como lagos), se nota que el volumen del suelo disminuirá con el tiempo ya que aumentan las cargas que se acumulan encima de este. Al proceso de reducción de volumen que se produce durante un período de tiempo debido al aumento de la carga en el suelo se denomina proceso de consolidación.

A menudo sucede que, durante el proceso de consolidación, la posición relativa de las partículas sólidas en el mismo plano horizontal permanece básicamente sin cambios; por lo tanto, el movimiento de las partículas del suelo solo puede ocurrir en la dirección vertical. Esta es una consolidación unidireccional o unidimensional. Por ejemplo, en el caso anterior, considerando que la capa depositada tiene una extensión horizontal mayor que su espesor, este tipo de consolidación pertenecerá a este tipo. Por lo tanto, en la consolidación unidimensional, el volumen del suelo se reduce, pero el desplazamiento horizontal de las partículas sólidas es cero.

Si, al final, el material depositado previamente se ubica debajo del lugar donde se construye un edificio, y se observa posteriormente el comportamiento del suelo, es posible notar que el suelo sigue disminuyendo en volumen bajo las nuevas cargas que se le transfiere. Para que el desplazamiento antes mencionado sea considerado nulo no es una idea estricta, esto va a depender de muchos factores. Cuando la capa de arcilla es delgada y está confinada entre estratos de arena o grava o posiblemente materiales más rígidos (partículas de mayor tamaño), o si el estrato de arcilla cuando es considerable, pero con varias capas delgadas de arena, ocurre que la deformación o desplazamiento lateral de la arcilla se restringe tanto que puede considerarse nulo, en comparación a los desplazamientos verticales.

---

Al ver que los espesores de los estratos es un factor que puede despreciarse en ciertos casos, estos estratos pueden aproximarse con un alto grado de confianza mediante el ensayo de consolidación unidimensional, es importante en estos casos que la muestra no sea alterada en lo más mínimo posible para mantener sus propiedades, por lo tanto, que sea una muestra inalterada.

Por lo tanto, se puede calcular el tamaño y la posible velocidad de asentamiento debido a la carga aplicada. Por supuesto, el tiempo para que ocurra la consolidación en las pruebas de laboratorio con una pequeña cantidad de muestra es muy corto en comparación con el tiempo que la capa de arcilla real se consolidará bajo carga estructural. De hecho, al aplicar la teoría a la práctica de la mecánica de suelos, se asume que todas las constantes de consolidación son las mismas en el proceso de laboratorio rápido, mientras que las constantes de consolidación que ocurren en la naturaleza son mucho más lentas. No está claro si este es el caso. Este puede ser uno de los factores que afectan el hecho observado de que el asentamiento previsto es mayor que el asentamiento real.

### 2.5.2. Consolidación secundaria

Este tipo de consolidación es considerada un fenómeno de flujo viscoso. El efecto se da por el deslizamiento progresivo diferido al largo del tiempo, entre las partículas del material que se van acomodando, tendiendo a estados más compactos, para adaptarse a la nueva condición de carga. Es probable que contribuya a la vez alguna clase de flujo plástico de partículas laminares conformadas de suelos finos con mayor presencia de arcilla.

---

Cuando las deformaciones plásticas de las partículas aisladas o los deslizamientos relativos entre ellas se hacen comparables a la velocidad de expulsión del agua del volumen decreciente de los vacíos entre las partículas, es cuando el efecto se hace notable y esto se refleja en las curvas de consolidación, dando lugar al tramo final típico, sensiblemente recto en trazado semilogarítmico.

La velocidad de consolidación secundaria se ve afectada por factores que no están totalmente aclarados a la fecha, más aún no existe un método de análisis del fenómeno con exactitud comparado con la realidad, que sirva para predecir la magnitud de estos efectos en vida real.

## 2.6 LÍMITES DE ATTERBERG

Son también llamados límites de consistencia, los límites de Atterberg se basan en que los suelos finos pueden hallarse en distintos estados, dependen de su propia naturaleza y la humedad que contengan. Es por eso que un suelo se puede encontrar hasta en 4 estados: sólido, semisólido, plástico y líquido o viscoso. Hablamos del contenido de agua ya que este factor es el principal en el estado de la arcilla, por ejemplo, si la humedad es mínima la arcilla se encuentra muy suelta, añadiendo agua adquiere una consistencia parecida a una pasta, y por último si la humedad se aproxima a la saturación toma una consistencia fluida. Se muestra a continuación el cambio de estados y el porcentaje de contenido de humedad que posee la muestra:

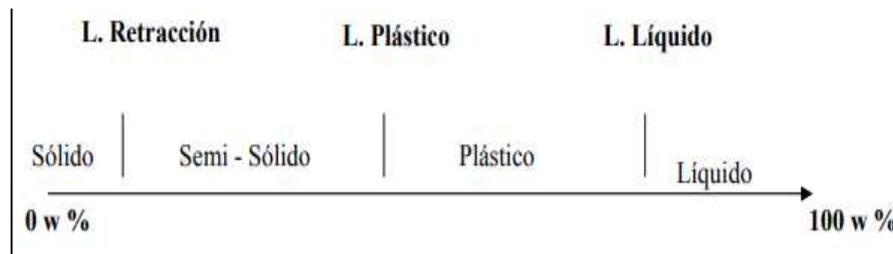


Figura 2.4. Límites de Atterberg.

Fuente: Albert Mauritz Atterberg

Como se observa en la figura anterior, el contenido de agua o humedad es el factor que hace cambiar una muestra de un estado al otro, esta cantidad de agua varía para cada tipo de suelo, dos suelos pueden tener el mismo contenido de agua, pero no van a tener el mismo valor de límite, es por eso que tener un rango de valores para cada tipo de suelo es un aporte interesante en la mecánica de suelos.

Albert Atterberg en el año 1911, formuló un método para calcular estos límites de humedad, los cuales son propiedades que nos sirven para clasificarlos.

### 2.6.1. Utilización práctica de los Límites de Atterberg

Actualmente, los límites de Atterberg es el ensayo con más frecuencia en el laboratorio de mecánica de suelos. Su practicidad radica en el hecho de que debido a que conociendo estos valores es suficiente para dar una comprensión clara del tipo de suelo y sus propiedades. Este es un ensayo rápido y sencillo, es una muy buena opción como ensayo preliminar ante la elección de un ensayo más complejo.

El límite de Atterberg es un tipo de prueba de identificación junto con el análisis granulométrico, sin embargo, si conocemos el tamaño cuantitativo de las partículas finas a través del análisis granulométrico, el límite de Atterberg indica la calidad de estas. El índice de plasticidad, que indica el intervalo de la humedad en que el suelo posee consistencia plástica, el índice de liquidez, indica cuando el suelo natural está por convertirse al estado líquido, estos dos valores son útiles para el análisis del suelo.

a) Índice de plasticidad:

$$IP = L_L - LP$$

b) Índice de liquidez:

$$IL = \frac{W_n - LP}{L_L - LP}$$

Dónde:

- IP: índice de plasticidad
- $L_L$ : Límite líquido
- LP: Límite plástico
- $W_n$ : Humedad natural del suelo

A excepción del límite de retracción, todos los demás límites se determinan en suelos que se han moldeados para así formar una combinación de suelo uniforme entre suelo-agua. Al moldear esta masa con ayuda del agua se pierde toda la estructura interna natural del suelo, destrucción del ordenamiento de las moléculas bipolares de agua, reorientación de las láminas de arcilla, todo esto el suelo adquiere durante su formación por sedimentación o consolidación. Al terminar el moldeado o amasado, las láminas de arcilla recuperan su orientación y las moléculas de agua obtienen ligazón, sin embargo, la estructura natural del suelo no se recupera y esto es explicado en la teoría de suelos remoldeados y las propiedades intrínsecas. Con esto, se determina que los límites no dan información sobre la estructura del suelo o de los enlaces residuales entre partículas.

### 2.6.2. Plasticidad y límites de consistencia

Albert Atterberg definió la plasticidad como la capacidad del suelo para deformarse sin romperse, a su vez, observó que la arcilla es plástica en condiciones húmedas y se vuelve muy dura en condiciones secas; el limo es un suelo fino, pero no es necesariamente plástico y se vuelve menos duro en condiciones secas; finalmente en condiciones sueltas y secas, las arenas son frágiles. También observó que hay arcillas muy y poco plásticas. La porción de suelo que pasa por el tamiz No. 40. es lo que se usa para calcular los límites de Atterberg.

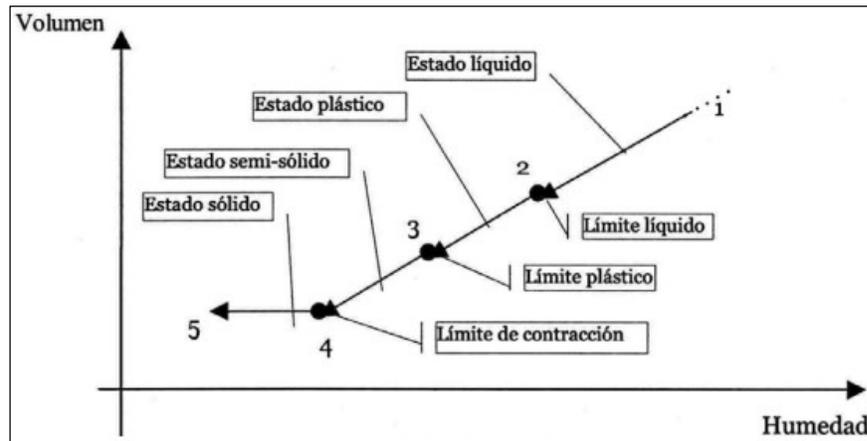


Figura N° 2.5 Trayectoria humedad-volumen de un suelo amasado

El límite de contracción es el límite entre el estado sólido y semisólido, que se referencia al contenido de humedad necesario para lograr el cambio de los estados mencionados. Llène todos los huecos en la almohadilla de tierra seca, este contenido de humedad máximo es tal que si se reduce un poco la humedad aun así el suelo no pierde volumen. El límite entre el estado semisólido y plástico se llama límite plástico, que se obtiene midiendo el contenido de humedad del suelo el molde de cilindro con diámetro de 3 mm comienza a formar grietas. El límite entre el límite plástico y el límite líquido se llama límite líquido y se determina midiendo la humedad en el suelo cuando se logra cerrar una ranura de 13 mm de largo con la aplicación de 25 golpes.

Atterberg encontró que la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, denominado índice de plasticidad (IP), representaba una medida satisfactoria del grado de plasticidad de un suelo. Luego sugirió que estos dos límites sirvieran de base en la clasificación de los suelos plásticos. Acorde al valor del índice de plasticidad, distinguió los siguientes materiales.

Atterberg descubrió que la diferencia de valores entre el límite líquido y el límite plástico al cual llamamos índice de plasticidad (PI), es un valor de confianza para representar que tan plástico es un suelo. Es por eso que para clasificar el grado de plasticidad de un suelo se tienen que tener en consideración estas dos propiedades. Con la experiencia analizando muestras de suelos logro brindarnos unos valores de índice de plasticidad con los que podemos referenciarlos para identificar qué tipo de suelo es, estas referencias son las siguientes:

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

Todos los límites se expresan en porcentaje de agua contenida sobre suelo seco.

### 2.6.3. Límite líquido

Atterberg fue el que inicio los estudios sobre el limite liquido sin embargo estos conceptos han hecho que la determinación de este valor varíe con el tiempo, en el año de 1927 fue Terzaghi quien sugirió a Casagrande que diseñara un dispositivo mecánico que pudiera eliminar en la medida de lo posible los errores del operador en la determinación del mismo.

Es así que Casagrande diseño y desarrolló un dispositivo basado en la norma UNE 103-103-94 (norma española). El valor del límite líquido usado fue el contenido de humedad que tiene un suelo moldeado con ayuda de agua y

---

colocado en una cuchara normalizada, luego se hace una abertura mediante un acanalador normalizado que separa al suelo en partes iguales, se cierra a lo largo del fondo en una longitud de 13 mm, después de haber dejado caer 25 veces la cuchara desde una altura de 1 cm sobre una base normalizada, considerar que los golpes o caídas son 2 por segundo. Es obvio que este procedimiento va a depender de la persona que lo aplica y de los equipos usados, lamentablemente en este proceso no se puede evitar la influencia de lo mencionado.

Para entender el significado de las pruebas con los equipos desarrollados por Casagrande, se puede decir que con golpes secos se pierde la resistencia al corte dinámico de la pendiente de la abertura, dando como resultado una estructura de flujo que producirá deslizamientos, es decir que el proceso de juntarse el suelo no sería el verdadero sino forzado (Ver figura N° 2.6). La resistencia a la deformación se puede considerar como la resistencia al corte del suelo. La resistencia al corte de todos los suelos en el límite líquido es constante, alrededor de 2,2 kPa.

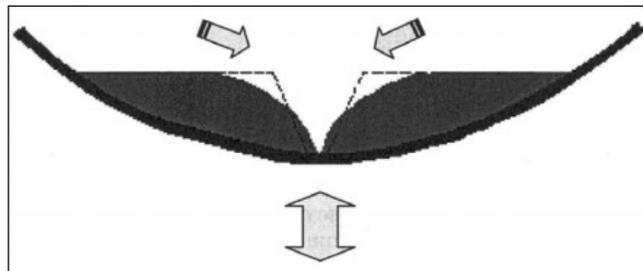


Figura N° 2.6 Deslizamiento de un suelo en el límite líquido

Una vez establecido 0,117 como pendiente más probable de los distintos grados de humedad de un mismo suelo, independientemente de su origen geológico (Eden, 1959), la determinación del límite líquido se simplificó en gran parte.

Así pues, para obtener el límite líquido de un suelo primero se deberán representar los resultados en una doble escala logarítmica en la que figure en abscisas el número de golpes y en ordenadas la humedad. Una vez dibujados, bastará con trazar una recta de pendiente -0,117 que mejor se adapte a los puntos representados y la humedad del punto de corte con la ordenada correspondiente a los 25 golpes nos dará el límite líquido. No obstante, con la intención de llegar a un equilibrio en la economía, según la norma UNE 103-103-94, bastará con obtener una determinación entre 25 y 15 golpes y otra entre 35 y 25. La recta de pendiente -0,117 se trazará de la forma que mejor se adapte a estos dos puntos.

Existe un método que no pertenece a la norma, este método consiste en utilizar un solo punto y, por tanto, sólo requiere un solo ensayo de golpeo. Por dicho punto se traza una paralela a la recta de pendiente -0,117 hasta cortar a la ordenada correspondiente a los 25 golpes, este método ha sido estudiado y se ha demostrado que tiene más exactitud que el de los 3 puntos. La explicación es que el primer método se apoya en una recta obtenida mediante métodos estadísticos, y libre, por tanto, de errores accidentales, mientras que en el segundo los tres puntos están sujetos a estos errores, y además la recta se traza de forma aproximada. Naturalmente, lo más exacto sería trazar la paralela a la recta dada que mejor se adaptara al máximo número de puntos, pero hay que llegar a un equilibrio con la economía, por lo cual se utilizan ahora dos puntos. Norman (1958)

llegó a la conclusión que el método de un punto era tan exacto como el de los tres puntos descrito, excepto para suelos con límite líquido superior a 120%.

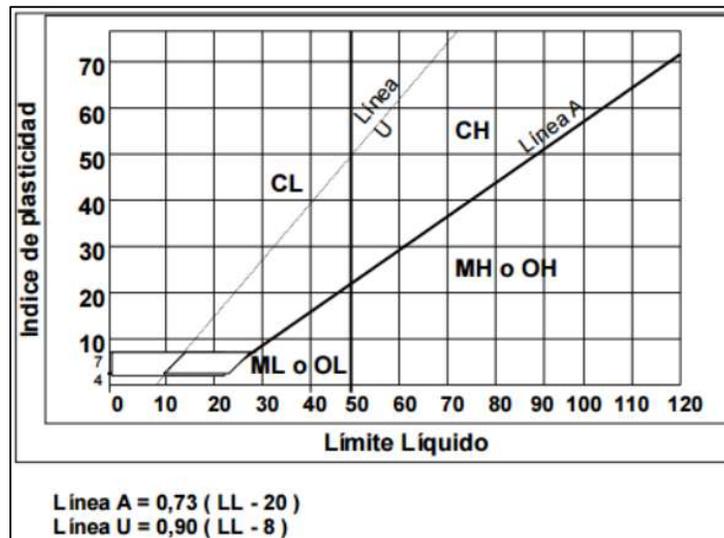


Figura N° 2.7 Carta de plasticidad de Casagrande (ASTM D-2487-93)

Fuente: Modificado de Craig y Knappett (2012)

## 2.7 ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL

Se realiza una prueba de consolidación unidimensional estándar en muestras labradas en forma de cilindro plano o aplastado, es decir, la altura del cilindro es pequeña en comparación con su diámetro. Se hace uso de un anillo preferiblemente de material bronce el cual confina lateralmente a la muestra. En ambos lados del anillo, tanto arriba como abajo se colocan dos piedras porosas; la sección transversal de la piedra preciosa es circular y el diámetro es un poco más pequeño que el diámetro interior del anillo.

El anillo y piedra porosa que confinan a la muestra se colocan en la cazuela de un consolidómetro. El consolidómetro mostrado es el de tipo de "anillo flotante", este

modelo es el más usado y es llamado flotante porque el anillo se puede desplazar durante el proceso de consolidación del suelo. La carga se aplica a la muestra a través del marco de carga y la carga se distribuye uniformemente por toda el área de la muestra a través de un dispositivo formado por una esfera metálica y una placa colocada en la piedra porosa en la parte superior de la muestra protegiendo así a la piedra y una aplicación de la carga en otro eje que no sea el vertical. El extensómetro se apoya en un bastidor de carga móvil y se conecta a una placa fija para registrar la deformación del suelo (mide el desnivel). Aplique la carga de forma incremental para que cada incremento pueda funcionar durante el tiempo suficiente para reducir la velocidad de deformación hasta casi un valor de cero.

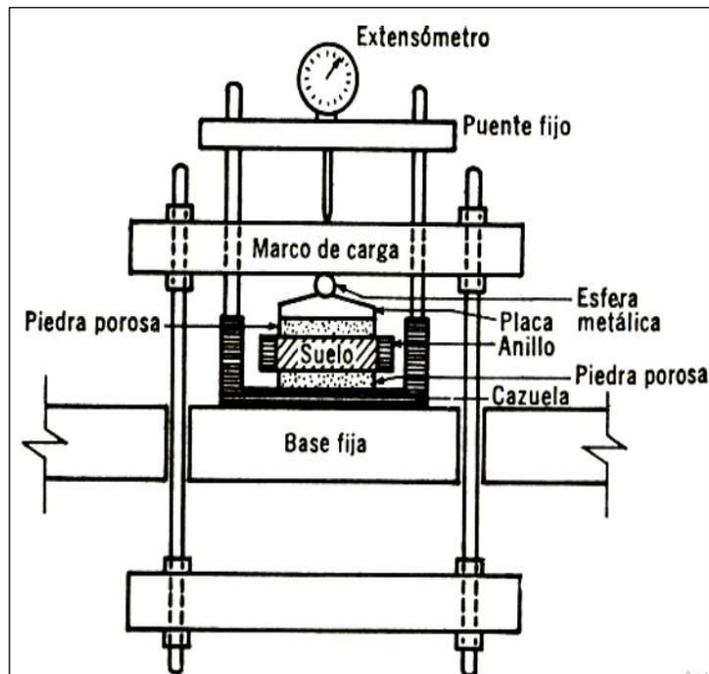


Figura N°2.8. Detalle de la colocación de la muestra en el consolidómetro de anillo flotante

Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de Suelos. Pág. 248

En la figura 2.9., se muestra un esquema de cómo es la colocación de la muestra en el instrumento de consolidación de anillo fijo, esta prueba es muy poco requerida en los laboratorios, son realizadas para cuando se desea conocer la permeabilidad simultáneamente con la prueba de consolidación.

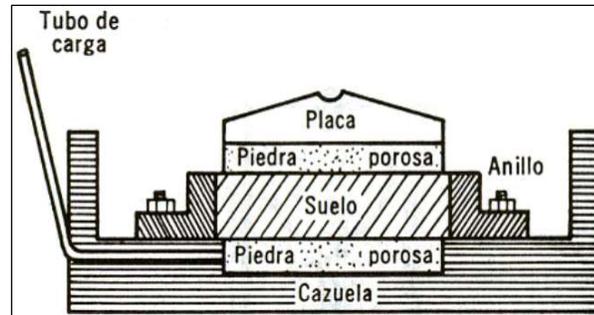


Figura N° 2.9 Detalle de la colocación de la muestra en el consolidómetro de anillo fijo.

Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de Suelos. Pág. 250

En cada incremento de carga, tome una lectura en el extensómetro para comprender la deformación correspondiente a diferentes tiempos. Los datos de estas lecturas se representan en un gráfico, en donde el valor del tiempo transcurrido está en una escala logarítmica como la abscisa (eje x) y la lectura del extensómetro correspondiente está en una escala natural (eje y). Estas curvas se denominan curvas de consolidación y se obtiene una por cada incremento de carga aplicado. La Figura 2.10 muestra la forma típica (no dibujada a escala) de una de las curvas.

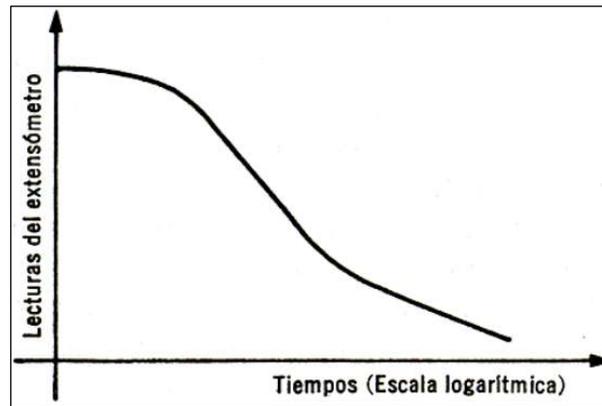


Figura N° 2.10 Forma típica de la curva de consolidación en arcillas  
Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de Suelos. Pág. 251

Estrictamente hablando, la prueba de consolidación que se hace en el instrumento de consolidación, hace que el volumen de la muestra se reduzca debido al acortamiento de la altura, pero la sección transversal no cambia, por lo que, considerando la definición de deformación volumétrica y deformación desviadora, se puede ver que ambos sucedieron; a cada nuevo volumen de la muestra corresponde a una nueva forma. Esta prueba es aceptable debido a su simplicidad, por otro lado, todo parece indicar que la compresibilidad volumétrica del suelo en el consolidómetro es similar a la compresibilidad mostrada en condiciones ideales con la misma presión aplicada igualmente en todas las direcciones, quizás en muestras esféricas.

Una vez que el suelo alcance su deformación máxima bajo el aumento sucesivos de carga, la relación de vacíos será obviamente menor que la que tenía al inicio, que se puede determinar en base a los datos iniciales de la muestra y la lectura del extensómetro. Por lo tanto, por cada incremento de carga aplicado,

eventualmente habrá un valor de relación de vacíos y otro del valor de la presión correspondiente actuando sobre la muestra en ese momento. En definitiva, en toda la prueba, una vez aplicados todos los incrementos de carga, existen unos valores que pueden formar un gráfico, en la abscisa y del gráfico se expresa el valor de la presión aplicada en escala natural o logarítmica, y en su ordenada x el valor de la relación de vacíos ( $e$ ) en escala natural. Estas curvas se denominan curvas de compresibilidad y se obtienen en una prueba de consolidación completa. Las formas típicas de estas curvas se muestran en la Figura 2.11a y 2.11b.

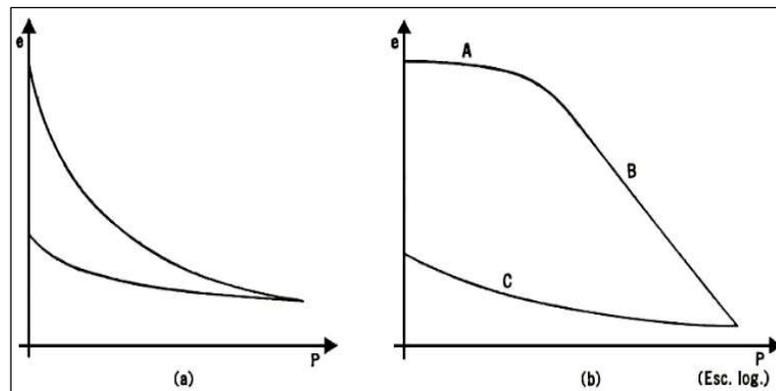


Figura N° 2.11 Forma típica de la curva de compresibilidad en  
suelos compresibles

a) Representación aritmética b) Representación logarítmica

Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de Suelos. Pág. 251

Generalmente, se definen tres partes diferentes en la curva de compresibilidad. La parte A es una parte curva, que comienza casi en dirección horizontal, y su curvatura es gradual, llegando al máximo en el cruce con la parte b. La parte b suele ser una parte muy recta, y su final se incrementa aplicando la carga máxima

durante la fase de carga de la prueba, que corresponde a la presión máxima sobre la muestra.

En este momento es donde la muestra se somete a la segunda etapa en la prueba de consolidación, la etapa de descarga. En esta etapa, la carga en la muestra se reduce continuamente y el tiempo de cada reducción es lo suficientemente largo como para reducir realmente la velocidad de deformación prácticamente a cero; en esta etapa, la muestra se recupera, sin embargo, nunca alcanza su relación de vacíos inicial. A esta etapa corresponde la parte c de la gráfica, donde la muestra se somete a una última carga casi nula.

### 2.7.1. **Ensayo de consolidación en laboratorio**

La razón para realizar una prueba de consolidación es para hallar la reducción de volumen y la velocidad con que se produce, en una muestra de suelo, confinado lateralmente por el anillo y sujeto a una carga axial. Mientras se va ejecutando la prueba se somete esta muestra a un conjunto continuo de incrementos crecientes de carga axial y, por lo que el agua que posee la muestra tiende a salir a través de las piedras porosas colocadas en sus caras superior e inferior. La variación de volumen se registra con ayuda de un micrómetro el cual está montado en un puente fijo y conectado a la placa de carga sobre la piedra porosa superior.

Cada incremento de carga que se aplicada registra un cambio volumétrico, con intervalos apropiados para poder registrar las mediciones. Los datos registrados conducen a la obtención de la curva de consolidación. Dibujando las lecturas del micrómetro como ordenadas, en escala natural y los tiempos, como abscisas, en

---

escala logarítmica, se logra que la curva de consolidación obtenida en el laboratorio sea fácilmente comparable con la curva teórica, lo cual permite establecer, toscamente, el grado de aplicabilidad de las teorías al problema específico tratado.

Es muy probable que, en suelos arcillosos con valor de plasticidad alto, se encuentre una relación con hasta un 60% ó 70% de consolidación; cuando los valores superan estos límites, la curva que se obtiene en el laboratorio tiende a hacerse asintótica a una recta inclinada respecto a la línea horizontal por el valor 100% de consolidación que se obtiene de la curva teórica. Esta desviación es a causa de la consolidación secundaria y esta deformación adicional se supone que se origina por un reajuste de las fuerzas de fricción en el interior de la masa de suelo ensayado. El cambio de volumen secundario es relativamente pequeño (aun cuando los incrementos de cargas son representativos) en comparación con el con el cambio de volumen que se da en el efecto primario por expulsión del agua de la muestra, este cambio de volumen secundario solo se considera cuando ya se ha realizado toda la deformación primaria.

En las curvas de consolidación que se generan en cada incremento de carga se elige un valor de tiempo al azar, tal que las lecturas del micrómetro en las diferentes curvas caigan ya más allá de la gráfica para el período de consolidación primaria. La presión y la lectura del micrómetro correspondientes a ese tiempo proporcionan los datos de partida para el trazado de las curvas de compresibilidad. Se muestra la curva de compresibilidad en la figura 2.12 con dos procesos de carga y descarga consecutivos.

---

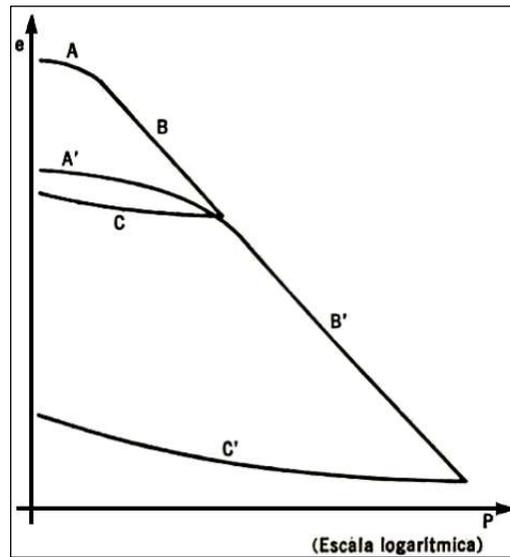


Figura N° 2.12 Curva de compresibilidad

Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de Suelos. Pág. 252

2.7.1.1. **Equipos para la prueba de consolidación en laboratorio:**

- Consolidómetro, incluyendo el anillo para la ubicación de la muestra.
- Deformímetro de carátula con lectura de 0.01 mm de precisión
- Equipo de cargas
- Cronómetro de bolsillo o de pared
- Equipo adicional tal como cortadores para labrar el espécimen, taras, hornos y balanzas.

2.7.1.2. **Descripción del mecanismo de transmisión de carga y calibración del aparato:**

La carga es aplicada colocando pesos en una ménsula ubicada al del extremo de la viga de carga. Esta carga es transmitida hacia el marco mediante un cable

apoyado en una rótula fija con radio  $r_1$ , ligada al pedestal del aparato. Esta viga de carga tiene un giro en torno a la rótula. La relación del brazo de palanca de la ménsula de carga,  $r_2$ , y del radio  $r_1$ , antes mencionado, mayormente es del orden de 10 y ésta es la relación múltiplo de cargas del equipo.

El peso de la viga y la ménsula de carga son balanceadas con un contrapeso A. El peso del marco de carga es balanceado, así mismo, con ayuda del contrapeso B. La posición del marco de carga respecto a la cazuela puede ajustarse con ayuda de tuercas ubicadas en las barras laterales del marco.

Para que el equipo se utilice con precisión, obtenga una curva de calibración; es decir, sin una muestra, se puede dar una curva correctamente deformada (generar curva sin ayuda de cargas, peso propio del equipo). Estas deformaciones se deben restar de las deformaciones obtenidas en el ensayo para obtener únicamente la deformación propia de la muestra. La curva generalmente se obtiene realizando una prueba de consolidación en un grupo de piedras porosas, placas de carga, etc. (sin muestras), y luego trazando las lecturas del micrómetro en relación con la carga correspondiente (generalmente en escala aritmética). La figura 15 muestra un esquema del dispositivo de transferencia de carga del instrumento de consolidación.

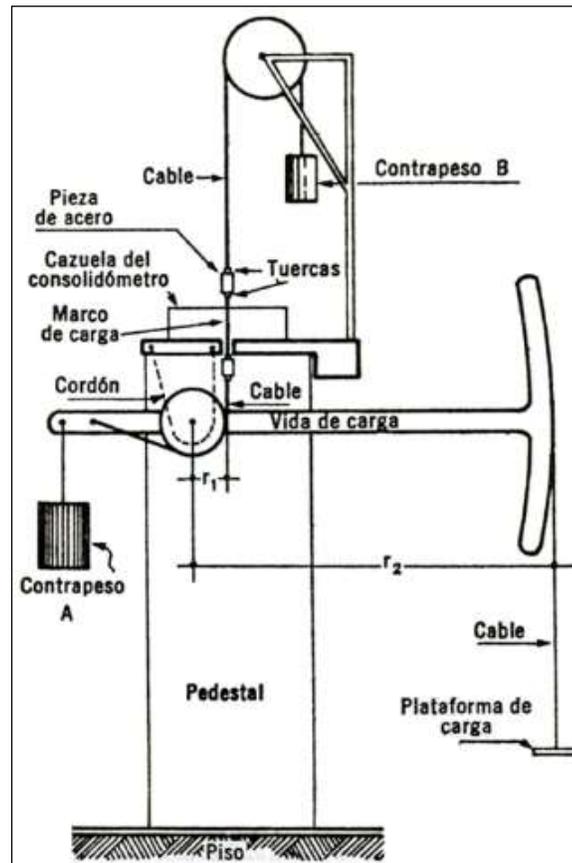


Figura N° 2.13 Esquema del mecanismo de transmisión de carga de un consolidómetro

Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de Suelos. Pág. 251

### 2.7.1.3. Preparación de la muestra:

Para preparar una muestra inalterada se requiere obtener un volumen que encaje en el anillo de consolidación. Con el objeto de que esta muestra a ensayar encaje perfectamente en el anillo, se recomienda utilizar un equipo de corte adecuado. Para evitar la evaporación, se recomienda preparar las muestras en una habitación húmeda. Al preparar una muestra consolidada, es necesario formar una muestra representativa para determinar el peso específico relativo y también es

obligatorio calcular los límites de plasticidad ya que con estos valores se puede clasificar al suelo. El proceso detallado de recolección de muestras para las pruebas de consolidación debe ser el siguiente:

- a) Determinar y anotar el peso propio del anillo para confinar la muestra. Hacer lo mismo con el área y la altura del anillo.
  - b) Colocar una masa de arcilla inalterada del tamaño apropiado en el anillo de consolidación y, girando el anillo, cortar la muestra con un cortador hasta sus dimensiones correctas. En arcillas blandas resulta bien hacer girar el anillo manualmente, retirando el material sobrante con ligeros cortes de ajuste; en materiales duros puede hacerse necesario manipular la muestra mecánicamente, ajustándola al anillo, después de haber obtenido un cilindro del diámetro apropiado; en este caso debe tenerse cuidado de que la muestra no pierda agua por evaporación. Continúese el labrado de la muestra hasta que su base sobresalga algo por la cara inferior del anillo.
  - c) Retirar la porción de la muestra que sobresalga por la cara superior del anillo, hasta lograr una superficie continua a nivel; para esto puede usarse un pedazo de alambre, en muestras suaves, o un cuchillo para muestra más duras; afinar cuidadosamente usando una regla metálica recta.
  - d) Anotar una muy cuidadosa y detallada descripción de la muestra.
  - e) Usando una balanza, pesar cuidadosamente el conjunto de la muestra y el anillo.
  - f) Colocar y centrar cuidadosamente las piedras porosas ligeramente
-

humedecidas en las bases del anillo, presionándolas muy suavemente contra la muestra, a fin de lograr que se adhieran.

- g) Colocar ahora con cuidado el anillo en la cazuela del consolidómetro, cuidando que el anillo ya no sufra ningún movimiento, una vez colocado.

**2.7.1.4. Procedimiento de la prueba de consolidación:**

- a) Retirando el pequeño peso actuante sobre el marco de carga, colocar en la ménsula el primer incremento de carga, evitando que el marco cause impacto sobre la muestra y usando los pesos apropiados. Anotar esa carga. La magnitud de la presión a que primeramente se sujete la muestra depende de varias consideraciones. Debe escogerse una carga bastante pequeña, tal que dé una presión que haga que la muestra no fluya a través del espacio libre entre la piedra porosa y el anillo. Además, puesto que en la teoría se suponen constantes tanto la relación de vacíos como el coeficiente de permeabilidad durante el tiempo en que actúa el incremento de carga, no se tendría buena concordancia entre las curvas de laboratorio y la teoría si se escogieran incrementos de carga demasiado grandes.
- b) Por otra parte, si los incrementos son demasiado pequeños, la consolidación secundaria, que es independiente de la magnitud de ellos haría poco notorios los efectos primarios. Después de que la muestra haya sido consolidada bajo el primer incremento, cada incremento sucesivo será tal que la carga se vaya duplicando. En suelos muy blandos es conveniente dividir la colocación de la primera carga en cuatro etapas, con media hora

de intervalo y colocando cada vez una cuarta parte de la carga. Al colocar las cargas en la ménsula deberá siempre evitarse el impacto. Las pesas con ranuras, de uso común, deben colocarse con sus ranuras cuatropedadas, para evitar su deslizamiento de la ménsula, por inclinación de ésta.

- c) Observar y anotar las lecturas del micrómetro en intervalos de tiempo adecuados. Es útil la siguiente secuencia: 6 segundos, 15 segundos, 30 segundos, 1 minuto, 2 minutos, 4 minutos, 8 minutos, 15 minutos, 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 4 horas, 8 horas, etc. No es fundamental ceñirse a una cierta secuela, pero sí lo es medir correctamente el tiempo transcurrido desde el principio hasta el instante en que se hace cada lectura.
  - d) Dibujar la curva de consolidación (trazo semilogarítmico).
  - e) Una vez que en la curva de consolidación se define claramente el tramo recto de consolidación secundaria, se considera que se ha completado la primaria; proceder entonces a la colocación del segundo incremento de carga, repitiendo los puntos 3 y 4. Y así proceder sucesivamente hasta completar la prueba en lo referente a ciclo de carga.
  - f) Observando todas las curvas de consolidación obtenidas, seleccionar un tiempo correspondiente a un punto que caiga en el tramo de consolidación secundaria de todas ellas. Anotar las presiones y las lecturas del micrómetro, usando las curvas correspondientes a ese tiempo escogido, interpolando en las curvas. Estos datos pueden dibujarse en trazo semilogarítmico, con las presiones en escala logarítmica y las lecturas en escala natural. La forma de la curva así obtenida es similar a la de la curva de compresibilidad, que se dibujará posteriormente. Del análisis de la curva
-

es posible ver si la prueba se ha desarrollado lo suficiente para los propósitos que se persiguen. Siempre que sea posible, es deseable continuar aplicando incrementos de carga hasta que la porción recta del trazado semilogarítmico recién dibujado, se defina netamente. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que los consolidómetros normales tienen una capacidad máxima en la ménsula de carga, de 100 a 150 kg.

- g) Una vez aplicados todos los incrementos de carga necesarios, según la información proporcionada por la curva presión-lecturas del micrómetro, mencionada en el paso 6, quitar las cargas en decrementos; generalmente se quitan las tres cuartas partes de la presión total en el primer decremento y después, en cada uno de los restantes, se retira la mitad de la carga que reste.
  - h) Hacer lecturas en diferentes tiempos para cada carga actuante en el ciclo de descarga, dibujando las curvas de expansión, análogas a las anteriores de consolidación. El criterio para fijar el tiempo en el que se hagan las remociones de carga sucesivas, es el mismo que el establecido para la aplicación de los incrementos en el ciclo de consolidación.
  - i) Después de retirar toda la carga, permitir que la muestra se expanda descargada durante 48 horas o, preferiblemente, hasta que no se registre expansión en el micrómetro en un período de 24 horas. Si se deseara someter a la misma muestra a otros ciclos de recompresión y repetir las etapas 1 a 8.
  - j) Al terminar la prueba, quitar el micrómetro y desarmar el consolidómetro. Cuidadosamente secar el agua del anillo de consolidación y de la superficie
-

de la muestra, cubriendo la muestra y el anillo, luego pesar el conjunto (anotar el dato como: tara más suelo húmedo).

k) Secar la muestra en horno y obtener su peso seco.

## CAPÍTULO III: ESTADO DEL ARTE

### 3.1 ECUACIONES DEL ÍNDICE DE COMPRESIBILIDAD

La correlación entre el índice de compresión y las propiedades del índice del suelo, basándose en resultados que sustenten su uso, son relativamente pocos. Las ecuaciones restantes solo se aplican a ciertas áreas. El índice de compresión representa la pendiente de la curva que relaciona vacíos  $e$  vs el logaritmo del esfuerzo efectivo  $p$ . Se tiene como data algunas ecuaciones formuladas empíricamente basándose en resultados de ensayos de consolidación, relacionando el índice de compresión con el límite líquido, la relación de vacíos del suelo, humedad y con otras propiedades que se derivan de las mencionadas. La razón por la cual han sido elegidas estas propiedades como base son la rapidez con la que se obtienen en ensayos estándar y porque guardan una relación con la capacidad de absorción de agua que es lo mismo que sucede en el ensayo de consolidación.

Skempton realizó pruebas de consolidación en muestras de suelo remodeladas para probar diferentes tipos de arcillas con un contenido de agua inicial cercano al límite líquido. El obtuvo como conclusión que entre el índice de compresión  $C_c$  y el límite de líquido existía una relación que se muestra a continuación:

$$C_c = 0.007 * (L_L - 10) \dots\dots\dots 3.1$$

Donde,  $C_c$  corresponde a la pendiente de la curva virgen de compresibilidad del suelo remoldeado.

---

Años después, basándose en el trabajo de Skempton et al., Terzaghi y Peck sugirieron que la ecuación planteada por Skempton debería modificarse para el uso en arcillas normalmente consolidadas de media o baja sensibilidad (valores de sensibilidad entre 1 y 30). Descubrieron que el  $C_c$  de una arcilla normalmente consolidada es aproximadamente 1,3 veces el valor de  $C'_c$  remodelado. Es decir, el esfuerzo el esfuerzo axial aplicado en un ensayo de compresión para obtener una deformación vertical, para el caso de una arcilla natural es mucho mayor que para una arcilla moldeada a una humedad constante. La relación resultante es la siguiente:

$$C_c = 0.009 * (L_L - 10) \dots\dots\dots 3.2$$

Según lo mostrado, en donde se pone énfasis en la sensibilidad y se llega a la importancia de considerar el esfuerzo-deformación y en la pendiente de las curvas de compresibilidad, Nishida desarrollo la siguiente ecuación:

$$C_c = 1.15 * (e_r - e_0) \dots\dots\dots 3.3$$

Donde:

- $e_0$  = relación de vacíos antes de aplicar la presión
- $e_r$  = relación de vacíos donde la compresibilidad se mide el índice de compresión en la porción virgen de la curva de compresibilidad.

Nishida con el fin de simplificar la ecuación formulada parte de asumir un valor para  $e_0$ . Elige el menor valor para  $e_0$  que según estudios sería de 0.35 para morrena glacial, la cual es un material virgen y sin estratificaciones formado de Till. Este valor lo asigna pensando en obtener una ecuación universal y pone el caso extremo de un material sin vacíos. Se obtiene:

---

---

$$C_c = 1.15*(e_r - 0.35) \dots\dots\dots 3.4$$

Nishida se refiere a la ecuación 3.4 como la relación fundamental del índice de compresibilidad y la relación de vacíos, y establece que puede ser usada para cualquier tipo de suelo, expresando la ecuación 3.5 en términos de la relación de vacíos natural ( $e_n$ ) como sigue:

$$C_c = 0.54*(e_n - 0.35) \dots\dots\dots 3.5$$

Hough reconoció que la curva virgen para especímenes de diferentes tipos de suelo exhibe un patrón de convergencia, lo cual indica de forma general que la compresibilidad varía con la relación de vacíos inicial (el hecho de que las curvas vírgenes remoldeadas para un suelo dado convergen en un punto, es actualmente bien conocido). Schumertmann encontró que la relación de vacíos para el punto de convergencia es aproximadamente igual a  $0.4e_n$ . Hough realizó ensayos en especímenes remoldeados de diferentes tipos de suelos y encontró que existe una relación lineal entre  $C_c$  y  $e_r$  que se puede expresar de la forma:

$$C_c = a*(e_r - b) \dots\dots\dots 3.6$$

Basándose en resultados, Hough concluye que el término  $a$  de la ecuación 3.6, la que grafica la pendiente, depende en gran parte de la estructura y forma de las partículas, tamaño y grado de homogeneidad de forma (gradación). A su vez, llega a la conclusión que el término  $b$  es relativamente una aproximación cercana de la relación de vacíos mínima que se tiene bajo situaciones comunes. Hough ha señalado que  $C_c$  alcanza un valor de cero cuando la curva de compresibilidad se vuelve asintótica a relaciones de vacíos igual al valor mínimo y no a cero. Hough

calculó el valor de  $a$  y  $b$  para así obtener el valor de  $C_c$  en diferentes tipos de suelos.

Por otro lado, Cozzolino se limitó a usar resultados de pruebas en condiciones limitadas o en casos de suelos bajo una temperatura fija, esto llevó a que concluya que no existía una relación estadística significativa entre  $C_c$  y la relación de vacíos, humedad y límite líquido. Finalmente, al no encontrar una relación directa y simple entre estas propiedades con el  $C_c$ , Cozzolino decidió usar métodos de regresión múltiple y así logró concluir que  $C_c$  puede ser dependiente directo de ambas variables.

Al tener todas estas ecuaciones que buscan obtener el mejor resultado para predecir el valor de  $C_c$ , Azzouz en compañía de otros investigadores compararon los resultados de regresión lineal de pruebas de consolidación con los resultados empíricos obtenidos por otros investigadores. Lo que estos investigadores en su mayoría presentan es que  $C_c$  se expresa en se relaciona directamente con la relación de vacíos in situ  $e_n$  por medio de simples modelos de regresión lineal y que según Azzouz el introducir otras variables como el  $L_L$  no aumenta la efectividad en la aproximación para obtener un  $C_c$  confiable. Por lo tanto, esta investigación de Azzouz apoya lo que plantea Nishida de 1956. La selección de variables independientes en su estudio fue realmente arbitraria.

Sin embargo, Lambe y Whitman llegaron a concluir que la relación entre los límites de Atterberg y  $C_c$  son solo valores aproximados. Para llegar a esta conclusión se basaron en datos de pruebas disponibles para diferentes tipos de suelos finos naturales, también analizaron a otros investigadores como Skempton y Nishida diciendo lo siguiente: "algunos suelos no obedecen la tendencia ya que los

---

coeficientes deben ser determinados para cada tipo de suelo en el cual  $C_c$  va a ser estimado”.

Esta conclusión se demuestra para los suelos finos de Perú ya que la relaciones y comparativas de estas con otras ecuaciones de otros países hacen notar que la dependencia y efectividad de resultados aumenta cuando se trabajan con propiedades índices propias de la zona y no con propiedades de otros lugares.

Al pasar de los años, el interés por predecir el índice de compresibilidad hace que Azzout Et Al (1976), declara que se obtiene una correlación más eficiente con un error mínimo cuando se hace dependiente con más de una propiedad índice y no sólo con una como los investigadores anteriores. Las ecuaciones para predecir el índice de compresibilidad en suelos finos dependiente de dos propiedades son las siguientes:

$$C_c = 0.37 * (e_n + 0.003 * (L_L - 0.34)) \dots\dots\dots 3.7$$

$$C_c = 0.009 * W_n + 0.002 * L_L - 0.14 \dots\dots\dots 3.8$$

Estas relaciones que plantea Azzout arrojan un coeficiente de correlación de 0.86 y 0.81, con errores aproximados de 0.74 y 0.085 cada una, dando por conclusión que al relacionar el índice de compresibilidad con la humedad y el Limite Líquido brinda un valor más confiable, esto es de suponerse ya que ambas propiedades están basadas en la cantidad de agua presente al momento de ser analizada la muestra.

Herrero en el año de 1983 anunció la relación (Al-Khafaji et al, 1992):

$$C_c = 0.141 * G_s * \left( \frac{Y_w}{Y_d} \right)^{12/5} \dots\dots\dots 3.9$$

Donde  $\gamma_w$  es el peso volumétrico del agua,  $\gamma_d$  es el peso volumétrico del suelo seco y  $G_s$  es la densidad de sólidos. En otras palabras, esta relación es una dependencia directa de la presencia de agua inicial en el suelo.

Nagaraj y Srinivasa Murthy en el año de 1985 hallaron que la humedad del suelo inicial o contenido de agua y el límite líquido son propiedades índice muy representativas en el estudio de las arcillas. Con esta idea, cuando el suelo aún no se ha sido sometido a una serie de esfuerzos y carece de cualquier tipo de presiones bajo suelo o cimentación, la humedad inicial es un estado límite.

Burland (1990) propuso por primera vez el concepto de propiedades "intrínsecas" para describir las características de resistencia y deformación de las arcillas reconstituidas, que se puede utilizar como una base para referenciar las características correspondientes de los sedimentos arcillosos naturales. Las propiedades de la arcilla reconstituidas se denominan "intrínsecas", que se refiere al hecho de que es propio del suelo y no tienen nada que ver con el estado natural. Esto significa que sus propiedades propias solo deben estar relacionadas con la composición y composición del suelo, y no verse afectadas por su estructura.

En el año de 1990, F. M. Abdrabbo propuso un estudio para evaluar estadísticamente la compresibilidad de la arcilla egipcia, que tiene propiedades exponenciales como el contenido de agua natural (humedad inicial) y la porosidad in situ (relación de vacíos). Estas correlaciones son útiles para determinar las propiedades mecánicas de la arcilla a través de pruebas estándar en muestras inalteradas. En esta investigación, Abdrabbo tomó muestras de arcilla totalmente saturadas e inalteradas, las cuales fueron extraídas con tubos Shelby de paredes delgadas. A partir de pruebas de consolidación realizadas a una buena cantidad

---

de muestras de suelos normalmente consolidados, se obtuvo la siguiente correlación mediante el método de análisis de regresión lineal:

$$C_c = 0.0063 * (W_L - 10) \dots\dots\dots 3.10$$

Dónde:  $W_L$  debe estar entre los valores mayores 10% y menores a 110%.

### 3.2 COMPARACIÓN ENTRE ECUACIONES EXISTENTES

Luego de conocer la secuencia de investigaciones que se hicieron al intentar predecir el índice de compresibilidad en suelos finos a lo largo de la historia, tenemos que ver las características y condiciones en las que fueron planteadas dichas ecuaciones. Para analizar estas ecuaciones planteadas y hacer notar diferencias entre estas, tenemos que comparar resultados de estas ecuaciones con resultados de pruebas de consolidación del suelo de tres fuentes (Lambe y Whitman 1969; Herrero 1980; Mayne 1980).

Tenemos la tabla 3.1 en la que se enumeran ecuaciones empíricas propuestas por diferentes autores con el fin de predecir la índice compresibilidad. La base de estas ecuaciones es relacionar el índice de compresibilidad con una propiedad índice que se puede obtener de un ensayo estándar, estas propiedades podrían ser el límite líquido, contenido natural de agua o humedad inicial, relación de vacíos in situ o el grado de porosidad del suelo, la relación que se plantea es mediante una regresión lineal debido a que en estas se puede analizar el grado de confianza de las misma al ver gráficamente la dispersión de los datos.

De esta lista de ecuaciones planteadas, tenemos que en cinco de ellas se relaciona el índice de compresibilidad del suelo con el límite líquido. De estas

---

ecuaciones la que brinda un valor de índice de compresibilidad mayor, en otras palabras, más conservador, es el dado por la expresión de Terzaghi y Peck en 1967 para arcillas normalmente consolidadas e inalteradas, para el caso de arcillas remoldeadas también incluye una ecuación no tan popular en la que cambia el factor de relación de 0.009 por 0.007.

El valor que se obtiene a partir de la ecuación dada por Cozzolino en 1961 arroja un valor mucho menor, esto hace que no se recomiende a ser usada como primera opción, sin embargo, como todas las ecuaciones planteadas, si se demuestra que la correlación es acertada al ser estos valores similares a los que se calculan mediante el ensayo de consolidación. Cabe mencionar que al momento de graficar los resultados se puede obtener valores dispersos que brindan valores de propiedades extremos, alejados de la mayoría, muchas veces esto es debido a la presencia de material orgánico en las muestras.

$$C_c = 0.0046 * (L_L - 9) \dots\dots\dots 3.11$$

La presencia de suelos orgánicos en las muestras hizo que el trabajo experimental de Al Khafaji (1979) muestre que la compresibilidad en este tipo de suelos dependa en gran medida de la presión de consolidación y el contenido de materia orgánica, la materia orgánica al entrar a un horno se degrada y hace que la masa post secado sea menor a la real por lo que la humedad (W%) al inicio que se calcula va a ser más representativa cuantitativamente y esto en este tipo de correlaciones es muy importante porque se relacionan valores como la humedad y relación de vacíos y no serían valores reales haciendo que al correlacionarlas se generen valores más dispersos.

De igual manera, en la tabla N° 3.1 que se muestra más adelante, hay cinco ecuaciones propuestas por investigadores en las que hacen depender el índice de compresibilidad con el contenido de agua natural del suelo, es decir la humedad natural.

Si analizamos los valores de las ecuaciones y las constantes, estas son muy similares, posiblemente porque el contenido de agua (humedad natural) se puede medir y comparar aproximadamente con el límite de líquido y la relación de vacíos, es decir con un valor de estas dos últimas propiedades podemos tener una idea muy cercana de la humedad. Esto no puede explicar el cambio en los valores del índice de compresibilidad observado bajo el mismo contenido de agua, acá lo que puede influir es el tipo de composición de suelo, mayor presencia de limos, materia orgánica, etc. Considerando esta relación del índice de compresibilidad con la humedad inicial del suelo, Herrero reportó resultados de ensayos en suelos parcialmente saturados y suelo saturado en 1980, a partir de lo cual concluyó que el contenido de agua debe usarse únicamente para calcular en un suelo saturado.

Con todo lo hablado anteriormente, podemos darnos cuenta que el intentar predecir el índice de compresibilidad de un suelo a partir de una propiedad índice debería hacerse exclusivamente para cada tipo de suelo y para cada zona propia, sin embargo, la mayoría de las ecuaciones existentes dependientes de la humedad indican que son aplicables para todo tipo de suelo. Más adelante veremos que esta teoría no es adecuada para suelos finos en el Perú. Finalmente, tenemos las ecuaciones que nos dan un valor aproximado del índice de compresibilidad a partir de la correlación con la relación de vacíos in situ, todo esto en base a los resultados de los ensayos de consolidación en suelos finos

---

---

brindados por Lambe y Whitman (1969) y Herrero (1980). La propiedad de relación de vacíos  $e_n$  representa gráficamente los volúmenes de vacíos y volúmenes de sólidos, es así que podrían calificarse estas ecuaciones por el grado de vacíos en el suelo a estudiar. Si planteamos suelos con valores de  $e_n$  mayores a 0.5, debemos usar la ecuación de Nishida 1956:

$$C_c = 0.54 * (e_n - 0.35) \dots\dots\dots 3.12$$

Y para valores de  $e_n$  menores a 0.5 debemos usar la ecuación de Hough 1957:

$$C_c = 0.35 * (e_n - 0.5) \dots\dots\dots 3.13$$

De todas las ecuaciones que ha presentado Nishida, esta ecuación a partir de la relación de vacíos es la que presenta resultados más óptimos aun así analizando valores de relación de vacíos en general y no limitándonos para valores intermedios, considerar que estos valores son demasiados conservadores para el índice de compresión. Se ha demostrado en las ecuaciones planteadas que no todos los parámetros que existen para correlacionar dan buenos resultados, algunos brindan confianza para suelos de plasticidad baja a media. Esto debido a que el contenido de agua en la que se analiza la muestra en la mayoría de los casos no es el valor correspondiente a la saturación. Esto nace a partir de que el termino volumen de vacíos es la suma de vacíos ocupados por aire y vacíos ocupados con fluidos, es decir en estas ecuaciones se asume que el volumen de vacíos es netamente fluido y no aire, no hay una forma de calibrar la influencia del aire en estas ecuaciones. La ecuación de Nishida para estimar el índice de compresibilidad es la que da la mejor correlación con los datos obtenidos por medio de las pruebas correspondientes. Cozzolino presenta una ecuación que da los valores más altos para bajas relaciones de vacíos. La ecuación de Nishida es

---

la recomendable a usar para predecir el índice de compresibilidad si queremos estimar a partir de la relación de vacíos, sumado a esto podemos usar en casos de valores de relacion de vacíos muy bajas la ecuación planteada por Cozzolino.

| ECUACION                        | APLICACIONES  | AUTOR                  |
|---------------------------------|---|------------------------|
| a) $C_c = f(L_L)$               |   |                        |
| $C_c = 0.007 (L_L - 7)$         | Arcillas remoldeadas  | Skempton (1994)        |
| $C_c = 0.0046 (L_L - 9)$        | Arcillas de Brasil  | Cozzolino (1961)       |
| $C_c = 0.009 (L_L - 10)$        | Arcillas normalmente consolidadas                                 | Terzaghi y Peck (1967) |
| $C_c = 0.006 (L_L - 9)$         | Todas las arcillas con límite líquido menor de 100%               | Azzouz et al. (1976)   |
| $C_c = (L_L - 13)/109$          | Todas las arcillas  | Mayne (1980)           |
| b) $C_c = f(W_n)$               |   |                        |
| $C_c = 0.85 \sqrt{(W_n/100)^3}$ | Lodos finos y arcillas  | Helenelund 1951        |
| $C_c = 0.0115 * W_n$            | Suelos orgánicos, turbas, limos orgánicos y arcillas              | Moran et al. (1958)    |
| $C_c = 0.01 * (W_n - 5)$        | Todas las arcillas  | Azzouz et al. (1976)   |
| $C_c = 0.01 * W_n$              | Todas las arcillas  | Koppula (1981)         |
| $C_c = 0.01 * (W_n - 7.549)$    | Todas las arcillas  | Herrero (1983)         |
| c) $C_c = f(e_0)$               |   |                        |
| $C_c = 0.54 * (e_0 - 0.35)$     | Todas las arcillas  | Nishida (1956)         |
| $C_c = 0.29 * (e_0 - 0.27)$     | Suelos cohesivos inorgánicos, arcillas y limos                    | Hough (1957)           |
| $C_c = 0.35 * (e_0 - 0.50)$     | Suelos granulares con finos orgánicos, limos orgánicos y arcillas | Hough (1957)           |
| $C_c = 0.43 * (e_0 - 0.25)$     | Arcillas de Brasil  | Cozzolino (1961)       |
| $C_c = 0.75 * (e_0 - 0.50)$     | Suelos de baja plasticidad  | Sowers (1970)          |

Tabla N° 3.1. Ecuaciones para la predicción del índice de compresibilidad CC  
Fuente: Al-Khafaji et al, 1992

Existen múltiples parámetros índice del suelo para la predicción del índice de compresibilidad, como el límite líquido, que es una propiedad del material que depende a su vez del tipo de suelo, del contenido natural de agua, el tamaño de sus partículas y las características de superficies de dichas partículas; existen otros parámetros más relacionados a la compresibilidad, tales como la relación de vacíos, que se liga a la presión de consolidación existente, así como con el peso específico relativo de los suelos ( $G_s$ ). Esto es especialmente cierto cuando se trata con suelos orgánicos en los cuales la curva  $e$  vs  $\log P$  es lineal.

Existe una variedad de parámetros índices básicos o estándar del suelo que pueden usarse para predecir el índice de compresibilidad, como el límite líquido, que es una propiedad del material, que a su vez depende del tipo de suelo, del contenido de agua natural o humedad inicial, el tamaño de sus partículas y las características del mineral; sumado a esto hay más propiedades que pueden relacionarse al fenómeno de compresibilidad ya que durante este fenómeno hay propiedades que cambian proporcionalmente con la aplicación de cargas, acá tenemos la porosidad o relación de vacíos que se relaciona con la presión de consolidación existente y la gravedad relativa ( $G_s$ ) del suelo. Esta acotación es correcta en suelos orgánicos donde la curva  $e$  vs  $\log P$  es lineal.

Habiendo mostrado la cronología de investigaciones y ecuaciones propuestas más representativas, solo sería necesario determinar cuál de ellas es mejor para calcular el índice de compresibilidad de cada sedimento de arcilla en particular, para esto se debe seleccionar resultados de ensayos de la misma zona a la que se desea asignar ecuaciones para predecir el índice de compresibilidad, es la única manera de poder obtener ecuaciones con un alto grado de confianza.

---

El propósito de esta investigación es obtener la relación lineal entre  $C_c$  y otras propiedades índices, facilitando el determinar sin necesidad de pruebas de consolidación en suelo cohesivo el índice de compresibilidad. Es muy importante considerar y formar a próximos investigadores con la idea de que cada ecuación es factible para una zona en particular.

### 3.3 COMPRESIBILIDAD INTRÍNSECA

Esta sección presenta la correlación entre la compresibilidad intrínseca y las propiedades de índice de suelo fino informadas por B. Cerato et al. (2003). Según la investigación del investigador, a partir de los resultados obtenidos de la literatura y una gran cantidad de pruebas de laboratorio muestran que cuando la tensión de consolidación efectiva es de 100 kPa, se puede encontrar una buena correlación entre el índice de compresibilidad intrínseca  $C^*_c$  y la porosidad (relación de vacíos) cuando se aplica un esfuerzo efectivo de consolidación de 100 kPa, ( $e^*100$ ); así como el límite líquido ( $L_L$ ), el índice de plasticidad (PI) y el índice de contracción (CI). El área de contacto o superficie específica de las partículas a su vez es un factor importante que tiene una gran influencia en la compresibilidad intrínseca de los suelos.

Las propiedades intrínsecas del suelo fino pueden ser una solución valiosa para comprender el comportamiento de los depósitos naturales. Una de las propiedades intrínsecas es la compresibilidad intrínseca, un término introducido por Burland (1990) para describir las propiedades de consolidación unidimensionales de un suelo remodelado. Evaluar sus características intrínsecas en el estado de remoldeo del suelo, con un contenido de agua inicial mayor que

---

el límite líquido hace que se elimine toda la estructura inicial del suelo. De hecho, se puede decir que cualquier prueba realizada en suelo remodelado tiene propiedades intrínsecas siempre que su contenido de agua inicial sea mucho mayor que  $L_L$ . Es así que, con ayuda de estas propiedades intrínsecas, las cuales son forzadas, se puede evaluar la importancia de la estructura inicial de un suelo natural al comparar resultados obtenidos en una muestra inalterada.

Como se explicó líneas arriba, hay que llevar la muestra a un valor superior al del  $L_L$  o ensayar una muestra saturada y con presencia de suelos orgánicos para analizar propiedades intrínsecas, por tal motivo al ser este tipo de suelo no tan común, Burland (1990) recomienda estimar la compresibilidad intrínseca a partir de la relación de vacíos en el límite líquido,  $e_L$ , para lo cual se necesita calcular el límite líquido y el peso específico relativo de los sólidos.

En la siguiente sección, B. Cerato et al. muestra algunas correlaciones entre la compresibilidad intrínseca y otras propiedades índice de suelos finos. También se toma en consideración la influencia del área de superficie específica de las partículas sobre la compresibilidad intrínseca.

### 3.3.1. Investigaciones

Burland (1990) fue el que dio a conocer el concepto de propiedades "intrínsecas" para describir las características de esfuerzo y deformación de una arcilla remodelada (estado no natural y propio), que se puede utilizar como marco de referencia para explicar las características correspondientes de los sedimentos arcillosos naturales. Las propiedades de las arcillas remodeladas se denominan

---

"intrínsecas" porque son propias al suelo e independientes de su estado natural. Esto significa que sus propiedades intrínsecas solo deben estar relacionadas con la constitución y composición del suelo y no verse afectadas por su estructura.

Se puede opinar de igual manera del  $L_L$  como una propiedad índice, Burland (1990) define la línea de compresión intrínseca (ICL) como la pendiente de la curva de compresibilidad ( $e^* \log p'$ ) de muestras analizadas de arcillas remoldeadas, en donde el valor del límite líquido al cual se analizaron fueron entre 1.25 y 1.5 veces el valor del límite líquido de la muestra. La pendiente de ICL se evalúa entre el esfuerzo efectivo de 100 a 1000 kPa y está definida por Burland como el índice de compresibilidad intrínseco  $C^*_c$ , y se obtiene de la siguiente ecuación:

$$C^*_c = (e_{100} - e_{1000}) \dots\dots\dots 3.14$$

Burland estableció en esta relación un valor de relación de vacíos a un esfuerzo efectivo de 100 kPa que lo denomina  $e^*_{100}$ . Puesto que  $C^*_c$  define la pendiente y  $e^*_{100}$  define la posición de ICL en la curva de compresibilidad, la ICL puede realizarse y analizarse a todo suelo con tan solo conocer  $C^*_c$  y  $e^*_{100}$ . Sin embargo, no a todas las muestras de suelo se tiene la disponibilidad de realizar la prueba de consolidación para medir el ICL, es por eso que Burland presentó correlaciones empíricas para estimar  $C^*_c$  y  $e^*_{100}$  a partir de la relación de vacíos que se presenta en el estado de la muestra en el límite líquido,  $e_L$ , a partir de:  $e_L = G_s \cdot L_L$ , donde  $G_s$  es el peso específico relativo de sólidos. Lo anterior es preferible a usar solamente el límite líquido, razonando que  $e_L$  era un mejor parámetro, debido que dos suelos con el mismo valor de  $L_L$  lleguen a tener distinto valor de  $G_s$ , por tal motivo, distinto valor de  $e_L$ . Los datos de las pruebas de consolidación que fueron usados por Burland (1990) fueron los que presentó Terzaghi (1927).

Previo a la investigación realizada por Burland (1990) ya se habían establecido algunas correlaciones previas entre el índice de compresibilidad de suelos remodelados y otras propiedades índices.

Estos incluyen la correlación entre  $C_c$  y las siguientes propiedades índices con su respectivo investigador: límite líquido  $L_L$  (Skempton 1944; Azzouz et al. 1976; Hirata et al. 1990); índice plástico PI (Mayne 1980; Nadase et al. 1988; Kulhawy y Mayne 1990).; Índice de contracción CI (Sridharan et al., 2000) y contenido de agua natural o humedad,  $W_n$  (Helenelund 1951; Azzouz et al., 1976; Krizek et al., 1977; Coutinho et al., 1998).

F. M. Abdrabbo (1990) propuso un estudio para evaluar estadísticamente la compresibilidad de la arcilla egipcia, que tiene propiedades índices como el contenido de agua natural (humedad inicial) y la porosidad in situ (relación de vacíos).

Estas correlaciones son útiles para determinar las propiedades mecánicas de la arcilla por medio de una prueba de índice simple usando solo muestras inalteradas. En este estudio, Abdrabbo requirió de muestras de arcilla totalmente saturadas e inalteradas extraídas de tubos Shelby de paredes delgadas. Los resultados de la prueba de consolidación se obtienen de una variedad de suelos normalmente consolidados, y los resultados fueron los siguientes:

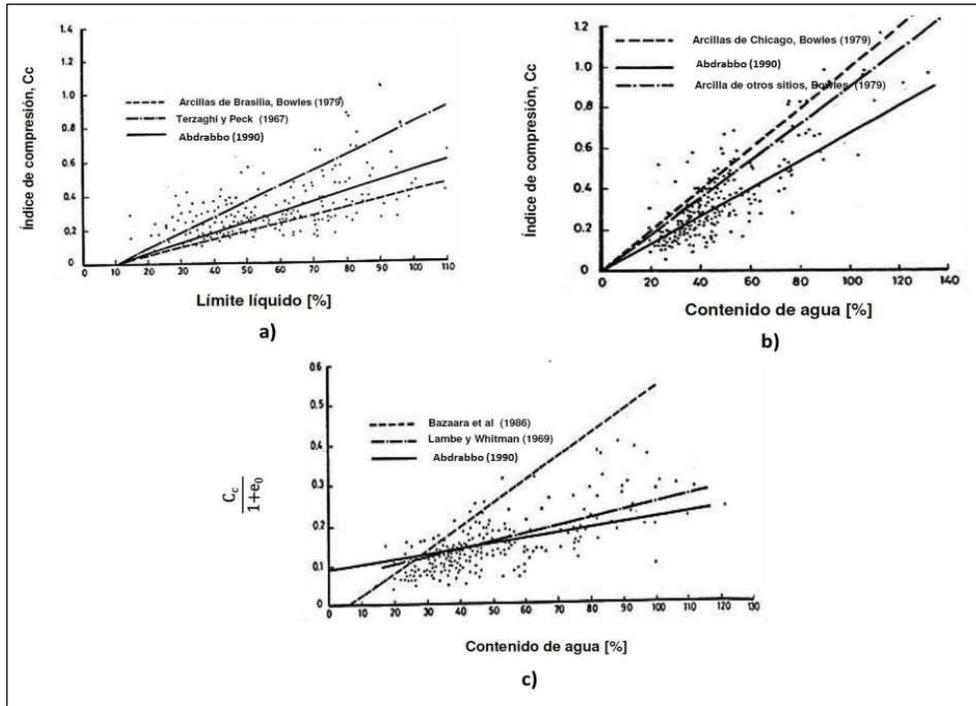


Figura N° 3.1 a) Índice de compresión vs límite líquido, b) Índice de compresión vs contenido de agua, c)  $C_c / (1+e_0)$  vs contenido de agua.

Fuente: Abdrabbo, 1990

La Figura N° 3.1-a muestra la comparación entre las diferentes correlaciones entre el índice de compresibilidad  $C_c$  y el límite líquido. Se puede ver que las correlaciones de Terzaghi y Peck de arcillas no perturbadas generalmente sobreestiman el índice de arcilla egipcia en un 50%. Sin embargo, todavía es siendo ampliamente utilizado. En la figura N° 3.1-b el contenido de agua aumenta con respecto al valor obtenido de la ecuación, es decir que el contenido de agua inicial es proporcional al índice de compresibilidad y es que como se mencionó anteriormente la presencia de agua y su cantidad son parámetros directos en el ensayo de consolidación:

$$\frac{C_c}{1+e_0} = 0.095 + 0.0014 * W_n^2 \dots\dots\dots 3.15$$

para:  $20\% < W_n < 120\%$

Los resultados presentados por Abdrabbo concuerdan satisfactoriamente con los publicados por Lambe y Whitman en 1969.

### 3.3.2. Literatura existente.

Aunque el concepto de compresibilidad intrínseca fue propuesto por Burland (1990), algunos estudios previos han evaluado las propiedades de consolidación unidimensionales en suelos finos remoldeados.

Sridharan realizó un estudio en el 2000 que consideró el contenido de humedad inicial, remodelando el suelo en el anillo de consolidación, teniendo cuidado de evitar la presencia de aire en la muestra, y sus resultados fueron que al aumentar el límite líquido también lo hace el índice de compresión, se muestra a continuación los resultados:

| Tipo de suelo  | $G_s$ | $w_L$<br>[%] | $w_p$<br>[%] | $w_c$<br>[%] | $IP$<br>[%] | $K$  |
|----------------|-------|--------------|--------------|--------------|-------------|------|
| Suelo rojo 1   | 2.70  | 37.00        | 18.00        | 14.70        | 19.00       | 0.23 |
| Suelo limoso   | 2.65  | 39.00        | 29.50        | 27.40        | 9.50        | 0.20 |
| Caolinita 1    | 2.65  | 48.00        | 35.60        | 39.00        | 12.40       | 0.24 |
| Suelo rojo 2   | 2.70  | 48.00        | 23.20        | 15.50        | 26.70       | 0.40 |
| Caolinita 2    | 2.64  | 55.00        | 31.40        | 33.10        | 23.60       | 0.30 |
| Arcilla Cochín | 2.61  | 56.40        | 38.10        | 21.00        | 18.30       | 0.37 |
| Suelo café 1   | 2.66  | 58.50        | 32.10        | 13.50        | 26.40       | 0.43 |
| Caolinita 3    | 2.65  | 58.70        | 45.20        | 46.40        | 13.50       | 0.52 |
| Suelo ilitico  | 2.58  | 73.40        | 51.90        | 39.00        | 21.50       | 0.42 |
| Suelo BC       | 2.70  | 73.50        | 35.60        | 11.90        | 37.90       | 0.42 |

Tabla N° 3.2 Propiedades índice de suelos naturales remoldeados seleccionados de la literatura N°1.

Fuente: Sridharan A. (2000) - Modificada.

| Tipo de suelo     | $G_s$ | $w_L$ [%] | $w_P$ [%] | $w_c$ [%] | $IP$ [%] | $C_c$ | Referencia              |
|-------------------|-------|-----------|-----------|-----------|----------|-------|-------------------------|
| Arcilla limosa    | 2.72  | 28.00     | 20.00     | -         | 8.00     | 0.13  | Leonards y Ramiah, 1959 |
| Arcilla Boulder   | 2.69  | 28.00     | 14.00     | -         | 14.00    | 0.13  | Skempton, 1944          |
| Arena Delta       | 2.71  | 36.00     | 18.00     | -         | 18.00    | 0.25  | Skempton, 1944          |
| Weiner Tegel      | 2.76  | 46.70     | 22.00     | -         | 24.70    | 0.31  | Burland, 1990           |
| Arcilla de Vienna | 2.76  | 47.00     | 22.00     | -         | 25.00    | 0.31  | Hvorslev, 1960          |
| Arcilla de Oxford | 2.57  | 53.00     | 27.00     | -         | 26.00    | 0.30  | Skempton, 1944          |

Tabla N° 3.3 Propiedades índice de suelos naturales remoldeados seleccionados de la literatura N°2.

Fuente: Sridharan A. (2000)– Mod.

| Tipo de suelo      | $G_s$ | $w_L$ [%] | $w_P$ [%] | $w_s$ [%] | $IP$ [%] | $C_c$ | Referencia              |
|--------------------|-------|-----------|-----------|-----------|----------|-------|-------------------------|
| Suelo negro        | -     | 57.00     | 23.00     | 15.50     | 34.00    | 0.34  | Ranganatham, 1961       |
| Arcilla residual   | 2.74  | 58.00     | 27.00     | -         | 31.00    | 0.36  | Leonards y Ramiah, 1959 |
| Arcilla Gosport    | 2.67  | 76.00     | 29.00     | -         | 47.00    | 0.46  | Skempton, 1944          |
| Arcilla de Londres | 2.71  | 77.00     | 28.00     | -         | 49.00    | 0.49  | Skempton, 1944          |
| Kleinbelt Ton      | 2.77  | 127.00    | 36.00     | -         | 91.00    | 0.94  | Burland, 1990           |
| Argile platique    | 2.58  | 128.00    | 31.00     | -         | 97.00    | 0.81  | Burland, 1990           |

Tabla N° 3.4 Propiedades índice de suelos naturales remoldeados.

Fuente: Sridharan A. (2000) - Modificada.

Como se observa en los cuadros presentados por Sridharan A (2000), se han seleccionado diferentes tipos de muestras, algunas presentan suelos sin compuestos o predominancia de finos como arenas y también en su mayoría suelos finos de distintos países. La mayor gravedad específica  $G_s$  fue de una muestra en Texas, USA (Kleinbelt Ton) con un valor de 2.77 y la menor fue de una muestra de Londres, Inglaterra con un valor de 2.58. Recordar que la gravedad específica es la relacion entre volumen de sólidos y vacíos, por consiguiente,

mientras más alto sea el valor de  $G_s$  más alto es el valor del índice de compresibilidad. Cuando hay más presencia de agua el valor de la  $G_s$  debería de disminuir sin embargo en el caso de arcillas aumenta, esto sucede por la relación de vacíos  $e_0$ , en arcillas secas los vacíos son mínimo a diferencia que en las arenas y suelos granulares hay un gran porcentaje de vacíos.

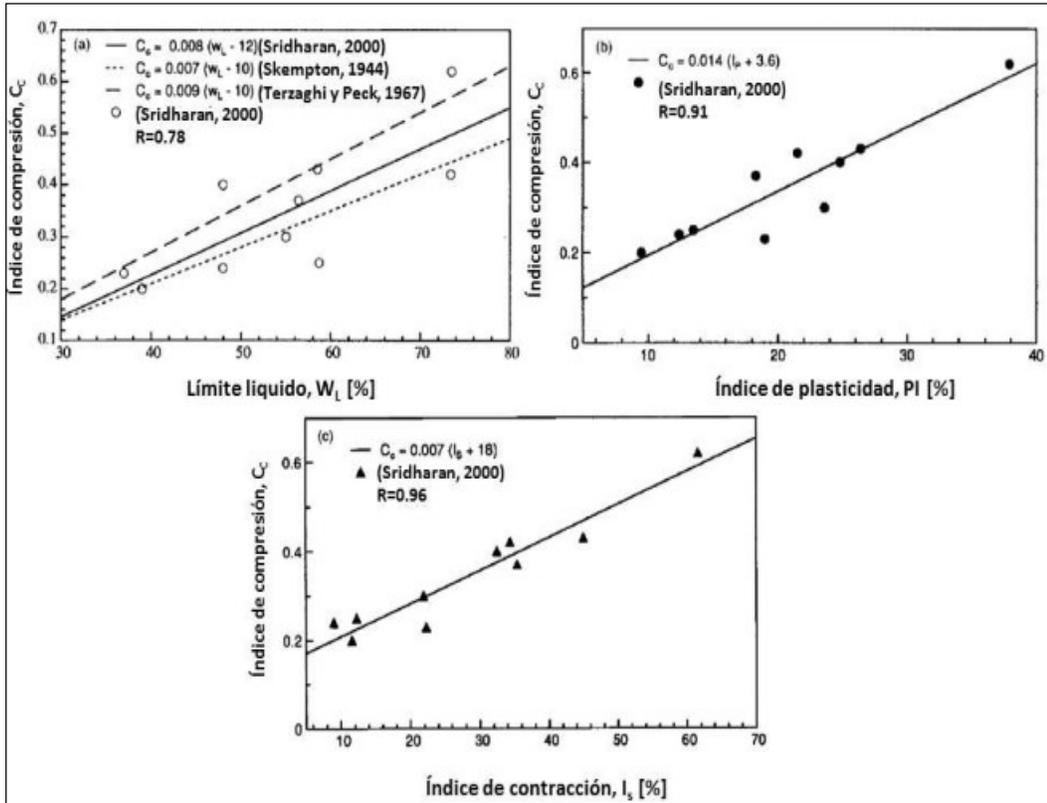


Figura 3.2 Relación entre el índice de compresión y propiedades índice a) límite líquido, b) índice de plasticidad, c) índice de contracción

Fuente: Sridharan, 2000.

En la figura 3.2 se muestran las relaciones establecidas entre el índice de compresión  $C_c$  y el índice de plasticidad IP, el índice de contracción y límite líquido  $L_L$  de las diez muestras ensayadas en el estudio desarrollado por Sridharan (2000). Los investigadores B. Cerato, et al, fueron los que realizaron una revisión

bien detallada de toda la literatura existente para recopilar resultados anteriores de ensayos de consolidación en suelos remoldeados y formar una amplia base de datos. Los datos recopilados incluyen arcillas naturales y "artificiales" con características mineralógicas únicas.

### 3.3.3. Coeficiente de Compresibilidad Intrínseco $C^*_c$

Se presentan las correlaciones entre  $C^*_c$  y propiedades índices para los datos recopilados de depósitos naturales. El rango de propiedades índice indicado en la figura 3.3 es similar al que usó Burland (1990) y se considera representativo del rango esperado en arcillas naturales en el mundo. Estas correlaciones son marcadas y todas son bien adecuadas para estimar el valor de  $C^*_c$ . Se sabe que  $e_L$  y  $PI$  requieren de dos parámetros para calcular sus valores correspondientes. Para el caso de arcillas artificiales, en la siguiente se muestran los resultados. El rango de sus propiedades índice, entre las que se encuentran algunas montmorilonitas (mineral del grupo de los silicatos, subgrupo filosilicatos y dentro de ellos pertenece a las llamadas arcillas, este mineral tiene tendencia a la expansión en presencia de agua), es mucho más amplio que para las arcillas naturales; no obstante se puede observar que la correlación brinda predicciones confiables. Los datos presentados en las figuras 3.1 y 3.2 muestran correlaciones marcadamente fuertes, considerando que el procedimiento de las pruebas usado para determinar  $C^*_c$  y las propiedades índices no fueron, muy probablemente, los mismos. Los datos colectados son de los años de 1927 a 2001. Esto sugiere que son las propiedades mismas del suelo,  $C^*_c$ ,  $L_L$ ,  $PI$  y  $G_s$ , las que realmente dominan la cantidad medida para cada una de las propiedades individuales y no tanto los procedimientos de pruebas actualmente usados. Con el fin de evitar resultados

---

variables, así sea por mínimo, es mejor hacer un único procedimiento al calcular las propiedades índices.

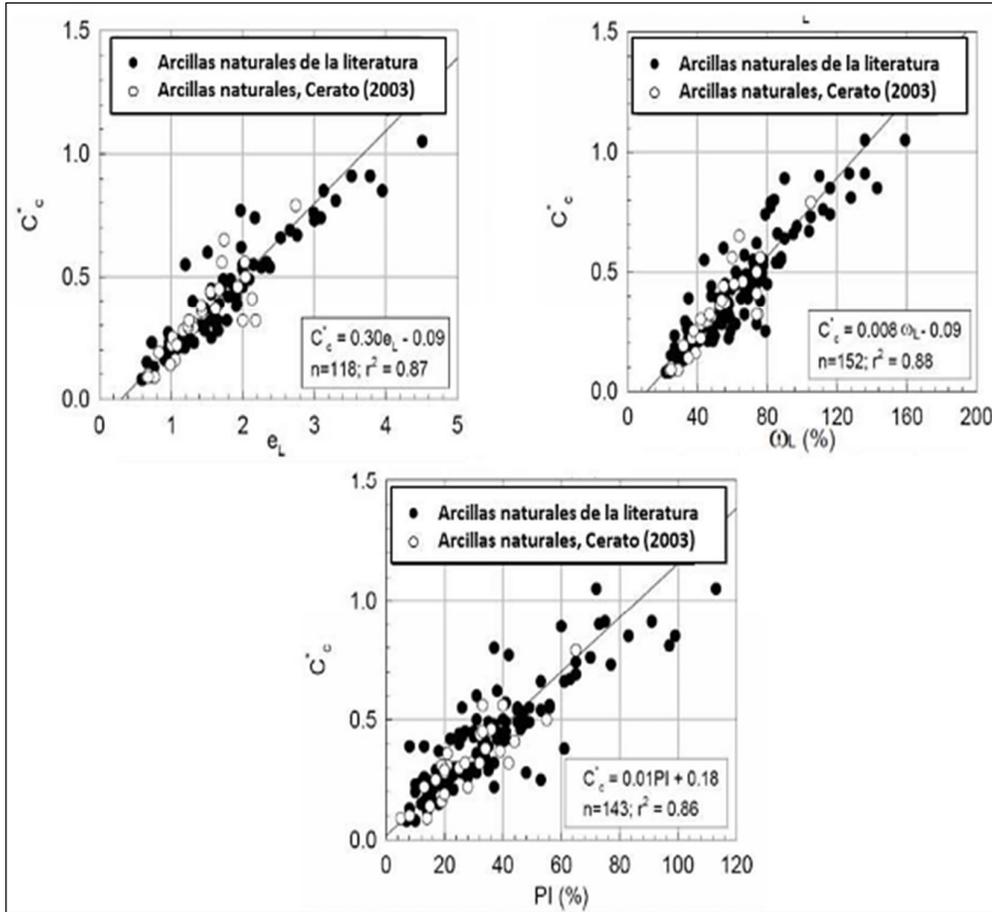


Figura 3.3 Correlaciones obtenidas con datos experimentales y recopilados para arcillas naturales.

Fuente: Cerato et al.,2003.

Estos valores de índices de dispersión  $r^2$  que obtuvo en su publicación Cerato et al., (2003) son muy altos al correlacionar el índice de compresibilidad  $C_c$  y el resto de propiedades índices, el valor que se obtiene en la correlación con el limite liquido es el más alto y en el capítulo 5 de la presente investigación se va a

demostrar que para arcillas inalteradas esta propiedad es la que para suelos de los departamentos en análisis es la que brinda un menor índice de dispersión, siendo en algunos casos casi nulo.

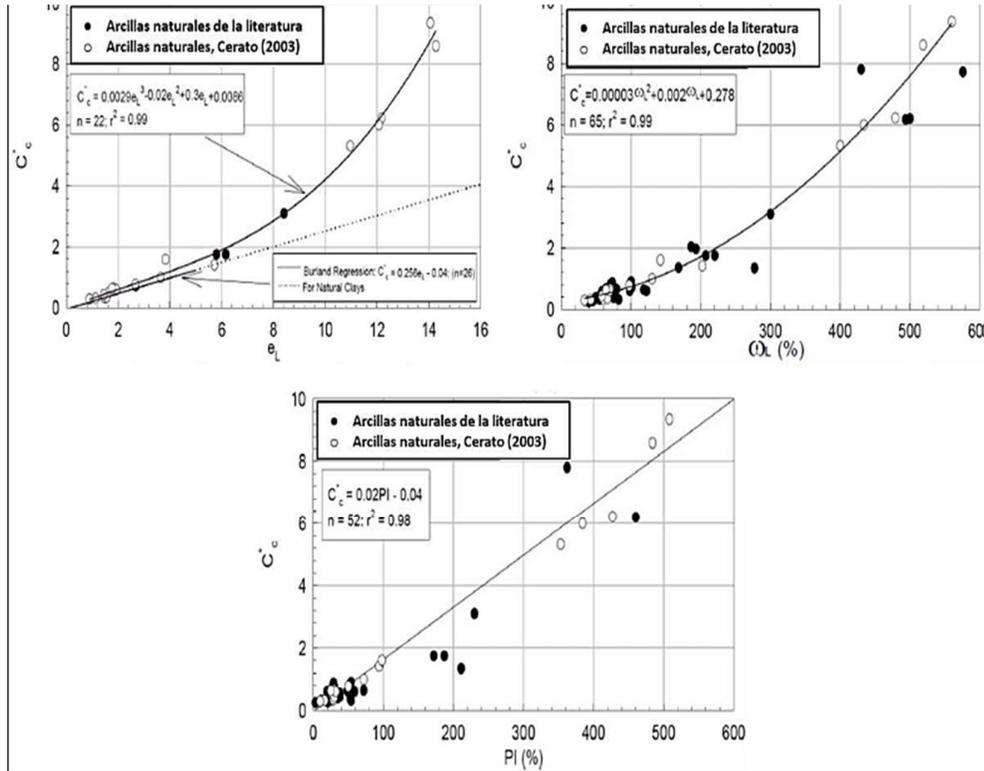


Figura 3.4 Correlaciones obtenidas con datos experimentales y recopilados para arcillas artificiales.

Fuente: Cerato et al.,2003.

### 3.3.4. 3.3.4 Otras investigaciones de B Cerato Et al. (2003)

Con el fin de complementar los datos obtenidos de la literatura, B Cerato et al (2003) realizaron un extensivo programa de pruebas de laboratorio. Obtuvieron

muestras de varios depósitos de suelo fino de varias partes de Estados Unidos y de alrededor del mundo. Estos suelos representan un amplio rango de materiales geológicos, e incluyen depósitos de origen marino, aluvial, lacustre, residual y eólico. Como ya se conoce, para simular suelos remoldeados se debe romper la estructura inicial y esto se logra saturando la mezcla hasta un nivel de aproximadamente 1.2 a 1.5 veces el valor del límite líquido. Las naturales se trabajaron con el valor de humedad natural inicial y las artificiales fueron en la condición que llegaron al laboratorio. Además, ensayaron muestras artificiales de arcillas para proveer un banco de datos para suelos de mineralogía predominantemente singular. Las pruebas realizadas incluyen: límite plástico, límite de contracción, tamaño de partícula y gravedad específica relativa de los sólidos. Los resultados brindaron correlaciones con un valor de confianza aceptable para Arcillas naturales (resultados de B. Cerato, et. Al.). Se muestran a continuación las correlaciones para el índice de compresibilidad y el límite líquido para muestras remoldeadas:

$$C^*_c = 0.30 * e_L + 0.09 \quad N=118 \quad R^2 = 0.87 \dots\dots\dots 3.16$$

$$C^*_c = 0.008 * L_L + 0.09 \quad N=152 \quad R^2 = 0.88 \dots\dots\dots 3.17$$

$$C^*_c = 0.01 * PI + 0.18 \quad N=143 \quad R^2 = 0.86 \dots\dots\dots 3.18$$

$$e * 100 = 0.55 * e_L + 0.22 \quad N=103 \quad R^2 = 0.84 \dots\dots\dots 3.19$$

$$e * 100 = 0.2 * L_L + 0.21 \quad N=105 \quad R^2 = 0.84 \dots\dots\dots 3.20$$

$$e * 100 = 0.02 * PI + 0.52 \quad N=105 \quad R^2 = 0.75 \dots\dots\dots 3.21$$

Con estas ecuaciones quedó demostrado que es suficiente relacionar las propiedades índices con una ecuación lineal para el caso de las arcillas naturales. Todas las ecuaciones relevantes presentadas anteriormente se obtienen con intervalos de confianza del 95%.

Diferente fue el caso que se tuvo para las arcillas artificiales, para estas muestras una correlación lineal no fue suficiente para generar valores de confianza, únicamente para el caso de la correlación con el índice de plasticidad IP en la que se obtuvo un  $R^2=0.98$ . Al graficar los valores de Índice de compresibilidad vs la relación de vacíos en el límite líquido y el límite líquido se observa que son dispersos los valores, motivo por el cual se tuvo que realizar un ajuste polinómico.

Las ecuaciones que se obtuvieron fueron las siguientes:

|  |      |                  |      |
|--|------|------------------|------|
| $C^*_C = 0.0029 * e_L^3 - 0.02 * e_L^2 + 0.3 * e_L + 0.0086$ | N=22 | $R^2=0.99$ ..... | 3.22 |
| $C^*_C = 0.00003 * L_L^3 + 0.002 * L_L + 0.278$              | N=65 | $R^2=0.99$ ..... | 3.23 |
| $C^*_C = 0.02 * PI * 0.04$                                   | N=52 | $R^2=0.98$ ..... | 3.24 |

Para  $e^*_{100}$  se obtuvieron las siguientes correlaciones lineales:

|                                 |      |                  |      |
|---------------------------------|------|------------------|------|
| $e^*_{100} = 0.01 * L_L + 0.7$  | N=23 | $R^2=0.94$ ..... | 3.25 |
| $e^*_{100} = 0.01 * PI + 1.32$  | N=23 | $R^2=0.89$ ..... | 3.26 |
| $e^*_{100} = 0.39 * e_L + 0.89$ | N=23 | $R^2=0.94$ ..... | 3.27 |

Se debe considerar que mientras más data se genere será mejor el análisis de las muestras, recordemos que Burland (1990) cuando realizó su investigación obtuvo valores de propiedades índice con valores muy próximos en donde era factible el uso de una correlación lineal, B Cerato et al. sin embargo obtuvo valores de propiedades índices lejanos entre sin haciendo imposible una correlación lineal, sin embargo, se pudo solucionar con una correlación polinómica.

Ninguna correlación es recomendada para ser usada en valores extremos, es mejor graficar toda la data posible y encerrar un área de confianza para así brindar resultados más exactos. Si solo se considera la arcilla natural, se puede usar una ecuación lineal simple para describir la relación entre  $C^*_c$  y cualquier propiedad índice en las que se han investigado la ración de vacíos en el límite líquido ( $e_L$ ), límite líquido  $L_L$  o índice de plasticidad (PI), considerar:

$$e_L < 4; L_L < 160; PI < 200 \dots\dots\dots 3.28$$

Como ya se mencionó estos investigadores recomiendan fijar un área de estudio entre todos los datos, en todo caso para tratar de cubrir toda la información obtenida, para los datos con valores extremos se recomienda una correlación polinómica como se muestra a continuación:

$$C^*_c = 0.4 * e_L^2 * 0.38 * e_L + 0.45 \quad N=140 \quad r^2=0.99 \dots\dots\dots 3.29$$

$$C^*_c = 0.00003 * L_L^2 + 0.002 * L_L + 0.26 \quad N=217 \quad r^2=0.99 \dots\dots\dots 3.30$$

$$C^*_c = 0.00002 * IP^2 + 0.007 * IP + 0.32 \quad N=195 \quad r^2=0.99 \dots\dots\dots 3.31$$

Estas ecuaciones son las que se obtuvieron a partir de los datos mostrados a continuación:

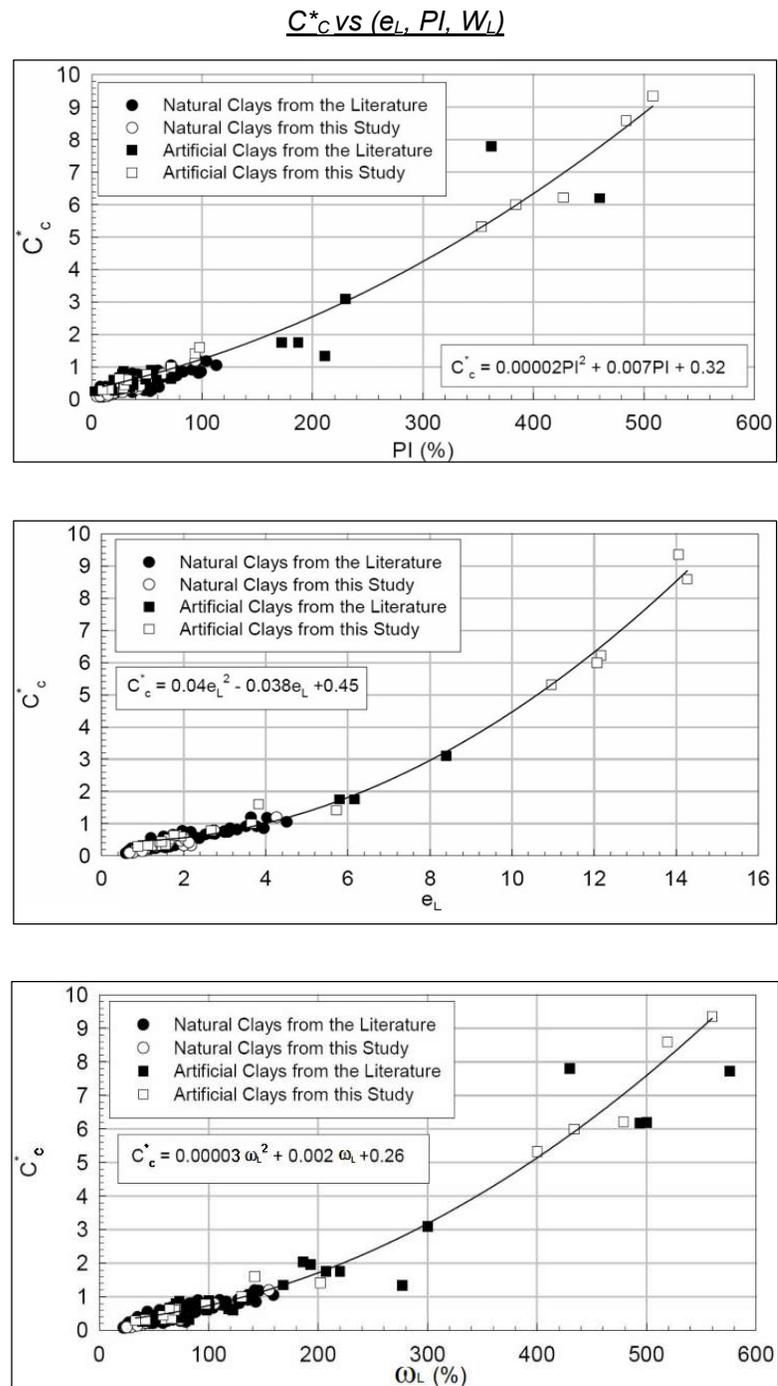


Figura 3.5 Ecuaciones polinómicas que correlacionan el Índice de Compresibilidad intrínseca de arcillas naturales y artificiales.

Fuente: Cerato et al 2003

Todas estas ecuaciones no serían investigadas si no se partiría de que es más simple y rápido el cálculo de las propiedades índices mediante ensayos básicos, en este caso el límite líquido y el límite plástico de suelos finos son usualmente determinados inicialmente en los proyectos por consiguiente son muy atractivos para la ingeniería aplicada (correlación de propiedades). Poniendo énfasis en esta idea de simplicidad, el valor de  $e_L$  o  $C_I$  requiere la medición del peso específico relativo de los sólidos,  $G_s$ , y el límite de contracción, respectivamente, al ser propiedades que no se obtienen directamente sino a partir de otros ensayos previos es muy probable que se pierda la exactitud o semejanza de resultados ya que es donde mientras más procesos realizados menos es la exactitud, mientras más posibles métodos para determinarlos hace que se desvíe la tendencia en resultados.

## CAPÍTULO IV: DESCRIPCIÓN DE LA AMAZÓNÍA DEL PERÚ Y SUELOS DE LOS DEPARTAMENTOS EN ESTUDIO

### 4.1 INTRODUCCIÓN

La región amazónica del país de Perú cuenta con gran cantidad de suelos tropicales, estos ocupan dos tercios del territorio y tienen características y mecanismos para controlar su comportamiento, que es mucho más complicado que el suelo de transporte en otras partes del país. Existen investigaciones en las que se ha realizado ensayos llegando a la conclusión de que en estos suelos se presenta una humedad natural superior al óptimo alcanzado en el ensayo de laboratorio Proctor Modificado.

El reciente estado del arte ha demostrado que, en el caso del comportamiento de los suelos tropicales a diferencia de otros materiales geotécnicos, no es posible hacer una generalización para estos suelos, las propiedades y características son dispersas.

Especialmente con respecto a sus propiedades químicas y mineralógicas y su comportamiento mecánico, todavía hay una falta de conocimiento básico. Una de las dificultades para usar adecuadamente los suelos de las regiones tropicales, para fines de construcción en general, es la limitación del uso de las clasificaciones tradicionales de los suelos y los parámetros involucrados en estas clasificaciones que han sido establecidas generalmente para los suelos de origen sedimentario que se encuentran en los países de clima templado a frío, lugares donde la Mecánica de Suelos clásica tuvo su desarrollo más acentuado.

---

Obviamente, la implementación de proyectos importantes en la selva amazónica peruana ha traído muchos problemas técnicos que no se han encontrado en el pasado, porque hay pocas regiones en el mundo donde las condiciones atmosféricas, ambientales o hidrológicas de la región, junto con la falta de materiales de construcción tradicionales. (carrillo-Gil, 1983). Además, la alternancia de erosión y sedimentación en las dos orillas del río y los continuos cambios en la ruta entre los años posteriores han traído dificultades adicionales y grandes desafíos para la aplicación de los conocimientos de ingeniería civil. Por ejemplo, en medio de la selva baja que se ubica entre los 80 y 400 m.s.n.m o en la selva alta que va entre 400 y 1000 m.s.n.m.

#### 4.2 CLASIFICACION DEL SUELO TROPICAL PERUANO

Últimamente se ha realizado un gran número de investigaciones en todo el mundo con interés en el comportamiento de los suelos tropicales, esta suma de investigaciones contribuyen a desarrollar criterios para lograr definir un posible comportamiento, más aún cuando se sabe que los suelos tropicales varían sus comportamientos dependiendo del lugar de origen. Así se han hecho muchos intentos (usando factores objetivos o subjetivos), que han sido elaborados para identificar las características intrínsecas de los suelos tropicales y para prever sus propiedades geotécnicas.

En base a todas las clasificaciones de suelos existentes hasta la actualidad, se ha considerado como más representativa para los suelos de interés en la presente

---

investigación que son los suelos tropicales del Perú, considerar dos tipos de suelos: saprolíticos y lateríticos.

Un saprolito es una roca que se ha meteorizado a tal grado que constituye una masa de arcilla o grava donde todavía se pueden ver estructuras de la roca original, aun se sigue conservando sus condiciones de macro estructura, mineralogía y granulometría.

Debido a que aparecen como el residuo de la roca de origen y presentan un apropiado perfil de intemperización, también se les llama suelos residuales jóvenes. Normalmente constituyen estratos subyacentes al horizonte superficial de estos depósitos y suprayacentes a la roca matriz, caracterizándose por la presencia de estructuras heredadas de la roca madre, grandes espesores del estrato, mineralogía compleja con diferentes grados de intemperismo y estratigrafía en algunos casos compleja con gran heterogeneidad, y en otros muy homogéneas con estructuras simples (Nogami, 1985).

La laterita es el suelo propio de las regiones cálidas, caracterizado por la pobreza en sílice y su elevada cantidad de hierro, alúmina y/u otros minerales. Las costras lateríticas se deben a la meteorización de la capa superficial del suelo, es decir, a la acción in situ de los agentes meteorológicos (lluvia, insolación, viento, acción de los seres vivos, etc.).

En el Perú, los suelos tropicales en un gran porcentaje son de tipo saprolíticos, quiere decir suelos arcillosos mezclados con limo y arena principalmente. Algunos resultados de ensayos de resistencia al cortante efectuadas en los suelos del Perú indican valores muy dispersos; sin embargo, se ha encontrado que la prueba de

---

la veleta practicada en el campo en los suelos saprolíticos que se encuentran muy fisurados, la medida de la resistencia al corte sin drenaje efectuada en el campo arroja siempre valores mucho más confiables que las ensayos de laboratorio, comprobándose que estos valores son mucho más altos en casi todos los casos que los obtenidos por otros medios, siendo el límite más bajo los resultados de los ensayos triaxiales rápidos y los más próximos los resultados de los ensayos de Compresión-No-Confinada, quizás debido a la descompresión que sufren estos suelos al ser obtenidos en profundidad y a la alteración de los especímenes con el manipuleo, o los efectos de la succión en los suelos parcialmente saturados que hacen variar su resistencia al cortante. (Carrillo-Gil, 1978).

#### **4.3 CARACTERÍSTICAS GEOLOGICAS Y GEOMORFOLOGICAS DE LA SELVA PERUANA**

Las principales cuencas de los ríos más representativos de la selva peruana son: Amazonas, Marañón Ucayali, Madre de Dios, Santiago, Huallaga, Pachitea y Ene. Gran área de la Amazonía ha permanecido cubierta en los periodos interglaciares del cuaternario por un mar interior de baja profundidad, esto era cuando el nivel de los océanos tenían 100 m de más que el ahora (330 000 años antes) y pasaron a fluctuar durante épocas interglaciares e glaciares, formando terrazas en los ejes de los cursos de agua, logrando tener 100m. por debajo del nivel durante la última glaciación (17 000 años antes), quedando en estos canales profundos los ríos, para finalmente elevar a la cota actual (6 000 años antes) (Vertamatti, 1988).

Como resultado de todos los estudios realizados en esta selva peruana, se llega a la conclusión de que:

- En la selva alta y límites de la selva baja encontramos rocas ígneas (granito, andesita, y tipos volcánicos) como también rocas sedimentarias (areniscas, pizarras, calizas y dolomitas).
- En la selva baja se presenta una mayor cantidad de rocas sedimentarias del terciario y cuaternario (areniscas, lutitas y arcillitas).

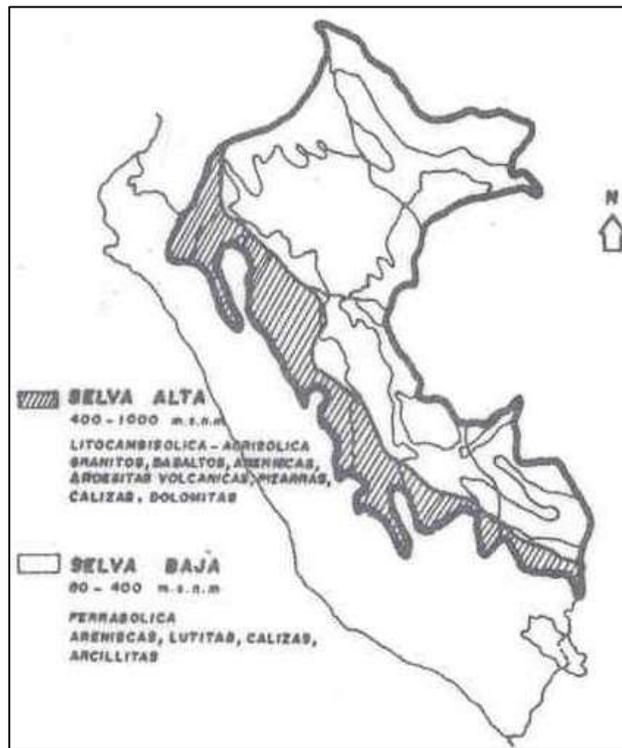


Figura N° 4.1 Región Amazónica Peruana y Tipo de Roca Madre Subyacente

Fuente: Carrillo-Gil, 1978

Los suelos de la selva del Perú han sido originados a partir de la roca madre, la cual no tiene un solo origen según la geología mostrada en lo mencionado anteriormente. Si agrupamos todos los tipos de suelos se establece que en la parte de la selva alta predominan a la vez los materiales residuales como los transportados por lo cual se forman suelos litocambisólicos y Acrisoles, sin embargo, en la selva baja predominan los materiales residuales, creando principalmente suelos ferrosólicos. Entre las rocas originales que han generado estos materiales residuales, se tiene el calcáreo, las arcillas y lutitas, las areniscas y algunas rocas ígneas del tipo de los granitos, andesitas y tufos volcánicos. (Villa chica, 1980). Es bueno mencionar que según lo aclarado las características de la roca madre para la selva peruana es diferente ante la presentada en otras regiones de América del sur.

La geomorfología de la región demuestra que la selva baja es usualmente plana con una altura que varía entre 80 a 400 m.s.n.m. Como consecuencia de este pequeño desnivel el agua de los ríos discurre de una manera lenta, lo que ocasiona que cuando la temporada es seca estos ríos adoptan la forma de verdaderas lagunas, son anchas sinuosas y propensas a la formación de vegetación.

En esta región del llano amazónico se presenta una clara erosión. El llano amazónico posee un grado alto de humedad y los suelos cubiertos con una variada vegetación tropical. Esta llanura es muy extensa y posee una inclinación en dirección al Este del país, comprende las llanuras de Loreto y Madre de Dios. Como consecuencia de la presencia de lomadas, muchas áreas planas y zonas con colinas de baja inclinación, depresiones y ciertas terrazas aluviales, el área

---

presenta suaves ondulamientos. Los ríos Marañón, Ucayali y Huallaga son los que esta llanura drena toda el agua. Estos ríos son los que integran y forman el gran Amazonas.

Madre de Dios es una llanura que se desarrolla a una altitud que se encuentra entre valores de 200 a 500 m.s.n.m. Ésta tiene una suave inclinación en dirección al sureste, desde el alineamiento del alto Fitzcarrald hasta la frontera con Bolivia. Morfológicamente es un territorio llano a ondulado y modelado en sedimentos del terciario y depósitos aluviales del cuaternario. Esta íntegramente drenada por el río Madre de Dios y sus numerosos tributarios.

Las características geomorfológicas de esta zona corresponden a un escenario del tipo continental, el que ha estado sometido a diversos ciclos diastróficos de intensidad variable, los cuales junto con los agentes geodinámicas externos, han modelado la superficie del terreno en diversas formas, desde el punto de vista geomorfológico en colinas y planicies. El sector de colinas, que incluye también a las lomadas, corresponde a las áreas que topográficamente se ubican a mayor altura dentro de la zona, las cuales se encuentran intensamente disectadas por pequeñas quebradas las que están en su etapa inicial de erosión. El sector de planicies ha sido ocasionado por movimientos epirogenéticos, también podemos mencionar la erosión vertical de los recursos hídricos, los cuales drenan la zona.

La morfogénesis (origen y la evolución de la forma del relieve) de esta región se remonta a los sub-horizontes de la era del Terciario Superior, sedimentos de la área terciaria y depósitos aluviales de la era cuaternaria (Figura N° 4.2).

---



Figura N° 4.2 Zonas Morfoestructurales de la Amazonía Peruana.

Fuente: Carrillo-Gil, 1978.

#### 4.4 Ecoregiones y clima de la Amazonía peruana

La Amazonía peruana conforma de por sí una región biogeográfica constituida por el bioma de selva lluviosa cuya vegetación representativa es el bosque denso siempre verde de hoja ancha y su clima es tropical húmedo. Bajo la división tradicional realizada por Javier Pulgar Vidal en 1938, la Amazonía peruana está conformada por dos pisos altitudinales bien diferenciados: La Selva baja y la Selva alta.

##### 4.4.1. Selva alta

La Selva Alta, también llamada Rupa-Rupa, ceja de selva, yungas o bosques lluviosos de altura. Es una ecorregión de selva montana nubosa muy lluviosa que se extiende en las estribaciones orientales de los Andes peruanos, entre los 800 a 3 800 m.s.n.m. Sus temperaturas son cálidas en las partes bajas y templadas en las partes de mayor altura. La fauna es mayormente de origen amazónico con muchos endemismos (seres vivos que solo habitan en dicho lugar mas no en otro en el mundo), debido al factor de aislamiento, ocasionada por la orografía accidentada de esta zona. La Amazonía del Perú se divide a su vez en tres grandes áreas, definidas por su geografía y clima:

- La Selva Alta. Llamada también Rupa Rupa.
- La Selva Baja. Llamada también Omagua.

Los territorios de la selva alta o yunga se extienden a lo largo del flanco oriental de la Cordillera de los Andes, entre los 3 800 y 800 m.s.n.m., justo sobre la llanura amazónica. Su clima es cálido y muy húmedo, haciéndose frío a medida que se acerca a las alturas andinas. Aquí llueve más que en ningún otro lugar del país

---

(hasta 5 000 mm anuales), lo que permite que se formen numerosos torrentes y cascadas de agua cristalina.

Su relieve es montañoso y complejo, con valles angostos y profundas quebradas, siempre cubiertos por una selva impenetrable. En sus partes más altas, generalmente envueltas en niebla y lloviznas, se ubican los bosques de nubes, mientras en las zonas más bajas se encuentran las colinas que forman la llamada «ceja de montaña». La vegetación en las yungas es quizás la más exuberante de los trópicos, con muchas orquídeas, begonias gigantes y helechos arbóreos. Este es también el hogar del gallito de las rocas, el ave nacional del Perú; el oso de anteojos, única especie de oso sudamericano; el mono choro de cola amarilla, que hasta hace poco se creía extinto; los quetzales, el pato de los torrentes, más de veinte variedades de picaflores y varias docenas de especies de aves fruteras.

#### 4.4.2. **Selva baja**

La Selva Baja, conocida también con el nombre de región Omagua, bosque tropical amazónico o llanura amazónica, es una ecorregión de selva tropical de planicie. Esta ecorregión es la más extensa del Perú, se alza entre los 80 a 800 m.s.n.m. Posee un clima tropical lluvioso muy cálido, su temperatura media es de 28°C, alta humedad relativa (superior al 75%) y gran cantidad de precipitaciones pluviales. Sus suelos son muy heterogéneos, pero casi todos son de origen fluvial y debido a las altas temperaturas y altas precipitaciones poseen pocos nutrientes. Contiene los siguientes ríos: Amazonas, Ucayali, Marañón, Putumayo, Yavarí, Napo, Tigre y Pastaza.

#### 4.5 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO EN ESTUDIO

La presente investigación está basada en información recolectada de los ensayos de Consolidación Unidimensional ejecutados, debido a que este ensayo brinda mejor información cuando son usados para suelos cohesivos se decidió escoger los departamentos de San Martín, Ucayali y Amazonas. Para conocer las características del suelo encontrado en estos departamentos podemos tomar como base la clasificación SUCS que arrojan estos ensayos recolectados, es por eso que podríamos decir que tipo de suelo y con qué frecuencia se halló cada da tipo en cada departamento. Al presentar estos ensayos unas lecturas a profundidades establecidas podemos con fines de optimizar esta información el dividir los estrados en espesores de 1.5 m. hasta llegar a una profundidad de 6 m. (Profundidad máxima en la mayoría de exploraciones).

| CLASIFICACIÓN SUCS SUELOS FINOS |       |           |   |
|---------------------------------|-------|-----------|---|
| <b>LIMOS Y ARCILLAS</b>         | LL<50 | <b>ML</b> | Limos inorgánicos de baja compresibilidad.  |
|                                 |       | <b>CL</b> | Arcillas inorgánicas de baja a media compresibilidad, arcillas con gravas, arcillas arenosas, arcillas limosas. |
|                                 |       | <b>OL</b> | Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja compresibilidad.   |
|                                 | LL>50 | <b>MH</b> | Limos inorgánicos de alta compresibilidad.  |
|                                 |       | <b>CH</b> | Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad.   |
|                                 |       | <b>OH</b> | Arcillas y limos orgánicos de media a alta plasticidad.   |

Tabla N° 4.1. Sistema Unificado de Clasificación de suelos (S.U.C.S.)

Fuente: Arthur Casagrande

Para especificar el tipo de suelo encontrado en cada investigación utilizaremos la clasificación SUCS o también llamado clasificación modificada de Casagrande, se tomará la sección para suelos de granos finos, los cuales los vamos a dividir en dos grupos, los que poseen Límite Líquido mayor que 50 y Límite Líquido menor que 50. Habiendo detallado la nomenclatura usada para identificar cada suelo fino en los resultados ejecutados, el autor de la presente Tesis ha elaborado cuadros para los departamentos de Ucayali, San Martín y Amazonas, en los que se muestran los tipos de suelos encontrados y la presencia de cada uno expresada en porcentaje según va aumentando la profundidad en exploración geotécnica:

| UCAYALI |           |     |     |    |    |    |     |
|---------|-----------|-----|-----|----|----|----|-----|
| %       | SUCS      | CH  | CL  | MH | ML | SM | SC  |
| PROF    | [0.0-1.5> | 60% | 40% | 0% | 0% | 0% | 0%  |
|         | [1.5-3.0> | 47% | 44% | 2% | 0% | 2% | 5%  |
|         | [3.0-4.5> | 50% | 38% | 0% | 0% | 0% | 13% |
|         | [4.5-6.0> | 58% | 33% | 0% | 8% | 0% | 0%  |

Tabla N° 4.2 Probabilidad de clasificación del suelo según la profundidad de exploración en el dpto. de Ucayali.

Fuente: Estadística elaborada por el Tesista de información recolectada.

| AMAZONAS |           |     |     |     |     |    |     |
|----------|-----------|-----|-----|-----|-----|----|-----|
| %        | SUCS      | CH  | CL  | MH  | ML  | SM | SC  |
| PROF     | [0.0-1.5> | 7%  | 13% | 13% | 60% | 0% | 7%  |
|          | [1.5-3.0> | 33% | 33% | 0%  | 22% | 0% | 11% |
|          | [3.0-4.5> | 33% | 33% | 0%  | 33% | 0% | 0%  |
|          | [4.5-6.0> | 33% | 33% | 0%  | 33% | 0% | 0%  |

Tabla N° 4.3 Probabilidad de clasificación del suelo según la profundidad de exploración en el dpto. de Amazonas

Fuente: Estadística elaborada por el Tesista de información recolectada.

|      |           | SAN MARTIN |     |    |    |     |      |
|------|-----------|------------|-----|----|----|-----|------|
| %    | SUCS      | CH         | CL  | MH | ML | SM  | OL   |
| PROF | [0.0-1.5> | 38%        | 31% | 8% | 8% | 8%  | 8%   |
|      | [1.5-3.0> | 35%        | 29% | 6% | 6% | 18% | 6%   |
|      | [3.0-4.5> | 40%        | 60% | 0% | 0% | 0%  | 0%   |
|      | [4.5-6.0> | 0%         | 0%  | 0% | 0% | 0%  | 100% |

Tabla N° 4.4 Probabilidad de clasificación del suelo según la profundidad de exploración en el dpto. de San Martin

Fuente: Estadística elaborada por el Tesista de información recolectada.

#### 4.5.1. Propiedades intrínsecas en los suelos a estudiar

Las arcillas tienen propiedades intrínsecas las cuales son inherentes al suelo y no dependientes de su estructura en estado natural, es decir que tienen relación a su composición y a su constitución tal como lo son sus propiedades índices, es de esta forma que se puede obtener conclusiones muy acertadas acerca del comportamiento de los suelos entre las propiedades índices y la capacidad de deformación.

En las tablas N° 4.2, 4.3 y 4.4 se muestra la probabilidad de encontrar cada tipo de suelo según la profundidad de exploración, los 3 departamentos a investigar poseen en su mayoría suelos con clasificación CH, CL, MH y ML, el resto de muestras encontradas no tienen una probabilidad mayor al 5% por lo cual podría considerarse un caso aislado. Solo en el departamento de San Martin se encontró un suelo tipo SM con una probabilidad de 18% entre las profundidades de 1.5m y 3.0m. Si tomamos las muestras como un global de datos, casi el 100% de los datos analizados comprenden arcillas y limos y al mismo tiempo se van a utilizar sus propiedades índices para correlacionarlas con el índice de compresibilidad, por lo tanto, se puede inferir que no existirán afectaciones en los resultados por la alterabilidad de las muestras ensayadas.

Para la presente investigación, podría considerarse un análisis global como muestras inalteradas ya que sólo en el departamento de San Martin se tuvo

presencia de muestras remoldeadas, de igual manera se va a analizar la dependencia de este escenario en los resultados a la hora predecir el valor del índice de compresibilidad mediante las ecuaciones obtenidas. También se podría evaluar la efectividad de las ecuaciones existentes por otros autores para muestras remoldeadas.

Previamente a formular ecuaciones para predecir el índice de compresibilidad CC es importante entender los valores de las propiedades índices en los ensayos ejecutados y como se relacionan entre estas al igual que con la clasificación SUCS, se procede a interpretar de la estratigrafía encontrada:

#### 4.5.2. Ucayali

Ucayali es uno de los veinticuatro departamentos del Perú, su capital y ciudad más poblada es Pucallpa. Ucayali está ubicado en el centro del país, en la región Amazónica, limita por el norte con Loreto, por el este con Brasil, por el sur con Madre de Dios y Cuzco, al suroeste con Junín y por el oeste con Pasco y Huánuco. Tiene un área de 102 199,28 km<sup>2</sup> el cuál es el segundo departamento más extenso del país. Posee una densidad poblacional muy baja en comparación con el promedio del país; 4,2 hab./km<sup>2</sup>.

Este departamento está formado por las provincias de Coronel Portillo, Atalaya, Padre Abad y Purús. Pucallpa, su capital está ubicada en la provincia de Coronel Portillo la cual está situada al norte del departamento y al lado del río Ucayali. Pucallpa esta categorizada como la única ciudad en el departamento del Ucayali, siendo el mayor centro poblado del departamento. Se debe considerar que Pucallpa ocupa el 0,05% de la provincia de Coronel Portillo, lo que representa casi el 15% del distrito original.

---

La provincia de Coronel Portillo concentra el 74,36% de la población, la provincia de Padre Abad el 13,87%; la provincia de Atalaya el 10,88% y la Provincia de Purús con el 0,89%. Sumado a esto podemos decir que la provincia de Coronel Portillo concentra el 65% de infraestructura; Padre Abad con el 17%; Atalaya el 14% y Purús con el 4%.

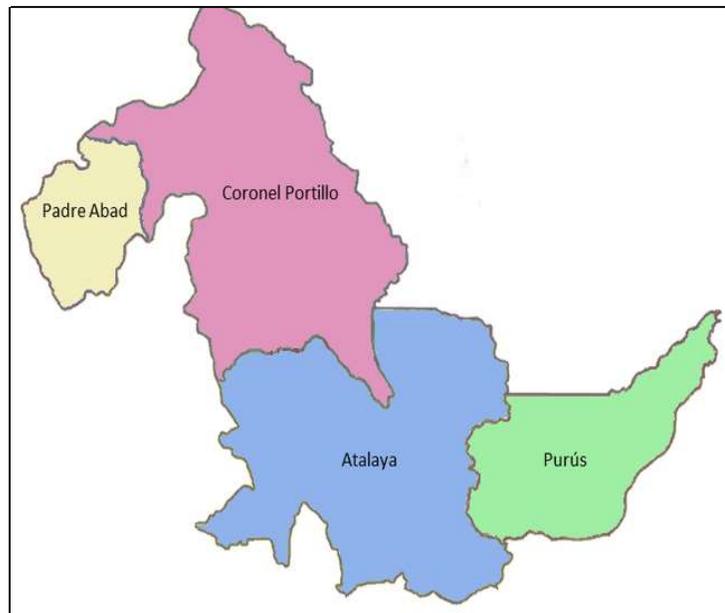


Figura N° 4.3 Provincias del dpto. de Ucayali

#### **Clasificación del suelo (SUCS):**

Con respecto al tipo de suelo encontrado en el departamento de Ucayali, podemos indicar que la mayoría investigaciones fueron realizadas en la provincia de Coronel Portillo por ser esta la capital y la que posee mayor crecimiento en el rubro de la construcción. Considerar que el 99% de muestras extraídas fueron inalteradas.

De las 96 investigaciones y publicaciones anteriores se conoce que Ucayali posee en su mayoría suelos finos, compuestos por arcillas de mediana a alta plasticidad. Según la tabla N° 4.2 el departamento de Ucayali está compuesto por suelos con las siguientes clasificaciones:

- Limos inorgánicos de alta compresibilidad (CH).
- Arcillas inorgánicas de baja a media compresibilidad, arcillas con gravas, arcillas arenosas, arcillas limosas (CL).

Un dato importante para nuestra investigación es que la capacidad portante admisible aproximada es el 1 kg/cm<sup>2</sup> en donde el nivel freático es alto. Si revisamos la estratigrafía formada en el cuadro N° 4.2 después de los 2.5 m. hasta los 4.5 m de profundidad es muy probable encontrar una capa de arena arcillosa.

#### 4.5.3. Amazonas

El departamento de Amazonas está ubicado al norte del país, siendo la frontera con el país de la República del Ecuador, tiene como capital a la provincia Chachapoyas la cual está al sur del departamento. La mayor población está situada en la provincia de Bagua Grande (32 026 habitantes según los datos del Censo Nacional 2017), mientras que todo el departamento tiene una población de 379 384 habitantes (censo realizado en 2017) con una densidad de 9.6 hab./ km<sup>2</sup>. Limita por el lado Oeste con el departamento de Cajamarca, por el sur con el departamento de La Libertad, al sureste con el departamento de San Martín, por el este con el departamento de Loreto y al norte con la República de Ecuador.

---

El territorio tiene un área agreste de 39,200 km<sup>2</sup>, el cual en su mayoría está cubierto por la Amazonía. Este departamento tiene una ubicación que le permite contar con varios ecosistemas como la selva baja, selva alta o yungas, ecosistemas andinos y por último un ecosistema tropical de bosque seco.

Es importante mencionar la hidrografía de este departamento ya que cuenta ríos y lagunas las cuales son importantes en la conformación del suelo, humedad y forma del relieve. Amazonas cuenta con:

- Ríos: Marañón, Chinchipe, Utcubamba, Chiriaco o Imaza, Silaco, Nieva, Jumete o Vilaya, Cenepa y Santiago.
- Lagunas: Laguna de los Cóndores (Chachapoyas-Leymebamba), Laguna del Porvenir (Bagua - Aramango), Laguna de Chonza (Bagua - Copallín), Pomacochas (Bongará) a más de 2000 msnm.

Su relieve es muy accidentado, abarca las regiones interandina y selvática. Se destaca la Cordillera del Cóndor (en medio de la frontera Perú-Ecuador), la Cordillera Central andina (dando origen a la cuenca hidrográfica del Río Marañón), en la parte norte se desplaza hacia el este con un terreno llano y leves accidentes topográficos. Por último, en dirección al sur su relieve es accidentado y posee las mayores alturas ya que se dirige a la sierra del Perú.

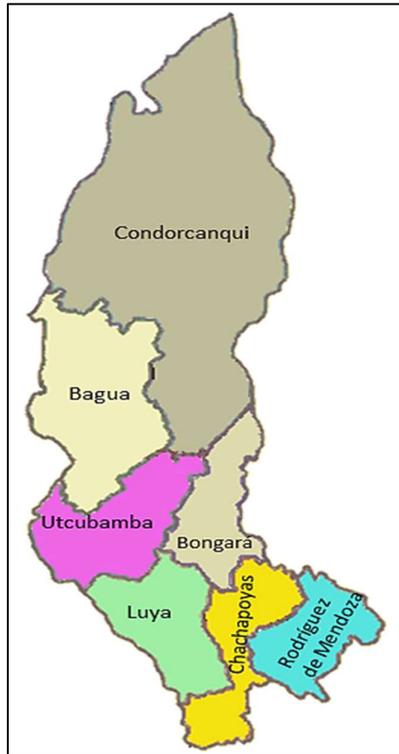


Figura N° 4.4 Provincias del dpto. de Amazonas

#### **Clasificación del Suelo (SUCS):**

Para identificar el tipo de suelo tenemos que revisar las 38 investigaciones realizadas en el departamento de Amazonas, a diferencia del caso anterior, las pruebas de consolidación fueron realizadas en sus 7 provincias y no centrándose en las más pobladas únicamente. Se ha considerado que el 99% de muestras extraídas fueron inalteradas, solo se presentó un caso de una muestra remoldeada extraída en la provincia de Chachapoyas durante la construcción de la carretera Corral Quemado a una profundidad de 2.71m. Según la tabla N°4.3 el departamento de Amazonas está compuesto por suelos finos, se muestra a continuación la clasificación de los hallados en orden descendiente según su probabilidad de presencia:

- Limos inorgánicos de alta compresibilidad (CH).
- Arcillas inorgánicas de baja a media compresibilidad, arcillas con gravas, arcillas arenosas, arcillas limosas (CL).
- Limo con baja plasticidad (ML).
- Limos con alta plasticidad (MH).
- Arcilla arenosa (SC).

Un dato importante para nuestra investigación es que la capacidad portante admisible aproximada es el  $1.35 \text{ kg/cm}^2$ . Según la estratigrafía formada en el cuadro N°4.3 se observa que es muy probable encontrar un limo de alta plasticidad (MH) en la superficie hasta 1.5m de profundidad, los siguientes 3 metros se distribuye entre arcillas de media a alta plasticidad (CH-CL).

Finalmente, si vamos 1.5m de profundidad más, se suma la presencia de Limos de baja a media plasticidad (ML).

#### 4.5.4. **San Martin**

El departamento de San Martin está ubicado en la parte central del país, lado occidental, limita por el norte con el departamento de Amazonas, por el sur con Huánuco, al norte y este con el departamento de Loreto y por ultimo al este con el departamento de La Libertad. La capital de San Martin es la Provincia de Moyobamba ubicada en la parte norte del departamento, la cual posee la mayor población seguida por las provincias de San Martin y Rioja. Tiene un área de  $51,253 \text{ km}^2$ , con una densidad de  $17.25 \text{ hab./km}^2$ .

---

El departamento de San Martín consta de 10 provincias, siendo en la provincia de Moyobamba donde se ubica la capital que es Moyobamba.

La provincia de San Martín concentra el 22.31% de la población, la provincia de Moyobamba el 17.73%; la provincia de Rioja el 15.33%, la Provincia de Lamas el 10.06%, la provincia de Tocache el 8.5%, la provincia de Bellavista el 7%, la provincia Mariscal Cáceres el 5.95%, la provincia de El Dorado el 4.82%, la provincia de Picota el 3.31% y la provincia de Huallaga el 2.98%.

Los principales ejes comerciales son Tarapoto, Moyobamba y Juanjui, En Tarapoto, se encuentra el aeropuerto más importante de la Región; Moyobamba se está convirtiendo en un punto de eje de comunicaciones, debido a numerosos proyectos de construcción de carreteras que la comunicarán directamente con las regiones Amazonas y Loreto. Juanjuí, también se viene desarrollando como un eje de comunicaciones y en el futuro servirá de puente entre la Selva Baja de Loreto, y el Brasil con los Andes y la Costa.

Con una población de 197,129 habitantes según el censo del 2017 Tarapoto es ciudad del departamento de San Martín con la mayor concentración poblacional urbana, se ha conformado como una metrópolis gracias a la principal vía que es la carretera Fernando Belaúnde Terry.



Figura N° 4.5 Provincias del dpto. de San Martín

La provincia de Tarapoto cuenta con el aeropuerto Cadete FAP Guillermo del Castillo Paredes.

El aeropuerto brinda vuelos diarios a las ciudades de Lima, Pucallpa e Iquitos y vuelos regulares a Chiclayo, Trujillo y Leticia (Colombia) siendo uno de los principales aeropuertos con un importante flujo de carga y de pasajeros en el Perú.

Esto hace que después de Lima, el departamento de San Martín es el más variado en composición étnica; es más se podría asegurar que la región es netamente de inmigrantes y sus descendientes.

#### **Clasificación del Suelo (SUCS):**

Los suelos del departamento de San Martín, según el material de origen, pueden ser seleccionados en tres grupos: suelos aluviales recientes, suelos aluviales

antiguos y suelos residuales. Los suelos aluviales recientes son los que están a los lados de los ríos por lo que están cargados continuamente de sedimentos o aportes frescos de ellos. Estos tipos de suelos al ser frescos y húmedos presentan una vocación agrícola con los cultivos al medio ecológico, sin embargo, también se presentan suelos donde el drenaje es malo y la fertilidad baja.

Los suelos aluviales antiguos son los que están formados por sedimentos antiguos de los ríos que cruzan el departamento. Debido a que la fuerza tractiva del agua vence la resistencia de los materiales, produciéndose procesos de socavación lateral y de fondo, se forman desde 15 hasta 40 m. altura, por lo que son considerados terrazas de media y alta magnitud. Tienen una textura de media fina a fina, una topografía plana a un poco ondulada, el drenaje puede ser considerado desde bueno hasta pobre, por último, la fertilidad natural muy baja. A causa de este fenómeno de socavación estas terrazas en muchos casos se han convertido en colinas bajas. En el caso de los suelos Residuales están formados por suelos que se han originado in situ, por de materiales sedimentarios y heterogéneos del Terciario y Cuaternario (lutitas, limolitas, areniscas, gravas) y por motivo de fenómenos orogénicos y epirogénicos, se han formado colinas bajas y altas, las cuales son colindantes con el sistema montañoso de la Sierra. Los suelos son generalmente de textura moderadamente fina a fina, profundos a superficiales y una topografía abrupta, que le da un moderado a alto potencial erosivo.

Para el departamento de San Martín contamos con 57 pruebas de Consolidación, de las cuales 05 fueron muestras remoldeadas y 52 muestras inalteradas. Estos ensayos han sido distribuidos entre las 10 provincias del departamento de San

---

Martin, hay una mayoría de ensayos en la Provincia de San Martin al ser la que posee un mayor desarrollo en el rubro de la construcción debido al turismo.

|      |           | SAN MARTIN |     |    |    |     |      |
|------|-----------|------------|-----|----|----|-----|------|
| %    | SUCS      | CH         | CL  | MH | ML | SM  | OL   |
| PROF | [0.0-1.5> | 38%        | 31% | 8% | 8% | 8%  | 8%   |
|      | [1.5-3.0> | 35%        | 29% | 6% | 6% | 18% | 6%   |
|      | [3.0-4.5> | 40%        | 60% | 0% | 0% | 0%  | 0%   |
|      | [4.5-6.0> | 0%         | 0%  | 0% | 0% | 0%  | 100% |

Tabla N° 4.5 SUCS vs Profundidad San Martin

Según la tabla N°4.5 el departamento de San Martin está compuesto por suelos finos, se muestra a continuación la clasificación de los hallados en orden descendiente según su probabilidad de presencia:

- Arcillas inorgánicas de baja a media compresibilidad, arcillas con gravas, arcillas arenosas, arcillas limosas (CL).
- Limos inorgánicos de alta compresibilidad (CH).
- Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja compresibilidad (OL).
- Arena Limosa (SM).
- Limo de alta plasticidad (MH) en igual presencia que Limo de Baja Plasticidad (ML).
- Un dato importante para nuestra investigación es que la capacidad portante admisible aproximada es el 1.34 kg/cm<sup>2</sup>.

## **CAPÍTULO V: ENSAYOS GEOTECNICOS EJECUTADOS, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE**

### **5.1 ENSAYOS DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL RECOLECTADOS**

Los ensayos de consolidación unidimensional ejecutados son un total de 191, estos se distribuyen entre los departamentos en investigación de la siguiente manera:

- Ucayali: 96
- San Martín: 57
- Amazonas: 38

Esta investigación tiene como objetivo formular ecuaciones para predecir el índice de compresibilidad de los suelos finos de estos departamentos, para esto debemos analizar la información de las propiedades índices obtenidas en los ensayos estándar como clasificación o límites de consistencia.

Una vez distribuidos en el plano de cada departamento podremos ver cómo es que varía la compresibilidad según la distancia entre cada ensayo, acá es donde el análisis de cada propiedad va a tomar importancia ya que dos muestras pueden tener una misma clasificación, pero diferente índice de compresibilidad ya sea por su humedad, relación de vacíos o límite líquido ya que se entiende que estas dependen del comportamiento del agua en este tipo de suelos.

Esto nos va a ayudar a entender el comportamiento de las ecuaciones formuladas, ya que en estas no se va a seleccionar el tipo de suelo ni la profundidad sino sólo hacer dependiente estadísticamente el índice de compresibilidad  $C_c$  con propiedades índice.

De igual manera el presentar los ensayos ejecutados con sus ubicaciones nos hará tomar una decisión con respecto a la cobertura del área en estudio, en caso un departamento no sea abarcado por completo se procederá a estudiar una provincia de este o como en el departamento de Ucayali que la mayor concentración de ensayos está en la ciudad de Pucallpa.

A continuación, se presentan los 180 ensayos de consolidación recolectados para cada departamento:

CAPÍTULO V: ENSAYOS GEOTECNICOS  
EJECUTADOS, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN  
DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE

| ENSAYOS DE CONSOLIDACION EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI – PERÚ |     |                  |                                    |           |        |       |    |                |                |                |
|---|-----|------------------|------------------------------------|-----------|--------|-------|----|----------------|----------------|----------------|
| ITEM  | AÑO | ORIGEN           | PROYECTO                           | PROF.     | SUCS   | W%    | LL | e <sub>0</sub> | C <sub>c</sub> | P <sub>c</sub> |
| U-01  | 98  | Pucallpa         | Pozos exploratorios Lote 86        | 2.45-3.0  | CH     | 29.67 | 56 | 0.95           | 0.23           | 1.32           |
| U-02  | 98  | Pucallpa         | Pozos exploratorios Lote 87        | 1.5-2.0   | CH     | 26.95 | 54 | 0.89           | 0.16           | 1.28           |
| U-03  | 98  | Pucallpa         | C.E.N 65002 AURISTELA              | 0.9-3.0   |        | 24.70 |    | 0.754          | 0.154          | 1.2            |
| U-04  | 98  | Pucallpa         | C.E.N 65002 AURISTELA              | 1.2-2.4   |        | 18.88 |    | 0.65           | 0.125          | 1.25           |
| U-05  | 98  | Pucallpa         | C.E.N 65002 AURISTELA              | 0.5-3.0   |        | 19.32 |    | 0.574          | 0.104          | 1.00           |
| U-06  | 98  | Pucallpa         | C.E.N 65002 AURISTELA              | 0.9-2.5   |        | 21.10 | 39 | 0.645          | 0.117          | 1.10           |
| U-07  | 98  | Pucallpa         | C.E.N 65002 AURISTELA              | 1.8-3.6   |        | 21.92 | 58 | 0.652          | 0.123          | 1.20           |
| U-08  | 13  | Pucallpa         | LINEA DE TRASNMISSION 60KV         | 1.2-3.0   | CL     | 15.60 | 23 | 0.57           | 0.12           | 1.75           |
| U-09  | 13  | Pucallpa         | LINEA DE TRASNMISSION 60KV         | 1.0-3.0   | CL     | 25.30 | 49 | 1.08           | 0.26           | 1.63           |
| U-10  | 13  | Pucallpa         | LINEA DE TRASNMISSION 60KV         | 1.2-2.4   | CL     | 16.90 | 19 | 0.48           | 0.06           | 0.52           |
| U-11  | 13  | Coronel Portillo | PLANTA DE FRACCIONAMIENTO          | 2.5-3.6   | CL     | 24.90 | 45 | 0.72           | 0.16           | 0.99           |
| U-12  | 13  | Coronel Portillo | ORC PUCALLPA                       | 2.0-5.0   | CH     | 29.70 | 77 | 0.79           | 0.21           | 0.57           |
| U-13  | 13  | Coronel Portillo | AGUA POTABLE P.T #1                | 6.0       | CL     | 22.60 | 39 | 0.65           | 0.12           | 2.07           |
| U-14  | 13  | Coronel Portillo | AGUA POTABLE P.T #2                | 6.0       | CH     | 26.80 | 67 | 0.72           | 0.15           | 1.63           |
| U-15  | 13  | Coronel Portillo | C.E.T. PRODUCTIVO (CETPRO)         | 3.0       | CL     | 26.10 | 46 | 0.73           | 0.14           | 0.91           |
| U-16  | 13  | Coronel Portillo | UNIVERSIDAD NACIONAL UCAYALI       | 3.0       | CL     | 28.80 | 44 | 0.67           | 0.14           | 1.48           |
| U-17  | 13  | Coronel Portillo | UNIVERSIDAD NACIONAL UCAYALI       | 3.0       | CL     | 20.00 | 26 | 0.61           | 0.13           | 1.74           |
| U-18  | 12  | Pucallpa         | CONSORCIO PORTUARIO PUCALLPA       | 0.3-3.0   | CH     | 17.00 | 59 | 0.51           | 0.16           | 6.25           |
| U-19  | 12  | Pucallpa         | TERMINAL PORTUARIO PUCALLPA        | 0.3-3.0   | ML     | 30.40 | 29 | 0.88           | 0.17           | 1.11           |
| U-20  | 12  | Coronel Portillo | C.E.T. PRODUCTIVO (CEPRO)          | 3.0       | CH     | 14.50 | 52 | 0.8            | 0.2            | 0.86           |
| U-21  | 12  | Coronel Portillo | INSTITUTO SAN FRANCISCO            | 2.0       | CH     | 10.30 | 71 | 0.48           | 0.14           | 9.46           |
| U-22  | 12  | Coronel Portillo | REAL PLAZA PUCALLPA                | 6.0       | SC     | 13.20 | 29 | 0.76           | 0.2            | 0.50           |
| U-23  | 12  | Coronel Portillo | REAL PLAZA PUCALLPA                | 4.0       | SM     | 7.60  | 21 | 0.76           | 0.13           | 0.40           |
| U-24  | 12  | Coronel Portillo | REAL PLAZA PUCALLPA                | 6.0       | CH     | 21.10 | 56 | 0.92           | 0.21           | 0.21           |
| U-25  | 12  | Coronel Portillo | REAL PLAZA PUCALLPA                | 4.0       | CL     | 19.80 | 41 | 0.75           | 0.14           | 2.38           |
| U-26  | 12  | Coronel Portillo | REAL PLAZA PUCALLPA                | 4.0       | CH     | 26.10 | 70 | 0.71           | 0.15           | 1.30           |
| U-27  | 12  | Coronel Portillo | HOSPITAL REGIONAL                  | 2.0       | CH     | 21.00 | 24 | 0.58           | 0.14           | 1.24           |
| U-28  | 12  | Coronel Portillo | HOSPITAL REGIONAL                  | 2.00      | CL     | 22.00 | 23 | 0.68           | 0.16           | 1.90           |
| U-29  | 12  | Coronel Portillo | HOSPITAL REGIONAL                  | 2.00      | CL     | 20.10 | 25 | 0.66           | 0.19           | 1.41           |
| U-30  | 12  | Coronel Portillo | HOSPITAL REGIONAL                  | 2.00      | CH     | 20.50 | 28 | 0.76           | 0.13           | 2.59           |
| U-31  | 11  | Coronel Portillo | ESTUDIO GEOTECNICO GEOTOPLAND      | 19.5-20.0 | CL     | 23.10 | 27 | 0.72           | 0.17           | 0.70           |
| U-32  | 11  | Pucallpa         | I.E FERNANDO CARBAJAL SEGURA       | 3.00      | SC     | 23.60 | 29 | 0.83           | 0.13           | 2.24           |
| U-33  | 11  | Coronel Portillo | I.E N 65002 AURITELA DAVILA        | 3.00      | CH     | 33.00 | 89 | 0.8            | 0.22           | 1.48           |
| U-34  | 11  | Coronel Portillo | I.E.N 64064 JOSE ABELARDO QUIÑONES | 3.00      | CH     | 28.70 | 73 | 1.1            | 0.29           | 0.58           |
| U-35  | 11  | Coronel Portillo | UGEL                               | 3.00      | CL     | 18.90 | 33 | 0.59           | 0.12           | 1.08           |
| U-36  | 11  | Coronel Portillo | PUESTO DE SALUD JOSE OLAYA         | 3.00      | CH     | 14.00 | 51 | 0.61           | 0.16           | 0.59           |
| U-37  | 10  | Pucallpa         | MAPA DE PELIGROS                   | 0.00-3.20 | CH     | 20.20 | 75 | 0.7            | 0.14           | 2.55           |
| U-38  | 10  | Coronel Portillo | C.E. EL ARENAL PUCALLPA            | 3.00      | CL- ML | 20.30 | 20 | 0.68           | 0.12           | 0.70           |
| U-39  | 10  | Coronel Portillo | N 65012 WILLIAN DYER AMPUDIA       | 2.00      | CH     | 25.70 | 84 | 0.83           | 0.21           | 0.57           |

CAPÍTULO V: ENSAYOS GEOTECNICOS  
EJECUTADOS, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN  
DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE

|      |    |                      |                                      |          |    |       |    |       |       |      |
|------|----|----------------------|--------------------------------------|----------|----|-------|----|-------|-------|------|
| U-40 | 10 | Coronel Portillo     | E.I.N. 261 BARCIA BONIFATTI          | 2.50     | CH | 36.20 | 62 | 0.94  | 0.2   | 2.57 |
| U-41 | 10 | Coronel Portillo     | COLEGIO NACIONAL YARINACocha #1      | 2.00     | CL | 10.90 | 37 | 0.69  | 0.19  | 1.17 |
| U-42 | 10 | Coronel Portillo     | COLEGIO NACIONAL YARINACocha #2      | 2.00     | CL | 24.40 | 49 | 0.9   | 0.21  | 0.70 |
| U-43 | 10 | Coronel Portillo     | COLEGIO NACIONAL YARINACocha #3      | 2.0      | CH | 21.50 | 56 | 0.77  | 0.15  | 1.51 |
| U-44 | 10 | Coronel Portillo     | PUESTO SALUD MICAELA BASTIDAS        | 2.00     | CL | 5.90  | 26 | 0.63  | 0.14  | 0.30 |
| U-45 | 10 | Coronel Portillo     | ESTADIO ALIARDO SARIA PEREZ          | 2.50     | CH | 29.70 | 60 | 0.86  | 0.18  | 0.83 |
| U-46 | 10 | Coronel Portillo     | I.E. ALFREDO VARGAS GUERRA           | 2.00     | CH | 26.50 | 54 | 0.85  | 0.16  | 0.58 |
| U-47 | 10 | Coronel Portillo     | I.E. NUETRA SEÑORA DE GUADALUPE      | 2.50     | CL | 24.70 | 40 | 0.66  | 0.16  | 0.78 |
| U-48 | 10 | Pucallpa             | GEOS CONSULTORES                     | 2.1-2.70 | CL | 23.70 | 43 | 0.75  | 0.18  | 1.50 |
| U-49 | 10 | Pucallpa             | MAPA DE PELIGROS                     | 0.0-3.20 | CH | 20.20 | 75 | 0.7   | 0.14  | 2.55 |
| U-50 | 10 | Pucallpa             | MAPA DE PELIGROS                     | 0.0-3.00 | CH | 24.40 | 65 | 0.82  | 0.2   | 1.13 |
| U-51 | 10 | Pucallpa             | MAPA DE PELIGROS                     | 0.0-2.50 | CH | 23.70 | 61 | 0.8   | 0.18  | 1.53 |
| U-52 | 09 | Pucallpa             | I.E COMERCIO 64- Elmer Faucett       | 2.00     | CL | 21.20 | 40 | 0.8   | 0.12  | 0.37 |
| U-53 | 09 | Coronel Portillo     | SISTEMA DE AGUA POTABLE              | 6.70     | CH | 18.30 | 53 | 0.57  | 0.129 | 0.98 |
| U-54 | 09 | Coronel Portillo     | SISTEMA DE AGUA POTABLE              | 9.40     | CL | 23.50 | 52 | 0.855 | 0.142 | 1.34 |
| U-55 | 09 | Coronel Portillo     | SISTEMA DE AGUA POTABLE              | 9.90     | CH | 27.40 | 50 | 0.964 | 0.141 | 0.54 |
| U-56 | 09 | Coronel Portillo     | SISTEMA DE AGUA POTABLE              | 5.40     | CH | 19.70 | 50 | 0.818 | 0.13  | 0.44 |
| U-57 | 09 | Coronel Portillo     | SISTEMA DE AGUA POTABLE              | 4.10     | CH | 20.50 | 52 | 0.851 | 0.14  | 0.50 |
| U-58 | 09 | Coronel Portillo     | I.E. SAN FERNANDO-MONATAY            | 2.00     | CL | 15.90 | 28 | 0.63  | 0.11  | 1.38 |
| U-59 | 09 | Coronel Portillo     | I.E. 65001 CORONEL PORTILLO          | 2.00     | SC | 15.60 | 40 | 0.8   | 0.16  | 0.58 |
| U-60 | 09 | Coronel Portillo     | I.E AGROPECUARIA CALLERIA            | 2.00     | CH | 26.70 | 64 | 1.07  | 0.22  | 1.01 |
| U-61 | 09 | Coronel Portillo     | I.E. .640115 SOR ANNETA DE JESUS     | 2.00     | CH | 31.00 | 51 | 1.2   | 0.21  | 0.36 |
| U-62 | 09 | Coronel Portillo     | AV. MIRAFLORES Y JR.F. KENNEDI       | 6.00     | CH | 22.70 | 65 | 0.83  | 0.16  | 0.50 |
| U-63 | 09 | Coronel Portillo     | AV. MIRAFLORES Y JR.F. KENNEDI       | 6.00     | CH | 17.60 | 64 | 0.59  | 0.14  | 2.51 |
| U-64 | 09 | Coronel Portillo     | AV. MIRAFLORES Y JR.F. KENNEDI       | 6.00     | MH | 49.90 | 68 | 1.45  | 0.35  | 0.87 |
| U-65 | 09 | Coronel Portillo     | AV. MIRAFLORES Y JR.F. KENNEDI       | 6.00     | CH | 27.30 | 72 | 1.01  | 0.27  | 0.40 |
| U-66 | 09 | Coronel Portillo     | AV. MIRAFLORES Y JR.F. KENNEDI       | 6.00     | CH | 26.50 | 68 | 1.2   | 0.29  | 0.56 |
| U-67 | 09 | Coronel Portillo     | I.E.N. 64004 MARGARITA AURORA        | 2.00     | CL | 21.90 | 27 | 0.71  | 0.17  | 1.41 |
| U-68 | 09 | Coronel Portillo     | I.E. INTEGRADA N.64911               | 2.00     | CH | 26.30 | 68 | 0.96  | 0.18  | 1.05 |
| U-69 | 08 | Yarinacocha-Pucallpa | SISTEMA DE AGUA POTABLE RESERVORIO 3 | 5.00     | CH | 31.20 | 69 | 1.01  | 0.15  | 0.29 |
| U-70 | 08 | Coronel Portillo     | AGUA Y DESAGUE DE CAMPO VERDE        | 4.50     | CH | 21.70 | 53 | 0.77  | 0.14  | 1.44 |
| U-71 | 08 | Pucallpa             | AV. UNION                            | 2.50     | SM | 17.00 | 22 | 0.55  | 0.07  | 1.18 |
| U-72 | 08 | Pucallpa             | AV. UNION                            | 3.00     | SM | 19.00 | 24 | 0.59  | 0.08  | 1.35 |
| U-73 | 08 | Pucallpa             | I.E. FRANCISCO BOLOGNESI             | 2.00     | CH | 29.50 | 83 | 0.94  | 0.19  | 0.68 |
| U-74 | 08 | Pucallpa             | I.E. LA INMACULADA                   | 2.00     | CH | 18.70 | 54 | 0.89  | 0.24  | 0.63 |
| U-75 | 08 | Pucallpa             | I.E. ENCARNACION VILLACORTA          | 2.00     | CL | 21.10 | 43 | 0.69  | 0.16  | 1.12 |
| U-76 | 08 | Coronel Portillo     | LABORATORIO INGENIERIA AGROPECUARIO  | 1.80     | CL | 21.50 | 46 | 0.8   | 0.22  | 0.70 |
| U-77 | 07 | Av.Union-Pucallpa    | MEJORAMIENTO JR. UNION               | 2.00     | CL | 16.00 | 31 | 0.58  | 0.09  | 1.14 |
| U-78 | 06 | Pucallpa             | SUNAT                                | 2.00     | CH | 33.80 | 94 | 0.81  | 0.19  | 1.25 |
| U-79 | 06 | Pucallpa             | ESCUELA PNP PUCALLPA                 | 0.1-0.20 | CH |       |    | 0.77  | 0.14  | 0.91 |

CAPÍTULO V: ENSAYOS GEOTECNICOS  
EJECUTADOS, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN  
DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE

|      |    |                     |  |          |    |       |    |       |       |      |
|------|----|---------------------|--|----------|----|-------|----|-------|-------|------|
| U-80 | 06 | Pucallpa            | SALA DE AUDIENCIAS DEL JUZGADO                       | 1.1-3.00 | CH | 24.60 | 61 | 0.74  | 0.2   | 2.34 |
| U-81 | 04 | San Juan-Pucallpa   | TERMINAL PORTUARIO                                   | 2.00     | CL | 23.90 | 47 | 0.7   | 0.19  | 1.88 |
| U-82 | 14 | Pucallpa            | BISA   | 2.8-3.00 | SM | 30.00 | 41 | 0.95  | 0.09  | 0.38 |
| U-83 | 14 | Pucallpa            | BISA   | 2.5-3.20 | SM | 28.00 | 43 | 0.98  | 0.1   | 0.30 |
| U-84 | 12 | Padre Abad          | I.E ALEXANDER VON HUMBOLTH                           | 3.00     | CL | 18.50 | 47 | 0.61  | 0.13  | 1.63 |
| U-85 | 11 | Atalaya             | AGUA Y DESAGUE EN BREU-ATALAYA                       | 6.00     | CL | 18.40 | 39 | 0.72  | 0.14  | 1.72 |
| U-86 | 10 | Ucayali             | I.S.P. HORACIO ZEVALLOS GOMEZ                        | 2.00     | CH | 34.30 | 63 | 0.98  | 0.18  | 1.00 |
| U-87 | 10 | Ucayali             | I.S.P. HORACIO ZEVALLOS GOMEZ                        | 1.50     | CH | 33.80 | 61 | 0.96  | 0.19  | 1.15 |
| U-88 | 10 | Malecon Yarinacocha | ACONDICIONAMIENTO TURISTICO                          | 5.00     | CL | 32.00 | 44 | 0.95  | 0.23  | 1.71 |
| U-89 | 08 | Padre Abad          | ENSAYO TECNICO                                       | 5.00     | CL | 25.50 | 33 | 0.73  | 0.14  | 0.50 |
| U-90 |    |                     | AGUA POTABLE   | 3.00     | CL | 20.90 | 38 | 0.74  | 0.15  | 0.51 |
| U-91 |    |                     | PLANTA DE TRATAMIENTO #1                             | 6.00     | CL | 22.60 | 39 | 0.65  | 0.12  |      |
| U-92 |    |                     | PLANTA DE TRATAMIENTO #2                             | 6.00     | CH | 26.80 | 67 | 0.72  | 0.15  |      |
| U-93 |    |                     | Instituto Superior Pedagógico Horacio Zevallos Gómez | 2.00     | CH | 19.80 | 48 | 0.65  | 0.182 | 1.00 |
| U-94 |    |                     | Turístico del Lago Yarinacocha                       | 5.00     | CL | 32.00 | 43 | 0.647 | 0.225 |      |
| U-95 |    |                     | Educativa N° 65044 Villa el Salvador                 | 2.00     | CH | 30.90 | 48 | 0.772 | 0.153 |      |
| U-96 |    |                     | Institución Educativa N° 64096                       | 2.00     | CL | 24.40 | 49 | 0.889 | 0.21  | 0.70 |

Tabla N° 5.1 Ensayos de consolidación unidimensional realizados en el departamento de Ucayali (96 ensayos).

| ENSAYOS DE CONSOLIDACION EN EL DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN – PERÚ |     |            |                             |             |      |        |                |                |                |                |
|--|-----|------------|-----------------------------|-------------|------|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| ITEM   | AÑO | LUGAR      | PROYECTO                    | PROF.       | SUCS | W%     | L <sub>L</sub> | e <sub>0</sub> | C <sub>c</sub> | P <sub>c</sub> |
| SM-01  | 0   | San Martin | PUENTE YURACYACU            | 17.60-18.30 | CH   | 26.57  | 51.89          | 1.00           | 0.28           | 0.46           |
| SM-02  | 0   | San Martin | PUENTE YURACYACU            | 33.00-33.90 | MH   | 64.08  | 74.92          | 1.80           | 0.55           | 1.57           |
| SM-03  | 0   | San Martin | PUENTE YURACYACU            | 36.60-37.50 | OH   | 106.11 | 89.41          | 2.15           | 0.70           | 1.11           |
| SM-04  | 13  | San Martin | ESTACION DE SALUD SISA      | 0.60-2.30   | CL   | 15.40  | 45.00          | 0.62           | 0.19           | 1.48           |
| SM-05  | 13  | San Martin | ESTACION DE SALUD SISA      | 0.50-2.80   | CL   | 14.90  | 44.00          | 0.60           | 0.20           | 1.20           |
| SM-06  | 13  | Tocache    | HOSPITAL TOCACHE            | 1.00-1.80   | MH   | 30.00  | 55.00          | 1.00           | 0.215          | 2.21           |
| SM-07  | 13  | Tocache    | HOSPITAL TOCACHE            | 1.20-2.00   | MH   | 32.80  | 57.00          | 1.03           | 0.23           | 1.75           |
| SM-08  | 13  | Saposa     | ESTACION DE SALUD SAPOSOA   | 1.00-4.00   | CL   | 17.70  | 42.00          | 0.67           | 0.21           | 1.55           |
| SM-09  | 13  | Saposa     | ESTACION DE SALUD SAPOSOA   | 1.80-3.70   | CH   | 18.00  | 40.00          | 0.70           | 0.24           | 1.60           |
| SM-10  | 13  | Bellavista | HOSPITAL BELLAVISTA         | 1.00-1.90   | CH   | 25.00  | 48.00          | 0.80           | 0.29           | 1.11           |
| SM-11  | 13  | Bellavista | HOSPITAL BELLAVISTA         | 1.00-3.00   | CH   | 26.10  | 50.00          | 0.89           | 0.32           | 1.25           |
| SM-12  | 13  | Picota     | ESTACION DE SALUD DE PICOTA | 0.00-4.00   | CH   | 21.30  | 69.00          | 0.66           | 0.15           | 2.43           |
| SM-13  | 13  | San Martin | LINEA DE TRASNMISSION 220KV | 1.45-2.00   | CH   | 22.40  | 50.00          | 0.55           | 0.09           | 1.22           |
| SM-14  | 13  | San Martin | LINEA DE TRASNMISSION 220KV | 2.45-3.00   | CH   | 17.00  | 68.00          | 0.61           | 0.12           | 1.84           |
| SM-15  | 13  | San Martin | LINEA DE TRASNMISSION 220KV | 3.20-4.80   | CH   | 16.50  | 72.00          | 0.63           | 0.14           | 1.20           |
| SM-16  | 13  | San Martin | LINEA DE TRASNMISSION 220KV | 2.45-3.00   | SC   | 8.80   | 27.00          | 0.53           | 0.08           | 0.90           |
| SM-17  | 10  | Rioja      | C.H. NARANJAR II            | 0.20-1.90   | SM   | 23.50  | 19.00          | 0.75           | 0.13           | 2.26           |
| SM-18  | 10  | Rioja      | C.H. NARANJAR II            | 2.00-2.50   | CL   | 22.00  | 24.00          | 0.80           | 0.14           | 1.90           |
| SM-19  | 10  | Rioja      | C.H. NARANJAR II            | 1.80-2.60   | CL   | 21.60  | 29.00          | 0.75           | 0.14           | 1.68           |

CAPÍTULO V: ENSAYOS GEOTECNICOS  
EJECUTADOS, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN  
DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE

|       |    |             |  |             |       |       |       |      |       |      |
|-------|----|-------------|--|-------------|-------|-------|-------|------|-------|------|
| SM-20 | 10 | Rioja       | C.H. NARANJAR II                       | 1.20-1.60   | ML    | 43.90 | 35.00 | 1.43 | 0.41  | 0.90 |
| SM-21 | 10 | Rioja       | C.H. NARANJAR II                       | 0.20-2.00   | SC    | 20.50 | 23.00 | 0.78 | 0.17  | 0.98 |
| SM-22 | 10 | Moyobamba   | INFRAESTRUCTURA DE LA SEDE DIRIGENCIAL | 0.80-2.40   | CH    | 23.10 | 52.00 | 0.72 | 0.20  | 1.94 |
| SM-23 | 10 | Moyobamba   | INFRAESTRUCTURA DE LA SEDE DIRIGENCIAL | 0.80-1.60   | CL    | 20.80 | 33.00 | 0.68 | 0.19  | 1.54 |
| SM-24 | 10 | Moyobamba   | INFRAESTRUCTURA DE LA SEDE DIRIGENCIAL | 1.80-2.40   | CL    | 19.30 | 43.00 | 0.63 | 0.13  | 1.48 |
| SM-25 | 08 | Rioja       | PLANTA DE CEMENTO SELVA S.A            | 5.60-6.30   | OL    | 61.20 | 40.00 | 1.69 | 0.46  | 0.14 |
| SM-26 | 08 | Rioja       | PLANTA DE CEMENTO SELVA S.A            | 4.50-6.10   | OL    | 60.00 | 38.00 | 1.74 | 0.45  | 0.10 |
| SM-27 | 08 | Moyobamba   | CONSTRUCCION PUENTE MOTILONES          | 8.60-9.20   | ML    | 34.90 | 39.00 | 1.30 | 0.30  | 1.20 |
| SM-28 | 08 | Moyobamba   | CONSTRUCCION PUENTE MOTILONES          | 15.65-15.90 | CH    | 37.10 | 54.00 | 1.09 | 0.24  | 1.13 |
| SM-29 | 08 | Moyobamba   | CONSTRUCCION PUENTE MOTILONES          | 12.80-13.50 | CL    | 41.70 | 44.00 | 1.24 | 0.43  | 1.25 |
| SM-30 | 07 | Tarapoto    | CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO            | 10.60-10.83 | CL    | 10.80 | 43.00 | 0.43 | 0.14  | 1.61 |
| SM-31 | 07 | Tarapoto    | CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO            | 7.70-7.95   | CL    | 10.20 | 43.00 | 0.40 | 0.11  | 3.44 |
| SM-32 | 07 | Tarapoto    | CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO            | 8.80-8.95   | CL    | 7.10  | 32.00 | 0.46 | 0.13  | 0.62 |
| SM-33 | 07 | Tarapoto    | CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO            | 6.87-7.10   | CL    | 8.60  | 41.00 | 0.31 | 0.10  | 1.49 |
| SM-34 | 07 | San Martin  | CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO            | 6.95-7.55   | CL    | 30.50 | 55.00 | 1.19 | 0.31  | 1.56 |
| SM-35 | 07 | San Martin  | CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO            | 21.64-21.90 | CL    | 10.60 | 39.00 | 0.59 | 0.12  | 1.06 |
| SM-36 | 07 | San Martin  | CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO            | 18.15-18.30 | CL    | 7.50  | 38.00 | 0.40 | 0.11  | 1.81 |
| SM-37 | 07 | San Martin  | CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO            | 6.45-7.00   | CH    | 20.80 | 54.00 | 0.77 | 0.17  | 1.43 |
| SM-38 | 07 | San Martin  | CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO            | 11.50-11.96 | CL    | 15.80 | 36.00 | 0.67 | 0.12  | 1.15 |
| SM-39 | 07 | San Martin  | CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO            | 3.50-4.00   | CH    | 26.50 | 67.00 | 0.95 | 0.19  | 1.05 |
| SM-40 | 07 | San Martin  | CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO            | 3.20-3.60   | CL    | 14.10 | 32.00 | 0.55 | 0.11  | 0.78 |
| SM-41 | 07 | San Martin  | CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO            | 13.15-13.45 | CL    | 12.40 | 24.00 | 0.36 | 0.05  | 1.13 |
| SM-42 | 07 | San Martin  | CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO            | 3.74-4.10   | CL    | 16.30 | 49.00 | 0.57 | 0.14  | 2.34 |
| SM-43 | 07 | San Martin  | CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO            | 17.9-18.20  | CL    | 15.20 | 46.00 | 0.50 | 0.09  | 1.17 |
| SM-44 | 07 | Tarapoto    | IIRSA NORTE TRAMO II                   | 23.00-25.00 | CL    | 9.50  | 30.00 | 0.50 | 0.10  | 0.35 |
| SM-45 | 07 | Tarapoto    | IIRSA NORTE TRAMO II                   | 26.57-26.82 | CL    | 10.30 | 32.00 | 0.46 | 0.09  | 0.40 |
| SM-46 | 07 | San Martin  | IRRIGACION PUCACACA                    | 0.99        | CH    | 7.10  | 64.00 | 0.88 | 0.36  | 0.83 |
| SM-47 | 07 | San Martin  | IRRIGACION PUCACACA                    | 4.00        | CH    | 7.30  | 62.00 | 0.90 | 0.38  | 1.15 |
| SM-48 | 07 | San Martin  | IRRIGACION PAUJILZAPA                  | 2.60        | SM    | 3.60  | N     | 0.51 | 0.04  | 0.41 |
| SM-49 | 07 | San Martin  | IRRIGACION PAUJILZAPA                  | 3.10        | SM    | 3.50  | N     | 0.54 | 0.06  | 0.55 |
| SM-50 | 06 | Santa Lucia | ESCUELA PNP SANTA LUCIA                | 1.21-2.90   | SC    | 9.50  | 29.00 | 0.81 | 0.20  | 0.23 |
| SM-51 | 06 | Santa Lucia | ESCUELA PNP SANTA LUCIA                | 1.82-3.00   | SC    | 9.90  | 31.00 | 0.76 | 0.19  | 2.06 |
| SM-52 | 06 | San Martin  | SISTEMA ALCANTARILLADO                 | 2.00        | CL    | 21.70 | 25.00 | 0.57 | 0.15  | 1.45 |
| SM-53 | 06 | San Martin  | SISTEMA ALCANTARILLADO                 | 3.50        | CL    | 19.50 | 45.00 | 1.18 | 0.35  | 0.49 |
| SM-54 | 05 | Rioja       | COMISARIA PNP RIOJA                    | 0.95-3.00   | CH    | 27.30 | 61.00 | 0.76 | 0.17  | 1.73 |
| SM-55 | 05 | Rioja       | COMISARIA PNP RIOJA                    | 1.00-2.50   | CH    | 25.30 | 60.00 | 0.79 | 0.165 | 1.48 |
| SM-56 | 04 | San Martin  | BANCO DE LA NACION                     | 0.74-2.50   | CL-ML | 9.00  | 25.00 | 0.82 | 0.30  | 0.47 |
| SM-57 | 04 | San Martin  | BANCO DE LA NACION                     | 0.85-2.10   | CL    | 8.50  | 27.00 | 0.91 | 0.27  | 0.60 |

Tabla N° 5.2 Ensayos de consolidación unidimensional realizados en el departamento de San Martin (57 ensayos).

CAPÍTULO V: ENSAYOS GEOTECNICOS  
EJECUTADOS, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN  
DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE

| ENSAYOS DE CONSOLIDACION EN EL DEPARTAMENTO DE AMAZONAS – PERÚ |     |              |                                |            |      |        |       |      |      |      |
|--|-----|--------------|--------------------------------|------------|------|--------|-------|------|------|------|
| ITEM   | AÑO | LUGAR        | PROYECTO                       | PROF.      | SUCS | W%     | LL    | e0   | Cc   | Pc   |
| A-01   | 98  | Bagua grande | C.E 17074                      | 0.00-1.400 | CL   | 8.15   | 46.55 | 0.51 | 0.18 | 1.05 |
| A-02   | 98  | Bagua grande | C.E 17074                      | 0.00-1.50  | CH   | 11.54  | 62.40 | 0.54 | 0.23 | 2.00 |
| A-03   | 98  | Bagua grande | C.E 17074                      | 0.00-1.80  | CH   | 10.50  | 60.20 | 0.52 | 0.22 | 1.83 |
| A-04   | 98  | Bagua grande | C.E 17074                      | 0.00-2.00  | CH   | 8.40   | 44.50 | 0.50 | 0.20 | 1.51 |
| A-05   | 98  | Bagua grande | CENTRO DE SALUD                | 1.70       | CL   | 8.83   | 47.06 | 1.50 | 0.44 | 1.70 |
| A-06   | 98  | Bagua grande | CENTRO DE SALUD                | 1.80       | CL   | 8.75   | 46.50 | 1.40 | 0.42 | 1.65 |
| A-07   | 98  | Bagua grande | HOSPITAL APOYO II              | 1.70       | CH   | 7.48   | 54.34 | 1.47 | 0.46 | 1.80 |
| A-08   | 98  | Bagua grande | HOSPITAL APOYO II              | 2.00       | CH   | 7.61   | 53.50 | 1.49 | 0.48 | 1.91 |
| A-09   | 98  | Bagua grande | HOSPITAL APOYO II              | 2.10       | CL   | 7.70   | 53.00 | 1.50 | 0.46 | 1.80 |
| A-10   | 98  | Bagua grande | HOSPITAL APOYO II              | 1.60       | CH   | 7.90   | 52.00 | 1.48 | 0.45 | 1.68 |
| A-11   | 00  | AMAZONAS     | VIA CARROZABLE TIWINZA-ECUADOR | 0.20-0.80  | ML   | 58.98  | 55.31 | 3.41 | 1.35 | 1.45 |
| A-12   | 00  | AMAZONAS     | VIA CARROZABLE TIWINZA-ECUADOR | 0.20-2.00  | MH   | 69.96  | 62.82 | 2.77 | 1.03 | 1.46 |
| A-13   | 00  | AMAZONAS     | VIA CARROZABLE TIWINZA-ECUADOR | 0.05-0.80  | MH   | 117.20 | 55.72 | 2.88 | 1.08 | 1.00 |
| A-14   | 00  | AMAZONAS     | VIA CARROZABLE TIWINZA-ECUADOR | 0.05-1.10  | MH   | 63.16  | 54.27 | 2.37 | 0.88 | 1.29 |
| A-15   | 00  | AMAZONAS     | VIA CARROZABLE TIWINZA-ECUADOR | 0.05-1.20  | MH   | 86.59  | 55.72 | 2.88 | 1.08 | 0.65 |
| A-16   | 00  | AMAZONAS     | VIA CARROZABLE TIWINZA-ECUADOR | 0.10-1.40  | MH   | 67.39  | 54.27 | 2.37 | 0.88 | 1.55 |
| A-17   | 00  | AMAZONAS     | VIA CARROZABLE TIWINZA-ECUADOR | 0.80-1.70  | SM   | 46.46  | 40.86 | 1.54 | 0.43 | 1.10 |
| A-18   | 00  | AMAZONAS     | VIA CARROZABLE TIWINZA-ECUADOR | 0.20-1.20  | MH   | 76.82  | 63.69 | 2.23 | 0.78 | 0.85 |
| A-19   | 00  | AMAZONAS     | VIA CARROZABLE TIWINZA-ECUADOR | 0.10-1.20  | CL   | 23.85  | 35.70 | 0.61 | 0.15 | 0.95 |
| A-20   | 10  | PROV. NIEVAS | PUENTE SANTA MARIA DE NIEVAS   | 0.50       | CL   | 22.00  | 65.00 | 0.97 | 0.21 | 2.69 |
| A-21   | 10  | PROV. NIEVAS | PUENTE SANTA MARIA DE NIEVAS   | 2.00       | CL   | 21.50  | 68.00 | 0.99 | 0.18 | 2.00 |
| A-22   | 08  | YAMBRASBAMBA | PROYECTO BONGARA               | 2.00-2.40  | CL   | 26.20  | 38.00 | 0.62 | 0.14 | 0.76 |
| A-23   | 08  | YAMBRASBAMBA | PROYECTO BONGARA               | 2.00-2.40  | CL   | 41.90  | 43.00 | 1.17 | 0.27 | 1.45 |
| A-24   | 07  | Bagua grande | CARRETERA TRANSOCEANICA        | 4.00-4.30  | CL   | 14.80  | 46.00 | 0.76 | 0.21 | 1.04 |
| A-25   | 07  | Bagua grande | CARRETERA TRANSOCEANICA        | 2.00-2.30  | CH   | 15.20  | 61.00 | 1.01 | 0.28 | 0.30 |
| A-26   | 07  | Bagua grande | CARRETERA TRANSOCEANICA        | 2.00-2.30  | CH   | 16.30  | 74.00 | 0.99 | 0.29 | 0.78 |
| A-27   | 07  | Bagua grande | CARRETERA TRANSOCEANICA        | 4.00-4.20  | CL   | 10.20  | 47.00 | 0.48 | 0.13 | 1.97 |
| A-28   | 07  | Bagua grande | CARRETERA TRANSOCEANICA        | 4.00-4.25  | CH   | 13.80  | 65.00 | 0.58 | 0.10 | 3.44 |
| A-29   | 02  | AMAZONAS     | CARRETERA CORRAL QUEMADO       | 2.00       | CH   |        |       | 1.13 | 0.32 | 1.24 |
| A-30   | 02  | AMAZONAS     | CARRETERA CORRAL QUEMADO       | 0.60       | ML   |        |       | 0.97 | 0.14 | 0.85 |
| A-31   | 02  | BONGARA      | PROYECTO BONGARA               | 2.50       | MH   | 33.70  | 56.00 | 1.17 | 0.30 | 1.46 |
| A-32   | 02  | BONGARA      | PROYECTO BONGARA               | 3.00-3.50  | MH   | 32.50  | 55.52 | 1.21 | 0.45 | 2.00 |
| A-33   | 02  | BONGARA      | PROYECTO BONGARA               | 3.50       | MH   | 34.00  | 54.15 | 1.20 | 0.40 | 1.86 |
| A-34   | 01  | CHACHAPOYAS  | TESIS                          | 0.00-1.50  | MH   |        |       | 2.15 | 0.66 | 2.19 |
| A-35   | 01  | CHACHAPOYAS  | TESIS                          | 0.00-1.60  | MH   |        |       | 2.20 | 0.57 | 1.04 |
| A-36   | 01  | CHACHAPOYAS  | TESIS                          | 0.30-1.70  | MH   |        |       | 1.83 | 0.60 | 1.55 |
| A-37   | 01  | CHACHAPOYAS  | TESIS                          | 0.00-1.70  | MH   |        |       | 2.10 | 0.62 | 0.98 |
| A-38   | 01  | CHACHAPOYAS  | TESIS                          | 0.20-2.00  | MH   |        |       | 2.33 | 0.59 | 0.70 |

Tabla N° 5.3 Ensayos de consolidación unidimensional realizados en el departamento de Amazonas (38 ensayos).

## 5.2 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE A PARTIR DE ENSAYOS ESTÁNDAR RECOLECTADOS

A partir de las tablas 5.1, 5.2 y 5.3 se procederá a hacer un análisis de las propiedades que se van a usar para formular las ecuaciones que predecirán el índice de compresibilidad  $C_c$ .

Las propiedades a analizar como ya se explicó en el capítulo II serán la humedad natural  $W_0$ , relación de vacíos  $e_0$ , límite líquido  $L_L$  y el índice de compresibilidad  $C_c$ . Se empezará analizando las propiedades índices que se obtienen a partir de ensayos estándar para entender el comportamiento del suelo según su clasificación y ubicación, finalmente se analizará el índice de compresibilidad  $C_c$  mínimo y máximo logrando así entender el completo comportamiento y dependencia del índice de compresibilidad con las propiedades índice en cada departamento, así como decidir no considerar muestras con propiedades superiores al promedio las cuales son consideradas casos aislados.

El análisis será por cada departamento de la siguiente manera:

### 5.2.1. Ucayali

#### 5.2.1.1. *Humedad del suelo:*

La humedad mínima y máxima encontradas en el departamento de Ucayali son las siguientes:

---

| HUMEDAD |           |      |      |
|---------|-----------|------|------|
|         | Prof. (m) | SUCS | W%   |
| MÍNIMA  | 2         | CL   | 5.9  |
| MÁXIMA  | 6         | MH   | 49.9 |

|          |       |
|----------|-------|
| PROMEDIO | 23.48 |
|----------|-------|

Tabla N° 5.4 Humedad mínima y máxima de Ucayali

La humedad mínima registrada fue en la provincia de Pucallpa a una profundidad de 2 metros con un valor de 5.9%, el suelo fue una arcilla limosa (CL).

Por otro lado, la humedad máxima registrada fue en la provincia de Coronel Portillo a una profundidad de 6 metros con un valor de 49.9%, el suelo fue un Limo inorgánico (MH). Como humedad promedio de los 90 datos tenemos un valor de 23.48%.

#### 5.2.1.2. Límite Líquido ( $L_L$ )

El Límite Líquido mínimo y máximo encontrados en el departamento de Ucayali son los siguientes:

| LÍMITE LÍQUIDO |           |      |       |
|----------------|-----------|------|-------|
|                | Prof. (m) | SUCS | $L_L$ |
| MÍNIMA         | 1.2-2.4   | CL   | 19    |
| MÁXIMA         | 0.1-0.2   | CH   | 94    |

|          |       |
|----------|-------|
| PROMEDIO | 49.06 |
|----------|-------|

Tabla N° 5.5 Limite liquido mínimo y máximo de Ucayali

Las muestras con el máximo y mínimo valor de Límite Líquido fueron registradas en la ciudad de Pucallpa, la mínima fue clasificada como una Arcilla inorgánica de baja a media compresibilidad o una arcilla con presencia de limos (CL), este estrato se encontró entre 1.2-2.4 m. de profundidad con un valor de  $L_L=19$  (bajo valor de límite líquido). Sin embargo, el valor máximo del límite líquido registrado fue de  $L_L=94$  en un estrato a una profundidad de 0.1-0.2 m. para un suelo arcilloso de alto valor de límite líquido, este alto valor de  $L_L$  registrado indica que este suelo a esa profundidad era de una arcilla normalmente consolidada o con presencia mínima de limos. Considerar que la muestra pudo haber sido tomada en días de lluvias.

#### 5.2.1.3. **Relación de vacíos ( $e_o$ )**

El Límite Líquido mínimo y máximo encontrados en el departamento de Ucayali son los siguientes:

| <b>RELACIÓN DE VACÍOS</b> |           |      |       |
|---------------------------|-----------|------|-------|
|                           | Prof. (m) | SUCS | $e_o$ |
| MÍNIMA                    | 1.2-2.4   | CL   | 0.48  |
| MÁXIMA                    | 6         | CH   | 1.45  |

|          |      |
|----------|------|
| PROMEDIO | 0.77 |
|----------|------|

Tabla N° 5.6 Relación de vacíos mínima y máxima de Ucayali

Ambas muestras seleccionadas para estos valores de relación de vacíos fueron tomadas en la provincia de Coronel Portillo. La relación de vacíos en suelos es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de sólidos, al ver los tipos de suelo registrados en este cuadro tenemos una arcilla de bajo límite líquido además de poca compresibilidad y una arcilla de alto límite líquido.

El volumen de vacíos representa el volumen que ocupa el volumen de aire más el volumen de agua, es decir que la presencia de agua o aire en estas muestras es baja para cuando  $e_o = 0.48$  y es alta para cuando  $e_o = 1.45$ . Si queremos ahondar un poco más podemos observar la humedad que tienen estas muestras y cuando la relación de vacíos es baja la humedad registrada fue de 49.9% y para cuando se obtuvo una relación de vacíos alta la humedad registrada fue de 10.3%, con esto podríamos decir que la relación de vacíos es inversamente proporcional a la humedad.

## 5.2.2. Amazonas

### 5.2.2.1. Humedad del suelo

La humedad mínima y máxima encontradas en el departamento de Amazonas son las siguientes:

| HUMEDAD #1 |           |      |       |
|------------|-----------|------|-------|
|            | Prof. (m) | SUCS | W%    |
| MÍNIMA     | 1.7       | CL   | 7.48  |
| MÁXIMA     | 0.0-0.8   | MH   | 117.2 |
| PROMEDIO   |           |      | 38.6  |

Tabla N° 5.7 Humedad mínima y máxima de Amazonas

La humedad mínima registrada fue en la provincia de Bagua (Bagua Grande) a una profundidad de 1.7 metros con un valor de 7.48%, el suelo fue una arcilla limosa (CL). Sin embargo, la humedad máxima registrada fue en la provincia de Condorcanqui a una profundidad de 0.0-0.8 metros con un valor de 117.2%, el suelo fue un Limo inorgánico (MH). Este valor supera el 100%, se puede entender

que era un suelo con presencia orgánica el cual a la hora de secarlo perdió masa por lo que se genera un valor de humedad irreal.

Por tal motivo se debería de considerar como humedad máxima el valor de 86.59% para un Limo de alta plasticidad encontrado a una profundidad de 0.05-1.2 m. la cual fue extraída en el mismo proyecto donde se encontró la muestra con humedad de 117.2%. Con este cambio nuestro nuevo cuadro sería el siguiente:

| <b>HUMEDAD #2</b> |           |      |       |
|-------------------|-----------|------|-------|
|                   | Prof. (m) | SUCS | W%    |
| MÍNIMA            | 1.7       | CL   | 7.48  |
| MÁXIMA            | 0.05-1.2  | MH   | 86.59 |
| PROMEDIO          |           |      | 35.76 |

Tabla N° 5.8 Humedad #2 mínima y máxima de Amazonas

#### 5.2.2.2. **Límite Líquido (LL)**

El Límite Líquido mínimo y máximo encontrados en el departamento de Amazonas son los siguientes:

| <b>LÍMITE LÍQUIDO</b> |           |      |      |
|-----------------------|-----------|------|------|
|                       | Prof. (m) | SUCS | LL   |
| MÍNIMA                | 0.6       | CL   | 30   |
| MÁXIMA                | 2.0-2.3   | CH   | 74   |
| PROMEDIO              |           |      | 51.6 |

Tabla N° 5.9 Límite líquido mínimo y máximo de Amazonas

La muestra con el mínimo valor de Límite Líquido fue encontrada en la provincia de Chachapoyas, clasificada como una Arcilla inorgánica de baja a media

compresibilidad o una arcilla con presencia de limos (CL), se encontró a una profundidad de 0.6 m. con un valor de LL=30. En la provincia de Bagua Grande fue encontrada la muestra con el máximo valor del límite líquido LL=74 a una profundidad de estrato de 2.0-2.3 m.

En comparación con las muestras extraídas en el departamento de Ucayali, aquí los valores de Límite Líquido no tienen un rango grande ya que no presenta muestras con datos aislados.

El promedio del límite líquido  $L_L$  al tener un valor de 51.6 da a entender la presencia limos y arcillas media a alta plasticidad, sin embargo, revisando el valor del IP= 45 podemos considerar como predominante a la arcilla según la carta de plasticidad de Casagrande.

#### 5.2.2.3. **Relación de vacíos ( $e_o$ )**

El Límite Líquido mínimo y máximo encontrados en el departamento de Amazonas son los siguientes:

| RELACIÓN DE VACÍOS |           |      |       |
|--------------------|-----------|------|-------|
|                    | Prof. (m) | SUCS | $e_o$ |
| MÍNIMA             | 4.0-4.2   | CL   | 0.48  |
| MÁXIMA             | 0.2-0.8   | ML   | 3.41  |

|          |      |
|----------|------|
| PROMEDIO | 1.52 |
|----------|------|

Tabla N° 5.10 Relación de vacíos mínimo y máximo de Amazonas

Con respecto a la relación de vacíos, se observa que el valor máximo de la relación de vacíos es de  $e_o= 3.41$ , un valor superior a 1 por lo que se entiende es un material muy suelto. Si observamos la profundidad a la que fue extraída esta

muestra 0.2-0.8 m. y a la humedad de la muestra de 59% podemos concluir que el nivel freático en esta zona es superficial. La muestra fue clasificada como Limos de baja plasticidad, sin embargo, a partir de su  $LL = 55.31$  y su  $LP = 40.40$  también podemos concluir que en esta muestra había gran porcentaje de arcillas sin embargo en presencia por debajo de los limos, esta arcilla es la que hizo que tenga una plasticidad considerable. Por otro lado, el valor mínimo de la relación de vacíos fue de  $e_o = 0.48$  clasificando a la muestra como una arcilla de baja plasticidad, el componente secundario lo podemos interpretar a partir de los límites. Esta muestra tiene un  $L_L = 47$  y un  $LP = 18$ , con un  $IP = 29$  concluimos que el segundo elemento un Limo, logrando así clasificar a esta muestra como Arcilla Limosa (CL). Revisando la humedad tenemos un valor de  $W\% = 10.20$  lo que concuerda con el bajo valor de la relación de vacíos.

### 5.2.3. San Martin

#### 5.2.3.1. Humedad del suelo

La humedad mínima y máxima encontradas en el departamento de San Martin son las siguientes:

| HUMEDAD |           |      |        |
|---------|-----------|------|--------|
|         | Prof. (m) | SUCS | W%     |
| MÍNIMA  | 2.68      | SM   | 3.6    |
| MÁXIMA  | 36.6-37.5 | OH   | 106.11 |

|               |       |
|---------------|-------|
| PROMEDIO (W%) | 23.48 |
|---------------|-------|

Tabla N° 5.11 Humedad mínima y máxima de San Martin

En este departamento se presenta el mismo caso de la humedad registrada por encima del 100% como se presentó en el departamento de Amazonas y ya explicamos cual pudo haber sido el proceso desarrollado para obtener este valor en ese caso, sin embargo, el punto en contra a esta teoría es que la profundidad para esta muestra es de 36.6-37.5 m y no superficial como en la anterior.

Al haber encontrado a esta profundidad suelo orgánico nos dice que la formación de los suelos no es constante, estos suelos pueden haber sido muy antiguos o quizá en esos años donde se formó ese suelo pasaba por ahí un río o había una humedad alta, esta idea se refuerza ya que la muestra de la que nos referimos fue extraída como investigación del Puente Yuracyacu, provincia El Dorado.

Por ser una investigación que busca correlacionar valores, al tener esta muestra un valor especial de humedad se ha decidido no considerarla y tomar el valor máximo menor a 100% registrado.

En el siguiente cuadro se presenta los valores a considerar después del análisis:

| <b>HUMEDAD (w%)</b> |            |      |       |
|---------------------|------------|------|-------|
|                     | Prof. (m)  | SUCS | W%    |
| MÍNIMA              | 2.68       | SM   | 3.6   |
| MÁXIMA              | 33.00-33.9 | MH   | 64.08 |

|               |       |
|---------------|-------|
| PROMEDIO (W%) | 21.27 |
|---------------|-------|

Tabla N° 5.12 Humedad #2 mínima y máxima de San Martin

Por lo tanto, la humedad máxima registrada a considerar es la de W%=64.08 habiendo sido clasificada por un Limo de alta plasticidad (MH) a una profundidad de 33.0-33.9 m. El promedio no ha variado de manera considerable lo que nos

indica que la muestra anterior superior a 100% era un caso puntual y excluyente. En el caso de la humedad mínima tenemos un valor de  $W\%=3.6$  para una muestra clasificada como Arena Limosa (SM) a una profundidad de 2.68 m. Este valor de humedad y sumado a que el elemento dominante es una arena podría no ser un valor despreciable, recordar que una arena necesita de un valor aproximadamente de  $L_L=20$  para estar en estado líquido, es más al ser una arena la capacidad de retención de líquidos es baja y eso se refleja en esa humedad al ser extraída la muestra aun cuando es una zona de lluvias contantes.

#### 5.2.3.2. Límite Líquido ( $L_L$ )

El Límite Líquido mínimo y máximo encontrados en el departamento de Amazonas son los siguientes:

| LÍMITE LÍQUIDO #1 |           |      |       |
|-------------------|-----------|------|-------|
|                   | Prof. (m) | SUCS | LL    |
| MÍNIMA            | 0.2-1.9   | SM   | 19    |
| MÁXIMA            | 36.6-37.5 | OH   | 89.41 |

|          |       |
|----------|-------|
| PROMEDIO | 44.59 |
|----------|-------|

Tabla N° 5.13 Límite líquido mínimo y máximo de San Martin

La muestra con el mínimo valor de Límite Líquido fue encontrada en la provincia de Rioja, clasificada como una Arena Limosa (SM), se encontró a una profundidad de 0.2-1.9 m. con un valor de  $L_L=19$ . Al ser la arena el elemento dominante en la muestra esta no debería tener plasticidad y se corrobora en los datos de laboratorio al presentar  $LP=N$ . Por otro lado, en la provincia de El Dorado fue encontrada la muestra con el máximo valor del límite líquido  $L_L=89.41$  a una profundidad de estrato de 36.6-37.5 m. Para el caso de la humedad se explicó el

por qué no deberíamos de considerar esta muestra por lo que será considerada la que tenga el siguiente máximo valor por lo que se tendría el siguiente cuadro para este departamento:

| <b>LÍMITE LÍQUIDO #2</b> |           |      |       |
|--------------------------|-----------|------|-------|
|                          | Prof. (m) | SUCS | LL    |
| MÍNIMA                   | 0.2-1.9   | SM   | 19    |
| MÁXIMA                   | 33.0-33.9 | MH   | 74.92 |

|          |       |
|----------|-------|
| PROMEDIO | 43.52 |
|----------|-------|

Tabla N° 5.14 Límite líquido #2 mínimo y máximo de San Martín  
Finalmente, el Límite Líquido a utilizar como máximo será de  $L_L=74.92$  para una muestra de Limo de alta plasticidad que se corrobora al tener un  $IP=50.01$  a una profundidad de 33.0-33.9 m. El Límite líquido promedio es de 43.52 lo que nos permite concluir que la mayoría de las muestras están formadas por finos en su mayoría.

#### 5.2.3.3. **Relación de vacíos ( $e_o$ )**

El Límite Líquido mínimo y máximo encontrados en el departamento de San Martín son los siguientes:

| <b>RELACIÓN DE VACÍOS #1</b> |           |      |       |
|------------------------------|-----------|------|-------|
|                              | Prof. (m) | SUCS | $e_o$ |
| MÍNIMA                       | 6.87-7.1  | CL   | 0.31  |
| MÁXIMA                       | 36.6-37.5 | OH   | 2.15  |

|          |      |
|----------|------|
| PROMEDIO | 0.81 |
|----------|------|

Tabla N° 5.15 Relación de vacíos mínimo y máximo de San Martín

En este caso debemos eliminar el valor máximo por las razones expuestas anteriormente, este valor de 2.15 representa a un suelo que en presenta más de 2 veces el volumen de vacíos que volumen de sólidos, como se ve es una materia orgánica de alta plasticidad (OH), no es una muestra representativa así que se tomará el máximo valor anterior a este, quedando el cuadro de la siguiente manera:

| RELACIÓN DE VACÍOS #2 |           |      |       |
|-----------------------|-----------|------|-------|
|                       | Prof. (m) | SUCS | $e_o$ |
| MÍNIMA                | 6.87-7.1  | CL   | 0.31  |
| MÁXIMA                | 33.0-33.9 | MH   | 1.80  |

|          |      |
|----------|------|
| PROMEDIO | 0.78 |
|----------|------|

Tabla N° 5.16 Relación de vacíos mínimo y máximo de San Martin

El mínimo valor de la relación de vacíos registrado en la provincia de Tarapoto, este valor de la relación de vacíos fue de  $e_o=0.31$  para una muestra de Arcilla de baja plasticidad a una profundidad de 6.87-7.1 m., es clasificada así ya que tiene un valor de  $L_L=41$ . Tiene además un  $LP=15$  lo que indica que el otro elemento que la compone sería una arena en menor porcentaje que la arcilla, pero igual quitándole plasticidad a la muestra. Como sabemos el volumen de agua más el volumen de aire es el volumen total de vacíos, por lo tanto, la humedad sería directamente proporcional a la relación de vacíos y esto se reafirma al ver que esta muestra tiene una humedad de  $W\%=8.6$  la cual es baja como la relación de vacíos. Por otro lado, el máximo valor de la relación de vacíos fue registrado en la provincia de El Dorado, el valor de la relación de vacíos a analizar es de  $e_o=1.80$

para una muestra de Limo de alta plasticidad a una profundidad de 33.0-33.9 m., podemos ver que tiene un valor de  $L_L=74.92$  lo que reafirma su clasificación. Tiene como  $LP=38.47$  y una humedad de  $W\%=64.08$ , lo que corrobora que para un caso de suelo fino dominante y a una humedad alta el valor de la relación de vacíos también es alto al tener estos suelos un alto nivel de retención de agua.

### 5.3 ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE COMPRESIBILIDAD CC RECOLECTADOS

El objetivo de la investigación es formular ecuaciones para predecir el índice de compresibilidad  $C_c$  a partir de propiedades índice, es preciso analizar de manera independiente el índice de compresibilidad ya que previo a formular las ecuaciones se debe de entender los valores mínimo y máximo, el comportamiento de estas a ciertas profundidades, clasificación SUCS y la dependencia con sus propiedades índice. Esto nos va a ayudar a formular de manera correcta las ecuaciones y no solo brindar resultados estadísticos sin fundamento geotécnico. Es importante observar la ubicación de las muestras en cada departamento para así conocer las áreas con menor densidad de muestras y no considerar estas para formular ecuaciones ya que el objetivo es brindar ecuaciones con una alta correlación. Como las ecuaciones formuladas serán para cada departamento o provincia, para este análisis si se debe contabilizar los ensayos por cada provincia y ver si se logra cubrir un área representativa del departamento. Esto se adjuntó en el anexo C y D.

#### 5.3.1. Ucayali

La distribución de los ensayos de consolidación unidimensional por provincias en el departamento de Ucayali es de la siguiente manera:

---

- Coronel Portillo: 80
- Padre Abad: 8
- Atalaya: 8
- Purús: 0

Plantear ecuaciones para definir un valor del índice de compresibilidad en general para cualquier zona del departamento de Ucayali podría ser afectado por tener poca información de algunas provincias o que estén alejadas sus ubicaciones, sin embargo, se estimará un valor confiable para la provincia de coronel portillo, con énfasis en su capital Pucallpa la cual es la zona donde hay más demanda de construcciones formales representativas para el departamento de Ucayali. Al final se van a comparar estas 3 ecuaciones y ver si infiere en algo el usarla para todo el departamento o solo para la ciudad de Pucallpa.

A continuación, se analiza en cada provincia sus valores máximos, mínimo y medio del índice de compresibilidad y ver como varían con sus propiedades índice para ver si hay una relacion de dependencia entre todas:

| UCAYALI                 |       | SUCS | W%    | L <sub>L</sub> | e <sub>0</sub> | C <sub>c</sub> |
|-------------------------|-------|------|-------|----------------|----------------|----------------|
| <b>ATALAYA</b>          | Máx.  | CH   | 29.67 | 56.00          | 0.95           | 0.23           |
|                         | Mín.  | CL   | 18.4  | 39.00          | 0.72           | 0.14           |
|                         | Prom. |      |       |                |                |                |
| <b>CORONEL PORTILLO</b> | Máx.  | MH   | 49.90 | 68.00          | 1.45           | 0.35           |
|                         | Mín.  | CL   | 5.90  | 19.00          | 0.48           | 0.06           |
|                         | Prom. |      |       |                |                |                |
| <b>PADRE ABAD</b>       | Máx.  | MH   | 25.5  | 33.00          | 0.73           | 0.14           |
|                         | Mín.  | CL   | 18.5  | 47.00          | 0.61           | 0.13           |
|                         | Prom. |      |       |                |                |                |

Tabla N° 5.17 Valores máximo y mínimo del índice de compresibilidad en cada provincia con sus respectivas propiedades índice (dpto. de Ucayali).

Como hemos mencionado líneas arriba la mayoría de ensayos están en la provincia de Coronel Portillo, específicamente en la capital Pucallpa, es por eso que sus valores máximo y mínimo del índice de compresibilidad deben ser la base para comparar los valores de las demás provincias. Así de la tabla 5.17 se obtuvo lo siguiente:

#### 5.3.1.1. ***Índice de compresibilidad mínimo***

En este caso las tres provincias presentan valores de índice de compresibilidad mínimo para suelos con clasificación CL (arcillas inorgánicas de baja plasticidad), los valores de  $C_c$  son proporcionales con la humedad  $W\%$ , límite líquido  $L_L$  y con la relación de vacíos  $e_o$  en las tres provincias. El menor valor de índice de compresibilidad está ubicado en la provincia de Coronel Portillo con un valor de 0.06 lo cual es casi nula el cambio de volumen que representa esto, podría considerarse que la muestra fue tomada en un sitio con sobrecargas previamente existentes, la muestra fue tomada a 1.2 metros de profundidad. En este valor mínimo de  $C_c$  el límite líquido es de 68.

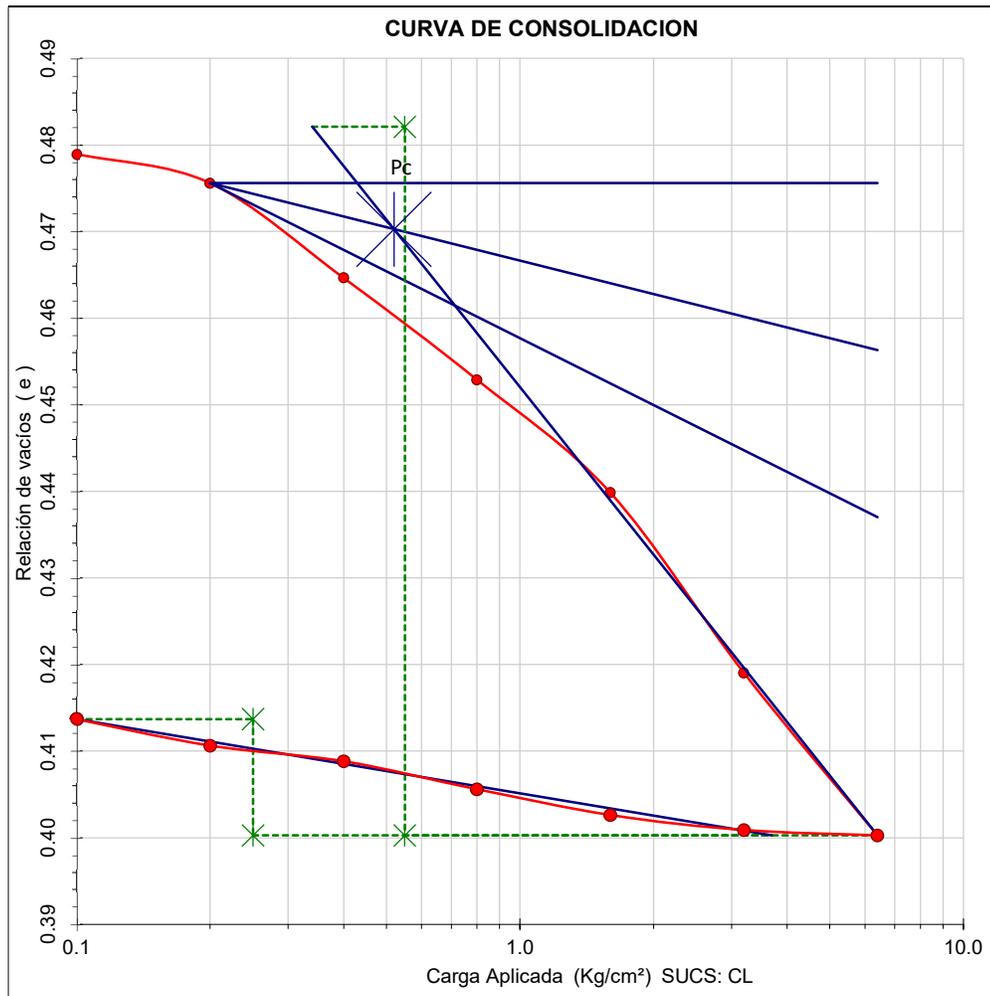


Gráfico N° 5.1 Curva de consolidación de CC mínimo

Fuente: CISMID

$$\Delta e_c = 0.082 \longrightarrow C_c = 0.064$$

$$\Delta e_c = 0.013 \longrightarrow C_s = 0.008$$

$$P_c = 0.52 \text{ Kg/cm}^2$$

5.3.1.2. Índice de compresibilidad máximo

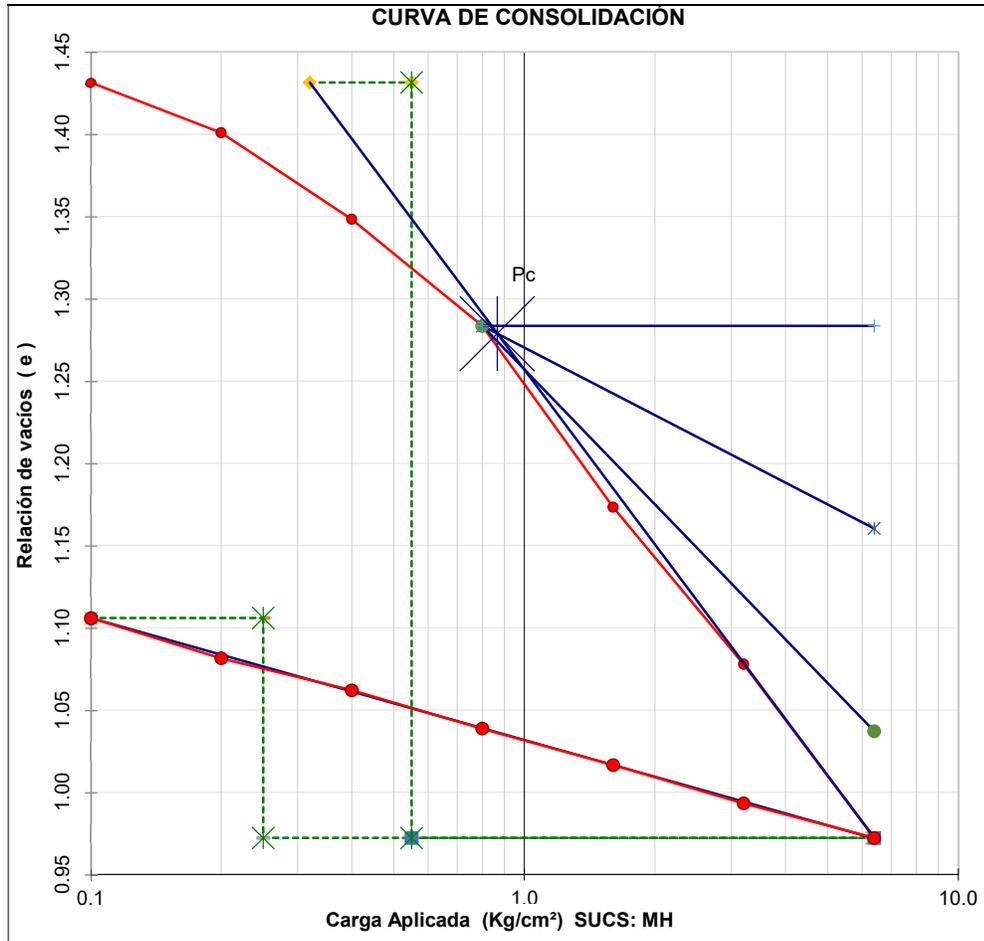


Gráfico N° 5.2 Curva de consolidación de CC máximo

Fuente: CISMID

$$\Delta e_c = 0.459 \longrightarrow C_c = 0.353$$

$$\Delta e_c = 0.134 \longrightarrow C_s = 0.074$$

$$P_c = 0.87 \text{ Kg/cm}^2$$

En este caso la clasificación SUCS de las muestras tomadas son CH (arcillas de alta plasticidad) y MH (limos de alta plasticidad). El valor máximo del índice de compresibilidad  $C_c$  pertenece a la provincia de Coronel Portillo con un valor de

0.35. Al igual que en el caso anterior este valor del índice de compresibilidad  $C_c$  es directamente proporcional con las demás propiedades índice, lo importante en este caso es observar que el suelo es distinto para los máximos valores en las provincias, podría pronosticarse que la ecuación formulada vaya a tener poca efectividad, sin embargo, debemos analizar el global de ensayos y darnos cuenta que suelos con clasificación MH son menos del 2% para este departamento por lo que en el capítulo 5 podría tomarse como un caso aislado y no considerarse dentro de los datos al momento de hacer la dispersión. Los suelos predominantes en Ucayali son con suelos finos compuestos con mayor presencia de arcillas en estos. Finalmente, si tomamos los valores promedio de todos los ensayos en cada provincia son muy semejantes, esto nos da una idea de que al formular una sola ecuación general para obtener valores confiables en todo el departamento sería viable.

### 5.3.2. **San Martin**

La distribución en cada provincia de los 57 ensayos es de la siguiente manera:

- San Martin: 16
  - Rioja: 11
  - Moyobamba: 09
  - Lamas: 05
  - El Dorado: 05
  - Tocache: 04
  - Picota: 03
-

- Bellavista: 02
- Huallaga: 02
- Mariscal Cáceres: 00

El 28% de ensayos fueron realizados en la provincia de San Martín ya que en esta está ubicado Tarapoto, la ciudad más urbanizada y comercial del departamento. No se tiene ensayos realizados en la provincia de Mariscal Cáceres aun cuando es la provincia más grande del departamento y podría entenderse ya que la principal actividad en esta provincia es la agricultura con un 91% de la población, seguida por la ganadería, con un 7%.

A continuación, se analiza en cada provincia sus valores máximos, mínimo y medio del índice de compresibilidad:

| SAN MARTIN |       | SUCS | W%     | L <sub>L</sub> | e <sub>0</sub> | C <sub>c</sub> |
|------------|-------|------|--------|----------------|----------------|----------------|
| SAN MARTIN | Máx.  | CL   | 19.50  | 45.00          | 1.18           | 0.35           |
|            | Mín.  | SM   | 3.60   | N              | 0.51           | 0.04           |
|            | Prom. |      |        |                |                | 0.14           |
| RIOJA      | Máx.  | OL   | 61.20  | 40.00          | 1.69           | 0.46           |
|            | Mín.  | CL   | 15.20  | 46.00          | 0.50           | 0.09           |
|            | Prom. |      |        |                |                | 0.22           |
| MOYOBAMBA  | Máx.  | CL   | 41.70  | 44.00          | 1.24           | 0.43           |
|            | Mín.  | CL   | 12.40  | 24.00          | 0.36           | 0.05           |
|            | Prom. |      |        |                |                | 0.20           |
| LAMAS      | Máx.  | CL   | 30.50  | 55.00          | 1.19           | 0.31           |
|            | Mín.  | CL   | 7.50   | 38.00          | 0.40           | 0.11           |
|            | Prom. |      |        |                |                | 0.17           |
| EL DORADO  | Máx.  | OH   | 106.11 | 89.41          | 2.15           | 0.70           |
|            | Mín.  | CL   | 15.40  | 45.00          | 0.62           | 0.19           |
|            | Prom. |      |        |                |                | 0.38           |
| TOCACHE    | Máx.  | MH   | 32.80  | 57.00          | 1.03           | 0.23           |
|            | Mín.  | SC   | 9.90   | 31.00          | 0.76           | 0.19           |
|            | Prom. |      |        |                |                | 0.21           |
|            | Máx.  | CH   | 7.30   | 62.00          | 0.90           | 0.38           |

|                   |       |    |       |       |      |      |
|-------------------|-------|----|-------|-------|------|------|
| <b>PICOTA</b>     | Mín.  | CH | 21.30 | 69.00 | 0.66 | 0.15 |
|                   | Prom. |    |       |       |      | 0.30 |
| <b>BELLAVISTA</b> | Máx.  | CH | 26.10 | 50.00 | 0.89 | 0.32 |
|                   | Mín.  | CH | 25.00 | 48.00 | 0.80 | 0.29 |
|                   | Prom. |    |       |       |      | 0.31 |
| <b>HUALLAGA</b>   | Máx.  | CH | 18.00 | 40.00 | 0.70 | 0.24 |
|                   | Mín.  | CL | 17.70 | 42.00 | 0.67 | 0.21 |
|                   | Prom. |    |       |       |      | 0.23 |

Tabla N° 5.18 Valores máximo y mínimo del índice de compresibilidad para cada provincia con sus respectivas propiedades índice (dpto. de San Martín).

#### 5.3.2.1. *Índice de compresibilidad mínimo*

Normalmente el rango del índice de compresibilidad  $C_c$  esta entre 0.1-10, sin embargo, para este departamento se presenta un valor de 0.04 y de 0.05 para las provincias de San Martín y Moyobamba respectivamente. Estos valores tan bajos son calificados para arenas homogéneas en un estado suelto es por eso que la clasificación que recibe este suelo es de SM cuando  $C_c=0.04$ , esta muestra fue remoldeada. Suelos de clasificación CL también pueden tener baja compresibilidad  $C_c=0.05$  ya que en los resultados recolectados estas muestras no presentas límites.

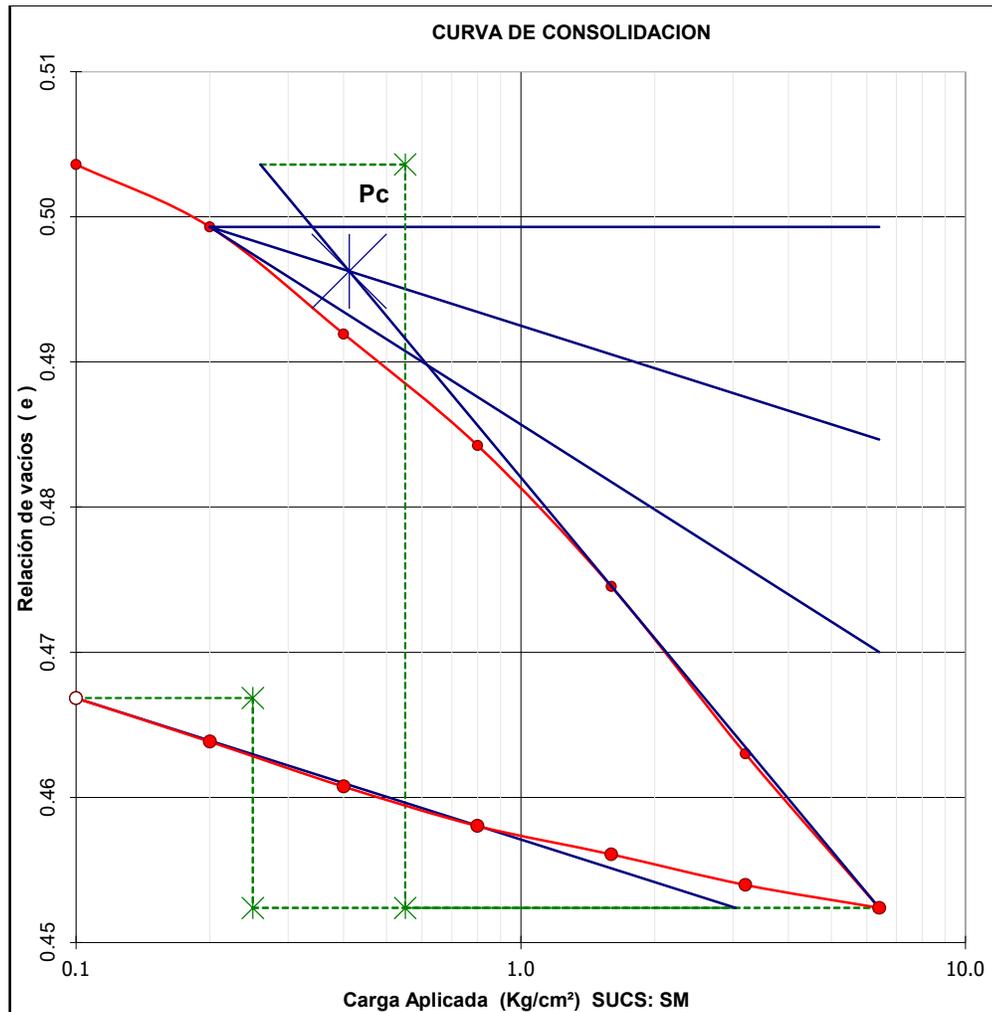


Gráfico N° 5.3 Curva de consolidación de CC mínimo

Fuente: CISMID

$$\Delta e_c = 0.051 \longrightarrow C_c = 0.037$$

$$\Delta e_s = 0.014 \longrightarrow C_s = 0.009$$

$$P_c = 0.41 \text{ Kg/cm}^2$$

La clasificación de los suelos para  $C_c$  mínimos tiene en su predominancia arcillas con alta y baja plasticidad, sin dejar de lado que, a diferencia de los otros departamentos estudiados, San Martín tiene varias muestras remoldeadas SM ya que cuenta con suelos compuestos por limos y arenas causando baja plasticidad.

En este caso al encontrar muestras remoldeadas se debería hacer un programa de ensayos específicamente para este tipo de muestras y así verificar la influencia en los resultados en comparación con las inalteradas, logrando así entender el concepto de propiedades intrínsecas de los suelos. Se muestra la curva de consolidación donde el tramo inicial es casi nulo lo que indica que existía una sobrecarga previa al ensayo.

#### 5.3.2.2. **Índice de compresibilidad máximo**

En este departamento los valores máximos del índice de compresibilidad  $C_c$  tienen diferente clasificación de suelo, esta fue en la provincia de El Dorado a una profundidad de 36.6m. con un valor de  $C_c=0.7$  para una arcilla limosa de alta plasticidad o orgánicos, esto concuerda con la tendencia de que los suelos con alto valor de IP tienen alta compresibilidad.

La profundidad representativa fue para el proyecto "PUENTE YURACYACU", al estar a la rivera del río es entendible que registre una humedad  $W\%= 106.40$ . El resto de índices de compresibilidad máximos son para valores semejantes entre 0.35-0.46 en suelos con mayor presencia de arcillas entre baja y alta plasticidad, esto va a depender de cierta presencia de arenas o limos. Podría excluirse el primer valor ya que es un caso aislado donde la profundidad y ubicación al borde

---

del río es específica.

Por otro lado, hay una relación directamente proporcional entre el índice de compresibilidad y la relación de vacíos, pero no con  $W\%$  y  $L_L$  para las provincias de Picota, Huallaga y Rioja, esto nos da un indicador que en este departamento una sola ecuación entre  $C_c$  y  $W\%-L_L$  no tendría valores confiables lo cual será verificado en el capítulo 5.

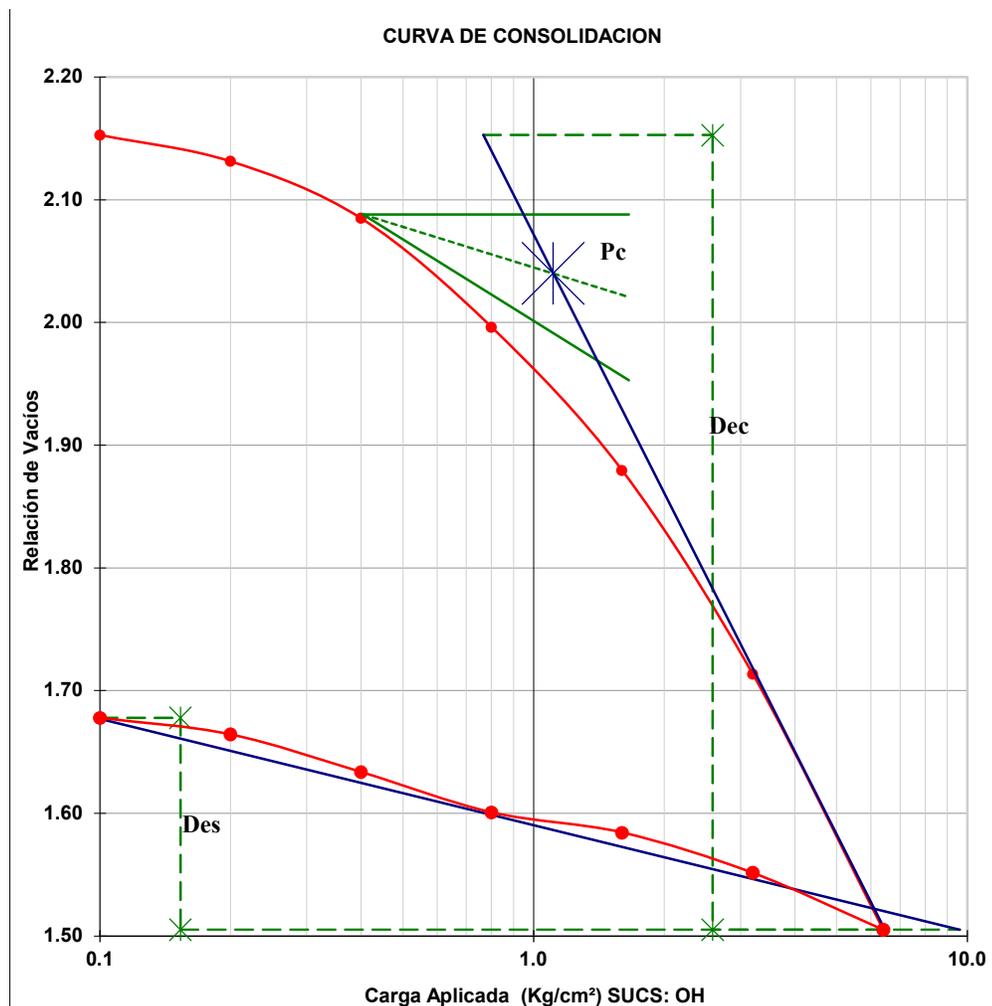


Gráfico N° 5.4 Curva de consolidación de CC máximo

Fuente: CISMID

$$\Delta e_c = 0.648 \longrightarrow C_c = 0.700$$

$$\Delta e_s = 0.173 \longrightarrow C_s = 0.087$$

$$P_c = 1.11 \text{ Kg/cm}^2$$

### 5.3.3. Amazonas

Amazonas tiene como capital a Chachapoyas y su ciudad más poblada es Bagua Grande, está compuesta por 07 provincias. La de mayor área es Condorcanqui con 17,975.39 km<sup>2</sup>, sin embargo, esta es la de menor densidad poblacional. La distribución en ensayos en cada provincia es proporcional al nivel de urbanización y no al área, esta distribución es de la siguiente manera:

- Uctubamba: 16
- Condorcanqui: 11
- Chachapoyas: 06
- Bongará: 05
- Bagua: 00
- Rodríguez de Mendoza: 00
- Luya: 00

La provincia de Uctubamba cuenta con mayor información ya que en esta se ubica su capital Bagua Grande, ciudad que alberga a mayor población que cualquier otra en Amazonas, el desarrollo económico en esta ciudad es activo centro comercial transitorio, paso activo para uno de los ingresos a la selva peruana, a través de la carretera marginal de la selva peruana. Por otro lado no se tiene

---

información en las provincias de Bagua, Rodríguez de Mendoza ni Luya ya que estas están dedicadas principalmente a la agricultura y ganadería y no al comercio ni desarrollo urbano.

| AMAZONAS     |       | SUCS | W%    | L <sub>L</sub> | e <sub>0</sub> | C <sub>c</sub> |
|--------------|-------|------|-------|----------------|----------------|----------------|
| UCTUBAMBA    | Máx.  | CH   | 7.61  | 53.5           | 1.49           | 0.48           |
|              | Mín.  | CH   | 13.8  | 65             | 0.58           | 0.1            |
|              | Prom. |      |       |                |                | 0.29           |
| CONDORCANQUI | Máx.  | MH   | 58.98 | 55.31          | 3.41           | 1.35           |
|              | Mín.  | CL   | 23.85 | 35.7           | 0.61           | 0.15           |
|              | Prom. |      |       |                |                | 0.73           |
| CHACHAPOYAS  | Máx.  | MH   | 61.4  | -              | 2.2            | 0.66           |
|              | Mín.  | MH   | 52.7  | -              | 2.15           | 0.57           |
|              | Prom. |      |       |                |                | 0.61           |
| BONGARA      | Máx.  | MH   | 32.5  | 55.52          | 1.21           | 0.45           |
|              | Mín.  | CL   | 26.2  | 38             | 0.62           | 0.14           |
|              | Prom. |      |       |                |                | 0.31           |

Tabla N° 5.19 Valores máximo y mínimo del índice de compresibilidad para cada provincia con sus respectivas propiedades índice (dpto. de Amazonas).

Es bueno mencionar que, de los tres departamentos en estudio, Amazonas es el menos desarrollado cultural y económicamente, cuenta con 36 distritos en el rango de 40% a 59,9% de pobreza, 22 distritos se encuentran en el rango de 20 a 39.9 %, y solamente el distrito de Chachapoyas tiene 12,2% de pobreza.

### 5.3.3.1. Índice de Compresibilidad mínimo

El valor del índice de compresibilidad mínimo obtenido en estas provincias es de  $C_c=0.1$  en Uctubamba, esta muestra es una arcilla de alta plasticidad CH con una relacion de vacíos de 0.58 con una humedad  $W%=13.8$ .

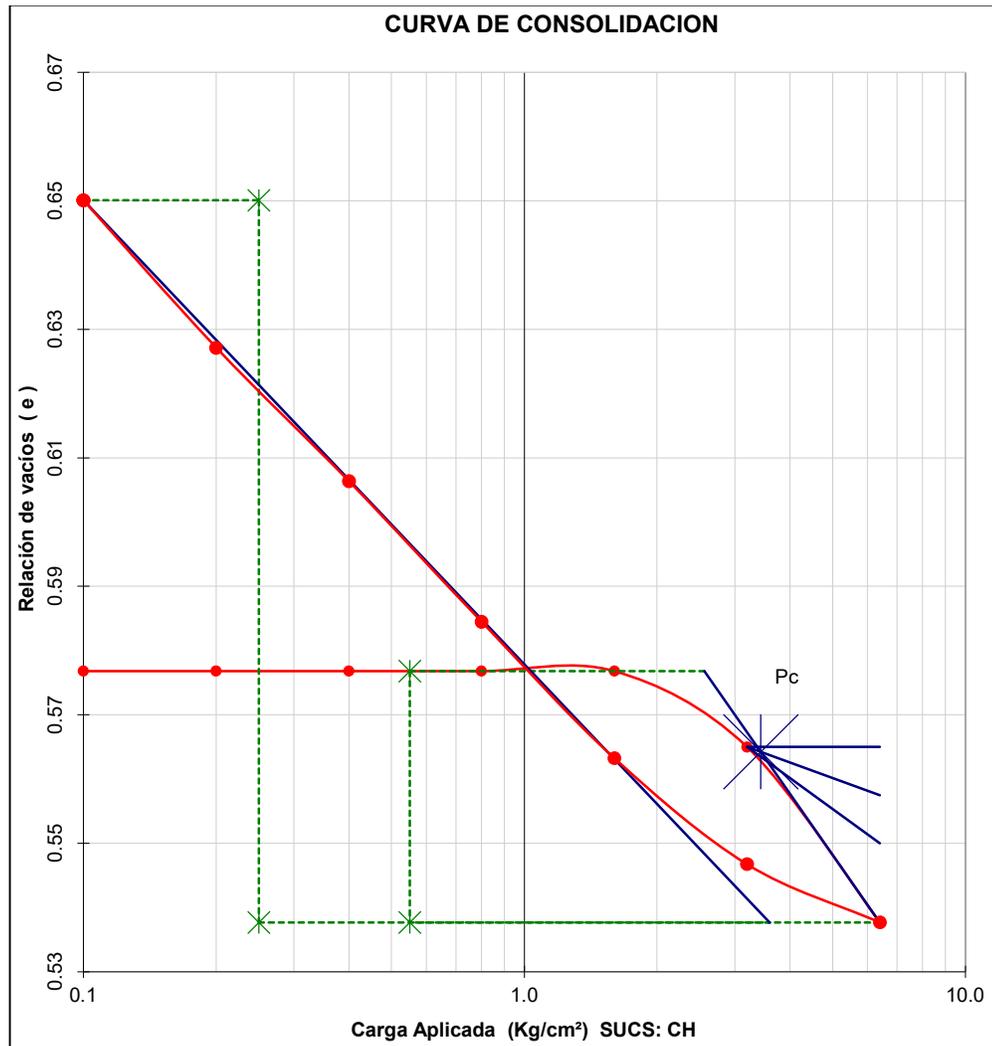


Gráfico N° 5.5 Curva de consolidación de CC mínimo

Fuente: CISMID

$$\Delta e_c = 0.039 \longrightarrow C_c = 0.098$$

$$\Delta e_s = 0.112 \longrightarrow C_s = 0.072$$

$$P_c = 3.44 \text{ Kg/cm}^2$$

Los valores de  $W\%$  y del  $L_L$  en las otras provincias en unos casos aumenta y en

otros disminuyen con respecto al incremento del índice de compresibilidad, se observa que únicamente el  $e_0$  es directamente proporcional a  $C_c$ . El caso de Chachapoyas tiene un valor de  $C_{c\text{mínimo}}=0.61$ , valor que es superior a los valores de  $C_{c\text{máximo}}$  en las demás provincias. Los valores de  $L_L$  son semejantes para  $C_c$  máximo y mínimo lo que va a originar un gráfico disperso para la correlación, es decir baja confianza.

#### 5.3.3.2. **Índice de Compresibilidad máximo**

El valor máximo del Índice de compresibilidad de  $C_c=1.35$  se ubica en la provincia de Condorcanqui.

Esta muestra tiene una humedad natural de  $W\%=58.98$  y un valor de relación de vacíos  $e_0=3.41$ , esto indica que la muestra posee más de 3 veces volumen en vacíos que sólidos.

Da por conclusión que era una muestra con sólidos dispersos y vacíos ocupados por gases, el  $L_L=53.5$  corresponde satisfactoriamente a la clasificación MH. Los valores de  $C_c$  en esta provincia son muy superiores a los obtenidos en las demás provincias, en doble que el obtenido en Chachapoyas.

Finalmente, en todas las provincias no existe una dependencia directamente proporcional uniforme de valores entre  $C_c$  y las demás propiedades, sólo con la relación de vacíos se cumple  $e_0$ . Todo esto se va a cuantificar en el capítulo 05 con la formulación de ecuaciones.

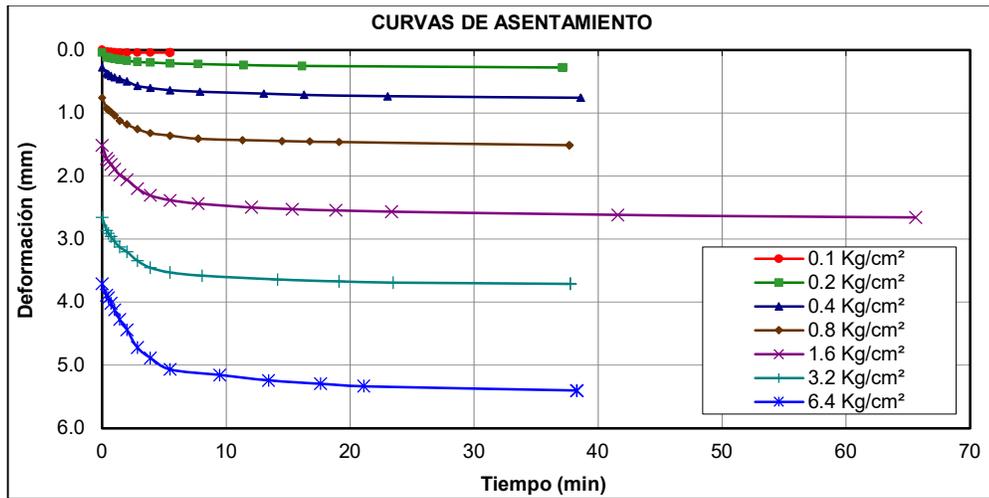


Gráfico N° 5.6 Curva de asentamiento (#07 cargas)

Fuente: CISMID

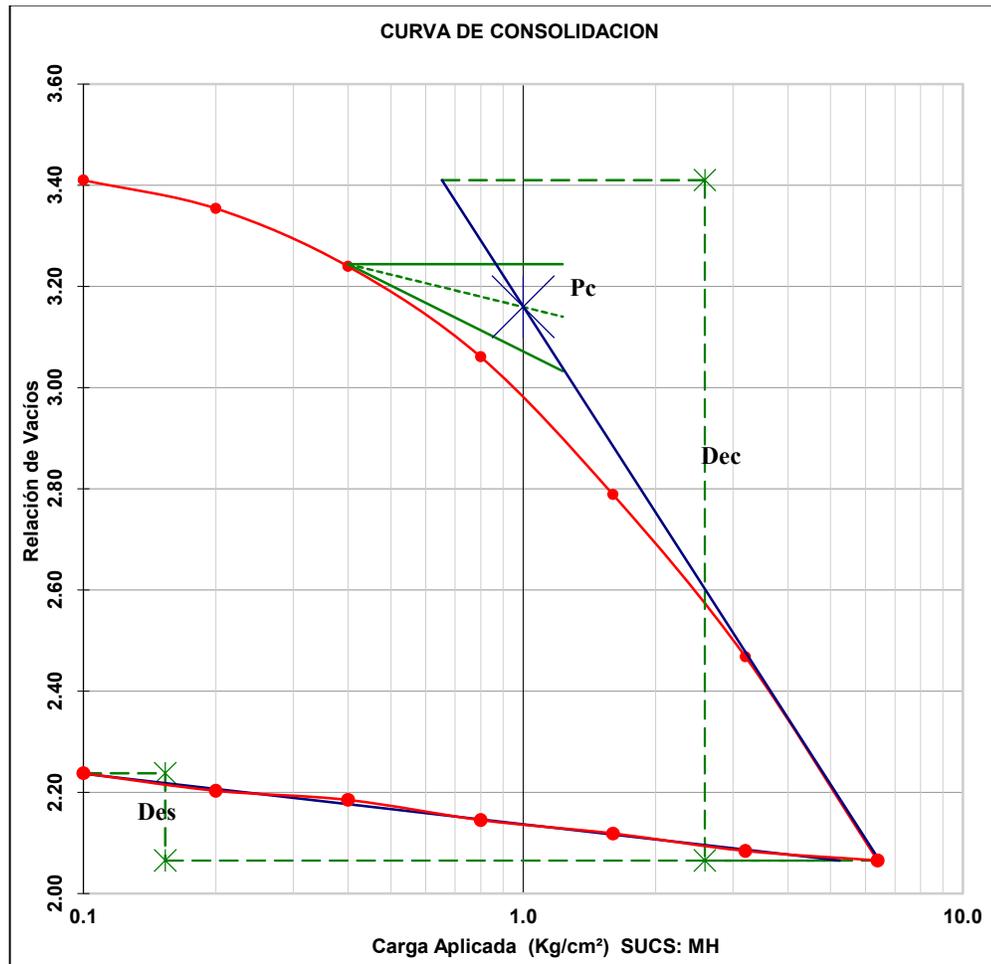


Gráfico N° 5.7 Curva de consolidación de CC máximo

Fuente: CISMID

$$\Delta e_c = 1.345 \longrightarrow C_c = 1.352$$

$$\Delta e_s = 0.173 \longrightarrow C_s = 0.100$$

$$P_c = 1.45 \text{ Kg/cm}$$

#### **5.4 ENSAYOS DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL EJECUTADOS POR EL INVESTIGADOR**

El investigador, con el fin de corroborar la eficacia de las ecuaciones formuladas para predecir el Índice de compresibilidad a partir de propiedades índices, ejecutó 01 investigación geotécnica en los departamentos de San Martín, Ucayali y Amazonas. A continuación, se describen las investigaciones:

CAPÍTULO V: ENSAYOS GEOTECNICOS  
EJECUTADOS, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN  
DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE

| UBICACIÓN   |           |             | Coordenadas  | PROF. | SUCS | W% | LL | e <sub>0</sub> | C <sub>c</sub> |
|---|-----------|-------------|--------------|-------|------|----|----|----------------|----------------|
| DPTO.   | PROVINCIA | DISTRITO    | 6°28'50.2"S  | 1.6   | CL   | 13 | 39 | 0.712          | 0.219          |
| SAN MARTIN  | TARAPOTO  | TARAPOTILLO | 76°22'19.2"W |       |      |    |    |                |                |
| <b>OBSERVACIONES:</b>   |           |             |              |       |      |    |    |                |                |
| 1) De 0.00 m a 0.20m se encontró suelo arenoso utilizado en mejoramiento de la calle.             |           |             |              |       |      |    |    |                |                |
| 2) De 0.20 m a 1.30 m se encontró una arcilla inorgánica de color amarillento.                    |           |             |              |       |      |    |    |                |                |
| 3) De 1.30m a 1.565m se encontró una arcilla con presencia de arenas, baja humedad.               |           |             |              |       |      |    |    |                |                |
| 4) Se encontraron piedras mayores a 4" de forma redonda con poca presencia en toda la excavación. |           |             |              |       |      |    |    |                |                |
| 5) Se extrajeron 02 muestras en tubos cilíndricos de 4"*20cm                                      |           |             |              |       |      |    |    |                |                |
| 6) Elevación del terreno donde se realizó la excavación: 357.25m                                  |           |             |              |       |      |    |    |                |                |
| <b>Fotografías:</b>   |           |             |              |       |      |    |    |                |                |
|   |           |             |              |       |      |    |    |                |                |

Tabla N° 5.20 Exploración Geotécnica en el dpto. de San Martín y resultados de ensayo de Consolidación Unidimensional

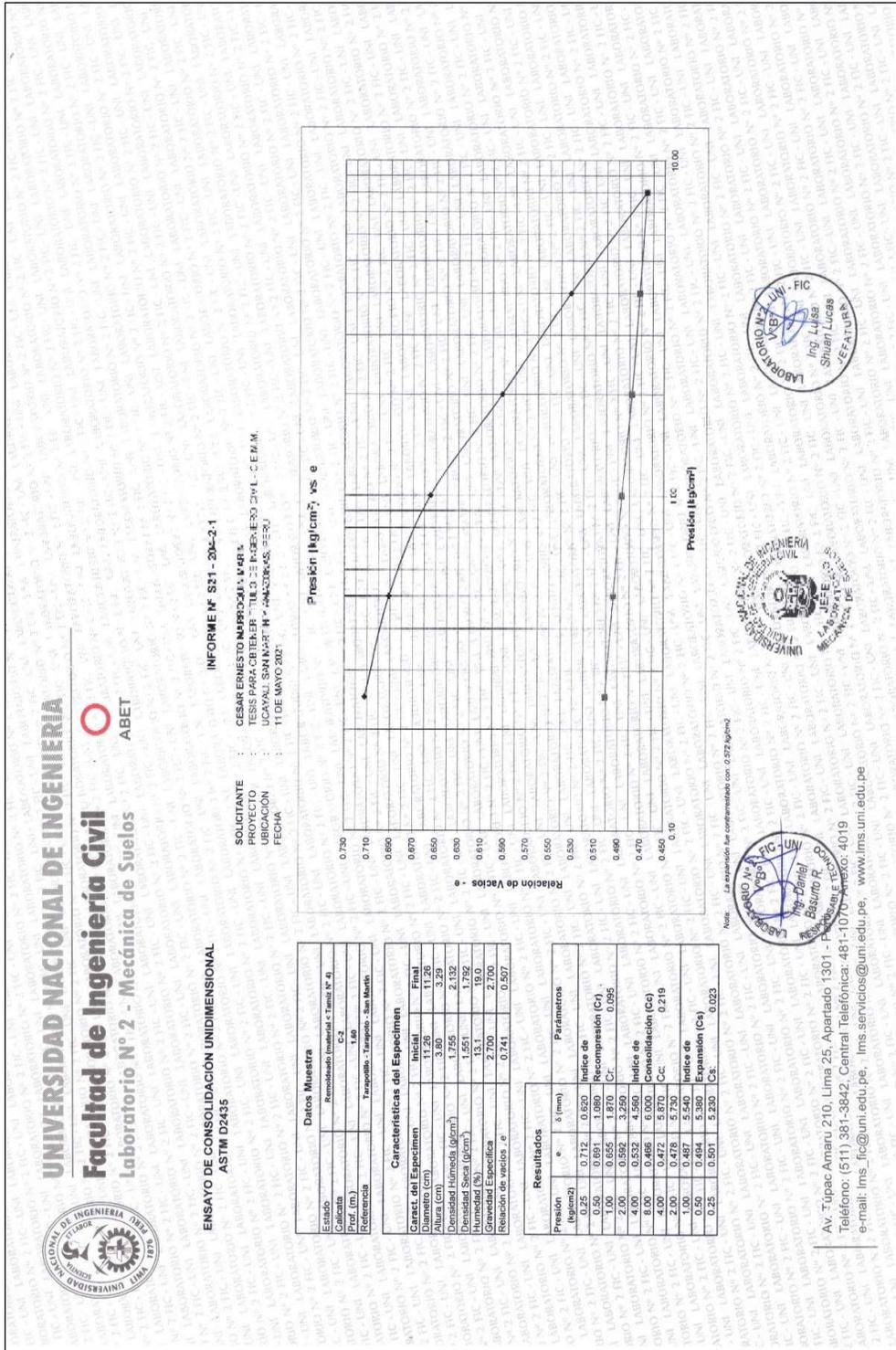


Gráfico N° 5.8 Curva de consolidación Dpto. San Martín

| UBICACIÓN   |          | PROF | SUCS | W%   | L <sub>L</sub> | e <sub>0</sub> | C <sub>c</sub> |
|---|----------|------|------|--|----------------|----------------|----------------|
| DPTO.   | UCAYALI  | 2.00 | CH   | 28   | 62             | 1.113          | 0.410          |
| PROV.   | PUCALLPA |      |      |  |                |                |                |
| DTTO.   | CALLERIA |      |      |  |                |                |                |
| <b>COORDENADAS: 8°25'01.3"S 74°35'32.8"W</b>  |          |      |      |  |                |                |                |
| <b>OBSERVACIONES:</b>   |          |      |      |  |                |                |                |
| 1) De 0.00 m a 0.20m se encontró suelo arcilloso con presencia de suelos orgánicos.                       |          |      |      |  |                |                |                |
| 2) De 0.20 m a 1.00 m se encontró suelo limo arcilloso color rojo claro con pintas blancas.               |          |      |      |  |                |                |                |
| 3) De 1.00 m a 2.00 m se encontró una arcilla de alta plasticidad de color blanco con pintas rojas.       |          |      |      |  |                |                |                |
| 4) En el fondo de la excavación se presentó filtraciones de agua por encontrarse en temporada de lluvias. |          |      |      |  |                |                |                |
| 5) Se extrajeron 02 muestras en tubos cilíndricos de 4"*20cm  |          |      |      |  |                |                |                |
| 6) Elevación del terreno donde se realizó la excavación: 149m.  |          |      |      |  |                |                |                |
| <b>FOTOGRAFÍAS:</b>   |          |      |      |  |                |                |                |
|                        |          |      |      |  |                |                |                |

Tabla N° 5.21 Exploración Geotécnica en el dpto. de Ucayali y resultados de ensayo de Consolidación Unidimensional

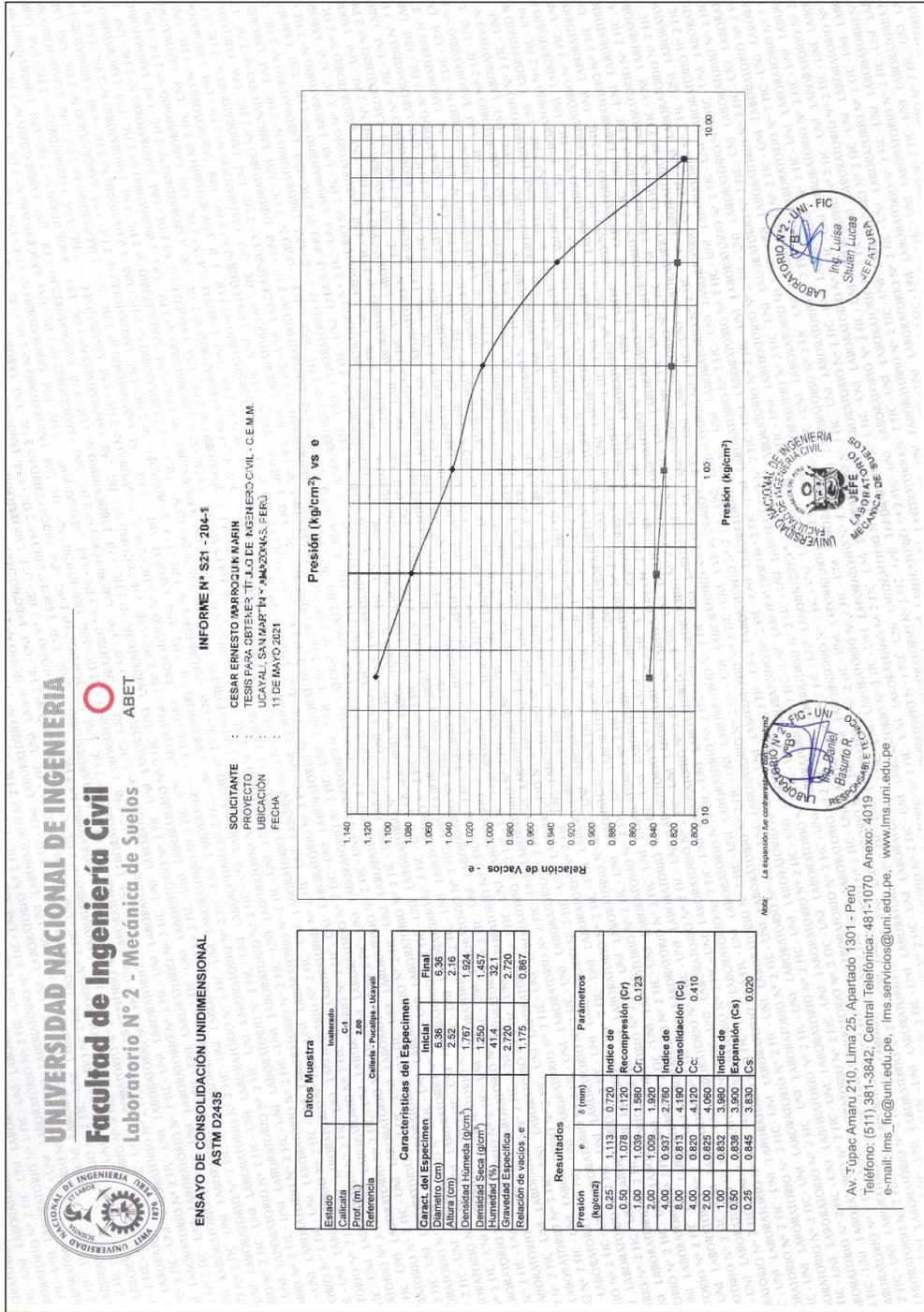
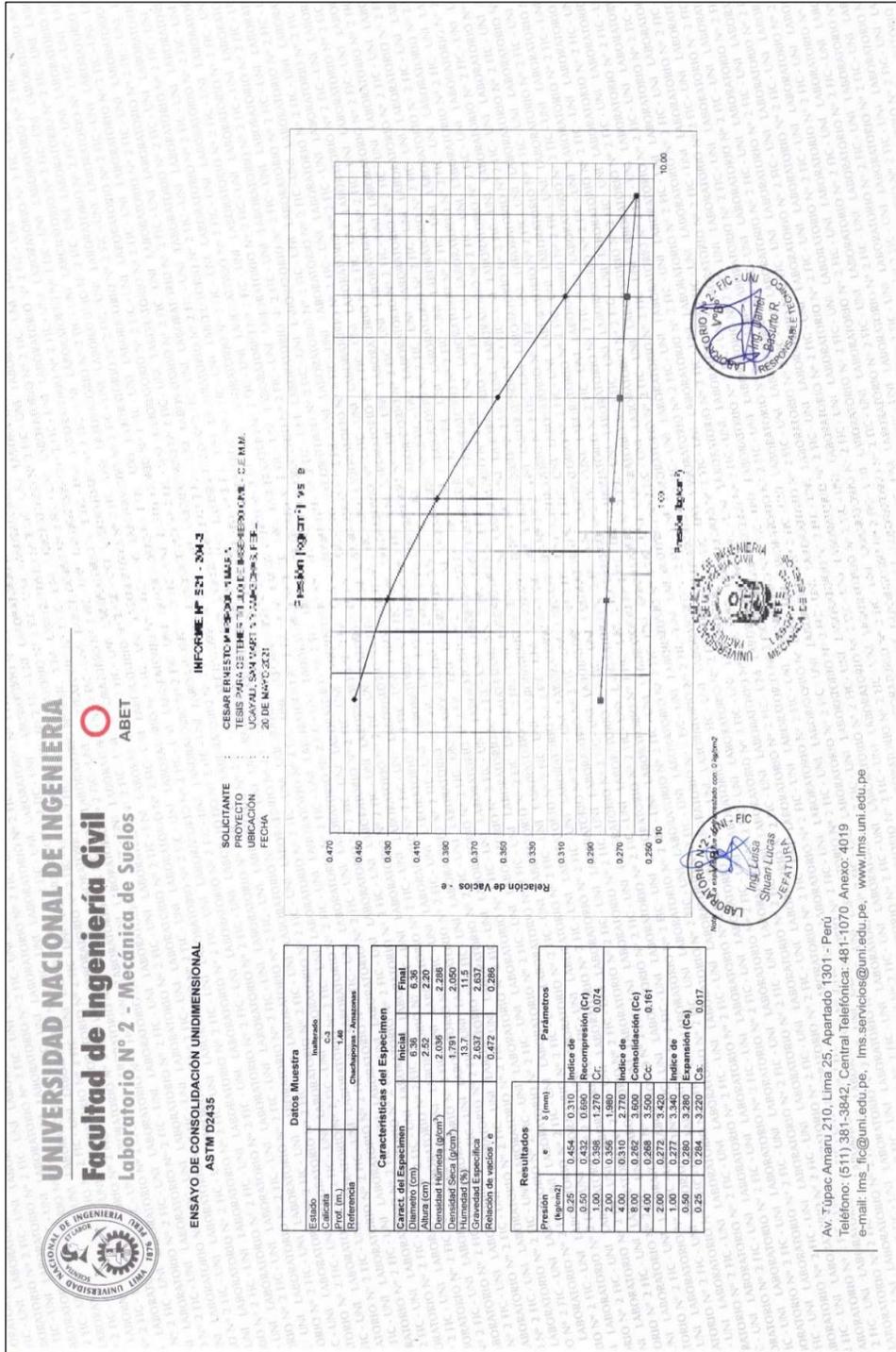


Gráfico N° 5.9 Curva de consolidación Dpto. de Ucayali

| UBICACIÓN  |             | PROF | SUCS  | W%  | L <sub>L</sub> | e <sub>0</sub> | C <sub>c</sub> |
|--|-------------|------|-------|---|----------------|----------------|----------------|
| DPTO.  | AMAZONAS    | 1.40 | SC-SM | 12  | 21             | 0.454          | 0.161          |
| PROV.  | CHACHAPOYAS |      |       |   |                |                |                |
| DTTO.  | CASTRO ALVA |      |       |   |                |                |                |
| <b>COORDENADAS: 6°12'26.1"S 77°51'15.3"W</b>   |             |      |       |   |                |                |                |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |             |      |       |   |                |                |                |
| 1) De 0.00 m a 0.30m se encontró un suelo de arena arcillosa.  |             |      |       |   |                |                |                |
| 2) De 0.20 m a 0.90 m se encontró suelo limo de mediana consistencia.  |             |      |       |   |                |                |                |
| 3) De 0.90 m a 1.30 m se encontró una arcilla arenosa con presencia de grava menor a 2 pulgadas.             |             |      |       |   |                |                |                |
| 4) En el fondo de la excavación se presentó poca filtración de agua por encontrarse en temporada de lluvias. |             |      |       |   |                |                |                |
| 5) Elevación del terreno donde se realizó la excavación: 2521m.  |             |      |       |   |                |                |                |
| <b>FOTOGRAFÍAS:</b>  |             |      |       |   |                |                |                |
|                            |             |      |       |  |                |                |                |

Tabla N° 5.22 Exploración Geotécnica en el dpto. de Amazonas y resultados de ensayo de Consolidación Unidimensional



Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Apartado 1301 - Perú  
Teléfono: (511) 381-3842; Central telefónica: 481-1070 Anexo: 4019  
e-mail: [ims\\_fic@uni.edu.pe](mailto:ims_fic@uni.edu.pe), [ims.servicios@uni.edu.pe](mailto:ims.servicios@uni.edu.pe), [www.ims.uni.edu.pe](http://www.ims.uni.edu.pe)

Gráfico N° 5.10 Curva de consolidación dpto. Amazonas

## **CAPÍTULO VI. - FORMULACIÓN DE ECUACIONES A PARTIR DE PROPIEDADES ÍNDICE Y VALIDACIÓN DE ECUACIONES EXISTENTES FORMULADAS POR OTROS AUTORES**

Este capítulo presenta las correlaciones formuladas por el autor a partir de las propiedades índice obtenidas en las investigaciones ejecutadas en los departamentos de San Martín, Ucayali y Amazonas, estas permitirán tener valores aproximados del índice de compresibilidad mediante un proceso estadístico, basado en análisis de regresión lineal y múltiple con ayuda del programa R. El programa R es un software libre para gráficos y computación estadística que se agrupa y se ejecuta en una amplia variedad de plataformas UNIX, Windows y MacOS. También se hace un análisis de los valores de  $C_c$  que se obtienen con las correlaciones empíricas existentes planteadas por distintos autores.

El foco de este estudio es el índice de compresibilidad  $CC$ , que es fundamental para determinar el asentamiento de una estructura. Por tanto,  $CC$  es la variable dependiente, que se considera una función de  $W_n$ ,  $e_n$  y  $LL$ , y se denominan variables independientes. En el capítulo anterior se presentaron los ensayos de consolidación unidimensional ejecutados en las zonas en estudio, se analizó los valores de las propiedades índice con las que se realizó la correlación lineal y múltiple. En este análisis se encontraron ciertos valores de propiedades índice superiores al promedio, lo que indica que son suelos con origen o diferentes propiedades físicas y químicas. Esto nos hace no tomarlos en cuenta con el fin de

---

optimizar la correlación final. Para las correlaciones se planteó usar como variables independientes a: el límite líquido ( $L_L$ ), ya que es una propiedad dependiente del tipo de suelo en análisis, del tamaño de las partículas en su estructura y de la regularidad en su superficie, lo que relaciona las propiedades en su fase sólida que determinan la capacidad para retener agua intersticial; a lo largo del tiempo se ha buscado la dependencia entre el índice de compresibilidad y la relación de vacíos  $e_0$ . El valor del índice de compresibilidad  $C_C$  se obtiene a partir del gráfico de la curva de compresibilidad y nos brinda información del cambio de volumen o reducción de vacíos debido a la liberación de los fluidos y gases cuando se incrementan las cargas sobre este suelo, es por eso que la relación de vacíos ( $e_0$ ) es directamente proporcional con el grado de que se pueda comprimir, la humedad ( $W_n$ ) se consideró ya que presentó buena dependencia con el valor de  $C_C$  en las zonas en estudio.

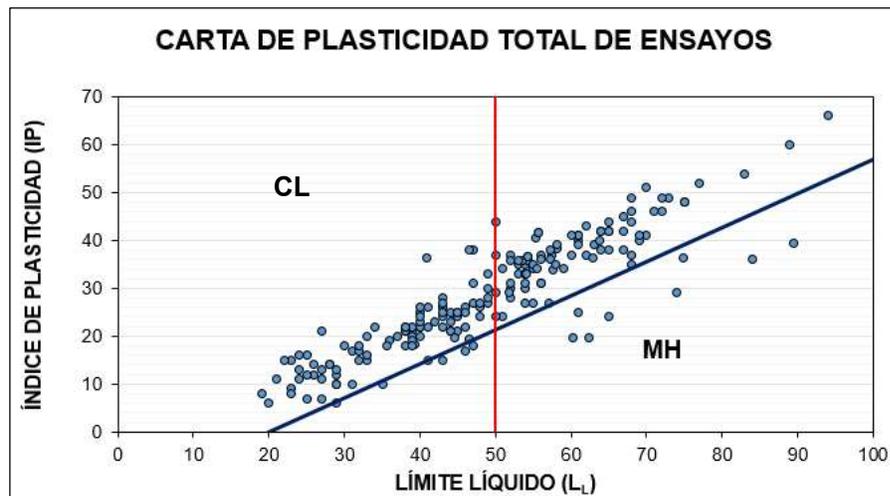


Gráfico N° 6.1 Clasificación del suelo en estudio según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

### 6.1 VARIABLES INDEPENDIENTES ( $W_n$ , $L_L$ , $e_0$ )

Previo al análisis de las ecuaciones formuladas para calcular el índice de compresibilidad  $C_c$  se hizo una verificación de la relación entre las propiedades índice seleccionadas  $W_n$ ,  $L_L$  y  $e_0$ , con esto vamos a poder seleccionar los ensayos a no considerar como mencionamos en el capítulo 4, todo esto con el fin de obtener la correlación final correspondiente con una correlación positiva alta.

En literaturas existentes se encuentra una relación de dependencia alta entre estas propiedades índice, sin embargo, para los departamentos en estudio sólo se tuvo una alta correlación entre la humedad ( $W_n$ ) y la relación de vacíos ( $e_0$ ), esto se representa en las siguientes tablas:

| SAN MARTIN |             |       |       |
|------------|-------------|-------|-------|
|            | $W_n$       | $e_0$ | $L_L$ |
| $W_n$      | 1           |       |       |
| $e_0$      | <b>0.85</b> | 1     |       |
| $L_L$      | 0.2         | 0.13  | 1     |

Tabla N° 6.1 Valor de  $r^2$  entre propiedades índice en el dpto. de San Martin

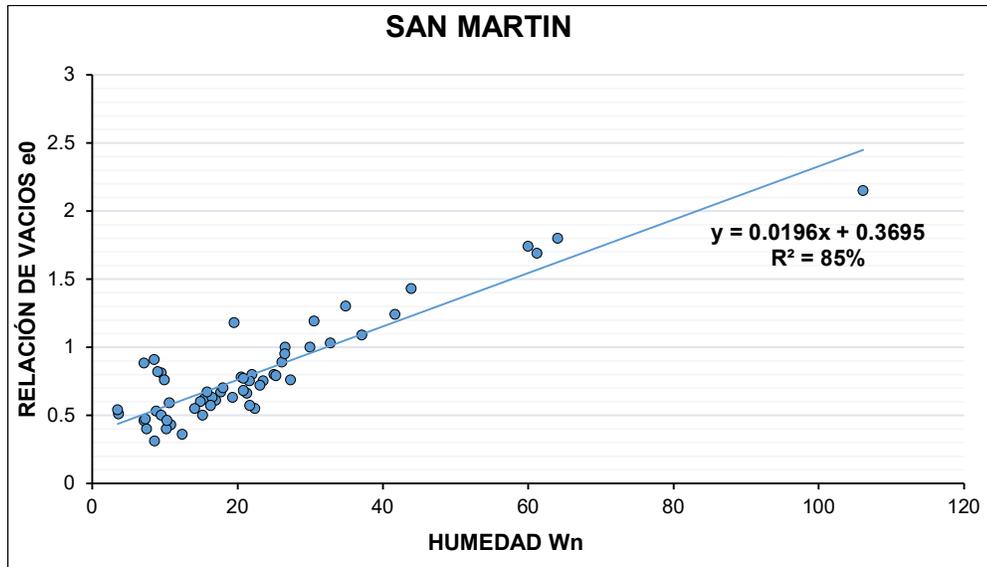


Gráfico N°6.2 Correlación entre humedad y relación de vacíos  
en el dpto. de San Martín

| AMAZONAS |            |      |    |
|----------|------------|------|----|
|          | Wn         | e0   | LL |
| Wn       | 1          |      |    |
| e0       | <b>0.7</b> | 1    |    |
| LL       | 0.06       | 0.04 | 1  |

Tabla N° 6.2 Correlación entre propiedades índice  
en el dpto. de Amazonas

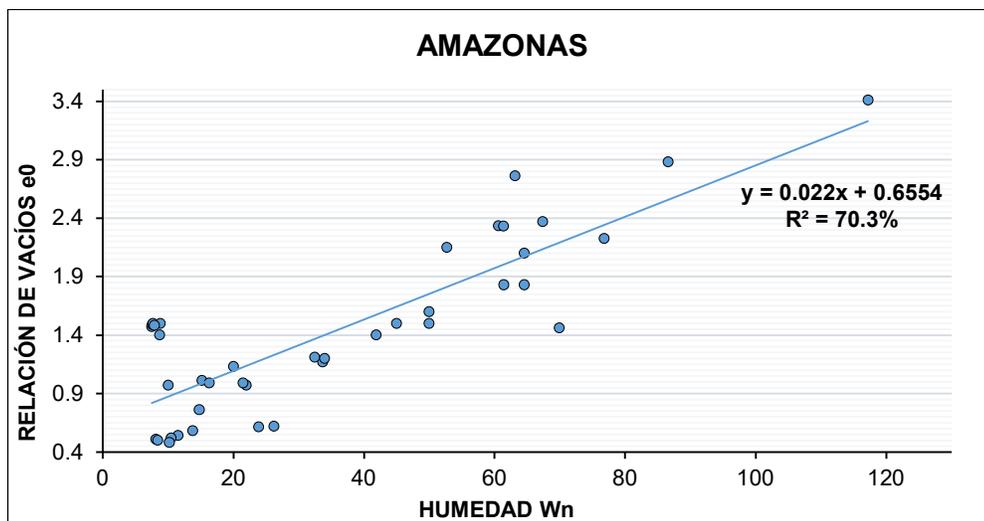


Gráfico N° 6.3 Correlación entre humedad y relación de vacíos  
en el dpto. de Amazonas

| UCAYALI |             |       |    |
|---------|-------------|-------|----|
|         | $W_n$       | $e_0$ | LL |
| $W_n$   | 1           |       |    |
| $e_0$   | <b>0.58</b> | 1     |    |
| LL      | 0.28        | 0.17  | 1  |

Tabla N° 6.3 Correlación entre propiedades índice  
en el dpto. de Ucayali

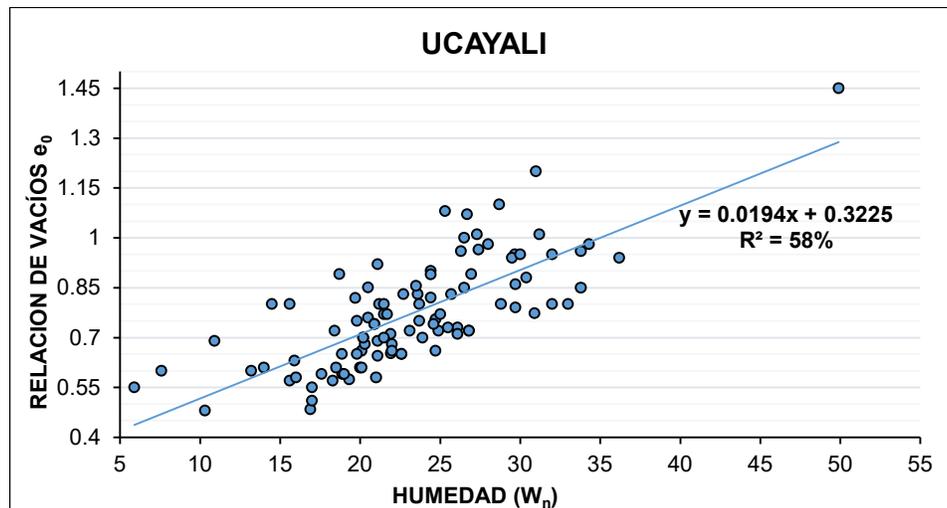


Gráfico N° 6.4 Correlación entre humedad y relación de vacíos  
en el dpto. de Ucayali

Un valor de +/- 1 representa una relación lineal perfecta entre ambas variables en análisis, en el caso de una nula relación se representa por un valor igual o cercano a cero. La variable independiente,  $W_n$  y  $e_0$  son las que tienen una relación muy alta con  $C_c$ , y en el caso de  $L_L$  se observa una correlación muy baja. Por otro lado, los pares de variables  $(W_n, e_n)$ , son también alta y positivamente relacionados para la predicción de  $C_c$ .

## 6.2 FORMULACIÓN DE ECUACIONES

En el capítulo N°5 se mostraron los valores de humedad mínimo y máximo para cada departamento en estudio y se observó que existía una dependencia proporcional con el crecimiento de índice de compresibilidad  $C_c$ . Todas las ecuaciones formuladas para relacionar las propiedades serán realizadas mediante el software R como se mencionó líneas arriba. A continuación, se presentan las ecuaciones para cada departamento:

### 6.2.1. San Martin

Se presenta las correlaciones formuladas entre la humedad ( $W_n$ ), Límite Líquido ( $L_L$ ) y la relación de vacíos ( $e_0$ ) con el índice de compresibilidad  $C_c$  a partir de un total de 57 registros de consolidación unidimensional:

#### 6.2.1.1. Correlación $W_n$ vs $C_c$

El contenido de agua del suelo en el departamento de San Martin en su mayoría es inferior a 50%, sólo cuatro muestras presentan humedad superior a este valor, con valores medidos desde 3.6% a 106.11%. Los cuatro valores superiores al 50% aun siendo valores alejados al promedio se van a considerar ya que al formular la correlación no afecta el grado alto positivo.

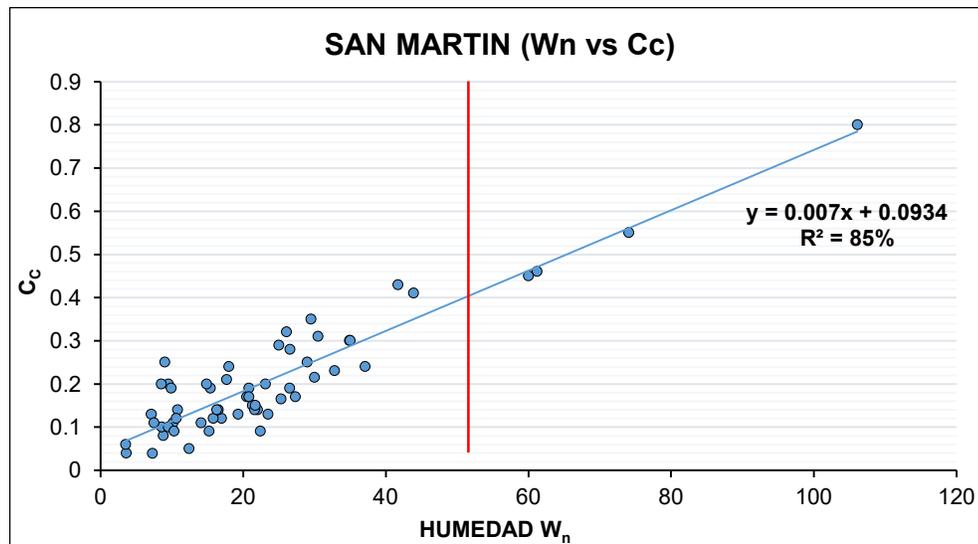


Gráfico N° 6.5 Correlación entre la humedad y el índice de compresibilidad en el dpto. de San Martin

Del gráfico 6.5 se obtuvo un modelo lineal de la forma:  $C_c = 0.0072*(W_n) + 0.0934$  con un coeficiente de determinación  $r^2 = 85\%$ . Este valor de  $r^2$  nos indica que se puede obtener un valor de confianza a partir de  $W_n$  en suelos del dpto. de San Martín.

#### 6.2.1.2. Correlación $e_0$ vs $C_c$

En el departamento de San Martín se tuvo relación de vacíos ( $e_0$ ) entre 0.36 hasta 2.15, al igual que para el análisis con el contenido de agua ( $W_n$ ), se hizo un estudio preliminar de dispersión mostrando una influencia en una relación de vacíos igual a 0.3 y un índice de compresibilidad igual a 0.1, por lo que se decidió no considerarla. Como se observa en el gráfico 6.6 las mayores concentraciones de ensayos tuvieron relación de vacíos menor a 1.5 sin embargo los valores altos no afectaron la correlación.

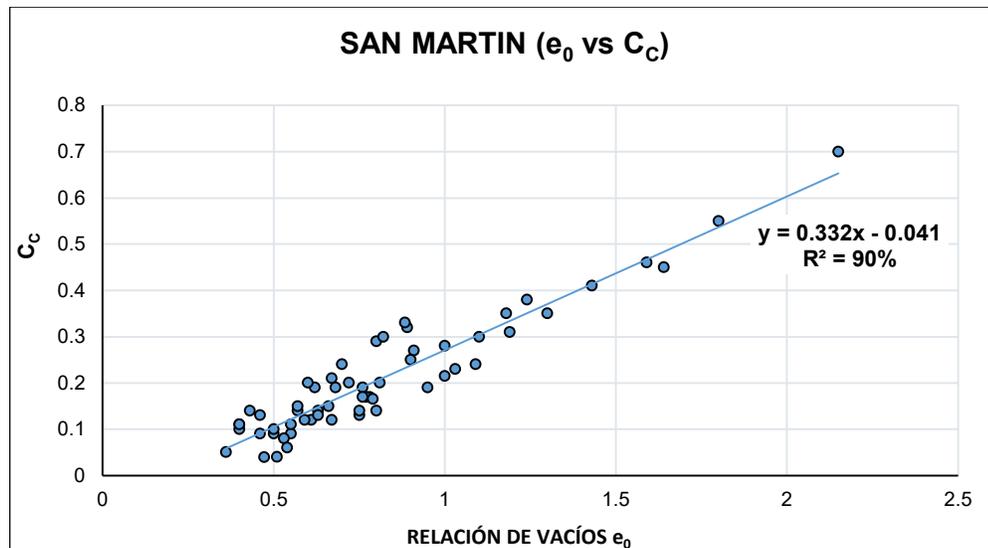


Gráfico N° 6.6 Correlación entre la relación de vacíos y el índice de compresibilidad en el dpto. de San Martín

Del gráfico 6.6 se obtuvo un modelo lineal de la forma:  $C_c = 0.332*(e_0) - 0.041$  con un coeficiente de determinación  $r^2=90\%$ . Este valor de  $r^2$  nos indica que se puede obtener un valor de confianza del índice de compresibilidad  $C_c$  a partir de  $e_0$  en suelos del dpto. de San Martín.

### 6.2.1.3. **Correlación $L_L$ vs $C_c$**

En el capítulo 5 cuando se analizó el índice de compresibilidad máximo y mínimo se observó que no había una dependencia uniforme con los valores de los límites líquidos, se tuvo límite líquido desde 19.00 hasta 89.41 y como se muestra en el gráfico 6.7 hay una gran dispersión lo que generó una ecuación con correlación casi nula. Los valores más altos de  $C_c$  no afectan a la correlación.

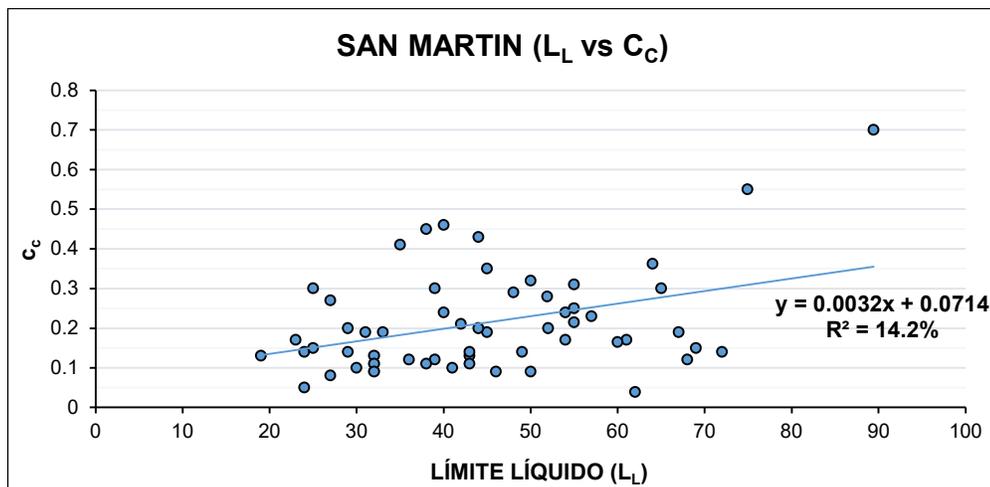


Gráfico N° 6.7 Correlación entre el Límite Líquido y el índice de compresibilidad en el dpto. de San Martín

Del gráfico 6.7 se obtuvo un modelo lineal de la forma:  $C_c = 0.0032*(L_L) + 0.0714$  con un coeficiente de determinación  $r^2=14.2\%$ . La dispersión hace que se tenga una

regresión lineal con una correlación casi nula, para este departamento no es confiable usar esta variable para calcular el índice de compresibilidad  $C_c$ .

### 6.2.2. Amazonas

Para el departamento de Amazonas se tiene un total de 39 ensayos de consolidación unidimensional los cuales están han sido ejecutados en casi toda el área total del departamento, se presenta las correlaciones formuladas entre la humedad ( $W_n$ ), Límite Líquido ( $L_L$ ) y la relación de vacíos ( $e_0$ ) con el índice de compresibilidad  $C_c$ .

#### 6.2.2.1. Correlación $W_n$ vs $C_c$

El contenido de agua del suelo en el departamento de Amazonas tiene un solo valor que se aleja del grupo con una humedad de 117.2, los límites con valores desde 7.48% hasta 117.2%. Este valor de 117.2% sí se considera aun siendo un valor aislado, los valores de la humedad mínimos son los que afectan a la correlación, pero al ser varios también se consideran.

Del gráfico 6.8 se obtuvo un modelo lineal de la forma:  $C_c = 0.009*(W_n) + 0.095$  con un coeficiente determinación  $r^2=81\%$ , el cual nos indica que se puede obtener un valor de alta confianza del índice de compresibilidad  $C_c$  a partir de  $W_n$ .

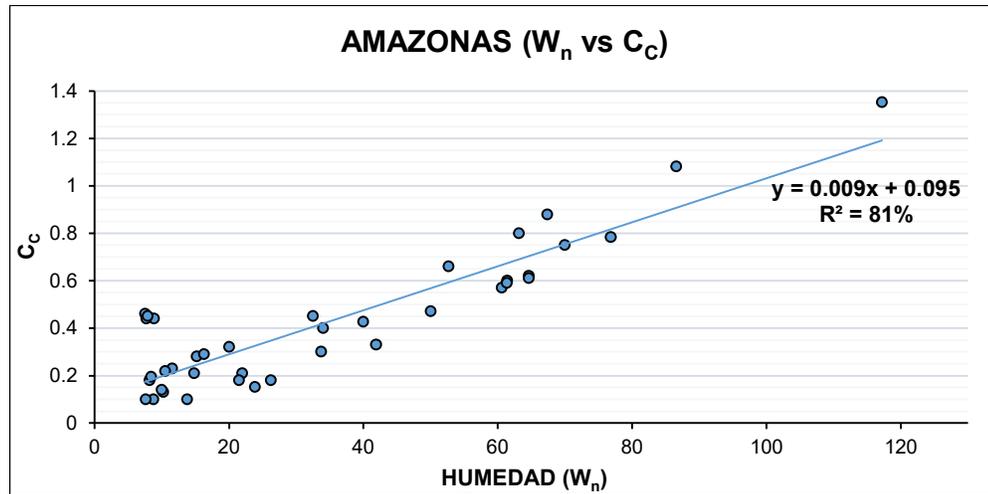


Gráfico N° 6.8 Correlación entre humedad y índice de compresibilidad  
en el dpto. de Amazonas

#### 6.2.2.2. **Correlación $e_0$ vs $C_c$**

En el departamento de Amazonas se tuvo relación de vacíos ( $e_0$ ) entre 0.427 hasta 3.41, se hizo un estudio preliminar de dispersión mostrando una influencia negativa en la correlación cuando la relación de vacíos es igual a 0.427 (valor mínimo hallado) por lo que se decidió no considerarla, quedando, así como  $e_0$  mínima considerada para la correlación igual a 0.48.

Del gráfico 6.9 se obtuvo un modelo lineal de la forma:  $C_c = 0.3789*(e_0) - 0.0311$  con un coeficiente de determinación  $r^2 = 92.12\%$ , el cual nos indica que se puede obtener un valor de alta confianza del índice de compresibilidad  $C_c$  a partir de  $e_0$ .

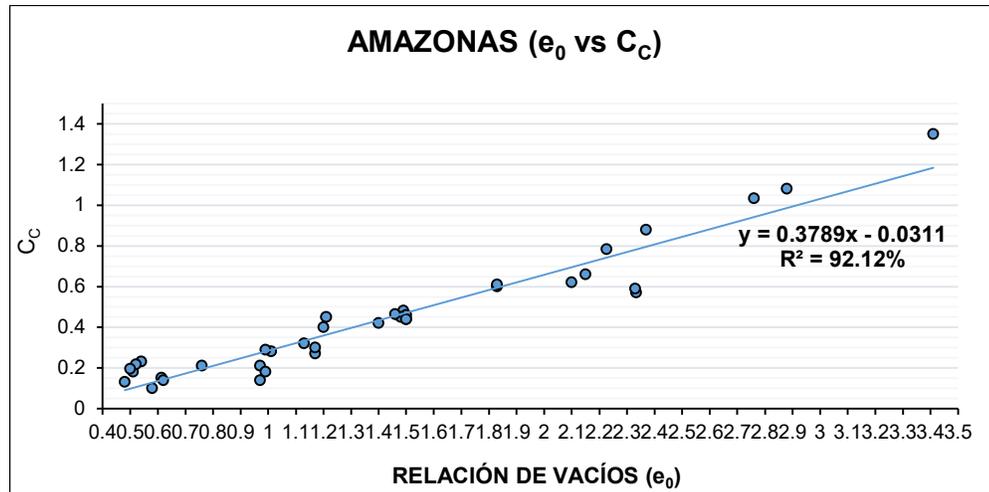


Gráfico N° 6.9 Correlación entre la relación de vacíos y el índice de compresibilidad en el dpto. de Amazonas

### 6.2.2.3. **Correlación $L_L$ vs $C_c$**

En el departamento de Amazonas la correlación que se obtuvo entre el índice de compresibilidad  $C_c$  y el límite líquido  $L_L$  fue nula, con un valor de  $r^2=0.023$ . En este departamento el rango de los valores de  $C_c$  es tan considerable siendo  $C_c=1.35$  su valor máximo. El no considerar las 3 muestras con  $C_c$  mayor a 1 no ayuda a tener una correlación.

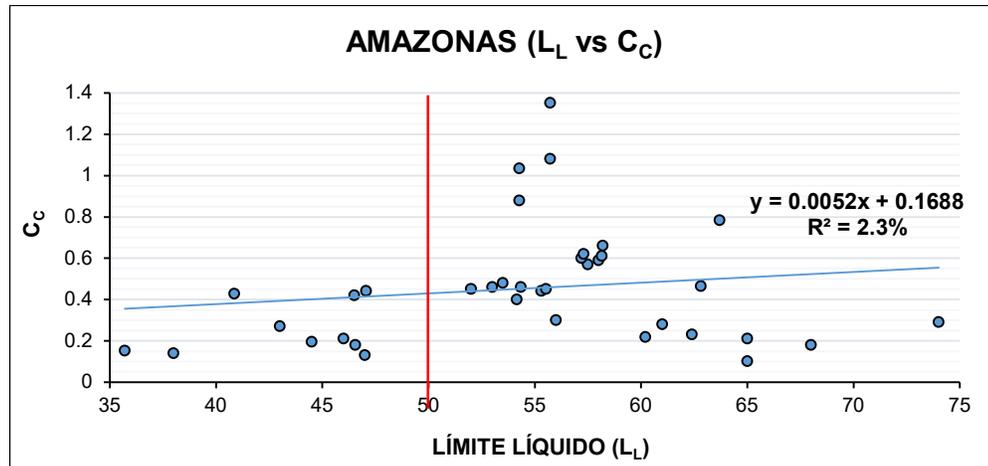


Gráfico N° 6.10 Correlación entre el Límite Líquido y el índice de compresibilidad en el dpto. de Amazonas

Del gráfico 6.10 se obtuvo un modelo lineal de la forma:  $C_c = 0.0052*(L_L) + 0.1688$  con un coeficiente de determinación  $r^2 = 2.3\%$ , el cual nos indica que no existe una asociación entre el índice de compresibilidad  $C_c$  y el límite líquido  $L_L$ .

Teniendo las tres correlaciones para predecir el índice de compresibilidad en el departamento de Amazonas, se llega a la conclusión de que la correlación correspondiente a la relación de vacíos ( $e_0$ ) es con la que se obtienen los mejores resultados, lo que respalda el capítulo 2, mientras que la correlación obtenida a partir del  $L_L$ , es la que presenta un coeficiente de correlación casi nulo.

En la tabla 6.1 del capítulo se presentan los valores de Límites plásticos y líquido de las muestras, predomina suelos entre limos y arcillas con alta plasticidad.

### 6.2.3. Ucayali

Para el departamento de Ucayali se tiene un total de 100 ensayos de consolidación unidimensional, este departamento tiene 4 provincias y el 90% de los ensayos están en la de Coronel Portillo, con capital Pucallpa. Como ya se explicó en el capítulo 4, esta provincia alberga al 75% de la población como 65% el desarrollo en infraestructura urbana.

Al no tener una buena distribución en el área completa del departamento, en caso no se obtenga una buena correlación se plantea realizar ecuaciones a detalle para la provincia de Coronel Portillo y en su capital Pucallpa con el objetivo de obtener una ecuación con mayor correlación positiva.

#### 6.2.3.1. *Correlación $W_n$ vs $C_c$ (UCAYALI)*

El contenido de agua del suelo en el departamento de Ucayali tiene valores desde 5.9% hasta 49.9% lo que es un rango pequeño a comparación de los otros departamentos, esto debería hacer más ajustada la correlación sin embargo este suelo presenta valores de índice de compresibilidad ( $C_c$ ) con un rango desde 0.065 hasta 0.35, lo que hace dispersa la distribución de datos que se muestra en el gráfico 6.11. Este valor de 0.065 se tomará en cuenta ya que también pertenece a la muestra con la menor relación de vacíos 0.484.

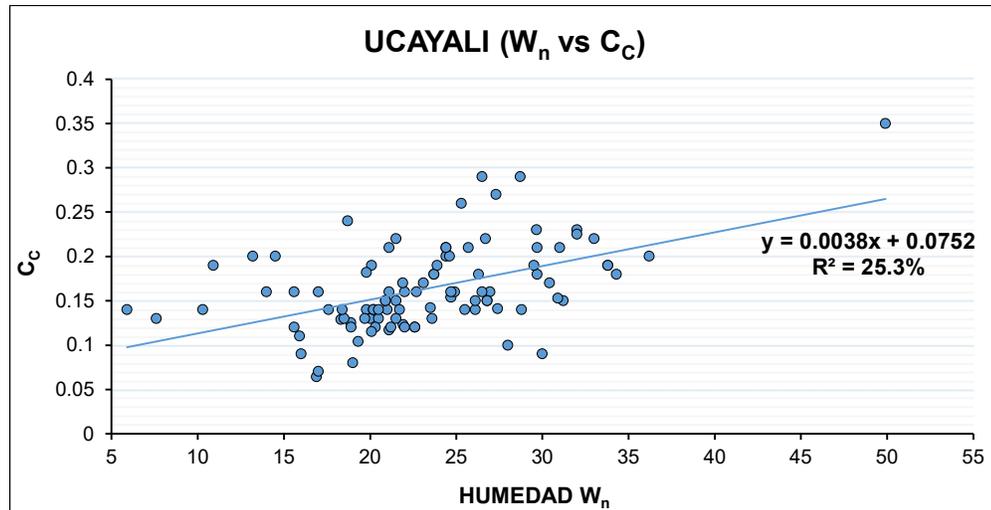


Gráfico N° 6.11 Correlación entre la humedad y el índice de compresibilidad en el dpto. de Ucayali.

Del gráfico 6.11 se obtuvo un modelo lineal de la forma:  $C_c = 0.0038*(W_n) + 0.0752$  con un coeficiente de determinación  $r^2 = 25.3\%$ .

#### 6.2.3.1.1 Correlación W<sub>n</sub> vs C<sub>c</sub> (CORONEL PORTILLO)

De los 102 ensayos de consolidación unidimensional ejecutados en departamento de Ucayali son 92 los ensayos ubicados en la Provincia de Coronel Portillo, se tiene un rango de humedades desde 5.9% hasta 49.9%, se siguen teniendo los valores de humedad máximos y mínimos de Ucayali, sin embargo, la correlación aumenta en esta provincia.

Los valores que quedaron fuera de esta provincia son ubicados entre humedades del 25% al 30% con índices cercanos a 1, si se compara la gráfica 6.11 con la

gráfica 6.12 podemos observar que estos datos eran lo más alejados en ese rango de humedades.

Del gráfico 6.12 se obtuvo un modelo lineal de la forma:  $C_c = 0.0039*(W_n) + 0.0734$  con un coeficiente de determinación  $r^2 = 34.58\%$ , sigue siendo un índice de determinación mínimo por lo que se procede a analizar la ciudad de Pucallpa.

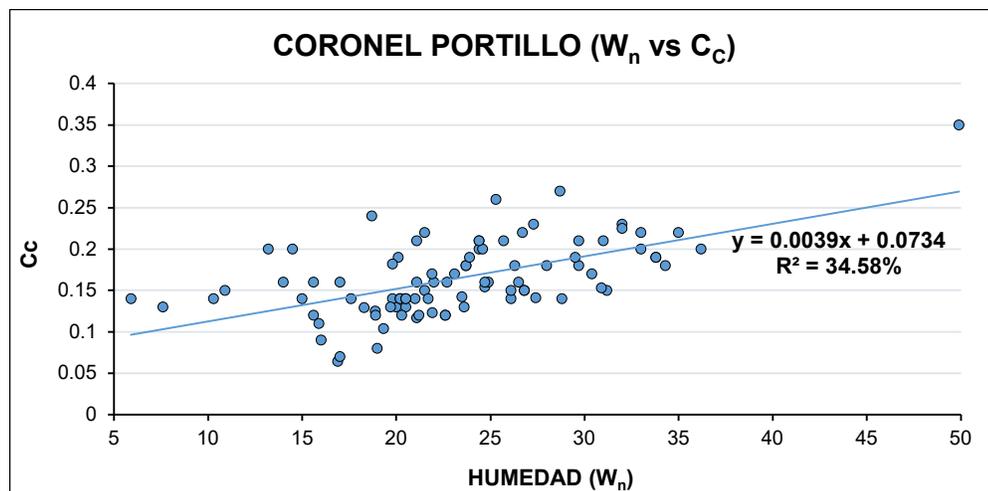


Gráfico N° 6.12 Correlación entre la humedad y el índice de compresibilidad en la provincia de Coronel Portillo.

#### 6.2.3.1.2 Correlación $W_n$ vs $C_c$ (PUCALLPA)

En esta ciudad se tienen 76 ensayos de consolidación unidimensional, del gráfico 6.13 se obtuvo un modelo lineal de la forma:  $C_c = 0.0036*(W_n) + 0.081$  con un coeficiente de determinación  $r^2 = 29.84\%$ . No existe una alta asociación entre el índice de compresibilidad  $C_c$  y la humedad  $W_n$ , por lo que no debería considerarse el uso de esta ecuación para predecir el índice de compresibilidad  $C_c$ .

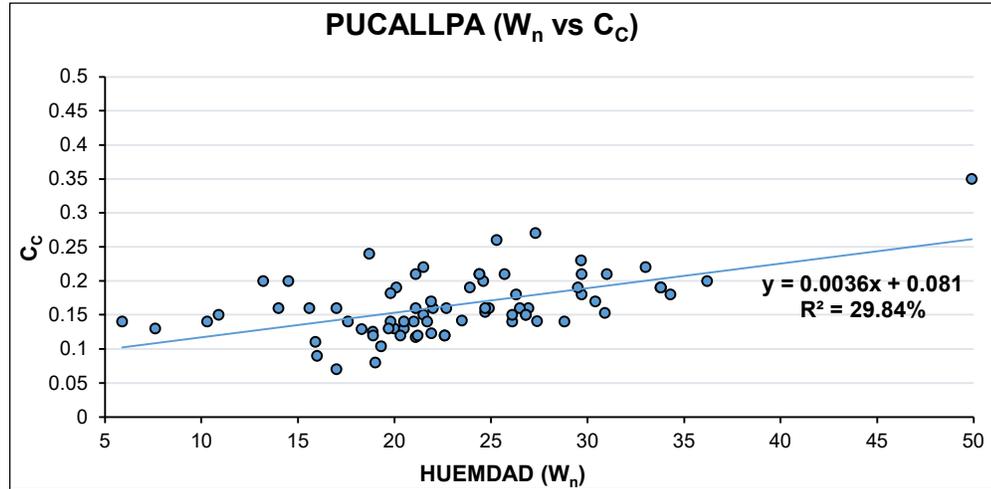


Gráfico N° 6.13 Correlación entre la humedad y el índice de compresibilidad en la ciudad de Pucallpa.

#### 6.2.3.2. **Correlación $e_0$ vs $C_c$ (UCAYALI)**

En el departamento de Ucayali se tuvo relación de vacíos ( $e_0$ ) entre 0.48 hasta 1.45, no se consideró una muestra con una relación de vacíos de 0.95 y un índice de compresibilidad de 0.09 ya que es una muestra (SM) remoldeada y afecta a la correlación.

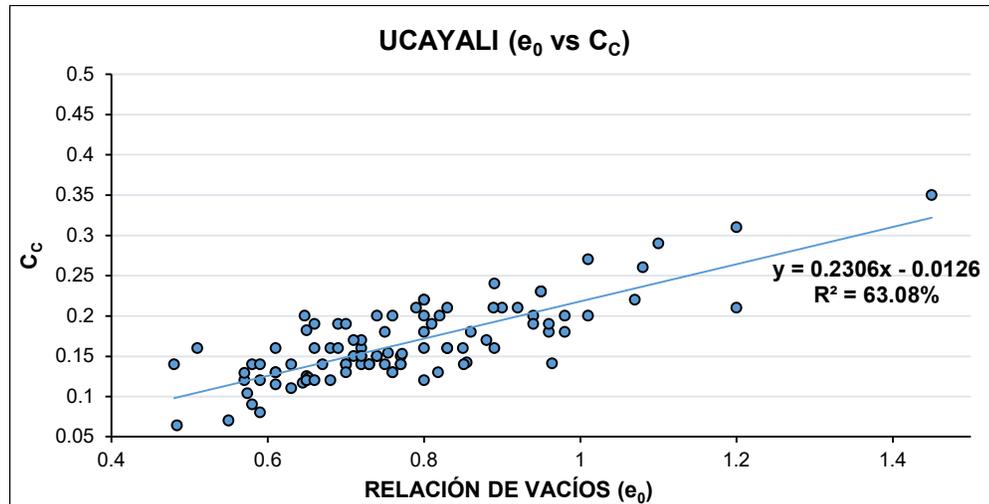


Gráfico N° 6.14 Correlación entre la relación de vacíos y el índice de compresibilidad en el departamento de Ucayali.

Del gráfico 6.14 se obtuvo un modelo lineal de la forma:  $C_c = 0.2306*(e_0) - 0.0126$  con un coeficiente de determinación  $r^2 = 63.08\%$ .

#### 6.2.3.2.1 Correlación $e_0$ vs $C_c$ (CORONEL PORTILLO)

En el departamento de Ucayali se tuvo relación de vacíos ( $e_0$ ) entre 0.48 hasta 1.45, no se consideró una muestra con una relación de vacíos de 0.95 y un índice de compresibilidad de 0.09 ya que es una muestra (SM) remodelada y afecta a la correlación.

Del gráfico 6.15 se obtuvo un modelo lineal de la forma:  $C_c = 0.2333*(e_0) - 0.0138$  con un coeficiente de determinación  $r^2 = 63.84\%$ . La correlación aumentó, pero no significativamente a comparación con la de Ucayali y esto fue porque los valores que no se consideraron estaban próximos a la función de correlación.

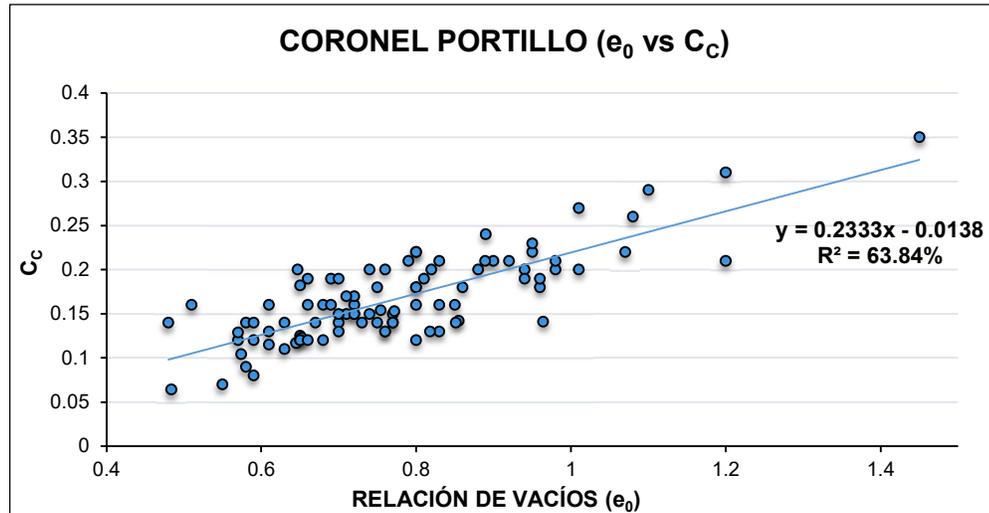


Gráfico N° 6.15 Correlación entre la relación de vacíos y el índice de compresibilidad en la provincia de Coronel Portillo.

#### 6.2.3.2.2 Correlación $e_0$ vs $C_c$ (PUCALLPA)

En la ciudad de Pucallpa se mantiene el rango de la relación de vacíos ( $e_0$ ) desde 0.48 hasta 1.45 con 76 datos de ensayos de consolidación unidimensional.

Del gráfico 6.16 se obtuvo un modelo lineal de la forma:  $C_c = 0.253*(e_0) - 0.0167$  con un coeficiente de determinación de  $r^2 = 67.59\%$ . La correlación de Pucallpa resultó mayor que la de Ucayali, esto debido a que el 75% de ensayos están en esta ciudad. Cabe indicar que en Pucallpa no se tuvo ninguna muestra remoldeada, todas fueron inalteradas, todas las muestras presentan finos en su predominancia y no presencia de arenas como en los datos en todo el departamento de Ucayali.

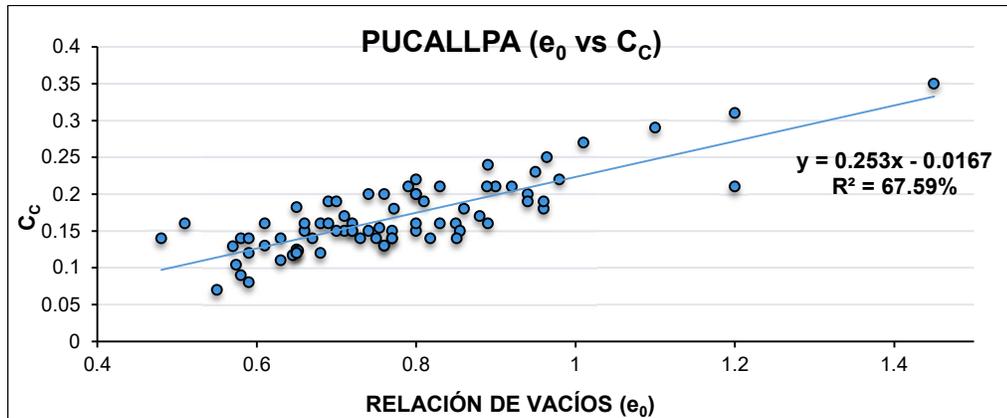


Gráfico N° 6.16 Correlación entre la relación de vacíos y el índice de compresibilidad en la ciudad de Pucallpa.

#### 6.2.3.3. **Correlación $L_L$ vs $C_c$ (UCAYALI)**

En el departamento de Ucayali se tiene límites líquidos en el rango desde 19 hasta 95, el 45% de las muestras tienen  $L_L < 50$  pero el 90% de las muestras tiene  $IP > 20$  por lo que se tiene arcillas de alta y baja plasticidad. No se consideró dos muestras sin límites de consistencia con clasificación SUCS de SM (arena limosa).

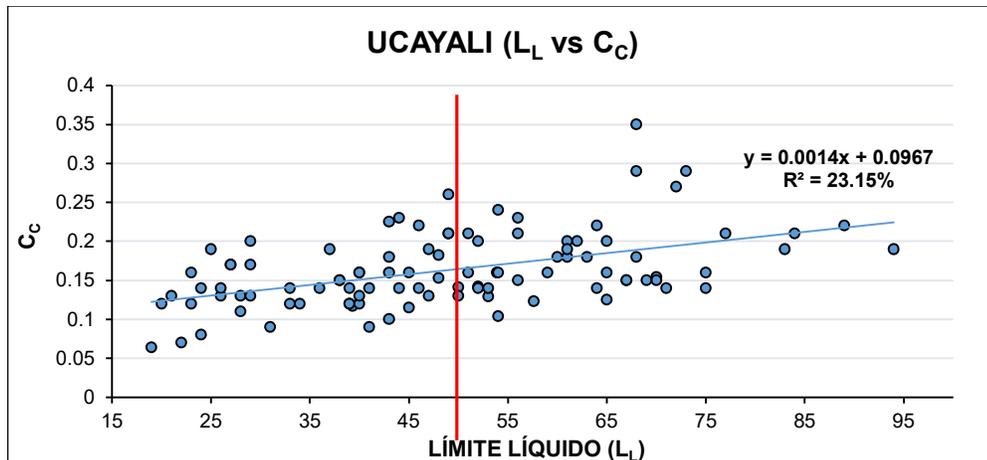


Gráfico N° 6.17 Correlación entre el límite líquido y el índice de compresibilidad en el departamento de Ucayali.

Del gráfico 6.17 se obtuvo un modelo lineal de la forma:  $C_c = 0.0014*(L_L) - 0.0967$  con un coeficiente de determinación de  $r^2 = 23.15\%$ . Eliminar los valores máximos aislados en este caso no afectan la ecuación.

#### 6.2.3.3.1 Correlación $L_L$ vs $C_c$ (CORONEL PORTILLO)

En la provincia de Coronel Portillo se encuentran los mismos valores máximos y mínimos del departamento de Ucayali, sin embargo, la correlación disminuye debido a que los datos fuera de esta provincia estaban cerca al valor promedio del total de límites líquidos.

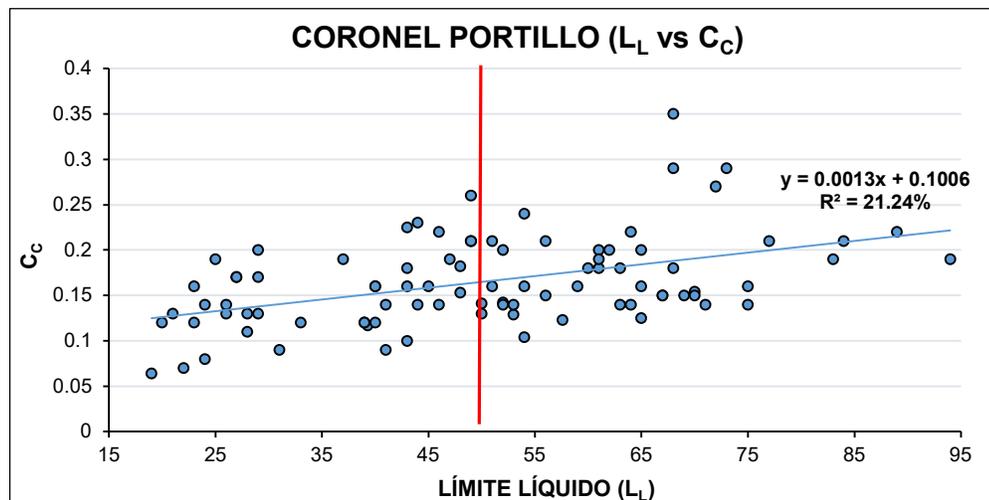


Gráfico N°6.18 Correlación entre el límite líquido y el índice de compresibilidad en el departamento de Ucayali.

Del gráfico 6.18 se obtuvo un modelo lineal de la forma:  $C_c = 0.0013*(L_L) + 0.1006$  con un coeficiente de determinación  $r^2 = 21.24\%$ .

#### 6.2.3.3.2 Correlación $L_L$ vs $C_c$ (PUCALLPA)

Para la ciudad de Pucallpa se obtiene un aumento mínimo en la correlación al ser un área con mayor densidad de ensayos.

Del gráfico 6.19 se obtuvo un modelo lineal de la forma:  $C_c = 0.0013*(L_L) + 0.099$  con un coeficiente de determinación  $r^2 = 23.4\%$ . Las correlaciones entre el límite líquido y el índice de compresibilidad para los 03 departamentos tienen un valor de  $r^2$  bajo o nulo, no se debería usar esta variable para predecir el índice de compresibilidad.

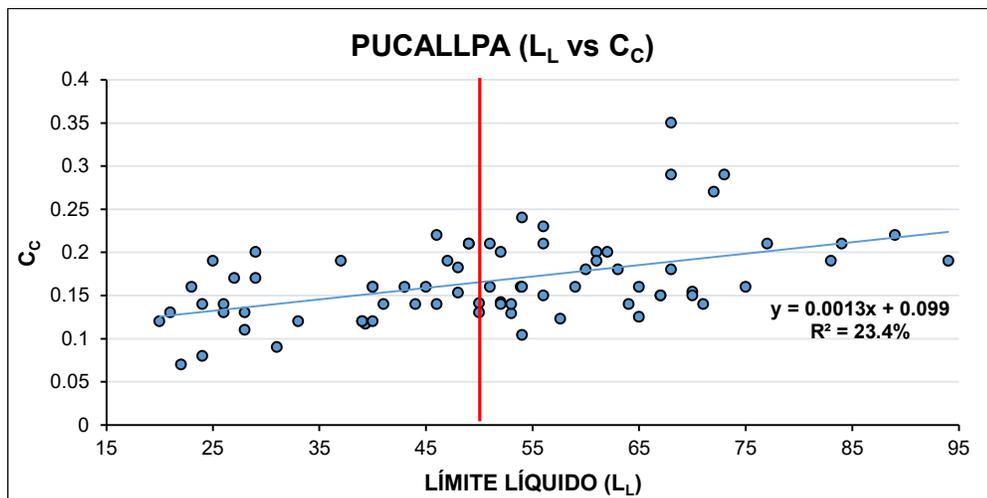


Gráfico N° 6.19 Correlación entre el límite líquido y el índice de compresibilidad en la ciudad de Pucallpa.

### 6.3 COMPARACIÓN CON ECUACIONES DE OTROS AUTORES

En el capítulo 3 se mencionaron las ecuaciones existentes para predecir el índice de compresibilidad a partir de las propiedades índices, en este capítulo hemos analizado las correlaciones que se obtienen para cada departamento. Solo se obtuvo un valor alto positivo de correlación cuando se asocia la humedad y la relación de vacíos con el índice de compresibilidad, con el límite líquido se obtuvo  $r^2 < 0.23$  por lo que esta propiedad índice no se recomienda usar.

Por este motivo solo se realizará las comparaciones de las ecuaciones propuestas por otros autores con las formuladas en esta investigación a partir de la humedad y de la relación de vacíos. Para la humedad tenemos las ecuaciones elaboradas por Azzouz, Koppula, Herrero, Helenelund y Moran, mientras que para la relación de vacíos se tiene las elaboradas por Nishida, Hough, Sowers y Cozzolino. Para el caso de ecuaciones que predicen el índice de compresibilidad  $C_c$  a partir de la humedad  $W_n$ , tenemos que en el departamento de San Martín (gráfico 6.5) nos presentan valores superiores de  $C_c$  excepto para humedades  $<12\%$ ; para el departamento de Amazonas (gráfico 6.8) estas ecuaciones nos brindan valores menores de  $C_c$ , a excepción de la ecuación de Moran que nos da valores mayores para humedades superiores a  $45\%$ .

Finalmente, para el caso de las ecuaciones que predicen el índice de compresibilidad  $C_c$  a partir de la relación de vacíos  $e_0$ , en el departamento de San Martín (gráfico 6.6), estas nos brindan valores semejantes de  $C_c$  para  $e_0 < 0.7$ , la ecuación de Hough es la que más se aproxima con valores de  $C_c$  con diferencia máxima de  $0.08$ ; para Amazonas las ecuaciones de Nishida y Sowers nos brindan valores muy superiores de  $C_c$ , Hough nos brinda valores semejantes pero únicamente para  $e_0 < 1$ ; para Ucayali las ecuaciones de Nishida y Sowers nos brindan valores superiores  $C_c$  que llegan a ser hasta  $0.3$  por encima que el dato real, Hough tiene valores muy aproximados con una diferencia máxima de  $0.02$  en valores de  $C_c$ , esta ecuación sí puede ser usada en Ucayali.

En los departamentos estudiados en la investigación, las ecuaciones a partir de la relación de vacíos y la humedad son los que mejor correlación se tuvo con el índice de compresibilidad.

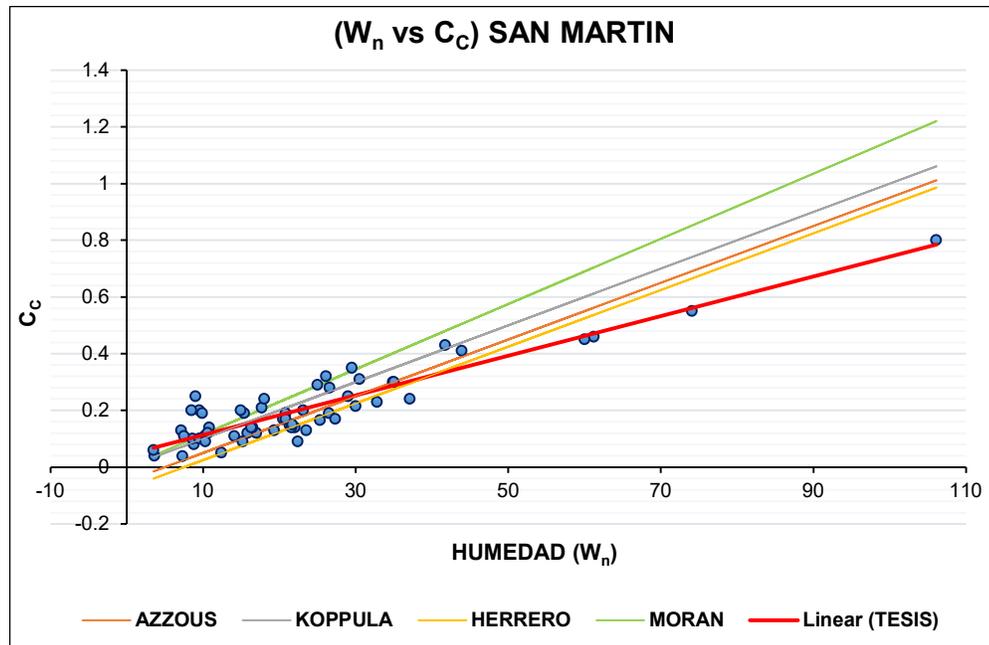


Gráfico N° 6.20 Ecuaciones de otros autores para predecir el índice de compresibilidad ( $C_c$ ) a partir de la humedad ( $W_n$ )

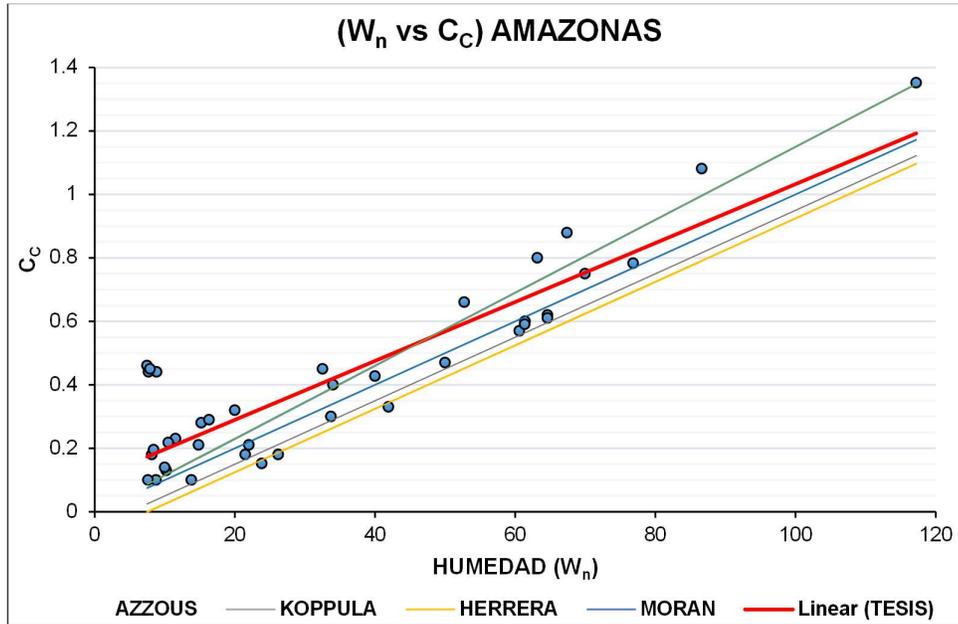


Gráfico N° 6.21 Ecuaciones de otros autores para predecir el índice de compresibilidad ( $C_c$ ) a partir de la humedad ( $W_n$ )

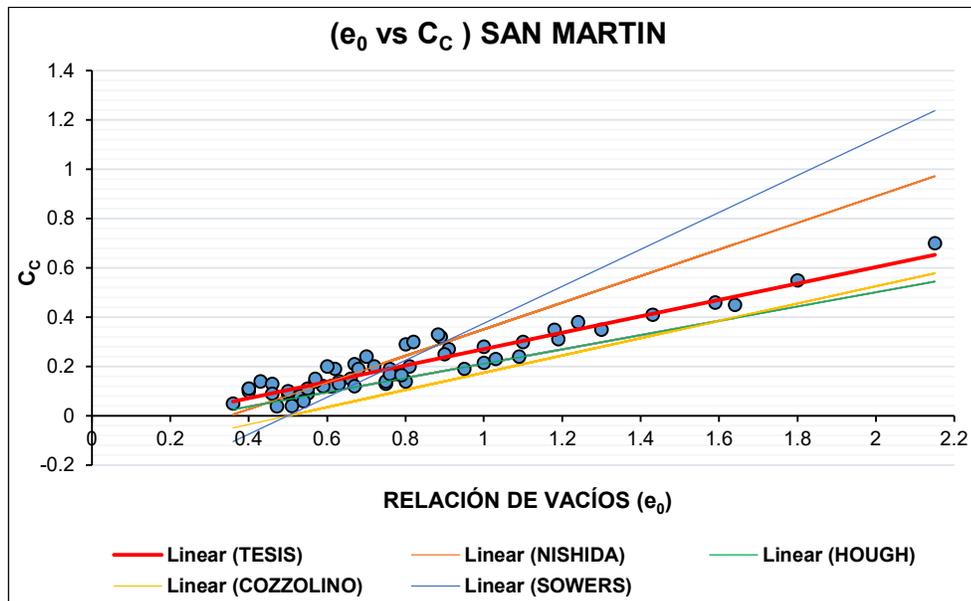


Gráfico N° 6.22 Ecuaciones de otros autores para predecir el índice de compresibilidad ( $C_c$ ) a partir de la relación de vacíos ( $e_0$ )

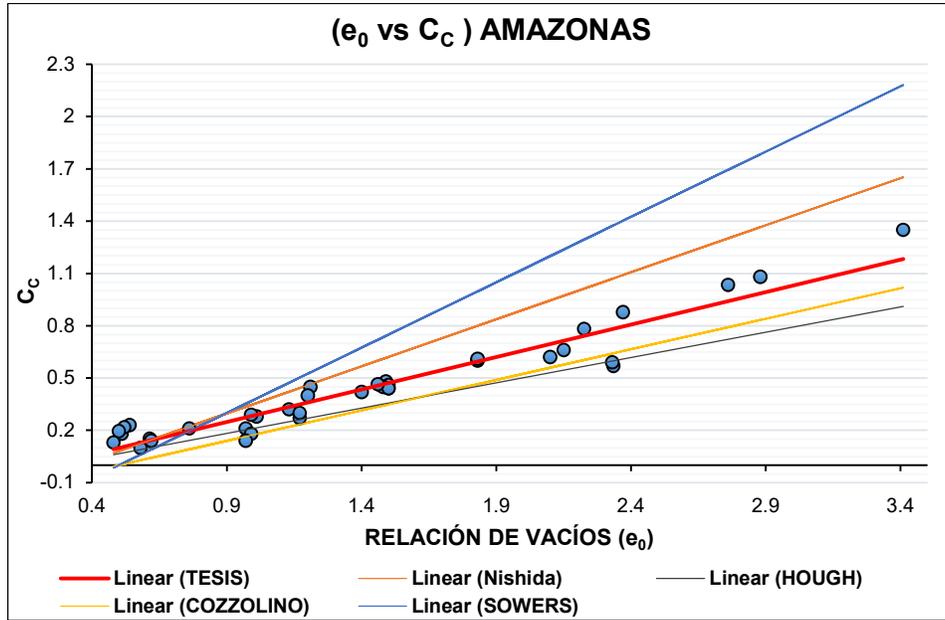


Gráfico N° 6.23 Ecuaciones de otros autores para predecir el índice de compresibilidad (CC) a partir de la relación de vacíos ( $e_0$ )

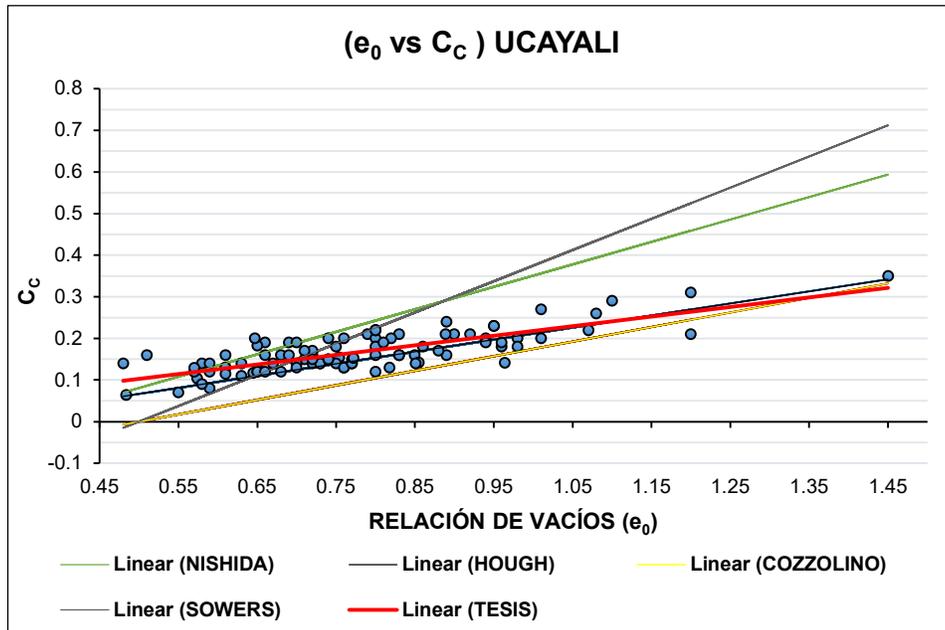


Gráfico N° 6.24 Ecuaciones de otros autores para predecir el índice de compresibilidad (CC) a partir de la relación de vacíos ( $e_0$ )

#### 6.4 ECUACIONES DE REGRESIÓN MÚLTIPLE

El buscar la asociación de dos propiedades índices para buscar un valor más próximo al índice de compresibilidad real fue desarrollado por Azzout Et Al (1976) como se indicó en el capítulo 3, quien declara que se obtiene una correlación más eficiente con un error mínimo cuando se hace dependiente con más de una propiedad índice y no sólo con una como los investigadores anteriores. Las ecuaciones que presentó asociaban el límite líquido ( $L_L$ ) con la relación de vacíos ( $e_0$ ) y el límite líquido ( $L_L$ ) con la humedad ( $W_n$ ).

En esta investigación se desarrolló correlaciones múltiples para los 3 departamentos en estudio, donde sólo se obtuvo un aumento significativo en el coeficiente de determinación cuando se usaron los datos de la ciudad de Pucallpa que inicialmente tenía como mejor correlación la de  $C_c$  vs  $e_0$  con un coeficiente de determinación  $R^2=0.6759$ .

Para los departamentos de San Martín y Amazonas el coeficiente de determinación múltiple  $R^2$  aumento en 0.05 como máximo, motivo por el cual no se consideró necesario incluirla en la investigación.

| ESTADÍSTICAS DE LA REGRESIÓN                 |            |
|--|------------|
| Coefficiente de correlación múltiple         | 0.86303961 |
| Coefficiente de determinación R <sup>2</sup> | 0.74483737 |
| R <sup>2</sup> ajustado                      | 0.73784661 |
| Error típico                                 | 0.02585715 |

Tabla N° 6.4 Datos estadísticos de la regresión múltiple  
C<sub>c</sub> vs (e<sub>0</sub>, W<sub>n</sub>) en la ciudad de Pucallpa

De la tabla 6.4 se obtuvo un modelo múltiple  $C_c = -0.000098 * W_n + 0.26439 * e_0 - 0.03509$  de con un coeficiente de determinación  $r^2 = 74.5\%$ , este valor es superior al  $r^2 = 0.6759$  presentado únicamente con la relación de vacíos.

## 6.5 VALIDACIÓN DE ECUACIONES FORMULADAS CON ENSAYOS DE CONSOLIDACIÓN EJECUTADOS POR EL INVESTIGADOR

Las ecuaciones formuladas en la presente investigación fueron basadas en ensayos de consolidación unidimensional recolectados por el tesista, para validar la efectividad de las mismas, el tesista realizó 01 investigación geotécnica en cada departamento en estudio. A continuación, se presentan los resultados para cada ecuación según el departamento:

### 6.5.1. Validación de las ecuaciones $C_c$ para el dpto. de San Martín:

|                   |   |       |                |       |                          |
|-------------------|---|-------|----------------|-------|--------------------------|
| <b>SAN MARTIN</b> | <b><math>C_c = 0.0072*(W_n) + 0.0934</math></b> |       |                |       |                          |
|                   | $W_n$ Tesista                                   | 13    | $C_c$ Tesista  | 0.219 |                          |
|                   |   |       | $C_c$ Ecuación | 0.187 | Efectividad <b>85.4%</b> |
|                   | <b><math>C_c = 0.332*(e_0) - 0.041</math></b>   |       |                |       |                          |
|                   | $e_0$ Tesista                                   | 0.712 | $C_c$ Tesista  | 0.219 |                          |
|                   |   |       | $C_c$ Ecuación | 0.196 | Efectividad <b>89.5%</b> |
|                   | <b><math>C_c = 0.0032*(L_L) + 0.0714</math></b> |       |                |       |                          |
|                   | $L_L$ Tesista                                   | 39    | $C_c$ Tesista  | 0.219 |                          |
|                   |   |       | $C_c$ Ecuación | 0.196 | Efectividad <b>89.5%</b> |

Tabla N° 6.5 Validación de ecuaciones formuladas para predecir  $C_c$  en el dpto. de San Martín

6.5.2. Validación de las ecuaciones  $C_c$  para el dpto. de Ucayali:

|                         |  |       |                         |       |             |               |
|-------------------------|--|-------|-------------------------|-------|-------------|---------------|
| <b>UCAYALI-PUCALLPA</b> | <b><math>C_c = 0.0036*(W_n) + 0.081</math></b> |       |                         |       |             |               |
|                         | W <sub>n</sub> Tesista                         | 28    | C <sub>c</sub> Tesista  | 0.41  |             |               |
|                         |  |       | C <sub>c</sub> Ecuación | 0.182 | Efectividad | <b>44.39%</b> |
|                         | <b><math>C_c = 0.253*(e_0) - 0.0167</math></b> |       |                         |       |             |               |
|                         | e <sub>0</sub> Tesista                         | 1.113 | C <sub>c</sub> Tesista  | 0.41  |             |               |
|                         |  |       | C <sub>c</sub> Ecuación | 0.265 | Efectividad | <b>64.63%</b> |
|                         | <b><math>C_c = 0.0013*(L_L) + 0.099</math></b> |       |                         |       |             |               |
|                         | L <sub>L</sub> Tesista                         | 62    | C <sub>c</sub> Tesista  | 0.41  |             |               |
|                         |  |       | C <sub>c</sub> Ecuación | 0.18  | Efectividad | <b>43.90%</b> |

Tabla N° 6.6 Validación de ecuaciones formuladas para predecir CC en el dpto. de Ucayali-Pucallpa

6.5.3. Validación de las ecuaciones  $C_c$  para el dpto. de Amazonas:

|                 |   |       |                         |       |             |               |
|-----------------|---|-------|-------------------------|-------|-------------|---------------|
| <b>AMAZONAS</b> | <b><math>C_c = 0.009*(W_n) + 0.0905</math></b>  |       |                         |       |             |               |
|                 | W <sub>n</sub> Tesista                          | 12    | C <sub>c</sub> Tesista  | 0.161 |             |               |
|                 |   |       | C <sub>c</sub> Ecuación | 0.198 | Efectividad | <b>83.31%</b> |
|                 | <b><math>C_c = 0.3789*(e_0) - 0.0311</math></b> |       |                         |       |             |               |
|                 | e <sub>0</sub> Tesista                          | 0.454 | C <sub>c</sub> Tesista  | 0.161 |             |               |
|                 |   |       | C <sub>c</sub> Ecuación | 0.141 | Efectividad | <b>87.6%</b>  |
|                 | <b><math>C_c = 0.0052*(L_L) + 0.1688</math></b> |       |                         |       |             |               |
|                 | L <sub>L</sub> Tesista                          | 21    | C <sub>c</sub> Tesista  | 0.161 |             |               |
|                 |   |       | C <sub>c</sub> Ecuación | 0.278 | Efectividad | <b>58%</b>    |

Tabla N° 6.7 Validación de ecuaciones formuladas para predecir CC en el dpto. de Amazonas

CAPÍTULO VI. - FORMULACIÓN DE  
ECUACIONES A PARTIR DE PROPIEDADES  
ÍNDICE Y VALIDACIÓN DE ECUACIONES  
EXISTENTES FORMULADAS POR OTROS  
AUTORES

~~Los valores del índice de compresibilidad  $C_c$  para suelos arcillosos, limosos,~~  
turbas o compuestos con alta presencia de finos, varían aproximadamente entre  
0.1 y 4. Un error menor a  $\pm 0.05$  al predecir el valor del índice de compresibilidad  
 $C_c$  con las ecuaciones formuladas nos brinda una alta confianza para ser usadas.

## 6.6 RESUMEN DE ECUACIONES FORMULADAS

A continuación, se presentan las ecuaciones formuladas en la presente  
investigación para predecir el índice de compresibilidad a partir de propiedades  
índice en los departamentos de San Martín, Ucayali y Amazonas:

| DPTO.                       | ECUACIONES  | $r^2$  |
|-----------------------------|---|--------|
| <b>1. San Martín</b>        |   |        |
| $W_n$                       | $C_c = 0.0072*(W_n) + 0.0934$                     | 0.85   |
| $e_0$                       | $C_c = 0.332*(e_0) - 0.041$                       | 0.9    |
| $L_L$                       | $C_c = 0.0032*(L_L) + 0.0714$                     | 0.142  |
| <b>2. Amazonas</b>          |   |        |
| $W_n$                       | $C_c = 0.0093*(W_n) + 0.0905$                     | 0.81   |
| $e_0$                       | $C_c = 0.3789*(e_0) - 0.0311$                     | 0.92   |
| $L_L$                       | $C_c = 0.0052*(L_L) + 0.1688$                     | 0.023  |
| <b>3. Ucayali</b>           |   |        |
| $W_n$                       | $C_c = 0.0038*(W_n) + 0.0752$                     | 0.253  |
| $e_0$                       | $C_c = 0.2306*(e_0) - 0.0126$                     | 0.63   |
| $L_L$                       | $C_c = 0.0014*(L_L) - 0.0967$                     | 0.2315 |
| <b>3.1 Coronel Portillo</b> |   |        |
| $W_n$                       | $C_c = 0.0039*(W_n) + 0.0734$                     | 0.345  |
| $e_0$                       | $C_c = 0.2333*(e_0) - 0.0138$                     | 0.638  |
| $L_L$                       | $C_c = 0.0013*(L_L) + 0.1006$                     | 0.212  |
| <b>3.1.1 Pucallpa</b>       |   |        |
| $W_n$                       | $C_c = 0.0036*(W_n) + 0.081$                      | 0.298  |
| $e_0$                       | $C_c = 0.253*(e_0) - 0.0197$                      | 0.676  |
| $L_L$                       | $C_c = 0.0013*(L_L) + 0.099$                      | 0.234  |
| $W_n, e_0$                  | $C_c = -0.000098*(W_n) + 0.29439*(e_0) - 0.03509$ | 0.745  |

Tabla N° 6.8 Ecuaciones formuladas para predecir el índice de  
compresibilidad  $C_c$  a partir de propiedades índice.

---

## CONCLUSIONES

1. Se determina que las mayores concentraciones de ensayos están en las zonas con más desarrollo en infraestructura, desarrollo comercial o de turismo.
2. Según clasificación SUCS los ensayos recolectados tienen una clasificación: CH, CL, MH, ML, SM Y SC.
3. Se concluye que el límite líquido de las muestras evaluadas al correlacionarlas con el índice de compresibilidad  $C_c$  nos presentan un  $r^2$  casi nulo, motivo por el cual no se considera una propiedad índice para predecir el índice de compresibilidad.
4. Se obtuvo una diferencia máxima de 0.03 para el valor de  $C_c$  entre los obtenidos en los ensayos de consolidación ejecutados por el tesista y los obtenidos con las ecuaciones formuladas en la investigación.
5. De todas las ecuaciones propuestas por otros autores para predecir el índice de compresibilidad  $C_c$  en arcillas, la única que brinda valores aproximados es la propuesta por Hough. El resto de ecuaciones dan valores de  $C_c$  con error desde 0.3 hasta 1.2 de diferencia.
6. En la ciudad de Pucallpa, al correlacionar la humedad ( $W_n$ ) y la relación de vacíos ( $e_0$ ) mediante una correlación múltiple (recomendado por Cozzolino y Hough), se obtuvo una mejora significativa pasando de un  $r^2$  de 0.676 a un  $r^2$  de 0.745.
7. El índice de plasticidad (IP) no presenta correlación con el índice de

compresibilidad ( $C_c$ ).

8. Las ecuaciones no distinguen un tipo de suelo en sí, estas están basadas en estadística a partir del  $L_L$ ,  $e_0$  y  $W\%$  por lo que se podrían usar hasta en suelos donde los finos no tengan mayor preponderancia. El tesista en un ensayo de consolidación ejecutado obtuvo una muestra de arena arcillosa (con 40% de presencia en finos) y la ecuación brindo un valor de  $C_c$  confiable.
9. La investigación te ayuda a entender que los suelos más que una clasificación que los distinga tiene propiedades básicas que definen su comportamiento, es por eso que estas ecuaciones brindan valores confiables para distintos tipos de suelos con presencia de finos.
10. Se obtuvieron las siguientes ecuaciones formuladas para predecir el índice de compresibilidad  $C_c$  a partir de propiedades índices:

| DPTO.                       | ECUACIONES                    | $r^2$  |
|-----------------------------|-------------------------------|--------|
| <b>1. San Martín</b>        |                               |        |
| $W_n$                       | $C_c = 0.0072*(W_n) + 0.0934$ | 0.85   |
| $e_0$                       | $C_c = 0.332*(e_0) - 0.041$   | 0.9    |
| $L_L$                       | $C_c = 0.0032*(L_L) + 0.0714$ | 0.142  |
| <b>2. Amazonas</b>          |                               |        |
| $W_n$                       | $C_c = 0.0093*(W_n) + 0.0905$ | 0.81   |
| $e_0$                       | $C_c = 0.3789*(e_0) - 0.0311$ | 0.92   |
| $L_L$                       | $C_c = 0.0052*(L_L) + 0.1688$ | 0.023  |
| <b>3. Ucayali</b>           |                               |        |
| $W_n$                       | $C_c = 0.0038*(W_n) + 0.0752$ | 0.253  |
| $e_0$                       | $C_c = 0.2306*(e_0) - 0.0126$ | 0.63   |
| $L_L$                       | $C_c = 0.0014*(L_L) - 0.0967$ | 0.2315 |
| <b>3.1 Coronel Portillo</b> |                               |        |
| $W_n$                       | $C_c = 0.0039*(W_n) + 0.0734$ | 0.345  |
| $e_0$                       | $C_c = 0.2333*(e_0) - 0.0138$ | 0.638  |
| $L_L$                       | $C_c = 0.0013*(L_L) + 0.1006$ | 0.212  |
| <b>3.1.1 Pucallpa</b>       |                               |        |
| $W_n$                       | $C_c = 0.0036*(W_n) + 0.081$  | 0.298  |

---

|            |   |       |
|------------|---|-------|
| $e_0$      | $C_C = 0.253*(e_0) - 0.0197$                      | 0.676 |
| $L_L$      | $C_C = 0.0013*(L_L) + 0.099$                      | 0.234 |
| $W_n, e_0$ | $C_C = -0.000098*(W_n) + 0.29439*(e_0) - 0.03509$ | 0.745 |

11. Para el departamento de Ucayali se tuvo la mayor cantidad de muestras de suelo y sin embargo la correlación entre el índice de compresibilidad  $C_C$  con las propiedades índices fue menor que en los departamentos de San Martín y Amazonas. Las razones para que suceda esto fueron las siguientes:

- En la tabla Tabla N° 6.3 Correlación entre propiedades índice  $W\%$  y  $e_0$ , obtiene una correlación inferior con un coeficiente de determinación igual a 58%. Esto nos da un indicador que en casi el 50% de las muestras la relación de vacíos no es proporcional a la humedad, por lo tanto, al ser el índice de compresibilidad proporcional a la relación de vacíos, se concluye que para ciertos valores de humedad o relación de vacíos se tendrán diferentes índices de compresibilidad haciendo así dispersa la regresión.
- En los gráficos 6.13 y 6.16 se observa que en gran porcentaje de muestras para valores de relación de vacíos o de humedad muy cercanos hay valores diferentes del índice de compresibilidad haciendo dispersa la regresión. Al ser la relación de vacíos una relación entre el volumen de vacíos y el volumen de sólidos y al tener valores de humedad muy cercanos, concluimos que la influencia en estos valores dispersos es el volumen de gases ya que al mantener casi constante el volumen de líquidos es pues este el factor que hace variar la relación de vacíos y por tanto el índice de compresibilidad. Se estima que estas fueron muestras sueltas en su mayoría o con gran composición orgánica.

- En este departamento se tuvo el mayor y menor valor del índice de compresibilidad, incluso podría haberse tomado como valor a no considerar, sin embargo, estos valores también representaban a la mínima y máxima relación de vacíos. Este rango superior ante los otros departamentos entre valores de los índices hace a su vez una mayor dispersión.
- Estas ecuaciones que se formulan para predecir el índice de compresibilidad  $C_c$  en el departamento de Ucayali, aun teniendo el menor coeficiente de determinación  $R^2$  entre todas las ecuaciones formuladas en esta investigación, tienen mejor resultado entre todas las ecuaciones existentes formuladas por otros autores (Figura 6.24).

12. Validación de ecuaciones formuladas  $C_c$  en la investigación con resultados de los ensayos de consolidación ejecutados por el investigador:

|                         |   |       |                         |       |             |               |
|-------------------------|---|-------|-------------------------|-------|-------------|---------------|
| <b>SAN MARTIN</b>       | <b><math>C_c = 0.0072*(W_n) + 0.0934</math></b> |       |                         |       |             |               |
|                         | W <sub>n</sub> Tesista                          | 13    | C <sub>c</sub> Tesista  | 0.219 |             |               |
|                         |   |       | C <sub>c</sub> Ecuación | 0.187 | Efectividad | <b>85.4%</b>  |
|                         | <b><math>C_c = 0.332*(e_0) - 0.041</math></b>   |       |                         |       |             |               |
|                         | e <sub>0</sub> Tesista                          | 0.712 | C <sub>c</sub> Tesista  | 0.219 |             |               |
|                         |   |       | C <sub>c</sub> Ecuación | 0.2   | Efectividad | <b>89.5%</b>  |
|                         | <b><math>C_c = 0.0032*(L_L) + 0.0714</math></b> |       |                         |       |             |               |
|                         | L <sub>L</sub> Tesista                          | 39    | C <sub>c</sub> Tesista  | 0.219 |             |               |
|                         |   |       | C <sub>c</sub> Ecuación | 0.2   | Efectividad | <b>89.5%</b>  |
| <b>UCAYALI-PUCALLPA</b> | <b><math>C_c = 0.0036*(W_n) + 0.081</math></b>  |       |                         |       |             |               |
|                         | W <sub>n</sub> Tesista                          | 28    | C <sub>c</sub> Tesista  | 0.41  |             |               |
|                         |   |       | C <sub>c</sub> Ecuación | 0.182 | Efectividad | <b>44.39%</b> |

|          |   |                |                |             |             |               |
|----------|---|----------------|----------------|-------------|-------------|---------------|
|          | <b><math>C_c = 0.253*(e_0) - 0.0167</math></b>  |                |                |             |             |               |
|          | $e_0$ Tesista                                   | 1.113          | $C_c$ Tesista  | 0.41        |             |               |
|          |   |                | $C_c$ Ecuación | 0.265       | Efectividad | <b>64.63%</b> |
|          | <b><math>C_c = 0.0013*(L_L) + 0.099</math></b>  |                |                |             |             |               |
|          | $L_L$ Tesista                                   | 62             | $C_c$ Tesista  | 0.41        |             |               |
|          |   |                | $C_c$ Ecuación | 0.18        | Efectividad | <b>43.90%</b> |
| AMAZONAS | <b><math>C_c = 0.009*(W_n) + 0.0905</math></b>  |                |                |             |             |               |
|          | $W_n$ Tesista                                   | 12             | $C_c$ Tesista  | 0.161       |             |               |
|          |   |                | $C_c$ Ecuación | 0.198       | Efectividad | <b>83.31%</b> |
|          | <b><math>C_c = 0.3799*(e_0) - 0.0311</math></b> |                |                |             |             |               |
|          | $e_0$ Tesista                                   | 0.454          | $C_c$ Tesista  | 0.161       |             |               |
|          |   |                | $C_c$ Ecuación | 0.131       | Efectividad | <b>87.6%</b>  |
|          | <b><math>C_c = 0.0052*(L_L) + 0.1688</math></b> |                |                |             |             |               |
|          | $L_L$ Tesista                                   | 21             | $C_c$ Tesista  | 0.161       |             |               |
|          |   | $C_c$ Ecuación | 0.278          | Efectividad | <b>58%</b>  |               |

13. Estimar el asentamiento de los estratos de un suelo blando es fundamental en el diseño de la cimentación; sin embargo, su determinación en el laboratorio implica largas jornadas de trabajo, por lo que se puede optar por utilizar correlaciones que optimicen el tiempo en la etapa de planeación de la obra y en la etapa preliminar del diseño de cimentaciones, asentamientos, etc. de las estructuras ya que sólo se realizan pruebas índices o también llamadas estándar que son rápidas y simples.

Es importante destacar que las correlaciones formuladas en esta investigación no sustituyen el trabajo de laboratorio, el cual se realiza para obtener un análisis definitivo de las propiedades de compresibilidad que

serán utilizadas en el diseño de la cimentación.

14. Existen correlaciones planteadas por otros autores en suelos finos, sin embargo, es importante plantear ecuaciones propias para suelos finos en el Perú ya que los suelos de los departamentos en estudio presentan características muy peculiares como su media, alta y baja plasticidad, contenido agua y compresibilidad. Es claro el caso del departamento de Ucayali donde para valores similares de humedad o relación de vacíos se tiene valores distantes del índice de compresibilidad  $C_c$ .
15. Las correlaciones establecidas en la investigación toman en cuenta la región donde está ubicado el sitio de estudio, así como el tipo de suelo, por lo que su uso en la práctica debe ser limitado. Al final se espera obtener y brindar una herramienta práctica al especialista en suelos, que le permita realizar análisis preliminares de las condiciones de compresibilidad esperadas en la región.

## RECOMENDACIONES

1. No se encontró investigaciones realizadas en Perú respecto a las correlaciones entre el índice de compresibilidad y propiedades índices, se recomienda realizar esta metodología estadística para otros ensayos especiales y validarlos con un programa de ensayos.
2. Realizar un amplio programa de ensayos de consolidación que incluyan muestras inalteradas como remoldeadas para así evaluar la influencia de la compresibilidad intrínseca en los suelos finos como se muestra en el capítulo 3.
3. Se requiere la disponibilidad de laboratorios de mecánica de suelos que realicen ensayos de consolidación unidimensional en los departamentos estudiados en esta investigación, todas las muestras tuvieron que ser enviadas a lima para ser ensayadas.
4. Buscar una relación entre el índice de compresibilidad y las propiedades índice, involucrando la historia de carga y descarga, de igual manera involucrar la gravedad específica (GS) ya que esta tiene una relación con la relación de vacíos ( $e_0$ ), con el objetivo de tener una ecuación universal.
5. Se recomienda la aplicación de ensayos de consolidación para suelos no saturados ya que esta situación no es única ni la más habitual y este comportamiento no es analizado correctamente con las teorías tradicionales de suelos saturados existentes. Los suelos parcialmente saturados presentan la propiedad de succión, esta corresponde a un estado de tensiones definido por la presión negativa de agua que está en los poros. Este estado de tensiones cambia

sus propiedades mecánicas e hidráulicas, y se encuentra íntimamente relacionado a la capacidad del suelo para absorber agua a presión atmosférica.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ayala, K. (2012): Influencia de las propiedades índice en el índice de compresión en las arcillas del Valle de México (Maestría). Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
  - Azzouz, A. S., Krizek, R. J., & Corotis, R. B; Regression analysis of soil compressibility. *Soils and foundations*, 16(2), 19-29; 1976.
  - Bowles, Joseph E; Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil (2.<sup>a</sup> ed.). México DF, México: LIBROS McGRAW-HILL;1981.
  - Braja M Das; Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. México DF, México: Cengage Learning, S.A; 2012.
  - Casagrande, A.; The structure of clay and its importance in foundation engineering. *Journal Boston Society Civil Engineers. C.E.*, p. 168; 1932.
  - Cruz Roque, Diego; Estudio de las propiedades de compresibilidad de las arcillas de Coatzacoalcos, Veracruz. (Maestría). Instituto Politécnico Nacional, México DF, México; 2004.
  - Das Braja M; Fundamentos de Ingeniería geotécnica, ed. Thomson, México; 1998.
  - Das Braja M; Principios de ingeniería de cimentaciones; 5<sup>o</sup> edición; Edamsa impresiones S.A; México; 2006.
  - Lambe y Whitman; Mecánica de Suelos; Instituto Tecnológico de Massachusetts; EEUU;2001.
-

- Skempton, A. W., Jones, O.T. (1944). Notes on the compressibility of clays. Quarterly Journal of the Geological Society.
- Sowers, g. B. Y Sowers, g. E Introducción a la Mecánica de suelos y Cimentaciones, ed. Macmillan, Nueva York, 1970.
- Sridharan, A., Nagaraj, H.B. (2000). Compressibility behavior of remolded, fine-grained soils and correlation with index properties. Canadian Geotechnical Journal, 712-722

---

## ANEXOS

### SUMARIO DE ANEXOS

ANEXO A: Resumen de ensayos de consolidación para formular las ecuaciones CC.

ANEXO B: Propiedades topográficas de las investigaciones recolectadas.

ANEXO C: Datos de propiedades índice usadas para formular las ecuaciones CC.

ANEXO D: Planos con curvas de ISO-Índice de Compresibilidad CC.

ANEXO E: Resultados de las investigaciones geotécnicas ejecutados por el Tesista.

ANEXO F: Fotografías de las investigaciones geotécnicas ejecutadas por el Tesista.

**ANEXO A: Resumen de ensayos de consolidación para formular las ecuaciones CC.**

**ENSAYOS DE CONSOLIDACION EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI - PERÚ**

| ITEM | AÑO | ORIGEN           | PROYECTO                     | PROF.    | SUCS | W%    | LL | e <sub>0</sub> | C <sub>c</sub> |
|------|-----|------------------|------------------------------|----------|------|-------|----|----------------|----------------|
| U-01 | 98  | Pucallpa         | Pozos exploratorios Lote 86  | 2.45-3.0 | CH   | 29.67 | 56 | 0.95           | 0.23           |
| U-02 | 98  | Pucallpa         | Pozos exploratorios Lote 87  | 1.5-2.0  | CH   | 26.95 | 54 | 0.89           | 0.16           |
| U-03 | 98  | Pucallpa         | C.E.N 65002 AURISTELA        | 0.9-3.0  |      | 24.70 |    | 0.754          | 0.154          |
| U-04 | 98  | Pucallpa         | C.E.N 65002 AURISTELA        | 1.2-2.4  |      | 18.88 |    | 0.65           | 0.125          |
| U-05 | 98  | Pucallpa         | C.E.N 65002 AURISTELA        | 0.5-3.0  |      | 19.32 |    | 0.574          | 0.104          |
| U-06 | 98  | Pucallpa         | C.E.N 65002 AURISTELA        | 0.9-2.5  |      | 21.10 | 39 | 0.645          | 0.117          |
| U-07 | 98  | Pucallpa         | C.E.N 65002 AURISTELA        | 1.8-3.6  |      | 21.92 | 58 | 0.652          | 0.123          |
| U-08 | 13  | Pucallpa         | LINEA DE TRASNMISSION 60KV   | 1.2-3.0  | CL   | 15.60 | 23 | 0.57           | 0.12           |
| U-09 | 13  | Pucallpa         | LINEA DE TRASNMISSION 60KV   | 1.0-3.0  | CL   | 25.30 | 49 | 1.08           | 0.26           |
| U-10 | 13  | Pucallpa         | LINEA DE TRASNMISSION 60KV   | 1.2-2.4  | CL   | 16.90 | 19 | 0.48           | 0.06           |
| U-11 | 13  | Coronel Portillo | PLANTA DE FRACCIONAMIENTO    | 2.5-3.6  | CL   | 24.90 | 45 | 0.72           | 0.16           |
| U-12 | 13  | Coronel Portillo | ORC PUCALLPA                 | 2.0-5.0  | CH   | 29.70 | 77 | 0.79           | 0.21           |
| U-13 | 13  | Coronel Portillo | AGUA POTABLE P.T #1          | 6.0      | CL   | 22.60 | 39 | 0.65           | 0.12           |
| U-14 | 13  | Coronel Portillo | AGUA POTABLE P.T #2          | 6.0      | CH   | 26.80 | 67 | 0.72           | 0.15           |
| U-15 | 13  | Coronel Portillo | C.E.T. PRODUCTIVO (CETPRO)   | 3.0      | CL   | 26.10 | 46 | 0.73           | 0.14           |
| U-16 | 13  | Coronel Portillo | UNIVERSIDAD NACIONAL UCAYALI | 3.0      | CL   | 28.80 | 44 | 0.67           | 0.14           |
| U-17 | 13  | Coronel Portillo | UNIVERSIDAD NACIONAL UCAYALI | 3.0      | CL   | 20.00 | 26 | 0.61           | 0.13           |
| U-18 | 12  | Pucallpa         | CONSORCIO PORTUARIO PUCALLPA | 0.3-3.0  | CH   | 17.00 | 59 | 0.51           | 0.16           |
| U-19 | 12  | Pucallpa         | TERMINAL PORTUARIO PUCALLPA  | 0.3-3.0  | ML   | 30.40 | 29 | 0.88           | 0.17           |

|      |    |                  |                                    |           |        |       |    |      |      |
|------|----|------------------|------------------------------------|-----------|--------|-------|----|------|------|
| U-20 | 12 | Coronel Portillo | C.E.T. PRODUCTIVO (CEPRO)          | 3.0       | CH     | 14.50 | 52 | 0.8  | 0.2  |
| U-21 | 12 | Coronel Portillo | INSTITUTO SAN FRANCISCO            | 2.0       | CH     | 10.30 | 71 | 0.48 | 0.14 |
| U-22 | 12 | Coronel Portillo | REAL PLAZA PUCALLPA                | 6.0       | SC     | 13.20 | 29 | 0.76 | 0.2  |
| U-23 | 12 | Coronel Portillo | REAL PLAZA PUCALLPA                | 4.0       | SM     | 7.60  | 21 | 0.76 | 0.13 |
| U-24 | 12 | Coronel Portillo | REAL PLAZA PUCALLPA                | 6.0       | CH     | 21.10 | 56 | 0.92 | 0.21 |
| U-25 | 12 | Coronel Portillo | REAL PLAZA PUCALLPA                | 4.0       | CL     | 19.80 | 41 | 0.75 | 0.14 |
| U-26 | 12 | Coronel Portillo | REAL PLAZA PUCALLPA                | 4.0       | CH     | 26.10 | 70 | 0.71 | 0.15 |
| U-27 | 12 | Coronel Portillo | HOSPITAL REGIONAL                  | 2.0       | CH     | 21.00 | 24 | 0.58 | 0.14 |
| U-28 | 12 | Coronel Portillo | HOSPITAL REGIONAL                  | 2.00      | CL     | 22.00 | 23 | 0.68 | 0.16 |
| U-29 | 12 | Coronel Portillo | HOSPITAL REGIONAL                  | 2.00      | CL     | 20.10 | 25 | 0.66 | 0.19 |
| U-30 | 12 | Coronel Portillo | HOSPITAL REGIONAL                  | 2.00      | CH     | 20.50 | 28 | 0.76 | 0.13 |
| U-31 | 11 | Coronel Portillo | ESTUDIO GEOTECNICO GEOTOPLAND      | 19.5-20.0 | CL     | 23.10 | 27 | 0.72 | 0.17 |
| U-32 | 11 | Pucallpa         | I.E FERNANDO CARBAJAL<br>SEGURA    | 3.00      | SC     | 23.60 | 29 | 0.83 | 0.13 |
| U-33 | 11 | Coronel Portillo | I.E N 65002 AURITELA DAVILA        | 3.00      | CH     | 33.00 | 89 | 0.8  | 0.22 |
| U-34 | 11 | Coronel Portillo | I.E.N 64064 JOSE ABELARDO QUIÑONES | 3.00      | CH     | 28.70 | 73 | 1.1  | 0.29 |
| U-35 | 11 | Coronel Portillo | UGEL                               | 3.00      | CL     | 18.90 | 33 | 0.59 | 0.12 |
| U-36 | 11 | Coronel Portillo | PUESTO DE SALUD JOSE OLAYA         | 3.00      | CH     | 14.00 | 51 | 0.61 | 0.16 |
| U-37 | 10 | Pucallpa         | MAPA DE PELIGROS                   | 0.00-3.20 | CH     | 20.20 | 75 | 0.7  | 0.14 |
| U-38 | 10 | Coronel Portillo | C.E. EL ARENAL PUCALLPA            | 3.00      | CL- ML | 20.30 | 20 | 0.68 | 0.12 |
| U-39 | 10 | Coronel Portillo | N 65012 WILLIAN DYER AMPUDIA       | 2.00      | CH     | 25.70 | 84 | 0.83 | 0.21 |
| U-40 | 10 | Coronel Portillo | E.I.N. 261 BARCIA BONIFATTI        | 2.50      | CH     | 36.20 | 62 | 0.94 | 0.2  |

|      |    |                  |                                  |          |    |       |    |       |       |
|------|----|------------------|----------------------------------|----------|----|-------|----|-------|-------|
| U-41 | 10 | Coronel Portillo | COLEGIO NACIONAL YARINACOCHA #1  | 2.00     | CL | 10.90 | 37 | 0.69  | 0.19  |
| U-42 | 10 | Coronel Portillo | COLEGIO NACIONAL YARINACOCHA #2  | 2.00     | CL | 24.40 | 49 | 0.9   | 0.21  |
| U-43 | 10 | Coronel Portillo | COLEGIO NACIONAL YARINACOCHA #3  | 2.0      | CH | 21.50 | 56 | 0.77  | 0.15  |
| U-44 | 10 | Coronel Portillo | PUESTO SALUD MICAELA BASTIDAS    | 2.00     | CL | 5.90  | 26 | 0.63  | 0.14  |
| U-45 | 10 | Coronel Portillo | ESTADIO ALIARDO SARIA PEREZ      | 2.50     | CH | 29.70 | 60 | 0.86  | 0.18  |
| U-46 | 10 | Coronel Portillo | I.E. ALFREDO VARGAS GUERRA       | 2.00     | CH | 26.50 | 54 | 0.85  | 0.16  |
| U-47 | 10 | Coronel Portillo | I.E. NUETRA SEÑORA DE GUADALUPE  | 2.50     | CL | 24.70 | 40 | 0.66  | 0.16  |
| U-48 | 10 | Pucallpa         | GEOS CONSULTORES                 | 2.1-2.70 | CL | 23.70 | 43 | 0.75  | 0.18  |
| U-49 | 10 | Pucallpa         | MAPA DE PELIGROS                 | 0.0-3.20 | CH | 20.20 | 75 | 0.7   | 0.14  |
| U-50 | 10 | Pucallpa         | MAPA DE PELIGROS                 | 0.0-3.00 | CH | 24.40 | 65 | 0.82  | 0.2   |
| U-51 | 10 | Pucallpa         | MAPA DE PELIGROS                 | 0.0-2.50 | CH | 23.70 | 61 | 0.8   | 0.18  |
| U-52 | 09 | Pucallpa         | I.E COMERCIO 64- Elmer Faucett   | 2.00     | CL | 21.20 | 40 | 0.8   | 0.12  |
| U-53 | 09 | Coronel Portillo | SISTEMA DE AGUA POTABLE          | 6.70     | CH | 18.30 | 53 | 0.57  | 0.129 |
| U-54 | 09 | Coronel Portillo | SISTEMA DE AGUA POTABLE          | 9.40     | CL | 23.50 | 52 | 0.855 | 0.142 |
| U-55 | 09 | Coronel Portillo | SISTEMA DE AGUA POTABLE          | 9.90     | CH | 27.40 | 50 | 0.964 | 0.141 |
| U-56 | 09 | Coronel Portillo | SISTEMA DE AGUA POTABLE          | 5.40     | CH | 19.70 | 50 | 0.818 | 0.13  |
| U-57 | 09 | Coronel Portillo | SISTEMA DE AGUA POTABLE          | 4.10     | CH | 20.50 | 52 | 0.851 | 0.14  |
| U-58 | 09 | Coronel Portillo | I.E. SAN FERNANDO-MONATAY        | 2.00     | CL | 15.90 | 28 | 0.63  | 0.11  |
| U-59 | 09 | Coronel Portillo | I.E. 65001 CORONEL PORTILLO      | 2.00     | SC | 15.60 | 40 | 0.8   | 0.16  |
| U-60 | 09 | Coronel Portillo | I.E AGROPECUARIA CALLERIA        | 2.00     | CH | 26.70 | 64 | 1.07  | 0.22  |
| U-61 | 09 | Coronel Portillo | I.E. .640115 SOR ANNETA DE JESUS | 2.00     | CH | 31.00 | 51 | 1.2   | 0.21  |
| U-62 | 09 | Coronel Portillo | AV. MIRAFLORES Y JR.F. KENNEDI   | 6.00     | CH | 22.70 | 65 | 0.83  | 0.16  |

|      |    |                      |                                      |          |    |       |    |      |      |
|------|----|----------------------|--------------------------------------|----------|----|-------|----|------|------|
| U-63 | 09 | Coronel Portillo     | AV. MIRAFLORES Y JR.F. KENNEDI       | 6.00     | CH | 17.60 | 64 | 0.59 | 0.14 |
| U-64 | 09 | Coronel Portillo     | AV. MIRAFLORES Y JR.F. KENNEDI       | 6.00     | MH | 49.90 | 68 | 1.45 | 0.35 |
| U-65 | 09 | Coronel Portillo     | AV. MIRAFLORES Y JR.F. KENNEDI       | 6.00     | CH | 27.30 | 72 | 1.01 | 0.27 |
| U-66 | 09 | Coronel Portillo     | AV. MIRAFLORES Y JR.F. KENNEDI       | 6.00     | CH | 26.50 | 68 | 1.2  | 0.29 |
| U-67 | 09 | Coronel Portillo     | I.E.N. 64004 MARGARITA AURORA        | 2.00     | CL | 21.90 | 27 | 0.71 | 0.17 |
| U-68 | 09 | Coronel Portillo     | I.E. INTEGRADA N.64911               | 2.00     | CH | 26.30 | 68 | 0.96 | 0.18 |
| U-69 | 08 | Yarinacocha-Pucallpa | SISTEMA DE AGUA POTABLE RESERVORIO 3 | 5.00     | CH | 31.20 | 69 | 1.01 | 0.15 |
| U-70 | 08 | Coronel Portillo     | AGUA Y DESAGUE DE CAMPO VERDE        | 4.50     | CH | 21.70 | 53 | 0.77 | 0.14 |
| U-71 | 08 | Pucallpa             | AV. UNION                            | 2.50     | SM | 17.00 | 22 | 0.55 | 0.07 |
| U-72 | 08 | Pucallpa             | AV. UNION                            | 3.00     | SM | 19.00 | 24 | 0.59 | 0.08 |
| U-73 | 08 | Pucallpa             | I.E. FRANCISCO BOLOGNESI             | 2.00     | CH | 29.50 | 83 | 0.94 | 0.19 |
| U-74 | 08 | Pucallpa             | I.E. LA INMACULADA                   | 2.00     | CH | 18.70 | 54 | 0.89 | 0.24 |
| U-75 | 08 | Pucallpa             | I.E. ENCARNACION VILLACORTA          | 2.00     | CL | 21.10 | 43 | 0.69 | 0.16 |
| U-76 | 08 | Coronel Portillo     | LABORATORIO INGENIERIA AGROPECUARIO  | 1.80     | CL | 21.50 | 46 | 0.8  | 0.22 |
| U-77 | 07 | Av.Union-Pucallpa    | MEJORAMIENTO JR. UNION               | 2.00     | CL | 16.00 | 31 | 0.58 | 0.09 |
| U-78 | 06 | Pucallpa             | SUNAT                                | 2.00     | CH | 33.80 | 94 | 0.81 | 0.19 |
| U-79 | 06 | Pucallpa             | ESCUELA PNP PUCALLPA                 | 0.1-0.20 | CH |       |    | 0.77 | 0.14 |
| U-80 | 06 | Pucallpa             | SALA DE AUDIENCIAS DEL JUZGADO       | 1.1-3.00 | CH | 24.60 | 61 | 0.74 | 0.2  |
| U-81 | 04 | San Juan-Pucallpa    | TERMINAL PORTUARIO                   | 2.00     | CL | 23.90 | 47 | 0.7  | 0.19 |
| U-82 | 14 | Pucallpa             | BISA                                 | 2.8-3.00 | SM | 30.00 | 41 | 0.95 | 0.09 |
| U-83 | 14 | Pucallpa             | BISA                                 | 2.5-3.20 | SM | 28.00 | 43 | 0.98 | 0.1  |
| U-84 | 12 | Padre Abad           | I.E ALEXANDER VON HUMBOLTH           | 3.00     | CL | 18.50 | 47 | 0.61 | 0.13 |

|      |    |                     |  |      |    |       |    |       |       |
|------|----|---------------------|--|------|----|-------|----|-------|-------|
| U-85 | 11 | Atalaya             | AGUA Y DESAGUE EN BREU-ATALAYA                       | 6.00 | CL | 18.40 | 39 | 0.72  | 0.14  |
| U-86 | 10 | Ucayali             | I.S.P. HORACIO ZEVALLOS GOMEZ                        | 2.00 | CH | 34.30 | 63 | 0.98  | 0.18  |
| U-87 | 10 | Ucayali             | I.S.P. HORACIO ZEVALLOS GOMEZ                        | 1.50 | CH | 33.80 | 61 | 0.96  | 0.19  |
| U-88 | 10 | Malecon Yarinacocha | ACONDICIONAMIENTO TURISTICO                          | 5.00 | CL | 32.00 | 44 | 0.95  | 0.23  |
| U-89 | 08 | Padre Abad          | ENSAYO TECNICO                                       | 5.00 | CL | 25.50 | 33 | 0.73  | 0.14  |
| U-90 |    |                     | AGUA POTABLE   | 3.00 | CL | 20.90 | 38 | 0.74  | 0.15  |
| U-91 |    |                     | PLANTA DE TRATAMIENTO #1                             | 6.00 | CL | 22.60 | 39 | 0.65  | 0.12  |
| U-92 |    |                     | PLANTA DE TRATAMIENTO #2                             | 6.00 | CH | 26.80 | 67 | 0.72  | 0.15  |
| U-93 |    |                     | Instituto Superior Pedagógico Horacio Zevallos Gámez | 2.00 | CH | 19.80 | 48 | 0.65  | 0.182 |
| U-94 |    |                     | Turístico del Lago Yarinacocha                       | 5.00 | CL | 32.00 | 43 | 0.647 | 0.225 |
| U-95 |    |                     | Educativa N° 65044 Villa el Salvador                 | 2.00 | CH | 30.90 | 48 | 0.772 | 0.153 |
| U-96 |    |                     | Institución Educativa N° 64096                       | 2.00 | CL | 24.40 | 49 | 0.889 | 0.21  |

Tabla N° 5.1 Ensayos de consolidación unidimensional realizados en el departamento de Ucayali (96 ensayos).

Fuente: Elaborado por tesista

| ENSAYOS DE CONSOLIDACION EN EL DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN – PERÚ |     |            |                        |             |      |        |                |                |                |
|--|-----|------------|------------------------|-------------|------|--------|----------------|----------------|----------------|
| ITEM   | AÑO | LUGAR      | PROYECTO               | PROF.       | SUCS | W%     | L <sub>L</sub> | e <sub>0</sub> | C <sub>c</sub> |
| SM-01  | 0   | San Martin | PUENTE YURACYACU       | 17.60-18.30 | CH   | 26.57  | 51.89          | 1.00           | 0.28           |
| SM-02  | 0   | San Martin | PUENTE YURACYACU       | 33.00-33.90 | MH   | 64.08  | 74.92          | 1.80           | 0.55           |
| SM-03  | 0   | San Martin | PUENTE YURACYACU       | 36.60-37.50 | OH   | 106.11 | 89.41          | 2.15           | 0.70           |
| SM-04  | 13  | San Martin | ESTACION DE SALUD SISA | 0.60-2.30   | CL   | 15.40  | 45.00          | 0.62           | 0.19           |
| SM-05  | 13  | San Martin | ESTACION DE SALUD SISA | 0.50-2.80   | CL   | 14.90  | 44.00          | 0.60           | 0.20           |

|       |    |            |  |           |    |       |       |      |       |
|-------|----|------------|--|-----------|----|-------|-------|------|-------|
| SM-06 | 13 | Tocache    | HOSPITAL TOCACHE                       | 1.00-1.80 | MH | 30.00 | 55.00 | 1.00 | 0.215 |
| SM-07 | 13 | Tocache    | HOSPITAL TOCACHE                       | 1.20-2.00 | MH | 32.80 | 57.00 | 1.03 | 0.23  |
| SM-08 | 13 | Saposa     | ESTACION DE SALUD SAPOSOA              | 1.00-4.00 | CL | 17.70 | 42.00 | 0.67 | 0.21  |
| SM-09 | 13 | Saposa     | ESTACION DE SALUD SAPOSOA              | 1.80-3.70 | CH | 18.00 | 40.00 | 0.70 | 0.24  |
| SM-10 | 13 | Bellavista | HOSPITAL BELLAVISTA                    | 1.00-1.90 | CH | 25.00 | 48.00 | 0.80 | 0.29  |
| SM-11 | 13 | Bellavista | HOSPITAL BELLAVISTA                    | 1.00-3.00 | CH | 26.10 | 50.00 | 0.89 | 0.32  |
| SM-12 | 13 | Picota     | ESTACION DE SALUD DE PICOTA            | 0.00-4.00 | CH | 21.30 | 69.00 | 0.66 | 0.15  |
| SM-13 | 13 | San Martin | LINEA DE TRASNMISSION 220KV            | 1.45-2.00 | CH | 22.40 | 50.00 | 0.55 | 0.09  |
| SM-14 | 13 | San Martin | LINEA DE TRASNMISSION 220KV            | 2.45-3.00 | CH | 17.00 | 68.00 | 0.61 | 0.12  |
| SM-15 | 13 | San Martin | LINEA DE TRASNMISSION 220KV            | 3.20-4.80 | CH | 16.50 | 72.00 | 0.63 | 0.14  |
| SM-16 | 13 | San Martin | LINEA DE TRASNMISSION 220KV            | 2.45-3.00 | SC | 8.80  | 27.00 | 0.53 | 0.08  |
| SM-17 | 10 | Rioja      | C.H. NARANJAR II                       | 0.20-1.90 | SM | 23.50 | 19.00 | 0.75 | 0.13  |
| SM-18 | 10 | Rioja      | C.H. NARANJAR II                       | 2.00-2.50 | CL | 22.00 | 24.00 | 0.80 | 0.14  |
| SM-19 | 10 | Rioja      | C.H. NARANJAR II                       | 1.80-2.60 | CL | 21.60 | 29.00 | 0.75 | 0.14  |
| SM-20 | 10 | Rioja      | C.H. NARANJAR II                       | 1.20-1.60 | ML | 43.90 | 35.00 | 1.43 | 0.41  |
| SM-21 | 10 | Rioja      | C.H. NARANJAR II                       | 0.20-2.00 | SC | 20.50 | 23.00 | 0.78 | 0.17  |
| SM-22 | 10 | Moyobamba  | INFRAESTRUCTURA DE LA SEDE DIRIGENCIAL | 0.80-2.40 | CH | 23.10 | 52.00 | 0.72 | 0.20  |
| SM-23 | 10 | Moyobamba  | INFRAESTRUCTURA DE LA SEDE DIRIGENCIAL | 0.80-1.60 | CL | 20.80 | 33.00 | 0.68 | 0.19  |
| SM-24 | 10 | Moyobamba  | INFRAESTRUCTURA DE LA SEDE DIRIGENCIAL | 1.80-2.40 | CL | 19.30 | 43.00 | 0.63 | 0.13  |
| SM-25 | 08 | Rioja      | PLANTA DE CEMENTO SELVA S.A            | 5.60-6.30 | OL | 61.20 | 40.00 | 1.69 | 0.46  |
| SM-26 | 08 | Rioja      | PLANTA DE CEMENTO SELVA S.A            | 4.50-6.10 | OL | 60.00 | 38.00 | 1.74 | 0.45  |
| SM-27 | 08 | Moyobamba  | CONSTRUCCION PUENTE MOTILONES          | 8.60-9.20 | ML | 34.90 | 39.00 | 1.30 | 0.30  |

|       |    |            |                               |             |    |       |       |      |      |
|-------|----|------------|-------------------------------|-------------|----|-------|-------|------|------|
| SM-28 | 08 | Moyobamba  | CONSTRUCCION PUENTE MOTILONES | 15.65-15.90 | CH | 37.10 | 54.00 | 1.09 | 0.24 |
| SM-29 | 08 | Moyobamba  | CONSTRUCCION PUENTE MOTILONES | 12.80-13.50 | CL | 41.70 | 44.00 | 1.24 | 0.43 |
| SM-30 | 07 | Tarapoto   | CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO   | 10.60-10.83 | CL | 10.80 | 43.00 | 0.43 | 0.14 |
| SM-31 | 07 | Tarapoto   | CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO   | 7.70-7.95   | CL | 10.20 | 43.00 | 0.40 | 0.11 |
| SM-32 | 07 | Tarapoto   | CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO   | 8.80-8.95   | CL | 7.10  | 32.00 | 0.46 | 0.13 |
| SM-33 | 07 | Tarapoto   | CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO   | 6.87-7.10   | CL | 8.60  | 41.00 | 0.31 | 0.10 |
| SM-34 | 07 | San Martin | CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO   | 6.95-7.55   | CL | 30.50 | 55.00 | 1.19 | 0.31 |
| SM-35 | 07 | San Martin | CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO   | 21.64-21.90 | CL | 10.60 | 39.00 | 0.59 | 0.12 |
| SM-36 | 07 | San Martin | CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO   | 18.15-18.30 | CL | 7.50  | 38.00 | 0.40 | 0.11 |
| SM-37 | 07 | San Martin | CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO   | 6.45-7.00   | CH | 20.80 | 54.00 | 0.77 | 0.17 |
| SM-38 | 07 | San Martin | CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO   | 11.50-11.96 | CL | 15.80 | 36.00 | 0.67 | 0.12 |
| SM-39 | 07 | San Martin | CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO   | 3.50-4.00   | CH | 26.50 | 67.00 | 0.95 | 0.19 |
| SM-40 | 07 | San Martin | CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO   | 3.20-3.60   | CL | 14.10 | 32.00 | 0.55 | 0.11 |
| SM-41 | 07 | San Martin | CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO   | 13.15-13.45 | CL | 12.40 | 24.00 | 0.36 | 0.05 |
| SM-42 | 07 | San Martin | CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO   | 3.74-4.10   | CL | 16.30 | 49.00 | 0.57 | 0.14 |
| SM-43 | 07 | San Martin | CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO   | 17.9-18.20  | CL | 15.20 | 46.00 | 0.50 | 0.09 |
| SM-44 | 07 | Tarapoto   | IIRSA NORTE TRAMO II          | 23.00-25.00 | CL | 9.50  | 30.00 | 0.50 | 0.10 |
| SM-45 | 07 | Tarapoto   | IIRSA NORTE TRAMO II          | 26.57-26.82 | CL | 10.30 | 32.00 | 0.46 | 0.09 |
| SM-46 | 07 | San Martin | IRRIGACION PUCACACA           | 0.99        | CH | 7.10  | 64.00 | 0.88 | 0.36 |
| SM-47 | 07 | San Martin | IRRIGACION PUCACACA           | 4.00        | CH | 7.30  | 62.00 | 0.90 | 0.38 |
| SM-48 | 07 | San Martin | IRRIGACION PAUJILZAPA         | 2.60        | SM | 3.60  | N     | 0.51 | 0.04 |
| SM-49 | 07 | San Martin | IRRIGACION PAUJILZAPA         | 3.10        | SM | 3.50  | N     | 0.54 | 0.06 |

|       |    |             |                         |           |       |       |       |      |       |
|-------|----|-------------|-------------------------|-----------|-------|-------|-------|------|-------|
| SM-50 | 06 | Santa Lucia | ESCUELA PNP SANTA LUCIA | 1.21-2.90 | SC    | 9.50  | 29.00 | 0.81 | 0.20  |
| SM-51 | 06 | Santa Lucia | ESCUELA PNP SANTA LUCIA | 1.82-3.00 | SC    | 9.90  | 31.00 | 0.76 | 0.19  |
| SM-52 | 06 | San Martin  | SISTEMA ALCANTARILLADO  | 2.00      | CL    | 21.70 | 25.00 | 0.57 | 0.15  |
| SM-53 | 06 | San Martin  | SISTEMA ALCANTARILLADO  | 3.50      | CL    | 19.50 | 45.00 | 1.18 | 0.35  |
| SM-54 | 05 | Rioja       | COMISARIA PNP RIOJA     | 0.95-3.00 | CH    | 27.30 | 61.00 | 0.76 | 0.17  |
| SM-55 | 05 | Rioja       | COMISARIA PNP RIOJA     | 1.00-2.50 | CH    | 25.30 | 60.00 | 0.79 | 0.165 |
| SM-56 | 04 | San Martin  | BANCO DE LA NACION      | 0.74-2.50 | CL-ML | 9.00  | 25.00 | 0.82 | 0.30  |
| SM-57 | 04 | San Martin  | BANCO DE LA NACION      | 0.85-2.10 | CL    | 8.50  | 27.00 | 0.91 | 0.27  |

Tabla N° 5.2 Ensayos de consolidación unidimensional realizados en el departamento de San Martin (57 ensayos).

Fuente: Elaborado por tesista

| ENSAYOS DE CONSOLIDACION EN EL DEPARTAMENTO DE AMAZONAS - PERÚ |     |              |                   |            |      |       |       |      |      |
|--|-----|--------------|-------------------|------------|------|-------|-------|------|------|
| ITEM   | AÑO | LUGAR        | PROYECTO          | PROF.      | SUCS | W%    | LL    | e0   | Cc   |
| A-01   | 98  | Bagua grande | C.E 17074         | 0.00-1.400 | CL   | 8.15  | 46.55 | 0.51 | 0.18 |
| A-02   | 98  | Bagua grande | C.E 17074         | 0.00-1.50  | CH   | 11.54 | 62.40 | 0.54 | 0.23 |
| A-03   | 98  | Bagua grande | C.E 17074         | 0.00-1.80  | CH   | 10.50 | 60.20 | 0.52 | 0.22 |
| A-04   | 98  | Bagua grande | C.E 17074         | 0.00-2.00  | CH   | 8.40  | 44.50 | 0.50 | 0.20 |
| A-05   | 98  | Bagua grande | CENTRO DE SALUD   | 1.70       | CL   | 8.83  | 47.06 | 1.50 | 0.44 |
| A-06   | 98  | Bagua grande | CENTRO DE SALUD   | 1.80       | CL   | 8.75  | 46.50 | 1.40 | 0.42 |
| A-07   | 98  | Bagua grande | HOSPITAL APOYO II | 1.70       | CH   | 7.48  | 54.34 | 1.47 | 0.46 |
| A-08   | 98  | Bagua grande | HOSPITAL APOYO II | 2.00       | CH   | 7.61  | 53.50 | 1.49 | 0.48 |
| A-09   | 98  | Bagua grande | HOSPITAL APOYO II | 2.10       | CL   | 7.70  | 53.00 | 1.50 | 0.46 |

|      |    |              |                                |           |    |        |       |      |      |
|------|----|--------------|--------------------------------|-----------|----|--------|-------|------|------|
| A-10 | 98 | Bagua grande | HOSPITAL APOYO II              | 1.60      | CH | 7.90   | 52.00 | 1.48 | 0.45 |
| A-11 | 00 | AMAZONAS     | VIA CARROZABLE TIWINZA-ECUADOR | 0.20-0.80 | ML | 58.98  | 55.31 | 3.41 | 1.35 |
| A-12 | 00 | AMAZONAS     | VIA CARROZABLE TIWINZA-ECUADOR | 0.20-2.00 | MH | 69.96  | 62.82 | 2.77 | 1.03 |
| A-13 | 00 | AMAZONAS     | VIA CARROZABLE TIWINZA-ECUADOR | 0.05-0.80 | MH | 117.20 | 55.72 | 2.88 | 1.08 |
| A-14 | 00 | AMAZONAS     | VIA CARROZABLE TIWINZA-ECUADOR | 0.05-1.10 | MH | 63.16  | 54.27 | 2.37 | 0.88 |
| A-15 | 00 | AMAZONAS     | VIA CARROZABLE TIWINZA-ECUADOR | 0.05-1.20 | MH | 86.59  | 55.72 | 2.88 | 1.08 |
| A-16 | 00 | AMAZONAS     | VIA CARROZABLE TIWINZA-ECUADOR | 0.10-1.40 | MH | 67.39  | 54.27 | 2.37 | 0.88 |
| A-17 | 00 | AMAZONAS     | VIA CARROZABLE TIWINZA-ECUADOR | 0.80-1.70 | SM | 46.46  | 40.86 | 1.54 | 0.43 |
| A-18 | 00 | AMAZONAS     | VIA CARROZABLE TIWINZA-ECUADOR | 0.20-1.20 | MH | 76.82  | 63.69 | 2.23 | 0.78 |
| A-19 | 00 | AMAZONAS     | VIA CARROZABLE TIWINZA-ECUADOR | 0.10-1.20 | CL | 23.85  | 35.70 | 0.61 | 0.15 |
| A-20 | 10 | PROV. NIEVAS | PUENTE SANTA MARIA DE NIEVAS   | 0.50      | CL | 22.00  | 65.00 | 0.97 | 0.21 |
| A-21 | 10 | PROV. NIEVAS | PUENTE SANTA MARIA DE NIEVAS   | 2.00      | CL | 21.50  | 68.00 | 0.99 | 0.18 |
| A-22 | 08 | YAMBRASBAMBA | PROYECTO BONGARA               | 2.00-2.40 | CL | 26.20  | 38.00 | 0.62 | 0.14 |
| A-23 | 08 | YAMBRASBAMBA | PROYECTO BONGARA               | 2.00-2.40 | CL | 41.90  | 43.00 | 1.17 | 0.27 |
| A-24 | 07 | Bagua grande | CARRETERA TRANSOCEANICA        | 4.00-4.30 | CL | 14.80  | 46.00 | 0.76 | 0.21 |
| A-25 | 07 | Bagua grande | CARRETERA TRANSOCEANICA        | 2.00-2.30 | CH | 15.20  | 61.00 | 1.01 | 0.28 |
| A-26 | 07 | Bagua grande | CARRETERA TRANSOCEANICA        | 2.00-2.30 | CH | 16.30  | 74.00 | 0.99 | 0.29 |
| A-27 | 07 | Bagua grande | CARRETERA TRANSOCEANICA        | 4.00-4.20 | CL | 10.20  | 47.00 | 0.48 | 0.13 |
| A-28 | 07 | Bagua grande | CARRETERA TRANSOCEANICA        | 4.00-4.25 | CH | 13.80  | 65.00 | 0.58 | 0.10 |
| A-29 | 02 | AMAZONAS     | CARRETERA CORRAL QUEMADO       | 2.00      | CH |        |       | 1.13 | 0.32 |
| A-30 | 02 | AMAZONAS     | CARRETERA CORRAL QUEMADO       | 0.60      | ML |        |       | 0.97 | 0.14 |
| A-31 | 02 | BONGARA      | PROYECTO BONGARA               | 2.50      | MH | 33.70  | 56.00 | 1.17 | 0.30 |

|      |    |             |                  |           |    |       |       |      |      |
|------|----|-------------|------------------|-----------|----|-------|-------|------|------|
| A-32 | 02 | BONGARA     | PROYECTO BONGARA | 3.00-3.50 | MH | 32.50 | 55.52 | 1.21 | 0.45 |
| A-33 | 02 | BONGARA     | PROYECTO BONGARA | 3.50      | MH | 34.00 | 54.15 | 1.20 | 0.40 |
| A-34 | 01 | CHACHAPOYAS | TESIS            | 0.00-1.50 | MH |       |       | 2.15 | 0.66 |
| A-35 | 01 | CHACHAPOYAS | TESIS            | 0.00-1.60 | MH |       |       | 2.20 | 0.57 |
| A-36 | 01 | CHACHAPOYAS | TESIS            | 0.30-1.70 | MH |       |       | 1.83 | 0.60 |
| A-37 | 01 | CHACHAPOYAS | TESIS            | 0.00-1.70 | MH |       |       | 2.10 | 0.62 |
| A-38 | 01 | CHACHAPOYAS | TESIS            | 0.20-2.00 | MH |       |       | 2.33 | 0.59 |
| A-39 | 01 | CHACHAPOYAS | TESIS            | 0.00-2.00 | MH |       |       | 1.83 | 0.61 |

**ANEXO B: Propiedades  
topográficas de las  
investigaciones  
recolectadas**

| PROYECTO                          | Cc    | COORDENADAS |             | ALTURA msnm | COTA  |
|-----------------------------------|-------|-------------|-------------|-------------|-------|
| Pozos exploratorios Lote 86       | 0.23  | -73.01082   | -11.220499  | 401         | 398   |
| Pozos exploratorios Lote 87       | 0.16  | -72.493282  | -11.36369   | 319         | 317   |
| C.E.N 65002 AURISTELA             | 0.154 | -74.5396342 | -8.3796464  | 156         | 153   |
| C.E.N 65002 AURISTELA             | 0.125 | -74.5396776 | -8.37957142 | 157         | 154.6 |
| C.E.N 65002 AURISTELA             | 0.104 | -74.5396922 | -8.37960786 | 157         | 154   |
| C.E.N 65002 AURISTELA             | 0.117 | -74.5396343 | -8.37959033 | 156         | 153.5 |
| C.E.N 65002 AURISTELA             | 0.123 | -74.5396886 | -8.37965737 | 156         | 152.4 |
| LINEA DE TRASNMISSION 60KV        | 0.12  | -75.493525  | -9.03163182 | 294         | 291   |
| LINEA DE TRASNMISSION 60KV        | 0.26  | -75.4928817 | -9.02871153 | 297         | 294   |
| LINEA DE TRASNMISSION 60KV        | 0.064 | -75.4922558 | -9.02993409 | 301         | 298.6 |
| PLANTA DE FRACCIONAMIENTO         | 0.16  | -74.6148997 | -8.39268302 | 154         | 150.4 |
| ORC PUCALLPA                      | 0.21  | -74.5334623 | -8.38113433 | 158         | 153   |
| AGUA POTABLE P.T #1               | 0.12  | -74.6060303 | -8.36323712 | 152         | 146   |
| AGUA POTABLE P.T #2               | 0.15  | -74.6063369 | -8.36285678 | 151         | 145   |
| C.E.T. PRODUCTIVO (CETPRO)        | 0.14  | -74.534475  | -8.3902104  | 155         | 152   |
| UNIVERSIDAD NACIONALUCAYALI       | 0.14  | -74.5774704 | -8.39476774 | 156         | 153   |
| UNIVERSIDAD NACIONALUCAYALI       | 0.13  | -74.578311  | -8.39363206 | 156         | 153   |
| CONSORCIO PORTUARIO               | 0.16  | -74.5257879 | -8.38221851 | 149         | 146   |
| TERMINAL PORTUARIOPUCALLPA        | 0.17  | -74.5255309 | -8.38151415 | 149         | 146   |
| C.E.T. PRODUCTIVO (CEPRO)         | 0.2   | -74.5343853 | -8.38991556 | 154         | 151   |
| INSTITUTO SAN FRANCISCO           | 0.14  | -74.5647891 | -8.37266942 | 156         | 154   |
| REAL PLAZA PUCALLPA               | 0.2   | -74.5559699 | -8.38592221 | 158         | 152   |
| REAL PLAZA PUCALLPA               | 0.13  | -74.5559621 | -8.38495149 | 155         | 151   |
| REAL PLAZA PUCALLPA               | 0.21  | -74.5561379 | -8.38408376 | 154         | 148   |
| REAL PLAZA PUCALLPA               | 0.14  | -74.5570475 | -8.38461481 | 154         | 150   |
| REAL PLAZA PUCALLPA               | 0.15  | -74.5568185 | -8.38550106 | 155         | 151   |
| HOSPITAL REGIONAL                 | 0.14  | -74.5323698 | -8.37480199 | 157         | 155   |
| HOSPITAL REGIONAL                 | 0.16  | -74.5323117 | -8.37492679 | 157         | 155   |
| HOSPITAL REGIONAL                 | 0.19  | -74.5322339 | -8.37479979 | 157         | 155   |
| HOSPITAL REGIONAL                 | 0.13  | -74.5324191 | -8.3748808  | 157         | 155   |
| ESTUDIO GEOTECNICO GEOTOPLAND     | 0.17  | -74.6633258 | -8.25078822 | 154         | 134   |
| I.E FERNANDO CARBAJALSEGURA       | 0.13  | -75.5095231 | -9.03604424 | 282         | 279   |
| I.E N 65002 AURITELA DAVILA       | 0.22  | -74.5397082 | -8.37957948 | 157         | 154   |
| I.E.N 64064 JOSE ABELARDOQUIÑONES | 0.29  | -74.541024  | -8.39834294 | 154         | 151   |
| UGEL                              | 0.12  | -74.5504857 | -8.40317975 | 156         | 153   |
| PUESTO DE SALUD JOSEOLAYA         | 0.16  | -74.5490209 | -8.36849694 | 154         | 151   |
| MAPA DE PELIGROS                  | 0.14  | -75.1591388 | -8.52753246 | 270         | 266.8 |
| C.E. EL ARENAL PUCALLPA           | 0.12  | -74.5359793 | -8.3697962  | 152         | 149   |
| N 65012 WILLIAN DYER AMPUDIA      | 0.21  | -74.5826079 | -8.39295089 | 156         | 154   |
| E.I.N. 261 BARCIA BONIFATTI       | 0.2   | -74.5377134 | -8.37696818 | 150         | 147.5 |
| COLEGIO NACIONAL YARINACocha #1   | 0.19  | -74.5690106 | -8.36036545 | 156         | 154   |
| COLEGIO NACIONAL YARINACocha #2   | 0.21  | -74.5696086 | -8.3605563  | 154         | 152   |
| COLEGIO NACIONAL YARINACocha #3   | 0.15  | -74.5697874 | -8.3593864  | 154         | 152   |
| PUESTO SALUD MICAELA BASTIDAS     | 0.14  | -74.5498868 | -8.38973648 | 156         | 154   |
| ESTADIO ALIARDO SARIA PEREZ       | 0.18  | -74.5395836 | -8.38596016 | 157         | 154.5 |

|                                    |       |             |             |     |         |
|------------------------------------|-------|-------------|-------------|-----|---------|
| I.E. ALFREDO VARGASGUERRA          | 0.16  | -74.5679636 | -8.38844361 | 155 | 153     |
| I.E. NUETRA SEÑORA DE GUADALUPE    | 0.16  | -74.5285906 | -8.3818265  | 153 | 150.5   |
| GEOS CONSULTORES                   | 0.18  | -75.3614534 | -8.69962079 | 263 | 260.3   |
| MAPA DE PELIGROS                   | 0.14  | -74.574122  | -8.415643   | 121 | 117.8   |
| MAPA DE PELIGROS                   | 0.2   | -74.563951  | -8.417974   | 180 | 177     |
| MAPA DE PELIGROS                   | 0.18  | -74.585151  | -8.411988   | 157 | 154.5   |
| I.E. COMERCIO 64                   | 0.12  | -74.5373568 | -8.3771616  | 151 | 149     |
| SISTEMA DE AGUA POTABLE            | 0.129 | -74.5459389 | -8.38203444 | 154 | 147.257 |
| SISTEMA DE AGUA POTABLE            | 0.142 | -74.5468181 | -8.37667802 | 156 | 146.625 |
| SISTEMA DE AGUA POTABLE            | 0.141 | -74.5412521 | -8.38074472 | 157 | 147.09  |
| SISTEMA DE AGUA POTABLE            | 0.13  | -74.5428702 | -8.37714567 | 153 | 147.62  |
| SISTEMA DE AGUA POTABLE            | 0.14  | -74.5429802 | -8.38724568 | 156 | 151.9   |
| I.E. SAN FERNANDO-MONATAY          | 0.11  | -74.5342329 | -8.39907101 | 153 | 151     |
| I.E. 65001 CORONEL PORTILLO        | 0.16  | -74.5359431 | -8.38729183 | 157 | 155     |
| I.E. AGROPECUARIA CALLERIA         | 0.22  | -74.5039641 | -8.44817767 | 147 | 145     |
| I.E. .640115 SOR ANNETA DE JESUS   | 0.21  | -74.5286458 | -8.38020773 | 155 | 153     |
| AV. MIRAFLORES Y JR.F. KENNEDI     | 0.16  | -74.5549994 | -8.37055303 | 155 | 149     |
| AV. MIRAFLORES Y JR.F. KENNEDI     | 0.14  | -74.5564102 | -8.37106918 | 154 | 148     |
| AV. MIRAFLORES Y JR.F. KENNEDI     | 0.35  | -74.5547464 | -8.37256981 | 153 | 147     |
| AV. MIRAFLORES Y JR.F. KENNEDI     | 0.27  | -74.5539939 | -8.37163683 | 154 | 148     |
| AV. MIRAFLORES Y JR.F. KENNEDI     | 0.29  | -74.5549949 | -8.37163683 | 154 | 148     |
| I.E.N. 64004 MARGARITA AURORA      | 0.17  | -74.543103  | -8.38082325 | 157 | 155     |
| I.E. INTEGRADA N.64911             | 0.18  | -74.5477506 | -8.4023483  | 156 | 154     |
| SIST. DE AGUA POTABLE RESERVORIO 3 | 0.15  | -74.5457119 | -8.41910943 | 161 | 156     |
| AGUA Y DESAGUE DE CAMPO VERDE      | 0.14  | -74.5539222 | -8.38954228 | 156 | 151.5   |
| AV. UNION                          | 0.07  | -74.557081  | -8.38048515 | 156 | 153.5   |
| AV. UNION                          | 0.08  | -74.567091  | -8.38058516 | 156 | 153     |
| I.E. FRANCISCO BOLOGNESI           | 0.19  | -74.5418581 | -8.3933338  | 153 | 151     |
| I.E. LA INMACULADA                 | 0.24  | -74.5314974 | -8.3790051  | 156 | 154     |
| I.E. ENCARNACION VILLACORTA        | 0.16  | -74.541358  | -8.4083372  | 153 | 151     |
| LAB. INGENIERIA AGROPECUARIO       | 0.22  | -74.5777806 | -8.39502031 | 156 | 154.2   |
| MEJORAMIENTO JR. UNION             | 0.09  | -74.5432106 | -8.39755792 | 155 | 153     |
| SUNAT                              | 0.19  | -74.548852  | -8.3835116  | 157 | 155     |
| ESCUELA PNP PUCALLPA               | 0.14  | -74.5604854 | -8.39025703 | 160 | 159.8   |
| SALA DE AUDIENCIAS DEL JUZGADO     | 0.2   | -74.5328905 | -8.3844452  | 154 | 151     |
| TERMINAL PORTUARIO                 | 0.19  | -74.5274243 | -8.38437686 | 152 | 150     |
| BISA                               | 0.09  | -74.8015273 | -8.48405656 | 200 | 197     |
| BISA                               | 0.1   | -74.8125283 | -8.48506666 | 200 | 196.8   |
| I.E ALEXANDER VON HUMBOLTH         | 0.13  | -75.0507064 | -8.82775944 | 232 | 229     |
| AGUA Y DESAGUE EN BREU-ATALAYA     | 0.14  | -72.7596644 | -9.53148168 | 249 | 243     |
| I.S.P. HORACIO ZEVALLOS GOMEZ      | 0.18  | -74.5686024 | -8.3859511  | 155 | 153     |
| I.S.P. HORACIO ZEVALLOS GOMEZ      | 0.19  | -74.5786124 | -8.3949521  | 155 | 153.5   |
| ACONDICIONAMIENTO TURISTICO        | 0.23  | -74.5820941 | -8.33061151 | 144 | 139     |
| ENSAYO TECNICO                     | 0.14  | -75.7111914 | -8.69509603 | 528 | 523     |
| AGUA POTABLE                       | 0.15  | -73.760973  | -10.724319  | 245 | 242     |
| PLANTA DE TRATAMIENTO #1           | 0.12  | -74.6060303 | -8.36323712 | 152 | 146     |

|                                       |       |             |             |       |       |
|---------------------------------------|-------|-------------|-------------|-------|-------|
| PLANTA DE TRATAMIENTO #2              | 0.15  | -74.6063369 | -8.36285678 | 151   | 145   |
| I.S Pedagógico Horacio Zevallos GámeZ | 0.182 | -74.5686024 | -8.3859511  | 155   | 153   |
| Turístico del Lago Yarinacocha        | 0.225 | -74.5772765 | -8.30819658 | 151   | 146   |
| Educativa N° 65044 Villa el Salvador  | 0.153 | -74.5501415 | -8.4106776  | 155   | 153   |
| Institución Educativa N° 64096        | 0.21  | -74.5727906 | -8.35916397 | 154   | 152   |
| AGUA POTABLE                          | 0.17  | -73.7604055 | -10.7283256 | 264   | 263   |
| AGUA POTABLE                          | 0.16  | -73.7601025 | -10.7281016 | 264   | 262.5 |
| AGUA POTABLE                          | 0.15  | -73.7604031 | -10.7283206 | 263   | 262.5 |
| AGUA POTABLE                          | 0.2   | -73.760453  | -10.7283167 | 263.5 | 263   |

| PROYECTO                              | Cc    | COORDENADAS |            | ALTURA msnm | COTA   |
|---------------------------------------|-------|-------------|------------|-------------|--------|
| PUENTE YURACYACU                      | 0.28  | -77.21776   | -5.9195423 | 812         | 793.7  |
| PUENTE YURACYACU                      | 0.55  | -77.217914  | -5.9209616 | 813         | 779.1  |
| PUENTE YURACYACU                      | 0.7   | -77.217949  | -5.9213512 | 813         | 775.5  |
| ESTACION DE SALUD SISA                | 0.19  | -76.688834  | -6.6145943 | 351         | 348.7  |
| ESTACION DE SALUD SISA                | 0.2   | -76.689134  | -6.6145942 | 351         | 348.2  |
| HOSPITAL TOCACHE                      | 0.215 | -76.514059  | -8.19039   | 502         | 500.2  |
| HOSPITAL TOCACHE                      | 0.23  | -76.514169  | -8.1903922 | 502         | 500    |
| ESTACION DE SALUD SAPOSOA             | 0.21  | -76.773248  | -6.9276651 | 307         | 303    |
| ESTACION DE SALUD SAPOSOA             | 0.24  | -76.773259  | -6.9276752 | 306         | 302.3  |
| HOSPITAL BELLAVISTA                   | 0.29  | -76.593397  | -7.0589221 | 322         | 320.1  |
| HOSPITAL BELLAVISTA                   | 0.32  | -76.593898  | -7.0589038 | 321.5       | 318.5  |
| ESTACION DE SALUD DE PICOTA           | 0.15  | -76.330258  | -6.9182213 | 219         | 215    |
| LINEA DE TRASNMISSION 220KV           | 0.09  | -76.970067  | -6.0419882 | 953         | 951    |
| LINEA DE TRASNMISSION 220KV           | 0.12  | -76.875649  | -5.990671  | 1170        | 1167   |
| LINEA DE TRASNMISSION 220KV           | 0.14  | -76.784999  | -5.9375735 | 1687        | 1682.2 |
| LINEA DE TRASNMISSION 220KV           | 0.08  | -76.784998  | -5.9375741 | 1690        | 1687   |
| C.H. NARANJAR II                      | 0.13  | -77.497814  | -5.7499692 | 981         | 979.1  |
| C.H. NARANJAR II                      | 0.14  | -77.495783  | -5.7491563 | 994         | 991.5  |
| C.H. NARANJAR II                      | 0.14  | -77.498024  | -5.7488512 | 995         | 992.4  |
| C.H. NARANJAR II                      | 0.41  | -77.496977  | -5.7481774 | 982         | 980.4  |
| C.H. NARANJAR II                      | 0.17  | -77.496987  | -5.7481874 | 979         | 977    |
| INFRAESTRUCTURA DE LA SEDE DIRIGENCIA | 0.20  | -76.988846  | -6.0217536 | 868         | 865.6  |
| INFRAESTRUCTURA DE LA SEDE DIRIGENCIA | 0.19  | -76.98909   | -6.0216527 | 868         | 866.4  |
| INFRAESTRUCTURA DE LA SEDE DIRIGENCIA | 0.13  | -76.988675  | -6.022102  | 867.5       | 865.1  |
| PLANTA DE CEMENTO SELVA S.A           | 0.46  | -77.272596  | -5.9961644 | 828         | 821.7  |
| PLANTA DE CEMENTO SELVA S.A           | 0.45  | -77.272696  | -5.9961711 | 828         | 821.9  |
| CONSTRUCCION PUENTE MOTILONES         | 0.30  | -76.981038  | -6.0009849 | 805         | 795.8  |
| CONSTRUCCION PUENTE MOTILONES         | 0.24  | -76.979996  | -6.0003166 | 804         | 788.1  |
| CONSTRUCCION PUENTE MOTILONES         | 0.43  | -76.978113  | -5.9992194 | 808         | 794.5  |
| CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO           | 0.14  | -76.369074  | -6.5043672 | 265         | 254.17 |
| CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO           | 0.11  | -76.37171   | -6.499404  | 268         | 260.05 |
| CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO           | 0.13  | -76.374312  | -6.4944703 | 265         | 256.05 |
| CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO           | 0.10  | -76.366033  | -6.5083766 | 262         | 254.9  |
| CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO           | 0.31  | -76.58396   | -6.4343076 | 301         | 293.45 |
| CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO           | 0.12  | -76.587855  | -6.4306467 | 295         | 273.1  |
| CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO           | 0.11  | -76.595589  | -6.4235156 | 286         | 267.7  |
| CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO           | 0.17  | -76.602805  | -6.4092621 | 319         | 312    |
| CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO           | 0.12  | -76.619813  | -6.4122186 | 414         | 402.04 |
| CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO           | 0.19  | -77.149987  | -6.0503601 | 823         | 819    |
| CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO           | 0.11  | -77.157959  | -6.053558  | 821         | 817.4  |
| CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO           | 0.05  | -77.167084  | -6.0541545 | 827         | 813.55 |
| CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO           | 0.14  | -77.182155  | -6.0447164 | 845         | 840.9  |
| CARRETERA NORTE-TRAMO 2-RIO           | 0.09  | -77.206391  | -6.0312201 | 838         | 819.8  |
| IIRSA NORTE TRAMO II                  | 0.1   | -76.823249  | -6.2137026 | 809         | 784    |
| IIRSA NORTE TRAMO II                  | 0.09  | -76.824342  | -6.214721  | 810         | 783.18 |
| IRRIGACION PUCACACA                   | 0.36  | -76.770178  | -6.5199132 | 439         | 438.01 |
| IRRIGACION PUCACACA                   | 0.38  | -76.772061  | -6.5184632 | 458         | 454    |
| IRRIGACION PAUJILZAPA                 | 0.04  | -76.331745  | -6.7928656 | 215         | 212.4  |
| IRRIGACION PAUJILZAPA                 | 0.06  | -76.332834  | -6.7928777 | 203         | 199.9  |
| ESCUELA PNP SANTA LUCIA               | 0.2   | -76.462181  | -8.446558  | 545         | 542.1  |
| ESCUELA PNP SANTA LUCIA               | 0.19  | -76.462192  | -8.4455583 | 545         | 542    |
| SISTEMA ALCANTARILLADO                | 0.15  | -76.378638  | -6.4814094 | 307         | 305    |
| SISTEMA ALCANTARILLADO                | 0.35  | -76.371303  | -6.4826925 | 329         | 325.5  |
| COMISARIA PNP RIOJA                   | 0.17  | -77.168032  | -6.063741  | 845         | 842    |

|                     |       |            |            |     |       |
|---------------------|-------|------------|------------|-----|-------|
| COMISARIA PNP RIOJA | 0.165 | -77.168032 | -6.06374   | 845 | 842.5 |
| BANCO DE LA NACION  | 0.30  | -76.359604 | -6.4893501 | 329 | 326.5 |
| BANCO DE LA NACION  | 0.27  | -76.359604 | -6.489351  | 329 | 326.9 |

| <b>PROYECTO</b>                | <b>Cc</b> | <b>COORDENADAS</b> |            | <b>ALTURA msnm</b> | <b>COTA</b> |
|--------------------------------|-----------|--------------------|------------|--------------------|-------------|
| C.E 17074                      | 0.18      | -78.446194         | -5.7619279 | 483                | 481.6       |
| C.E 17074                      | 0.23      | -78.446652         | -5.7619782 | 483                | 481.5       |
| C.E 17074                      | 0.218     | -78.446891         | -5.7619319 | 483                | 481.2       |
| C.E 17074                      | 0.195     | -78.446503         | -5.7629782 | 483                | 481         |
| CENTRO DE SALUD                | 0.44      | -78.446936         | -5.7530429 | 452                | 450.3       |
| CENTRO DE SALUD                | 0.42      | -78.447836         | -5.7540411 | 452                | 450.2       |
| HOSPITAL APOYO II              | 0.46      | -78.530253         | -5.6389407 | 424                | 422.3       |
| HOSPITAL APOYO II              | 0.48      | -78.520253         | -5.6489308 | 424                | 422         |
| HOSPITAL APOYO II              | 0.46      | -78.531253         | -5.6488407 | 424                | 421.9       |
| HOSPITAL APOYO II              | 0.45      | -78.530343         | -5.6389204 | 424                | 422.4       |
| VIA CARROZABLE TIWINZA-ECUADOR | 0.44      | -78.012152         | -3.1819439 | 1467               | 1466.2      |
| VIA CARROZABLE TIWINZA-ECUADOR | 0.464     | -77.970721         | -3.1241795 | 1357               | 1355        |
| VIA CARROZABLE TIWINZA-ECUADOR | 1.352     | -77.941211         | -3.0829062 | 541                | 540.2       |
| VIA CARROZABLE TIWINZA-ECUADOR | 1.034     | -77.891164         | -3.0428424 | 269                | 267.9       |
| VIA CARROZABLE TIWINZA-ECUADOR | 1.081     | -78.031133         | -3.1907519 | 1194               | 1192.8      |
| VIA CARROZABLE TIWINZA-ECUADOR | 0.879     | -78.038778         | -3.1990593 | 1318               | 1316.6      |
| VIA CARROZABLE TIWINZA-ECUADOR | 0.427     | -78.030075         | -3.1970264 | 1092               | 1090.3      |
| VIA CARROZABLE TIWINZA-ECUADOR | 0.783     | -78.014579         | -3.1893618 | 1458               | 1456.8      |
| VIA CARROZABLE TIWINZA-ECUADOR | 0.152     | -77.985709         | -3.1416847 | 1341               | 1339.8      |
| PUENTE SANTA MARIA DE NIEVAS   | 0.21      | -77.861065         | -4.6010805 | 207                | 206.5       |
| PUENTE SANTA MARIA DE NIEVAS   | 0.18      | -77.862063         | -4.6211806 | 207                | 205         |
| PROYECTO BONGARA               | 0.14      | -77.981341         | -5.9359095 | 1351               | 1348.6      |
| PROYECTO BONGARA               | 0.27      | -77.97969          | -5.9372113 | 1304               | 1301.6      |
| CARRETERA TRANSOCEANICA        | 0.21      | -78.422632         | -5.7653641 | 456                | 451.7       |
| CARRETERA TRANSOCEANICA        | 0.28      | -78.425839         | -5.7619384 | 445                | 442.7       |
| CARRETERA TRANSOCEANICA        | 0.29      | -78.429321         | -5.7585428 | 449                | 446.7       |
| CARRETERA TRANSOCEANICA        | 0.13      | -78.441879         | -5.7558953 | 452                | 447.8       |
| CARRETERA TRANSOCEANICA        | 0.1       | -78.451895         | -5.7472726 | 448                | 443.75      |
| CARRETERA CORRAL QUEMADO       | 0.32      | -78.68512          | -5.779556  | 428                | 426         |
| CARRETERA CORRAL QUEMADO       | 0.14      | -78.642211         | -5.734499  | 451                | 450.4       |
| PROYECTO BONGARA               | 0.3       | -77.975268         | -5.9472602 | 1332               | 1329.5      |
| PROYECTO BONGARA               | 0.45      | -77.978304         | -5.9502802 | 1331               | 1327.5      |
| PROYECTO BONGARA               | 0.4       | -77.988404         | -5.9401801 | 1325               | 1321.5      |
| TESIS                          | 0.66      | -77.868706         | -6.2330919 | 2363               | 2361.5      |
| TESIS                          | 0.57      | -77.86273          | -6.2273111 | 2329               | 2327.4      |
| TESIS                          | 0.6       | -77.873719         | -6.2246213 | 2342               | 2340.3      |
| TESIS                          | 0.62      | -77.883728         | -6.2447203 | 2340               | 2338.3      |
| TESIS                          | 0.59      | -77.863718         | -6.2363333 | 2335               | 2333        |
| TESIS                          | 0.61      | -77.897184         | -6.2474212 | 2330               | 2328        |

**ANEXO C: Datos de las  
propiedades índices  
usadas para formular  
las ecuaciones Cc.**

**SAN MARTIN**

| W%     | Cc    |
|--------|-------|
| 26.57  | 0.28  |
| 74.08  | 0.55  |
| 106.11 | 0.8   |
| 15.4   | 0.19  |
| 14.9   | 0.2   |
| 30     | 0.215 |
| 32.8   | 0.23  |
| 17.7   | 0.21  |
| 18     | 0.24  |
| 25     | 0.29  |
| 26.1   | 0.32  |
| 21.3   | 0.15  |
| 22.4   | 0.09  |
| 17     | 0.12  |
| 16.5   | 0.14  |
| 8.8    | 0.08  |
| 23.5   | 0.13  |
| 22     | 0.14  |
| 21.6   | 0.14  |
| 43.9   | 0.41  |
| 20.5   | 0.17  |
| 23.1   | 0.2   |
| 20.8   | 0.19  |
| 19.3   | 0.13  |
| 61.2   | 0.46  |
| 60     | 0.45  |
| 34.9   | 0.3   |
| 37.1   | 0.24  |
| 41.7   | 0.43  |
| 10.8   | 0.14  |
| 10.2   | 0.11  |
| 7.1    | 0.13  |
| 8.6    | 0.1   |
| 30.5   | 0.31  |
| 10.6   | 0.12  |
| 7.5    | 0.11  |
| 20.8   | 0.17  |
| 15.8   | 0.12  |
| 26.5   | 0.19  |
| 14.1   | 0.11  |
| 12.4   | 0.05  |
| 16.3   | 0.14  |
| 15.2   | 0.09  |
| 9.5    | 0.1   |
| 10.3   | 0.09  |
| 7.3    | 0.039 |
| 3.6    | 0.04  |
| 3.5    | 0.06  |
| 9.5    | 0.2   |
| 9.9    | 0.19  |
| 21.7   | 0.15  |
| 29.5   | 0.35  |
| 27.3   | 0.17  |
| 25.3   | 0.165 |
| 9      | 0.25  |
| 8.5    | 0.2   |
| 35     | 0.3   |
| 29     | 0.25  |
| 7.5    | 0.12  |

| e0    | Cc    |
|-------|-------|
| 1     | 0.28  |
| 1.8   | 0.55  |
| 2.15  | 0.7   |
| 0.62  | 0.19  |
| 0.6   | 0.2   |
| 1     | 0.215 |
| 1.03  | 0.23  |
| 0.67  | 0.21  |
| 0.7   | 0.24  |
| 0.8   | 0.29  |
| 0.89  | 0.32  |
| 0.66  | 0.15  |
| 0.55  | 0.09  |
| 0.61  | 0.12  |
| 0.63  | 0.14  |
| 0.53  | 0.08  |
| 0.75  | 0.13  |
| 0.8   | 0.14  |
| 0.75  | 0.14  |
| 1.43  | 0.41  |
| 0.78  | 0.17  |
| 0.72  | 0.2   |
| 0.68  | 0.19  |
| 0.63  | 0.13  |
| 1.59  | 0.46  |
| 1.64  | 0.45  |
| 1.3   | 0.35  |
| 1.09  | 0.24  |
| 1.24  | 0.38  |
| 0.43  | 0.14  |
| 0.4   | 0.11  |
| 0.46  | 0.13  |
| 0.4   | 0.1   |
| 1.19  | 0.31  |
| 0.59  | 0.12  |
| 0.4   | 0.11  |
| 0.77  | 0.17  |
| 0.67  | 0.12  |
| 0.95  | 0.19  |
| 0.55  | 0.11  |
| 0.36  | 0.05  |
| 0.57  | 0.14  |
| 0.5   | 0.09  |
| 0.5   | 0.1   |
| 0.46  | 0.09  |
| 0.883 | 0.33  |
| 0.472 | 0.039 |
| 0.51  | 0.04  |
| 0.54  | 0.06  |
| 0.81  | 0.2   |
| 0.76  | 0.19  |
| 0.57  | 0.15  |
| 1.18  | 0.35  |
| 0.76  | 0.17  |
| 0.79  | 0.165 |
| 0.82  | 0.3   |
| 0.91  | 0.27  |
| 1.1   | 0.3   |
| 0.9   | 0.25  |

| LL    | Cc    |
|-------|-------|
| 51.89 | 0.28  |
| 74.92 | 0.55  |
| 89.41 | 0.7   |
| 45    | 0.19  |
| 44    | 0.2   |
| 55    | 0.215 |
| 57    | 0.23  |
| 42    | 0.21  |
| 40    | 0.24  |
| 48    | 0.29  |
| 50    | 0.32  |
| 69    | 0.15  |
| 50    | 0.09  |
| 68    | 0.12  |
| 72    | 0.14  |
| 27    | 0.08  |
| 19    | 0.13  |
| 24    | 0.14  |
| 29    | 0.14  |
| 35    | 0.41  |
| 23    | 0.17  |
| 52    | 0.2   |
| 33    | 0.19  |
| 43    | 0.13  |
| 40    | 0.46  |
| 38    | 0.45  |
| 39    | 0.3   |
| 54    | 0.24  |
| 44    | 0.43  |
| 43    | 0.14  |
| 43    | 0.11  |
| 32    | 0.13  |
| 41    | 0.1   |
| 55    | 0.31  |
| 39    | 0.12  |
| 38    | 0.11  |
| 54    | 0.17  |
| 36    | 0.12  |
| 67    | 0.19  |
| 32    | 0.11  |
| 24    | 0.05  |
| 49    | 0.14  |
| 46    | 0.09  |
| 30    | 0.1   |
| 32    | 0.09  |
| 64    | 0.362 |
| 62    | 0.039 |
|       | 0.04  |
|       | 0.06  |
| 29    | 0.2   |
| 31    | 0.19  |
| 25    | 0.15  |
| 45    | 0.35  |
| 61    | 0.17  |
| 60    | 0.165 |
| 25    | 0.3   |
| 27    | 0.27  |
| 65    | 0.3   |
| 55    | 0.25  |

| W%     | e0    | Cc    |
|--------|-------|-------|
| 26.57  | 1     | 0.28  |
| 74.08  | 1.8   | 0.55  |
| 106.11 | 2.15  | 0.7   |
| 15.4   | 0.62  | 0.19  |
| 14.9   | 0.6   | 0.2   |
| 30     | 1     | 0.215 |
| 32.8   | 1.03  | 0.23  |
| 17.7   | 0.67  | 0.21  |
| 18     | 0.7   | 0.24  |
| 25     | 0.8   | 0.29  |
| 26.1   | 0.89  | 0.32  |
| 21.3   | 0.66  | 0.15  |
| 22.4   | 0.55  | 0.09  |
| 17     | 0.61  | 0.12  |
| 16.5   | 0.63  | 0.14  |
| 8.8    | 0.53  | 0.08  |
| 23.5   | 0.75  | 0.13  |
| 22     | 0.8   | 0.14  |
| 21.6   | 0.75  | 0.14  |
| 43.9   | 1.43  | 0.41  |
| 20.5   | 0.78  | 0.17  |
| 23.1   | 0.72  | 0.2   |
| 20.8   | 0.68  | 0.19  |
| 19.3   | 0.63  | 0.13  |
| 61.2   | 1.59  | 0.46  |
| 60     | 1.64  | 0.45  |
| 34.9   | 1.3   | 0.35  |
| 37.1   | 1.09  | 0.24  |
| 41.7   | 1.24  | 0.38  |
| 10.8   | 0.43  | 0.14  |
| 10.2   | 0.4   | 0.11  |
| 7.1    | 0.46  | 0.13  |
| 8.6    | 0.4   | 0.1   |
| 30.5   | 1.19  | 0.31  |
| 10.6   | 0.59  | 0.12  |
| 7.5    | 0.4   | 0.11  |
| 20.8   | 0.77  | 0.17  |
| 15.8   | 0.67  | 0.12  |
| 26.5   | 0.95  | 0.19  |
| 14.1   | 0.55  | 0.11  |
| 12.4   | 0.36  | 0.05  |
| 16.3   | 0.57  | 0.14  |
| 15.2   | 0.5   | 0.09  |
| 9.5    | 0.5   | 0.1   |
| 10.3   | 0.46  | 0.09  |
| 10     | 0.883 | 0.039 |
| 7.3    | 0.472 | 0.04  |
| 3.6    | 0.51  | 0.06  |
| 3.5    | 0.54  | 0.2   |
| 9.5    | 0.81  | 0.19  |
| 9.9    | 0.76  | 0.15  |
| 21.7   | 0.57  | 0.35  |
| 29.5   | 1.18  | 0.17  |
| 27.3   | 0.76  | 0.165 |
| 25.3   | 0.79  | 0.3   |
| 9      | 0.82  | 0.27  |
| 8.5    | 0.91  | 0.27  |
| 35     | 1.1   | 0.3   |
| 29     | 0.9   | 0.25  |

| W%     | LL    |
|--------|-------|
| 26.57  | 51.89 |
| 64.08  | 74.92 |
| 106.11 | 89.41 |
| 15.4   | 45    |
| 14.9   | 44    |
| 30     | 55    |
| 32.8   | 57    |
| 17.7   | 42    |
| 18     | 40    |
| 25     | 48    |
| 26.1   | 50    |
| 21.3   | 69    |
| 22.4   | 50    |
| 17     | 68    |
| 16.5   | 72    |
| 8.8    | 27    |
| 23.5   | 19    |
| 22     | 24    |
| 21.6   | 29    |
| 43.9   | 35    |
| 20.5   | 23    |
| 23.1   | 52    |
| 20.8   | 33    |
| 19.3   | 43    |
| 61.2   | 40    |
| 60     | 38    |
| 34.9   | 39    |
| 37.1   | 54    |
| 41.7   | 44    |
| 10.8   | 43    |
| 10.2   | 43    |
| 7.1    | 32    |
| 8.6    | 41    |
| 30.5   | 55    |
| 10.6   | 39    |
| 7.5    | 38    |
| 20.8   | 54    |
| 15.8   | 36    |
| 26.5   | 67    |
| 14.1   | 32    |
| 12.4   | 24    |
| 16.3   | 49    |
| 15.2   | 46    |
| 9.5    | 30    |
| 10.3   | 32    |
| 7.1    | 64    |
| 7.3    | 62    |
|        |       |
| 9.5    | 29    |
| 9.9    | 31    |
| 21.7   | 25    |
| 19.5   | 45    |
| 27.3   | 61    |
| 25.3   | 60    |
| 9      | 25    |
| 8.5    | 27    |

| W%     | e0    |
|--------|-------|
| 26.57  | 1     |
| 64.08  | 1.8   |
| 106.11 | 2.15  |
| 15.4   | 0.62  |
| 14.9   | 0.6   |
| 30     | 1     |
| 32.8   | 1.03  |
| 17.7   | 0.67  |
| 18     | 0.7   |
| 25     | 0.8   |
| 26.1   | 0.89  |
| 21.3   | 0.66  |
| 22.4   | 0.55  |
| 17     | 0.61  |
| 16.5   | 0.63  |
| 8.8    | 0.53  |
| 23.5   | 0.75  |
| 22     | 0.8   |
| 21.6   | 0.75  |
| 43.9   | 1.43  |
| 20.5   | 0.78  |
| 23.1   | 0.72  |
| 20.8   | 0.68  |
| 19.3   | 0.63  |
| 61.2   | 1.69  |
| 60     | 1.74  |
| 34.9   | 1.3   |
| 37.1   | 1.09  |
| 41.7   | 1.24  |
| 10.8   | 0.43  |
| 10.2   | 0.4   |
| 7.1    | 0.46  |
| 8.6    | 0.31  |
| 30.5   | 1.19  |
| 10.6   | 0.59  |
| 7.5    | 0.4   |
| 20.8   | 0.77  |
| 15.8   | 0.67  |
| 26.5   | 0.95  |
| 14.1   | 0.55  |
| 12.4   | 0.36  |
| 16.3   | 0.57  |
| 15.2   | 0.5   |
| 9.5    | 0.5   |
| 10.3   | 0.46  |
| 7.1    | 0.883 |
| 7.3    | 0.472 |
| 3.6    | 0.51  |
| 3.5    | 0.54  |
| 9.5    | 0.81  |
| 9.9    | 0.76  |
| 21.7   | 0.57  |
| 19.5   | 1.18  |
| 27.3   | 0.76  |
| 25.3   | 0.79  |
| 9      | 0.82  |
| 8.5    | 0.91  |

| <b>LL</b> | <b>e0</b> |
|-----------|-----------|
| 51.89     | 1         |
| 74.92     | 1.8       |
| 89.41     | 2.15      |
| 45        | 0.62      |
| 44        | 0.6       |
| 55        | 1         |
| 57        | 1.03      |
| 42        | 0.67      |
| 40        | 0.7       |
| 48        | 0.8       |
| 50        | 0.89      |
| 69        | 0.66      |
| 50        | 0.55      |
| 68        | 0.61      |
| 72        | 0.63      |
| 27        | 0.53      |
| 19        | 0.75      |
| 24        | 0.8       |
| 29        | 0.75      |
| 35        | 1.43      |
| 23        | 0.78      |
| 52        | 0.72      |
| 33        | 0.68      |
| 43        | 0.63      |
| 40        | 1.69      |
| 38        | 1.74      |
| 39        | 1.3       |
| 54        | 1.09      |
| 44        | 1.24      |
| 43        | 0.43      |
| 43        | 0.4       |
| 32        | 0.46      |
| 41        | 0.31      |
| 55        | 1.19      |
| 39        | 0.59      |
| 38        | 0.4       |
| 54        | 0.77      |
| 36        | 0.67      |
| 67        | 0.95      |
| 32        | 0.55      |
| 24        | 0.36      |
| 49        | 0.57      |
| 46        | 0.5       |
| 30        | 0.5       |
| 32        | 0.46      |
| 64        | 0.883     |
| 62        | 0.472     |
|           |           |
|           |           |
| 29        | 0.81      |
| 31        | 0.76      |
| 25        | 0.57      |
| 45        | 1.18      |
| 61        | 0.76      |
| 60        | 0.79      |
| 25        | 0.82      |
| 27        | 0.91      |

**AMAZONAS**

| W%    | Cc    |
|-------|-------|
| 8.15  | 0.18  |
| 11.54 | 0.23  |
| 10.5  | 0.218 |
| 8.4   | 0.195 |
| 8.83  | 0.44  |
| 8.75  | 0.1   |
| 7.48  | 0.46  |
| 7.61  | 0.1   |
| 7.7   | 0.44  |
| 7.9   | 0.45  |
| 50    | 0.47  |
| 69.96 | 0.75  |
| 117.2 | 1.352 |
| 63.16 | 0.8   |
| 86.59 | 1.081 |
| 67.39 | 0.879 |
| 40    | 0.427 |
| 76.82 | 0.783 |
| 23.85 | 0.152 |
| 22    | 0.21  |
| 21.5  | 0.18  |
| 26.2  | 0.18  |
| 41.9  | 0.33  |
| 14.8  | 0.21  |
| 15.2  | 0.28  |
| 16.3  | 0.29  |
| 10.2  | 0.13  |
| 13.8  | 0.1   |
| 20    | 0.32  |
| 10    | 0.14  |
| 33.7  | 0.3   |
| 32.5  | 0.45  |
| 34    | 0.4   |
| 52.7  | 0.66  |
| 60.6  | 0.57  |
| 61.4  | 0.6   |
| 64.6  | 0.62  |
| 61.35 | 0.59  |
| 64.6  | 0.61  |

| LL    | Cc    |
|-------|-------|
| 46.55 | 0.18  |
| 62.4  | 0.23  |
| 60.2  | 0.218 |
| 44.5  | 0.195 |
| 47.06 | 0.44  |
| 46.5  | 0.42  |
| 54.34 | 0.46  |
| 53.5  | 0.48  |
| 53    | 0.46  |
| 52    | 0.45  |
| 55.31 | 0.44  |
| 62.82 | 0.464 |
| 55.72 | 1.352 |
| 54.27 | 1.034 |
| 55.72 | 1.081 |
| 54.27 | 0.879 |
| 40.86 | 0.427 |
| 63.69 | 0.783 |
| 35.7  | 0.152 |
| 65    | 0.21  |
| 68    | 0.18  |
| 38    | 0.14  |
| 43    | 0.27  |
| 46    | 0.21  |
| 61    | 0.28  |
| 74    | 0.29  |
| 47    | 0.13  |
| 65    | 0.1   |
|       | 0.32  |
|       | 0.14  |
| 56    | 0.3   |
| 55.52 | 0.45  |
| 54.15 | 0.4   |
| 58.2  | 0.66  |
| 57.5  | 0.57  |
| 57.2  | 0.6   |
| 57.3  | 0.62  |
| 58    | 0.59  |
| 58.15 | 0.61  |

| e0    | Cc    |
|-------|-------|
| 0.51  | 0.18  |
| 0.54  | 0.23  |
| 0.52  | 0.218 |
| 0.5   | 0.195 |
| 1.5   | 0.44  |
| 1.4   | 0.42  |
| 1.47  | 0.46  |
| 1.49  | 0.48  |
| 1.5   | 0.46  |
| 1.48  | 0.45  |
| 1.5   | 0.44  |
| 1.46  | 0.464 |
| 3.41  | 1.35  |
| 2.76  | 1.034 |
| 2.88  | 1.081 |
| 2.37  | 0.879 |
| 2.79  |       |
| 2.226 | 0.783 |
| 0.614 | 0.152 |
| 0.97  | 0.21  |
| 0.99  | 0.18  |
| 0.62  | 0.14  |
| 1.17  | 0.27  |
| 0.76  | 0.21  |
| 1.01  | 0.28  |
| 0.99  | 0.29  |
| 0.48  | 0.13  |
| 0.58  | 0.1   |
| 1.13  | 0.32  |
| 0.97  | 0.14  |
| 1.17  | 0.3   |
| 1.21  | 0.45  |
| 1.2   | 0.4   |
| 2.15  | 0.66  |
| 2.334 | 0.57  |
| 1.83  | 0.6   |
| 2.1   | 0.62  |
| 2.33  | 0.59  |
| 1.83  | 0.61  |

| W%    | e0    | Cc    |
|-------|-------|-------|
| 8.15  | 0.51  | 0.18  |
| 11.54 | 0.54  | 0.23  |
| 10.5  | 0.52  | 0.218 |
| 8.4   | 0.5   | 0.195 |
| 8.83  | 1.5   | 0.44  |
| 8.75  | 1.4   | 0.42  |
| 7.48  | 1.47  | 0.46  |
| 7.61  | 1.49  | 0.48  |
| 7.7   | 1.5   | 0.46  |
| 7.9   | 1.48  | 0.45  |
| 50    | 1.5   | 0.44  |
| 69.96 | 1.46  | 0.464 |
| 117.2 | 3.41  | 1.35  |
| 63.16 | 2.76  | 1.034 |
| 86.59 | 2.88  | 1.081 |
| 67.39 | 2.37  | 0.879 |
| 46.46 | 2.79  | 0.427 |
| 76.82 | 2.226 | 0.783 |
| 23.85 | 0.614 | 0.152 |
| 22    | 0.97  | 0.21  |
| 21.5  | 0.99  | 0.18  |
| 26.2  | 0.62  | 0.14  |
| 41.9  | 1.17  | 0.27  |
| 14.8  | 0.76  | 0.21  |
| 15.2  | 1.01  | 0.28  |
| 16.3  | 0.99  | 0.29  |
| 10.2  | 0.48  | 0.13  |
| 13.8  | 0.58  | 0.1   |
| 20    | 1.13  | 0.32  |
| 10    | 0.97  | 0.14  |
| 33.7  | 1.17  | 0.3   |
| 32.5  | 1.21  | 0.45  |
| 34    | 1.2   | 0.4   |
| 52.7  | 2.15  | 0.66  |
| 60.6  | 2.334 | 0.57  |
| 61.4  | 1.83  | 0.6   |
| 64.6  | 2.1   | 0.62  |
| 61.35 | 2.33  | 0.59  |
| 64.6  | 1.83  | 0.61  |

| W     | e0    |
|-------|-------|
| 8.15  | 0.51  |
| 11.54 | 0.54  |
| 10.5  | 0.52  |
| 8.4   | 0.5   |
| 8.83  | 1.5   |
| 8.75  | 1.4   |
| 7.48  | 1.47  |
| 7.61  | 1.49  |
| 7.7   | 1.5   |
| 7.9   | 1.48  |
| 50    | 1.5   |
| 69.96 | 1.46  |
| 117.2 | 3.41  |
| 63.16 | 2.76  |
| 86.59 | 2.88  |
| 67.39 | 2.37  |
|       | 2.79  |
| 76.82 | 2.226 |
| 23.85 | 0.614 |
| 22    | 0.97  |
| 21.5  | 0.99  |
| 26.2  | 0.62  |
| 41.9  | 1.4   |
| 14.8  | 0.76  |
| 15.2  | 1.01  |
| 16.3  | 0.99  |
| 10.2  | 0.48  |
| 13.8  | 0.58  |
| 20    | 1.13  |
| 10    | 0.97  |
| 33.7  | 1.17  |
| 32.5  | 1.21  |
| 34    | 1.2   |
| 52.7  | 2.15  |
| 60.6  | 2.334 |
| 61.4  | 1.83  |
| 64.6  | 2.1   |
| 61.35 | 2.33  |
| 64.6  | 1.83  |
| 45    | 1.5   |
| 50    | 1.6   |

| W     | LL    |
|-------|-------|
| 8.15  | 46.55 |
| 11.54 | 62.4  |
| 10.5  | 60.2  |
| 8.4   | 44.5  |
| 8.83  | 47.06 |
| 8.75  | 46.5  |
| 7.48  | 54.34 |
| 7.61  | 53.5  |
| 7.7   | 53    |
| 7.9   | 52    |
| 58.98 | 55.31 |
| 69.96 | 62.82 |
| 117.2 | 55.72 |
| 63.16 | 54.27 |
| 86.59 | 55.72 |
| 67.39 | 54.27 |
| 46.46 | 40.86 |
| 76.82 | 63.69 |
| 23.85 | 35.7  |
| 22    | 65    |
| 21.5  | 68    |
| 26.2  | 38    |
| 41.9  | 43    |
| 14.8  | 46    |
| 15.2  | 61    |
| 16.3  |       |
| 10.2  | 47    |
| 13.8  | 65    |
| 20    | 40    |
| 10    | 55    |
| 33.7  | 56    |
| 32.5  | 55.52 |
| 34    | 54.15 |
| 52.7  | 58.2  |
| 60.6  | 57.5  |
| 61.4  | 57.2  |
| 64.6  | 57.3  |
| 61.35 | 58    |
| 64.6  | 58.15 |

| <b>LL</b> | <b>e0</b> |
|-----------|-----------|
| 46.55     | 0.51      |
|           | 0.54      |
| 60.2      | 0.52      |
| 44.5      | 0.5       |
| 47.06     | 1.5       |
| 46.5      | 1.4       |
| 54.34     | 1.47      |
| 53.5      | 1.49      |
| 53        | 1.5       |
| 52        | 1.48      |
| 55.31     | 1.5       |
| 62.82     | 1.46      |
| 55.72     |           |
| 54.27     | 2.76      |
| 55.72     | 2.88      |
| 54.27     | 2.37      |
| 40.86     | 2.79      |
| 63.69     | 2.226     |
| 35.7      | 0.614     |
| 65        | 0.97      |
| 68        | 0.99      |
| 38        | 0.62      |
| 43        | 1.17      |
| 46        | 0.76      |
| 61        | 1.01      |
|           | 0.99      |
| 47        | 0.48      |
| 65        | 0.58      |
| 55        | 1.13      |
| 66        | 0.97      |
| 56        | 1.17      |
| 55.52     | 1.21      |
| 54.15     | 1.2       |
| 58.2      | 2.15      |
| 57.5      | 2.334     |
| 57.2      | 1.83      |
| 57.3      | 2.1       |
| 58        | 2.33      |
| 58.15     | 1.83      |
| 55.49     | 1.2       |

**UCAYALI**

| W%     | Cc    |
|--------|-------|
| 29.67  | 0.23  |
| 26.95  | 0.16  |
| 24.7   | 0.154 |
| 18.88  | 0.125 |
| 19.32  | 0.104 |
| 21.095 | 0.117 |
| 21.92  | 0.123 |
| 15.6   | 0.12  |
| 25.3   | 0.26  |
| 16.9   | 0.064 |
| 24.9   | 0.16  |
| 29.7   | 0.21  |
| 22.6   | 0.12  |
| 26.8   | 0.15  |
| 26.1   | 0.14  |
| 28.8   | 0.14  |
| 20     | 0.13  |
| 17     | 0.16  |
| 30.4   | 0.17  |
| 14.5   | 0.2   |
| 10.3   | 0.14  |
| 13.2   | 0.2   |
| 7.6    | 0.13  |
| 21.1   | 0.21  |
| 19.8   | 0.14  |
| 26.1   | 0.15  |
| 21     | 0.14  |
| 22     | 0.16  |
| 20.1   | 0.19  |
| 20.5   | 0.13  |
| 23.1   | 0.17  |
| 23.6   | 0.13  |
| 33     | 0.22  |
| 28.7   | 0.29  |
| 18.9   | 0.12  |
| 14     | 0.16  |
| 20.2   | 0.14  |
| 20.3   | 0.12  |
| 25.7   | 0.21  |
| 36.2   | 0.2   |
| 10.9   | 0.19  |
| 24.4   | 0.21  |
| 21.5   | 0.15  |
| 5.9    | 0.14  |
| 29.7   | 0.18  |
| 26.5   | 0.16  |

| LL    | Cc    |
|-------|-------|
| 56    | 0.23  |
| 53.88 | 0.16  |
| 70    | 0.154 |
| 65    | 0.125 |
| 54    | 0.104 |
| 39.3  | 0.117 |
| 57.6  | 0.123 |
| 23    | 0.12  |
| 49    | 0.26  |
| 19    | 0.064 |
| 45    | 0.16  |
| 77    | 0.21  |
| 39    | 0.12  |
| 67    | 0.15  |
| 46    | 0.14  |
| 44    | 0.14  |
| 26    | 0.13  |
| 59    | 0.16  |
| 29    | 0.17  |
| 52    | 0.2   |
| 71    | 0.14  |
| 29    | 0.2   |
| 21    | 0.13  |
| 56    | 0.21  |
| 41    | 0.14  |
| 70    | 0.15  |
| 24    | 0.14  |
| 23    | 0.16  |
| 25    | 0.19  |
| 28    | 0.13  |
| 27    | 0.17  |
| 29    | 0.13  |
| 89    | 0.22  |
| 73    | 0.29  |
| 33    | 0.12  |
| 51    | 0.16  |
| 75    | 0.16  |
| 20    | 0.12  |
| 84    | 0.21  |
| 62    | 0.2   |
| 37    | 0.19  |
| 49    | 0.21  |
| 56    | 0.15  |
| 26    | 0.14  |
| 60    | 0.18  |
| 54    | 0.16  |

| e0    | Cc    |
|-------|-------|
| 0.95  | 0.23  |
| 0.89  | 0.16  |
| 0.754 | 0.154 |
| 0.65  | 0.125 |
| 0.574 | 0.104 |
| 0.645 | 0.117 |
| 0.652 | 0.123 |
| 0.57  | 0.12  |
| 1.08  | 0.26  |
| 0.484 | 0.064 |
| 0.72  | 0.16  |
| 0.79  | 0.21  |
| 0.65  | 0.12  |
| 0.72  | 0.15  |
| 0.73  | 0.14  |
| 0.67  | 0.14  |
| 0.61  | 0.13  |
| 0.51  | 0.16  |
| 0.88  | 0.17  |
| 0.8   | 0.2   |
| 0.48  | 0.14  |
| 0.76  | 0.2   |
| 0.76  | 0.13  |
| 0.92  | 0.21  |
| 0.75  | 0.14  |
| 0.71  | 0.15  |
| 0.58  | 0.14  |
| 0.68  | 0.16  |
| 0.66  | 0.19  |
| 0.76  | 0.13  |
| 0.72  | 0.17  |
| 0.83  | 0.16  |
| 0.8   | 0.22  |
| 1.1   | 0.29  |
| 0.59  | 0.12  |
| 0.61  | 0.16  |
| 0.7   | 0.14  |
| 0.68  | 0.12  |
| 0.83  | 0.21  |
| 0.94  | 0.2   |
| 0.69  | 0.19  |
| 0.9   | 0.21  |
| 0.77  | 0.15  |
| 0.63  | 0.14  |
| 0.86  | 0.18  |
| 0.85  | 0.16  |

|      |       |
|------|-------|
| 24.7 | 0.16  |
| 23.7 | 0.18  |
| 20.2 | 0.14  |
| 24.4 | 0.2   |
| 23.7 | 0.18  |
| 21.2 | 0.12  |
| 18.3 | 0.129 |
| 23.5 | 0.142 |
| 27.4 | 0.141 |
| 19.7 | 0.13  |
| 20.5 | 0.14  |
| 15.9 | 0.11  |
| 15.6 | 0.16  |
| 26.7 | 0.22  |
| 31   | 0.21  |
| 22.7 | 0.16  |
| 17.6 | 0.14  |
| 49.9 | 0.35  |
| 27.3 | 0.27  |
| 26.5 | 0.29  |
| 21.9 | 0.17  |
| 26.3 | 0.18  |
| 31.2 | 0.15  |
| 21.7 | 0.14  |
| 17   | 0.07  |
| 19   | 0.08  |
| 29.5 | 0.19  |
| 18.7 | 0.24  |
| 21.1 | 0.16  |
| 21.5 | 0.22  |
| 16   | 0.09  |
| 33.8 | 0.19  |
|      | 0.14  |
| 24.6 | 0.2   |
| 23.9 | 0.19  |
| 30   | 0.09  |
| 28   | 0.1   |
| 18.5 | 0.13  |
| 18.4 | 0.14  |
| 34.3 | 0.18  |
| 33.8 | 0.19  |
| 32   | 0.23  |
| 25.5 | 0.14  |
| 20.9 | 0.15  |
| 22.6 | 0.12  |
| 26.8 | 0.15  |
| 19.8 | 0.182 |

|    |       |
|----|-------|
| 40 | 0.16  |
| 43 | 0.18  |
| 75 | 0.14  |
| 65 | 0.2   |
| 61 | 0.18  |
| 40 | 0.12  |
| 53 | 0.129 |
| 52 | 0.142 |
| 50 | 0.141 |
| 50 | 0.13  |
| 52 | 0.14  |
| 28 | 0.11  |
| 40 | 0.16  |
| 64 | 0.22  |
| 51 | 0.21  |
| 65 | 0.16  |
| 64 | 0.14  |
| 68 | 0.35  |
| 72 | 0.27  |
| 68 | 0.29  |
| 27 | 0.17  |
| 68 | 0.18  |
| 69 | 0.15  |
| 53 | 0.14  |
| 22 | 0.07  |
| 24 | 0.08  |
| 83 | 0.19  |
| 54 | 0.24  |
| 43 | 0.16  |
| 46 | 0.22  |
| 31 | 0.09  |
| 94 | 0.19  |
| 36 | 0.14  |
| 61 | 0.2   |
| 47 | 0.19  |
| 41 | 0.09  |
| 43 | 0.1   |
| 47 | 0.13  |
| 39 | 0.14  |
| 63 | 0.18  |
| 61 | 0.19  |
| 44 | 0.23  |
| 33 | 0.14  |
| 38 | 0.15  |
| 39 | 0.12  |
| 67 | 0.15  |
| 48 | 0.182 |

|       |       |
|-------|-------|
| 0.66  | 0.16  |
| 0.75  | 0.18  |
| 0.7   | 0.14  |
| 0.82  | 0.2   |
| 0.8   | 0.18  |
| 0.8   | 0.12  |
| 0.57  | 0.129 |
| 0.855 | 0.142 |
| 0.964 | 0.141 |
| 0.818 | 0.13  |
| 0.851 | 0.14  |
| 0.63  | 0.11  |
| 0.8   | 0.16  |
| 1.07  | 0.22  |
| 1.2   | 0.21  |
| 0.83  | 0.16  |
| 0.59  | 0.14  |
| 1.45  | 0.35  |
| 1.01  | 0.27  |
| 1.2   | 0.31  |
| 0.71  | 0.17  |
| 0.96  | 0.18  |
| 1.01  | 0.2   |
| 0.77  | 0.14  |
| 0.55  | 0.07  |
| 0.59  | 0.08  |
| 0.94  | 0.19  |
| 0.89  | 0.24  |
| 0.69  | 0.16  |
| 0.8   | 0.22  |
| 0.58  | 0.09  |
| 0.81  | 0.19  |
| 0.77  | 0.14  |
| 0.74  | 0.2   |
| 0.7   | 0.19  |
| 0.95  |       |
| 0.98  | 0.2   |
| 0.61  | 0.13  |
| 0.72  | 0.14  |
| 0.98  | 0.18  |
| 0.96  | 0.19  |
| 0.95  | 0.23  |
| 0.73  | 0.14  |
| 0.74  | 0.15  |
| 0.65  | 0.12  |
| 0.72  | 0.15  |
| 0.65  | 0.182 |

|      |       |
|------|-------|
| 32   | 0.225 |
| 30.9 | 0.153 |
| 24.4 | 0.21  |
| 20.9 | 0.15  |
| 21.5 | 0.13  |
| 20.1 | 0.115 |
| 22   | 0.12  |

|    |       |
|----|-------|
| 43 | 0.225 |
| 48 | 0.153 |
| 49 | 0.21  |
| 38 | 0.15  |
| 40 | 0.13  |
| 45 | 0.115 |
| 34 | 0.12  |

|       |       |
|-------|-------|
| 0.647 | 0.2   |
| 0.772 | 0.153 |
| 0.889 | 0.21  |
| 0.74  | 0.15  |
| 0.7   | 0.13  |
| 0.61  | 0.115 |
| 0.66  | 0.12  |

| W      | e0    | LL    | Cc    |
|--------|-------|-------|-------|
| 29.67  | 0.95  | 56    | 0.23  |
| 26.95  | 0.89  | 53.88 | 0.16  |
| 24.7   | 0.754 | 70    | 0.154 |
| 18.88  | 0.65  | 65    | 0.125 |
| 19.32  | 0.574 | 54    | 0.104 |
| 21.095 | 0.645 | 39.3  | 0.117 |
| 21.92  | 0.652 | 57.6  | 0.123 |
| 15.6   | 0.57  | 23    | 0.12  |
| 25.3   | 1.08  | 49    | 0.15  |
| 16.9   | 0.484 | 19    | 0.064 |
| 24.9   | 0.72  | 45    | 0.16  |
| 29.7   | 0.79  | 77    | 0.21  |
| 22.6   | 0.65  | 39    | 0.12  |
| 26.8   | 0.72  | 67    | 0.15  |
| 26.1   | 0.73  | 46    | 0.14  |
| 28.8   | 0.67  | 44    | 0.14  |
| 20     | 0.61  | 26    | 0.13  |
| 17     | 0.51  | 59    | 0.16  |
| 30.4   | 0.88  | 29    | 0.17  |
| 14.5   | 0.8   | 52    | 0.2   |
| 10.3   | 0.48  | 71    | 0.14  |
| 13.2   | 0.76  | 29    | 0.2   |
| 7.6    | 0.76  | 21    | 0.13  |
| 21.1   | 0.92  | 56    | 0.21  |
| 19.8   | 0.75  | 41    | 0.14  |
| 26.1   | 0.71  | 70    | 0.15  |
| 21     | 0.58  | 24    | 0.14  |
| 22     | 0.68  | 23    | 0.16  |
| 20.1   | 0.66  | 25    | 0.19  |
| 20.5   | 0.76  | 28    | 0.13  |
| 23.1   | 0.72  | 27    | 0.17  |
| 23.6   | 0.83  | 29    | 0.13  |
| 33     | 0.8   | 89    | 0.22  |
| 28.7   | 1.1   | 73    | 0.29  |
| 18.9   | 0.59  | 33    | 0.12  |
| 14     | 0.61  | 51    | 0.16  |
| 20.2   | 0.7   | 75    | 0.14  |
| 20.3   | 0.68  | 20    | 0.12  |
| 25.7   | 0.83  | 84    | 0.21  |
| 36.2   | 0.94  | 62    | 0.2   |
| 10.9   | 0.69  | 37    | 0.19  |
| 24.4   | 0.9   | 49    | 0.21  |
| 21.5   | 0.77  | 56    | 0.15  |
| 5.9    | 0.63  | 26    | 0.14  |
| 29.7   | 0.86  | 60    | 0.18  |
| 26.5   | 0.85  | 54    | 0.16  |

| W      | LL    |
|--------|-------|
| 29.67  | 56    |
| 26.95  | 53.88 |
| 24.7   | 70    |
| 18.88  | 65    |
| 19.32  | 54    |
| 21.095 | 39.3  |
| 21.92  | 57.6  |
| 15.6   | 23    |
| 25.3   | 49    |
| 16.9   | 19    |
| 24.9   | 45    |
| 29.7   | 77    |
| 22.6   | 39    |
| 26.8   | 67    |
| 26.1   | 46    |
| 28.8   | 44    |
| 20     | 26    |
| 17     | 59    |
|        | 29    |
| 14.5   | 52    |
|        | 71    |
| 13.2   | 29    |
| 7.6    | 21    |
| 21.1   | 56    |
| 19.8   | 41    |
| 26.1   | 70    |
| 21     | 24    |
| 22     | 23    |
| 20.1   | 25    |
| 20.5   | 28    |
| 23.1   | 27    |
| 23.6   | 29    |
| 33     | 89    |
| 28.7   | 73    |
| 18.9   | 33    |
| 14     | 51    |
| 20.2   | 75    |
| 20.3   | 20    |
| 25.7   | 84    |
| 36.2   | 62    |
| 10.9   | 37    |
| 24.4   | 49    |
| 21.5   | 56    |
| 5.9    | 26    |
| 29.7   | 60    |
| 26.5   | 54    |

|      |       |    |       |
|------|-------|----|-------|
| 24.7 | 0.66  | 40 | 0.16  |
| 23.7 | 0.75  | 43 | 0.18  |
| 20.2 | 0.7   | 75 | 0.14  |
| 24.4 | 0.82  | 65 | 0.2   |
| 23.7 | 0.8   | 61 | 0.18  |
| 21.2 | 0.8   | 40 | 0.12  |
| 18.3 | 0.57  | 53 | 0.129 |
| 23.5 | 0.855 | 52 | 0.142 |
| 27.4 | 0.964 | 50 | 0.141 |
| 19.7 | 0.818 | 50 | 0.13  |
| 20.5 | 0.851 | 52 | 0.14  |
| 15.9 | 0.63  | 28 | 0.11  |
| 15.6 | 0.8   | 40 | 0.16  |
| 26.7 | 1.07  | 64 | 0.22  |
| 31   | 1.2   | 51 | 0.21  |
| 22.7 | 0.83  | 65 | 0.16  |
| 17.6 | 0.59  | 64 | 0.14  |
| 49.9 | 1.45  | 68 | 0.33  |
| 27.3 | 1.01  | 72 | 0.27  |
| 26.5 | 1.2   | 68 | 0.25  |
| 21.9 | 0.71  | 27 | 0.17  |
| 26.3 | 0.96  | 68 | 0.18  |
| 31.2 | 1.01  | 69 | 0.15  |
| 21.7 | 0.77  | 53 | 0.14  |
| 17   | 0.55  | 22 | 0.07  |
| 19   | 0.59  | 24 | 0.08  |
| 29.5 | 0.94  | 83 | 0.19  |
| 18.7 | 0.89  | 54 | 0.24  |
| 21.1 | 0.69  | 43 | 0.16  |
| 21.5 | 0.8   | 46 | 0.22  |
| 16   | 0.58  | 31 | 0.09  |
| 33.8 | 0.81  | 94 | 0.19  |
| 22   | 0.77  | 52 | 0.14  |
| 24.6 | 0.74  | 61 | 0.2   |
| 23.9 | 0.7   | 47 | 0.19  |
| 30   | 0.95  | 41 | 0.09  |
| 28   | 0.98  | 43 | 0.1   |
| 18.5 | 0.61  | 47 | 0.13  |
| 18.4 | 0.72  | 39 | 0.14  |
| 34.3 | 0.98  | 63 | 0.18  |
| 33.8 | 0.96  | 61 | 0.19  |
| 32   | 0.95  | 44 | 0.23  |
| 25.5 | 0.73  | 33 | 0.14  |
| 20.9 | 0.74  | 38 | 0.15  |
| 22.6 | 0.65  | 39 | 0.12  |
| 26.8 | 0.72  | 67 | 0.15  |
| 19.8 | 0.65  | 48 | 0.182 |

|      |    |
|------|----|
| 24.7 | 40 |
| 23.7 | 43 |
| 20.2 | 75 |
| 24.4 | 65 |
| 23.7 | 61 |
| 21.2 | 40 |
| 18.3 | 53 |
| 23.5 | 52 |
| 27.4 | 50 |
| 19.7 | 50 |
| 20.5 | 52 |
| 15.9 | 28 |
| 15.6 | 40 |
| 26.7 | 64 |
| 31   | 51 |
| 22.7 | 65 |
| 17.6 | 64 |
| 49.9 | 68 |
| 27.3 | 72 |
| 26.5 | 68 |
| 21.9 | 27 |
| 26.3 | 68 |
| 31.2 | 69 |
| 21.7 | 53 |
| 17   | 22 |
| 19   | 24 |
| 29.5 | 83 |
| 18.7 | 54 |
| 21.1 | 43 |
| 21.5 | 46 |
| 16   | 31 |
| 33.8 | 94 |
|      |    |
| 24.6 | 61 |
| 23.9 | 47 |
| 30   | 41 |
| 28   | 43 |
| 18.5 | 47 |
| 18.4 | 39 |
| 34.3 | 63 |
| 33.8 | 61 |
| 32   | 44 |
| 25.5 | 33 |
| 20.9 | 38 |
| 22.6 | 39 |
| 26.8 | 67 |
| 19.8 | 48 |

|      |       |    |       |
|------|-------|----|-------|
| 32   | 0.647 | 43 | 0.21  |
| 30.9 | 0.772 | 48 | 0.153 |
| 24.4 | 0.889 | 49 | 0.21  |
| 20.9 | 0.74  | 38 | 0.15  |
| 21.5 | 0.7   | 40 | 0.13  |
| 20.1 | 0.61  | 45 | 0.115 |
| 22   | 0.66  | 34 | 0.12  |

|      |    |
|------|----|
| 32   | 43 |
| 30.9 | 48 |
| 24.4 | 49 |
| 20.9 | 38 |
| 21.5 | 40 |
| 20.1 | 45 |
| 22   | 34 |

| e0    | LL    |
|-------|-------|
| 0.95  | 56    |
| 0.89  | 53.88 |
| 0.754 | 70    |
| 0.65  | 65    |
| 0.574 | 54    |
| 0.645 | 39.3  |
| 0.652 | 57.6  |
| 0.57  | 23    |
| 1.08  | 49    |
| 0.484 | 19    |
| 0.72  | 45    |
| 0.79  | 77    |
| 0.65  | 39    |
| 0.72  | 67    |
| 0.73  | 46    |
| 0.67  | 44    |
| 0.61  | 26    |
| 0.51  | 59    |
| 0.88  | 29    |
| 0.8   | 52    |
| 0.48  | 71    |
| 0.76  | 29    |
| 0.76  | 21    |
| 0.92  | 56    |
| 0.75  | 41    |
| 0.71  | 70    |
| 0.58  | 24    |
| 0.68  | 23    |
| 0.66  | 25    |
| 0.76  | 28    |
| 0.72  | 27    |
| 0.83  | 29    |
| 0.8   | 89    |
| 1.1   | 73    |
| 0.59  | 33    |
| 0.61  | 51    |
| 0.7   | 75    |
| 0.68  | 20    |
| 0.83  | 84    |
| 0.94  | 62    |
| 0.69  | 37    |
| 0.9   | 49    |
| 0.77  | 56    |
| 0.63  | 26    |
| 0.86  | 60    |
| 0.85  | 54    |

| W      | e0    |
|--------|-------|
| 29.67  | 0.95  |
| 26.95  | 0.89  |
| 24.7   | 0.754 |
| 18.88  | 0.65  |
| 19.32  | 0.574 |
| 21.095 | 0.645 |
| 21.92  | 0.652 |
| 15.6   | 0.57  |
| 25.3   | 1.08  |
| 16.9   | 0.484 |
| 24.9   | 0.72  |
| 29.7   | 0.79  |
| 22.6   | 0.65  |
| 26.8   | 0.72  |
| 26.1   | 0.73  |
| 28.8   | 0.8   |
| 20     | 0.61  |
| 17     | 0.51  |
| 30.4   | 0.88  |
| 14.5   | 0.8   |
| 10.3   | 0.48  |
| 13.2   | 0.6   |
| 7.6    | 0.6   |
| 21.1   | 0.92  |
| 19.8   | 0.75  |
| 26.1   | 0.71  |
| 21     | 0.58  |
| 22     | 0.68  |
| 20.1   | 0.66  |
| 20.5   | 0.76  |
| 23.1   | 0.72  |
| 23.6   | 0.83  |
| 33     | 0.8   |
| 28.7   | 1.1   |
| 18.9   | 0.59  |
| 14     | 0.61  |
| 20.2   | 0.7   |
| 20.3   | 0.68  |
| 25.7   | 0.83  |
| 36.2   | 0.94  |
| 10.9   | 0.69  |
| 24.4   | 0.9   |
| 21.5   | 0.77  |
| 5.9    | 0.55  |
| 29.7   | 0.86  |
| 26.5   | 0.85  |

|       |    |
|-------|----|
| 0.66  | 40 |
| 0.75  | 43 |
| 0.7   | 75 |
| 0.82  | 65 |
| 0.8   | 61 |
| 0.8   | 40 |
| 0.57  | 53 |
| 0.855 | 52 |
| 0.964 | 50 |
| 0.818 | 50 |
| 0.851 | 52 |
| 0.63  | 28 |
| 0.8   | 40 |
| 1.07  | 64 |
| 1.2   | 51 |
| 0.83  | 65 |
| 0.59  | 64 |
| 1.45  | 68 |
| 1.01  | 72 |
| 1.2   | 68 |
| 0.71  | 27 |
| 0.96  | 68 |
| 1.01  | 69 |
| 0.77  | 53 |
| 0.55  | 22 |
| 0.59  | 24 |
| 0.94  | 83 |
| 0.89  | 54 |
| 0.69  | 43 |
| 0.8   | 46 |
| 0.58  | 31 |
| 0.81  | 94 |
| 0.77  |    |
| 0.74  | 61 |
| 0.7   | 47 |
| 0.95  | 41 |
| 0.98  | 43 |
| 0.61  | 47 |
| 0.72  | 39 |
| 0.98  | 63 |
| 0.96  | 61 |
| 0.95  | 44 |
| 0.73  | 33 |
| 0.74  | 38 |
| 0.65  | 39 |
| 0.72  | 67 |
| 0.65  | 48 |

|      |       |
|------|-------|
| 24.7 | 0.66  |
| 23.7 | 0.75  |
| 20.2 | 0.7   |
| 24.4 | 0.82  |
| 23.7 | 0.8   |
| 21.2 | 0.8   |
| 18.3 | 0.57  |
| 23.5 | 0.855 |
| 27.4 | 0.964 |
| 19.7 | 0.818 |
| 20.5 | 0.851 |
| 15.9 | 0.63  |
| 15.6 | 0.8   |
| 26.7 | 1.07  |
| 31   | 1.2   |
| 22.7 | 0.83  |
| 17.6 | 0.59  |
| 49.9 | 1.45  |
| 27.3 | 1.01  |
| 26.5 | 1     |
| 21.9 | 0.71  |
| 26.3 | 0.96  |
| 31.2 | 1.01  |
| 21.7 | 0.77  |
| 17   | 0.55  |
| 19   | 0.59  |
| 29.5 | 0.94  |
| 18.7 | 0.89  |
| 21.1 | 0.69  |
| 21.5 | 0.8   |
| 16   | 0.58  |
| 33.8 | 0.85  |
| 25   | 0.77  |
| 24.6 | 0.74  |
| 23.9 | 0.7   |
| 30   | 0.95  |
| 28   | 0.98  |
| 18.5 | 0.61  |
| 18.4 | 0.72  |
| 34.3 | 0.98  |
| 33.8 | 0.96  |
| 32   | 0.95  |
| 25.5 | 0.73  |
| 20.9 | 0.74  |
| 22.6 | 0.65  |
| 26.8 | 0.72  |
| 19.8 | 0.65  |

|       |    |
|-------|----|
| 0.647 | 43 |
| 0.772 | 48 |
| 0.889 | 49 |
| 0.74  | 38 |
| 0.7   | 40 |
| 0.61  | 45 |
| 0.66  | 34 |

|      |       |
|------|-------|
| 32   | 0.8   |
| 30.9 | 0.772 |
| 24.4 | 0.889 |
| 20.9 | 0.74  |
| 21.5 | 0.7   |
| 20.1 | 0.61  |
| 22   | 0.66  |

**CORONEL  
PORTILLO**

| W%     | Cc    |
|--------|-------|
| 24.7   | 0.154 |
| 18.88  | 0.125 |
| 19.32  | 0.104 |
| 21.095 | 0.117 |
| 21.92  | 0.123 |
| 15.6   | 0.12  |
| 25.3   | 0.26  |
| 16.9   | 0.064 |
| 24.9   | 0.16  |
| 29.7   | 0.21  |
| 22.6   | 0.12  |
| 26.8   | 0.15  |
| 26.1   | 0.14  |
| 28.8   | 0.14  |
| 20     | 0.13  |
| 17     | 0.16  |
| 30.4   | 0.17  |
| 14.5   | 0.2   |
| 10.3   | 0.14  |
| 13.2   | 0.2   |
| 7.6    | 0.13  |
| 21.1   | 0.21  |
| 19.8   | 0.14  |
| 26.1   | 0.15  |
| 21     | 0.14  |
| 22     | 0.16  |
| 20.1   | 0.19  |
| 20.5   | 0.13  |
| 23.1   | 0.17  |
| 23.6   | 0.13  |
| 33     | 0.22  |
| 28.7   | 0.27  |
| 18.9   | 0.12  |
| 14     | 0.16  |
| 20.2   | 0.14  |
| 20.3   | 0.12  |
| 25.7   | 0.21  |
| 36.2   | 0.2   |
| 10.9   | 0.15  |
| 24.4   | 0.21  |
| 21.5   | 0.15  |
| 5.9    | 0.14  |
| 29.7   | 0.18  |
| 26.5   | 0.16  |
| 24.7   | 0.16  |
| 23.7   | 0.18  |

| LL   | Cc    |
|------|-------|
| 70   | 0.154 |
| 65   | 0.125 |
| 54   | 0.104 |
| 39.3 | 0.117 |
| 57.6 | 0.123 |
| 23   | 0.12  |
| 49   | 0.26  |
| 19   | 0.064 |
| 45   | 0.16  |
| 77   | 0.21  |
| 39   | 0.12  |
| 67   | 0.15  |
| 46   | 0.14  |
| 44   | 0.14  |
| 26   | 0.13  |
| 59   | 0.16  |
| 29   | 0.17  |
| 52   | 0.2   |
| 71   | 0.14  |
| 29   | 0.2   |
| 21   | 0.13  |
| 56   | 0.21  |
| 41   | 0.14  |
| 70   | 0.15  |
| 24   | 0.14  |
| 23   | 0.16  |
| 25   | 0.19  |
| 28   | 0.13  |
| 27   | 0.17  |
| 29   | 0.13  |
| 89   | 0.22  |
| 73   | 0.29  |
| 33   | 0.12  |
| 51   | 0.16  |
| 75   | 0.16  |
| 20   | 0.12  |
| 84   | 0.21  |
| 62   | 0.2   |
| 37   | 0.19  |
| 49   | 0.21  |
| 56   | 0.15  |
| 26   | 0.14  |
| 60   | 0.18  |
| 54   | 0.16  |
| 40   | 0.16  |
| 43   | 0.18  |

|      |       |
|------|-------|
| 20.2 | 0.14  |
| 24.4 | 0.2   |
| 23.7 | 0.18  |
| 21.2 | 0.12  |
| 18.3 | 0.129 |
| 23.5 | 0.142 |
| 27.4 | 0.141 |
| 19.7 | 0.13  |
| 20.5 | 0.14  |
| 15.9 | 0.11  |
| 15.6 | 0.16  |
| 26.7 | 0.22  |
| 31   | 0.21  |
| 22.7 | 0.16  |
| 17.6 | 0.14  |
| 49.9 | 0.35  |
| 27.3 | 0.23  |
| 26.5 |       |
| 21.9 | 0.17  |
| 26.3 | 0.18  |
| 31.2 | 0.15  |
| 21.7 | 0.14  |
| 17   | 0.07  |
| 19   | 0.08  |
| 29.5 | 0.19  |
| 18.7 | 0.24  |
| 21.1 | 0.16  |
| 21.5 | 0.22  |
| 16   | 0.09  |
| 33.8 | 0.19  |
| 20.5 | 0.14  |
| 24.6 | 0.2   |
| 23.9 | 0.19  |
| 30   |       |
| 28   | 0.18  |
| 34.3 | 0.18  |
| 33.8 | 0.19  |
| 32   | 0.23  |
| 22.6 | 0.12  |
| 26.8 | 0.15  |
| 19.8 | 0.182 |
| 32   | 0.225 |
| 30.9 | 0.153 |
| 24.4 | 0.21  |
| 15   | 0.14  |
| 35   | 0.22  |
| 33   | 0.2   |

|    |       |
|----|-------|
| 75 | 0.14  |
| 65 | 0.2   |
| 61 | 0.18  |
| 40 | 0.12  |
| 53 | 0.129 |
| 52 | 0.142 |
| 50 | 0.141 |
| 50 | 0.13  |
| 52 | 0.14  |
| 28 | 0.11  |
| 40 | 0.16  |
| 64 | 0.22  |
| 51 | 0.21  |
| 65 | 0.16  |
| 64 | 0.14  |
| 68 | 0.35  |
| 72 | 0.27  |
| 68 | 0.29  |
| 27 | 0.17  |
| 68 | 0.18  |
| 69 | 0.15  |
| 53 | 0.14  |
| 22 | 0.07  |
| 24 | 0.08  |
| 83 | 0.19  |
| 54 | 0.24  |
| 43 | 0.16  |
| 46 | 0.22  |
| 31 | 0.09  |
| 94 | 0.19  |
| 63 | 0.14  |
| 61 | 0.2   |
| 47 | 0.19  |
| 41 | 0.09  |
| 43 | 0.1   |
| 63 | 0.18  |
| 61 | 0.19  |
| 44 | 0.23  |
| 39 | 0.12  |
| 67 | 0.15  |
| 48 | 0.182 |
| 43 | 0.225 |
| 48 | 0.153 |
| 49 | 0.21  |
| 26 | 0.14  |
| 68 | 0.22  |
| 74 | 0.2   |

| e0    | Cc    |
|-------|-------|
| 0.754 | 0.154 |
| 0.65  | 0.125 |
| 0.574 | 0.104 |
| 0.645 | 0.117 |
| 0.652 | 0.123 |
| 0.57  | 0.12  |
| 1.08  | 0.26  |
| 0.484 | 0.064 |
| 0.72  | 0.16  |
| 0.79  | 0.21  |
| 0.65  | 0.12  |
| 0.72  | 0.15  |
| 0.73  | 0.14  |
| 0.67  | 0.14  |
| 0.61  | 0.13  |
| 0.51  | 0.16  |
| 0.88  | 0.2   |
| 0.8   | 0.18  |
| 0.48  | 0.14  |
| 0.76  | 0.2   |
| 0.76  | 0.13  |
| 0.92  | 0.21  |
| 0.75  | 0.14  |
| 0.71  | 0.15  |
| 0.58  | 0.14  |
| 0.68  | 0.16  |
| 0.66  | 0.19  |
| 0.76  | 0.13  |
| 0.72  | 0.17  |
| 0.83  | 0.13  |
| 0.8   | 0.22  |
| 1.1   | 0.29  |
| 0.59  | 0.12  |
| 0.61  | 0.16  |
| 0.7   | 0.14  |
| 0.68  | 0.12  |
| 0.83  | 0.21  |
| 0.94  | 0.2   |
| 0.69  | 0.19  |
| 0.9   | 0.21  |
| 0.77  | 0.15  |
| 0.63  | 0.14  |
| 0.86  | 0.18  |
| 0.85  | 0.16  |
| 0.66  | 0.16  |
| 0.75  | 0.18  |

| W%     | e0    | LL   | Cc    |
|--------|-------|------|-------|
| 24.7   | 0.754 | 70   | 0.154 |
| 18.88  | 0.65  | 65   | 0.125 |
| 19.32  | 0.574 | 54   | 0.104 |
| 21.095 | 0.645 | 39.3 | 0.117 |
| 21.92  | 0.652 | 57.6 | 0.123 |
| 15.6   | 0.57  | 23   | 0.12  |
| 25.3   | 1.08  | 49   | 0.29  |
| 16.9   | 0.484 | 19   | 0.064 |
| 24.9   | 0.72  | 45   | 0.16  |
| 29.7   | 0.79  | 77   | 0.21  |
| 22.6   | 0.65  | 39   | 0.12  |
| 26.8   | 0.72  | 67   | 0.15  |
| 26.1   | 0.73  | 46   | 0.14  |
| 28.8   | 0.67  | 44   | 0.14  |
| 20     | 0.61  | 26   | 0.13  |
| 17     | 0.51  | 59   | 0.16  |
| 30.4   | 0.88  | 29   | 0.2   |
| 14.5   | 0.8   | 52   | 0.18  |
| 10.3   | 0.48  | 71   | 0.14  |
| 13.2   | 0.76  | 29   | 0.2   |
| 7.6    | 0.76  | 21   | 0.13  |
| 21.1   | 0.92  | 56   | 0.21  |
| 19.8   | 0.75  | 41   | 0.14  |
| 26.1   | 0.71  | 70   | 0.15  |
| 21     | 0.58  | 24   | 0.14  |
| 22     | 0.68  | 23   | 0.16  |
| 20.1   | 0.66  | 25   | 0.19  |
| 20.5   | 0.76  | 28   | 0.13  |
| 23.1   | 0.72  | 27   | 0.17  |
| 23.6   | 0.83  | 29   | 0.13  |
| 33     | 0.8   | 89   | 0.22  |
| 28.7   | 1.1   | 73   | 0.29  |
| 18.9   | 0.59  | 33   | 0.12  |
| 14     | 0.61  | 51   | 0.16  |
| 20.2   | 0.7   | 75   | 0.14  |
| 20.3   | 0.68  | 20   | 0.12  |
| 25.7   | 0.83  | 84   | 0.21  |
| 36.2   | 0.94  | 62   | 0.2   |
| 10.9   | 0.69  | 37   | 0.19  |
| 24.4   | 0.9   | 49   | 0.21  |
| 21.5   | 0.77  | 56   | 0.15  |
| 5.9    | 0.63  | 26   | 0.14  |
| 29.7   | 0.86  | 60   | 0.18  |
| 26.5   | 0.85  | 54   | 0.16  |
| 24.7   | 0.66  | 40   | 0.16  |
| 23.7   | 0.75  | 43   | 0.18  |

|       |       |
|-------|-------|
| 0.7   | 0.15  |
| 0.82  | 0.2   |
| 0.8   | 0.18  |
| 0.8   | 0.12  |
| 0.57  | 0.129 |
| 0.855 | 0.142 |
| 0.964 | 0.141 |
| 0.818 | 0.13  |
| 0.851 | 0.14  |
| 0.63  | 0.11  |
| 0.8   | 0.16  |
| 1.07  | 0.22  |
| 1.2   | 0.21  |
| 0.83  | 0.16  |
| 0.59  | 0.14  |
| 1.45  | 0.35  |
| 1.01  | 0.27  |
| 1.2   | 0.31  |
| 0.71  | 0.17  |
| 0.96  | 0.18  |
| 1.01  | 0.2   |
| 0.77  | 0.14  |
| 0.55  | 0.07  |
| 0.59  | 0.08  |
| 0.94  | 0.19  |
| 0.89  | 0.24  |
| 0.69  | 0.16  |
| 0.8   | 0.22  |
| 0.58  | 0.09  |
| 0.81  | 0.19  |
| 0.77  | 0.14  |
| 0.74  | 0.2   |
| 0.7   | 0.19  |
| 0.95  | 0.22  |
| 0.98  | 0.2   |
| 0.98  | 0.21  |
| 0.96  | 0.19  |
| 0.95  | 0.23  |
| 0.65  | 0.12  |
| 0.72  | 0.15  |
| 0.65  | 0.182 |
| 0.647 | 0.2   |
| 0.772 | 0.153 |
| 0.889 | 0.21  |
| 0.74  | 0.15  |
| 0.7   | 0.13  |
| 0.61  | 0.115 |

|      |       |    |       |
|------|-------|----|-------|
| 20.2 | 0.7   | 75 | 0.14  |
| 24.4 | 0.82  | 65 | 0.2   |
| 23.7 | 0.8   | 61 | 0.18  |
| 21.2 | 0.8   | 40 | 0.12  |
| 18.3 | 0.57  | 53 | 0.129 |
| 23.5 | 0.855 | 52 | 0.142 |
| 27.4 | 0.964 | 50 | 0.141 |
| 19.7 | 0.818 | 50 | 0.13  |
| 20.5 | 0.851 | 52 | 0.14  |
| 15.9 | 0.63  | 28 | 0.11  |
| 15.6 | 0.8   | 40 | 0.16  |
| 26.7 | 1.07  | 64 | 0.22  |
| 31   | 1.2   | 51 | 0.21  |
| 22.7 | 0.83  | 65 | 0.16  |
| 17.6 | 0.59  | 64 | 0.14  |
| 49.9 | 1.45  | 68 | 0.35  |
| 27.3 | 1.01  | 72 | 0.27  |
| 26.5 | 1.2   | 68 | 0.29  |
| 21.9 | 0.71  | 27 | 0.17  |
| 26.3 | 0.96  | 68 | 0.18  |
| 31.2 | 1.01  | 69 | 0.15  |
| 21.7 | 0.77  | 53 | 0.14  |
| 17   | 0.55  | 22 | 0.07  |
| 19   | 0.59  | 24 | 0.08  |
| 29.5 | 0.94  | 83 | 0.19  |
| 18.7 | 0.89  | 54 | 0.24  |
| 21.1 | 0.69  | 43 | 0.16  |
| 21.5 | 0.8   | 46 | 0.22  |
| 16   | 0.58  | 31 | 0.09  |
| 33.8 | 0.81  | 94 | 0.19  |
| 20.5 | 0.77  | 63 | 0.14  |
| 24.6 | 0.74  | 61 | 0.2   |
| 23.9 | 0.7   | 47 | 0.19  |
| 30   | 0.95  | 41 | 0.09  |
| 28   | 0.98  | 43 | 0.1   |
| 34.3 | 0.98  | 63 | 0.2   |
| 33.8 | 0.96  | 61 | 0.19  |
| 32   | 0.95  | 44 | 0.23  |
| 22.6 | 0.65  | 39 | 0.12  |
| 26.8 | 0.72  | 67 | 0.15  |
| 19.8 | 0.65  | 48 | 0.182 |
| 32   | 0.647 | 43 | 0.225 |
| 30.9 | 0.772 | 48 | 0.153 |
| 24.4 | 0.889 | 49 | 0.21  |
| 15   | 0.65  | 26 | 0.14  |
| 35   | 0.9   | 68 | 0.22  |
| 33   | 0.95  | 74 | 0.2   |

|      |      |
|------|------|
| 0.66 | 0.12 |
|------|------|

**PUCALLPA**

| W%     | Cc    |
|--------|-------|
| 29.67  | 0.23  |
| 26.95  | 0.16  |
| 24.7   | 0.154 |
| 18.88  | 0.125 |
| 19.32  | 0.104 |
| 21.095 | 0.117 |
| 21.92  | 0.123 |
| 24.9   | 0.16  |
| 29.7   | 0.21  |
| 22.6   | 0.12  |
| 26.8   | 0.15  |
| 26.1   | 0.14  |
| 28.8   | 0.14  |
| 20     | 0.13  |
| 17     | 0.16  |
| 30.4   | 0.17  |
| 14.5   | 0.2   |
| 10.3   | 0.14  |
| 13.2   | 0.2   |
| 7.6    | 0.13  |
| 21.1   | 0.21  |
| 19.8   | 0.14  |
| 26.1   | 0.15  |
| 21     | 0.14  |
| 22     | 0.16  |
| 20.1   | 0.19  |
| 20.5   | 0.13  |
| 33     | 0.22  |
| 28.7   |       |
| 18.9   | 0.12  |
| 14     | 0.16  |
| 20.3   | 0.12  |
| 25.7   | 0.21  |
| 36.2   | 0.2   |
| 10.9   | 0.15  |
| 24.4   | 0.21  |
| 21.5   | 0.15  |
| 5.9    | 0.14  |
| 29.7   | 0.18  |
| 26.5   | 0.16  |
| 24.7   | 0.16  |
| 21.2   | 0.12  |
| 18.3   | 0.129 |
| 23.5   | 0.142 |
| 27.4   | 0.141 |
| 19.7   | 0.13  |

| LL    | Cc    |
|-------|-------|
| 56    | 0.23  |
| 53.88 | 0.16  |
| 70    | 0.154 |
| 65    | 0.125 |
| 54    | 0.104 |
| 39.3  | 0.117 |
| 57.6  | 0.123 |
| 45    | 0.16  |
| 77    | 0.21  |
| 39    | 0.12  |
| 67    | 0.15  |
| 46    | 0.14  |
| 44    | 0.14  |
| 26    | 0.13  |
| 59    | 0.16  |
| 29    | 0.17  |
| 52    | 0.2   |
| 71    | 0.14  |
| 29    | 0.2   |
| 21    | 0.13  |
| 56    | 0.21  |
| 41    | 0.14  |
| 70    | 0.15  |
| 24    | 0.14  |
| 23    | 0.16  |
| 25    | 0.19  |
| 28    | 0.13  |
| 89    | 0.22  |
| 73    | 0.29  |
| 33    | 0.12  |
| 51    | 0.16  |
| 20    | 0.12  |
| 84    | 0.21  |
| 62    | 0.2   |
| 37    | 0.19  |
| 49    | 0.21  |
| 56    | 0.15  |
| 26    | 0.14  |
| 60    | 0.18  |
| 54    | 0.16  |
| 40    | 0.16  |
| 40    | 0.12  |
| 53    | 0.129 |
| 52    | 0.142 |
| 50    | 0.141 |
| 50    | 0.13  |

| e0    | Cc    |
|-------|-------|
| 0.95  | 0.23  |
| 0.89  | 0.16  |
| 0.754 | 0.154 |
| 0.65  | 0.125 |
| 0.574 | 0.104 |
| 0.645 | 0.117 |
| 0.652 | 0.123 |
| 0.72  | 0.16  |
| 0.79  | 0.21  |
| 0.65  | 0.12  |
| 0.72  | 0.15  |
| 0.73  | 0.14  |
| 0.67  | 0.14  |
| 0.61  | 0.13  |
| 0.51  | 0.16  |
| 0.88  | 0.17  |
| 0.8   | 0.2   |
| 0.48  | 0.14  |
| 0.76  | 0.2   |
| 0.76  | 0.13  |
| 0.92  | 0.21  |
| 0.75  | 0.14  |
| 0.71  | 0.15  |
| 0.58  | 0.14  |
| 0.68  | 0.16  |
| 0.66  | 0.15  |
| 0.76  | 0.13  |
| 0.8   | 0.2   |
| 1.1   | 0.29  |
| 0.59  | 0.12  |
| 0.61  | 0.16  |
| 0.68  | 0.12  |
| 0.83  | 0.21  |
| 0.94  | 0.2   |
| 0.69  | 0.19  |
| 0.9   | 0.21  |
| 0.77  | 0.15  |
| 0.63  | 0.14  |
| 0.86  | 0.18  |
| 0.85  | 0.16  |
| 0.66  | 0.16  |
| 0.8   | 0.15  |
| 0.57  | 0.129 |
| 0.855 | 0.15  |
| 0.964 | 0.25  |
| 0.818 | 0.14  |

|      |       |
|------|-------|
| 20.5 | 0.14  |
| 15.9 | 0.11  |
| 15.6 | 0.16  |
| 31   | 0.21  |
| 22.7 | 0.16  |
| 17.6 | 0.14  |
| 49.9 | 0.35  |
| 27.3 | 0.27  |
| 25.3 | 0.26  |
| 21.9 | 0.17  |
| 26.3 | 0.18  |
| 21.7 | 0.14  |
| 17   | 0.07  |
| 19   | 0.08  |
| 29.5 | 0.19  |
| 18.7 | 0.24  |
| 21.1 | 0.16  |
| 21.5 | 0.22  |
| 16   | 0.09  |
| 33.8 | 0.19  |
|      | 0.14  |
| 24.6 | 0.2   |
| 23.9 | 0.19  |
| 34.3 | 0.18  |
| 33.8 | 0.19  |
| 22.6 | 0.12  |
| 26.8 | 0.15  |
| 19.8 | 0.182 |
| 30.9 | 0.153 |
| 24.4 | 0.21  |

|    |       |
|----|-------|
| 52 | 0.14  |
| 28 | 0.11  |
| 40 | 0.16  |
| 51 | 0.21  |
| 65 | 0.16  |
| 64 | 0.14  |
| 68 | 0.35  |
| 72 | 0.27  |
| 68 | 0.29  |
| 27 | 0.17  |
| 68 | 0.18  |
| 53 | 0.14  |
| 22 | 0.07  |
| 24 | 0.08  |
| 83 | 0.19  |
| 54 | 0.24  |
| 43 | 0.16  |
| 46 | 0.22  |
| 31 | 0.09  |
| 94 | 0.19  |
|    | 0.14  |
| 61 | 0.2   |
| 47 | 0.19  |
| 63 | 0.18  |
| 61 | 0.19  |
| 39 | 0.12  |
| 67 | 0.15  |
| 48 | 0.182 |
| 48 | 0.153 |
| 49 | 0.21  |
| 75 | 0.16  |

|       |       |
|-------|-------|
| 0.851 | 0.14  |
| 0.63  | 0.11  |
| 0.8   | 0.16  |
| 1.2   | 0.21  |
| 0.83  | 0.16  |
| 0.59  | 0.14  |
| 1.45  | 0.35  |
| 1.01  | 0.27  |
| 1.2   | 0.31  |
| 0.71  | 0.17  |
| 0.96  | 0.18  |
| 0.77  | 0.14  |
| 0.55  | 0.07  |
| 0.59  | 0.08  |
| 0.94  | 0.19  |
| 0.89  | 0.24  |
| 0.69  | 0.16  |
| 0.8   | 0.22  |
| 0.58  | 0.09  |
| 0.81  | 0.19  |
| 0.77  | 0.14  |
| 0.74  | 0.2   |
| 0.7   | 0.19  |
| 0.98  | 0.22  |
| 0.96  | 0.19  |
| 0.65  | 0.12  |
| 0.72  | 0.15  |
| 0.65  | 0.182 |
| 0.772 | 0.18  |
| 0.889 | 0.21  |
| 0.74  | 0.15  |
| 0.7   | 0.15  |

| LL    | e0    | Cc    |
|-------|-------|-------|
| 56    | 0.95  | 0.23  |
| 53.88 | 0.89  | 0.16  |
| 70    | 0.754 | 0.154 |
| 65    | 0.65  | 0.125 |
| 54    | 0.574 | 0.104 |
| 39.3  | 0.645 | 0.117 |
| 57.6  | 0.652 | 0.123 |
| 45    | 0.72  | 0.16  |
| 77    | 0.79  | 0.21  |
| 39    | 0.65  | 0.12  |
| 67    | 0.72  | 0.15  |
| 46    | 0.73  | 0.14  |
| 44    | 0.67  | 0.14  |
| 26    | 0.61  | 0.13  |
| 59    | 0.51  | 0.11  |
| 29    | 0.88  | 0.17  |
| 52    | 0.8   | 0.2   |
| 71    | 0.5   | 0.14  |
| 29    | 0.76  | 0.2   |
| 21    | 0.76  | 0.13  |
| 56    | 0.92  | 0.21  |
| 41    | 0.75  | 0.14  |
| 70    | 0.71  | 0.15  |
| 24    | 0.58  | 0.14  |
| 23    | 0.68  | 0.16  |
| 25    | 0.66  | 0.18  |
| 28    | 0.76  | 0.13  |
| 89    | 0.8   | 0.2   |
| 73    | 1.1   | 0.29  |
| 33    | 0.59  | 0.12  |
| 51    | 0.61  | 0.16  |
| 20    | 0.68  | 0.12  |
| 84    | 0.83  | 0.21  |
| 62    | 0.94  | 0.2   |
| 37    | 0.69  | 0.19  |
| 49    | 0.9   | 0.21  |
| 56    | 0.77  | 0.15  |
| 26    | 0.63  | 0.14  |
| 60    | 0.86  | 0.18  |
| 54    | 0.85  | 0.16  |
| 40    | 0.66  | 0.16  |
| 40    | 0.8   | 0.15  |
| 53    | 0.57  | 0.129 |
| 52    | 0.855 | 0.15  |
| 50    | 0.964 | 0.15  |
| 50    | 0.818 | 0.14  |

| W%     | LL    | Cc    |
|--------|-------|-------|
| 29.67  | 56    | 0.23  |
| 26.95  | 53.88 | 0.16  |
| 24.7   | 70    | 0.154 |
| 18.88  | 65    | 0.125 |
| 19.32  | 54    | 0.104 |
| 21.095 | 39.3  | 0.117 |
| 21.92  | 57.6  | 0.123 |
| 24.9   | 45    | 0.16  |
| 29.7   | 77    | 0.21  |
| 22.6   | 39    | 0.12  |
| 26.8   | 67    | 0.15  |
| 26.1   | 46    | 0.14  |
| 28.8   | 44    | 0.14  |
| 20     | 26    | 0.13  |
| 17     | 59    | 0.11  |
| 30.4   | 29    | 0.17  |
| 14.5   | 52    | 0.2   |
| 10.3   | 71    | 0.14  |
| 13.2   | 29    | 0.2   |
| 7.6    | 21    | 0.13  |
| 21.1   | 56    | 0.21  |
| 19.8   | 41    | 0.14  |
| 26.1   | 70    | 0.15  |
| 21     | 24    | 0.14  |
| 22     | 23    | 0.16  |
| 20.1   | 25    | 0.18  |
| 20.5   | 28    | 0.13  |
| 33     | 89    | 0.2   |
| 28.7   | 73    | 0.29  |
| 18.9   | 33    | 0.12  |
| 14     | 51    | 0.16  |
| 20.3   | 20    | 0.12  |
| 25.7   | 84    | 0.21  |
| 36.2   | 62    | 0.2   |
| 10.9   | 37    | 0.19  |
| 24.4   | 49    | 0.21  |
| 21.5   | 56    | 0.15  |
| 5.9    | 26    | 0.14  |
| 29.7   | 60    | 0.18  |
| 26.5   | 54    | 0.16  |
| 24.7   | 40    | 0.16  |
| 21.2   | 40    | 0.15  |
| 18.3   | 53    | 0.129 |
| 23.5   | 52    | 0.15  |
| 27.4   | 50    | 0.15  |
| 19.7   | 50    | 0.14  |

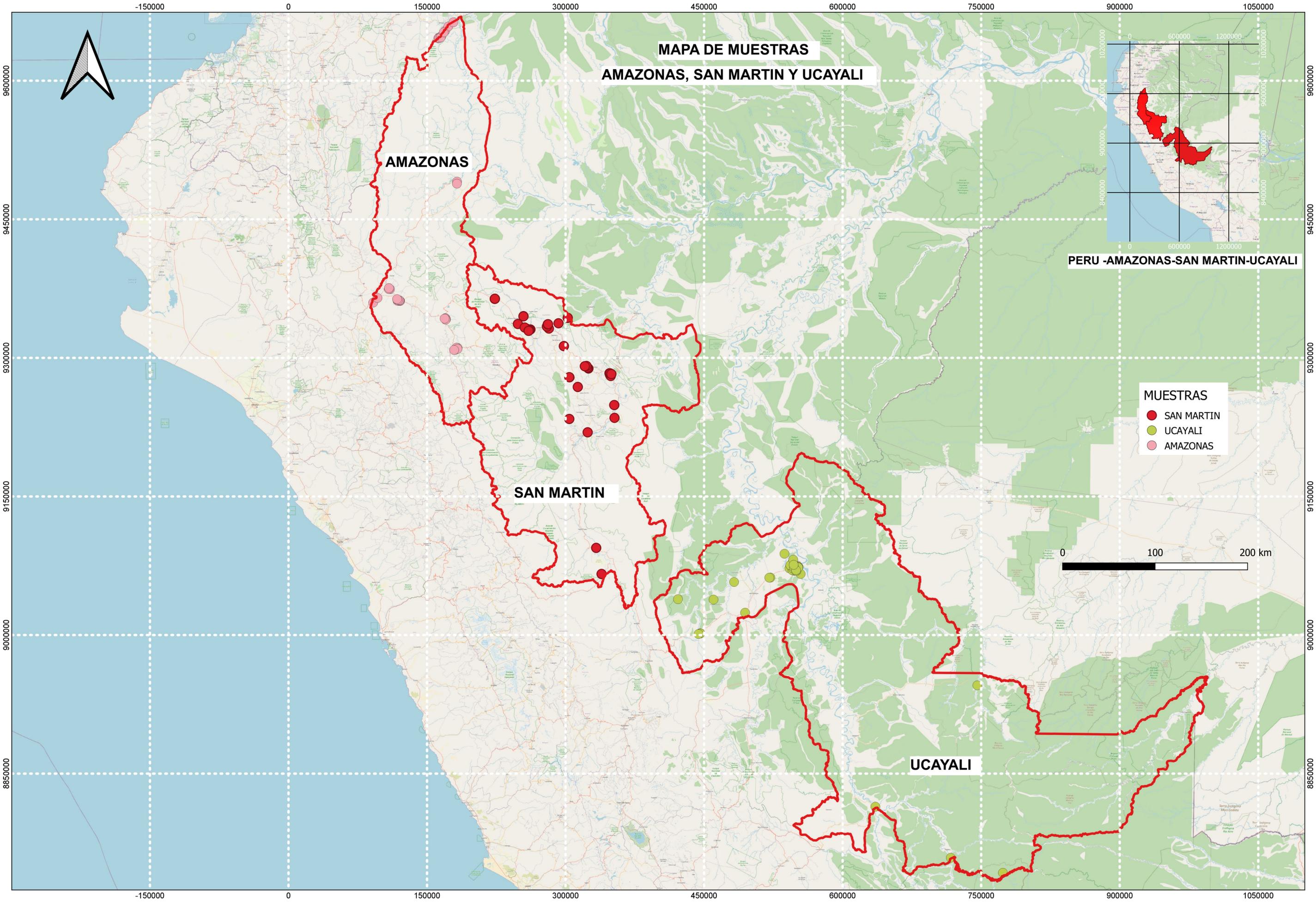
|    |       |       |
|----|-------|-------|
| 52 | 0.851 | 0.14  |
| 28 | 0.63  | 0.11  |
| 40 | 0.8   | 0.16  |
| 51 | 1.2   | 0.26  |
| 65 | 0.83  | 0.16  |
| 64 | 0.59  | 0.14  |
| 68 | 1.45  | 0.35  |
| 72 | 1.01  | 0.27  |
| 68 | 1.2   | 0.29  |
| 27 | 0.71  | 0.17  |
| 68 | 0.96  | 0.18  |
| 53 | 0.77  | 0.14  |
| 22 | 0.55  | 0.07  |
| 24 | 0.59  | 0.08  |
| 83 | 0.94  | 0.19  |
| 54 | 0.89  | 0.24  |
| 43 | 0.69  | 0.16  |
| 46 | 0.8   | 0.22  |
| 31 | 0.58  | 0.09  |
| 94 | 0.81  | 0.19  |
| 52 | 0.77  | 0.14  |
| 61 | 0.74  | 0.2   |
| 47 | 0.7   | 0.19  |
| 63 | 0.98  | 0.22  |
| 61 | 0.96  | 0.19  |
| 39 | 0.65  | 0.12  |
| 67 | 0.72  | 0.15  |
| 48 | 0.65  | 0.182 |
| 48 | 0.772 | 0.153 |
| 49 | 0.889 | 0.21  |
| 45 | 1.1   | 0.24  |

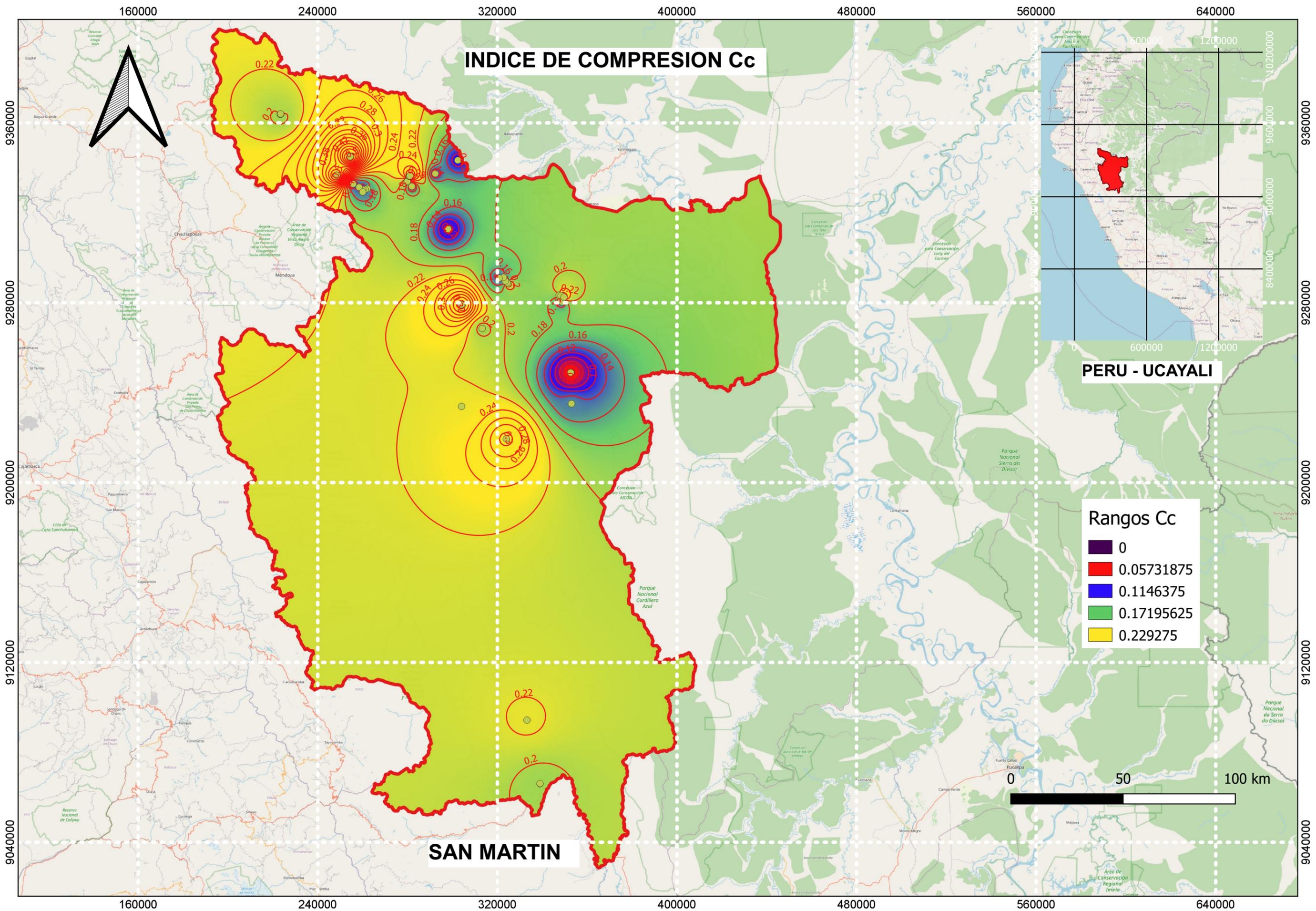
|      |    |       |
|------|----|-------|
| 20.5 | 52 | 0.14  |
| 15.9 | 28 | 0.11  |
| 15.6 | 40 | 0.16  |
| 31   | 51 | 0.26  |
| 22.7 | 65 | 0.16  |
| 17.6 | 64 | 0.14  |
| 49.9 | 68 | 0.35  |
| 27.3 | 72 | 0.27  |
| 26.5 | 68 | 0.29  |
| 21.9 | 27 | 0.17  |
| 26.3 | 68 | 0.18  |
| 21.7 | 53 | 0.14  |
| 17   | 22 | 0.07  |
| 19   | 24 | 0.08  |
| 29.5 | 83 | 0.19  |
| 18.7 | 54 | 0.24  |
| 21.1 | 43 | 0.16  |
| 21.5 | 46 | 0.22  |
| 16   | 31 | 0.09  |
| 33.8 | 94 | 0.19  |
| 20.6 | 52 | 0.14  |
| 24.6 | 61 | 0.2   |
| 23.9 | 47 | 0.19  |
| 34.3 | 63 | 0.22  |
| 33.8 | 61 | 0.19  |
| 22.6 | 39 | 0.12  |
| 26.8 | 67 | 0.15  |
| 19.8 | 48 | 0.182 |
| 30.9 | 48 | 0.153 |
| 24.4 | 49 | 0.21  |
| 23.5 | 45 | 0.24  |

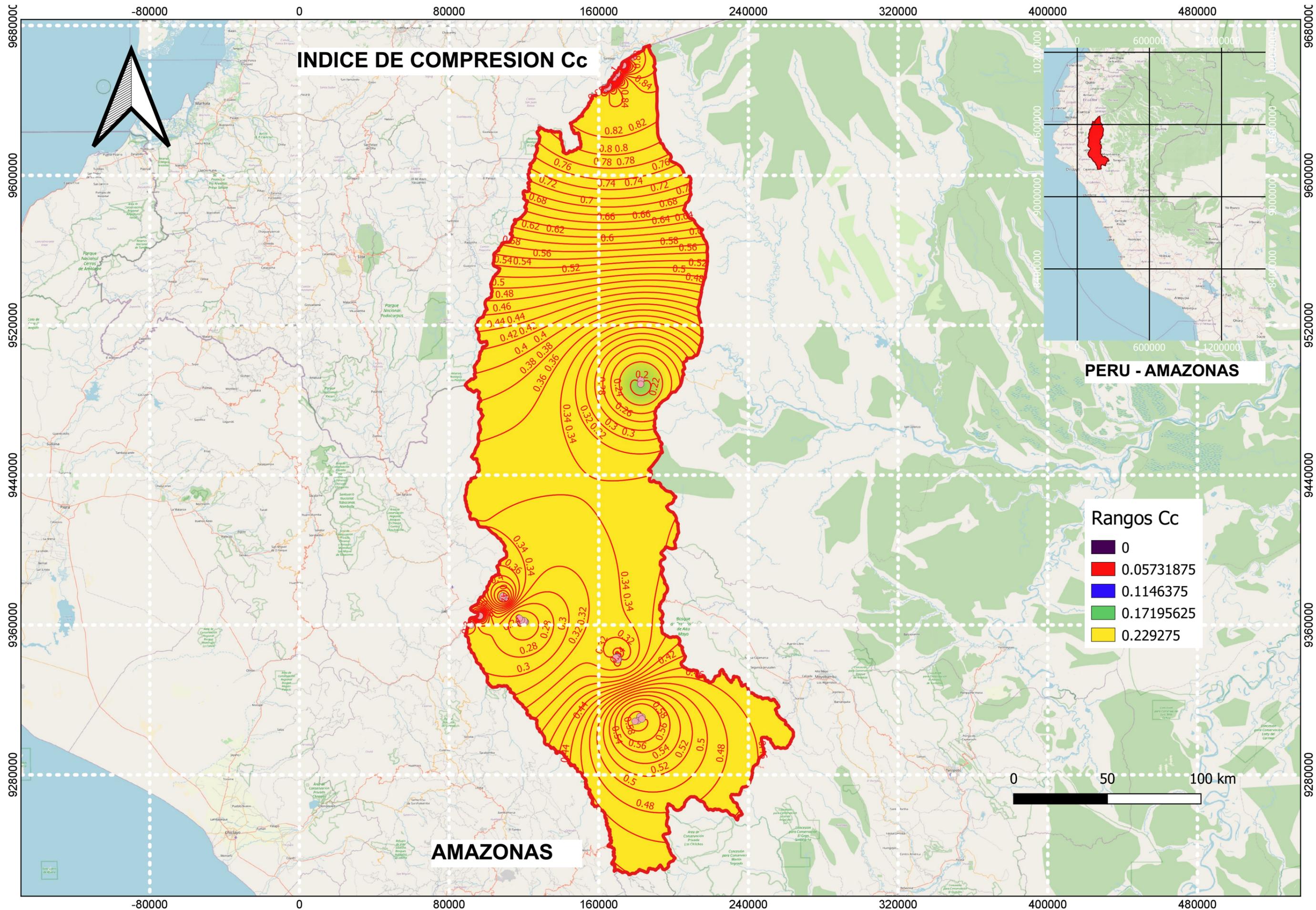
| W%     | e0    | LL    | Cc    |
|--------|-------|-------|-------|
| 29.67  | 0.95  | 56    | 0.23  |
| 26.95  | 0.89  | 53.88 | 0.16  |
| 24.7   | 0.754 | 70    | 0.154 |
| 18.88  | 0.65  | 65    | 0.125 |
| 19.32  | 0.574 | 54    | 0.104 |
| 21.095 | 0.645 | 39.3  | 0.117 |
| 21.92  | 0.652 | 57.6  | 0.123 |
| 24.9   | 0.72  | 45    | 0.16  |
| 29.7   | 0.79  | 77    | 0.21  |
| 22.6   | 0.65  | 39    | 0.12  |
| 26.8   | 0.72  | 67    | 0.15  |
| 26.1   | 0.73  | 46    | 0.14  |
| 28.8   | 0.67  | 44    | 0.14  |
| 20     | 0.61  | 26    | 0.13  |
| 17     | 0.51  | 59    | 0.11  |
| 30.4   | 0.88  | 29    | 0.17  |
| 14.5   | 0.8   | 52    | 0.2   |
| 10.3   | 0.5   | 71    | 0.14  |
| 13.2   | 0.76  | 29    | 0.2   |
| 7.6    | 0.76  | 21    | 0.13  |
| 21.1   | 0.92  | 56    | 0.21  |
| 19.8   | 0.75  | 41    | 0.14  |
| 26.1   | 0.71  | 70    | 0.15  |
| 21     | 0.58  | 24    | 0.14  |
| 22     | 0.68  | 23    | 0.16  |
| 20.1   | 0.66  | 25    | 0.18  |
| 20.5   | 0.76  | 28    | 0.13  |
| 33     | 0.8   | 89    | 0.2   |
| 28.7   | 1.1   | 73    | 0.29  |
| 18.9   | 0.59  | 33    | 0.12  |
| 14     | 0.61  | 51    | 0.16  |
| 20.3   | 0.68  | 20    | 0.12  |
| 25.7   | 0.83  | 84    | 0.21  |
| 36.2   | 0.94  | 62    | 0.2   |
| 10.9   | 0.69  | 37    | 0.19  |
| 24.4   | 0.9   | 49    | 0.21  |
| 21.5   | 0.77  | 56    | 0.15  |
| 5.9    | 0.63  | 26    | 0.14  |
| 29.7   | 0.86  | 60    | 0.18  |
| 26.5   | 0.85  | 54    | 0.16  |
| 24.7   | 0.66  | 40    | 0.16  |
| 21.2   | 0.8   | 40    | 0.15  |
| 18.3   | 0.57  | 53    | 0.129 |
| 23.5   | 0.855 | 52    | 0.15  |
| 27.4   | 0.964 | 50    | 0.15  |
| 19.7   | 0.818 | 50    | 0.14  |

|      |       |    |       |
|------|-------|----|-------|
| 20.5 | 0.851 | 52 | 0.14  |
| 15.9 | 0.63  | 28 | 0.11  |
| 15.6 | 0.8   | 40 | 0.16  |
| 31   | 1.2   | 51 | 0.26  |
| 22.7 | 0.83  | 65 | 0.16  |
| 17.6 | 0.59  | 64 | 0.14  |
| 49.9 | 1.45  | 68 | 0.35  |
| 27.3 | 1.01  | 72 | 0.27  |
| 26.5 | 1.2   | 68 | 0.29  |
| 21.9 | 0.71  | 27 | 0.17  |
| 26.3 | 0.96  | 68 | 0.18  |
| 21.7 | 0.77  | 53 | 0.14  |
| 17   | 0.55  | 22 | 0.07  |
| 19   | 0.59  | 24 | 0.08  |
| 29.5 | 0.94  | 83 | 0.19  |
| 18.7 | 0.89  | 54 | 0.24  |
| 21.1 | 0.69  | 43 | 0.16  |
| 21.5 | 0.8   | 46 | 0.22  |
| 16   | 0.58  | 31 | 0.09  |
| 33.8 | 0.81  | 94 | 0.19  |
| 20.6 | 0.77  | 52 | 0.14  |
| 24.6 | 0.74  | 61 | 0.2   |
| 23.9 | 0.7   | 47 | 0.19  |
| 34.3 | 0.98  | 63 | 0.22  |
| 33.8 | 0.96  | 61 | 0.19  |
| 22.6 | 0.65  | 39 | 0.12  |
| 26.8 | 0.72  | 67 | 0.15  |
| 19.8 | 0.65  | 48 | 0.182 |
| 30.9 | 0.772 | 48 | 0.153 |
| 24.4 | 0.889 | 49 | 0.21  |
| 23.5 | 1.1   | 45 | 0.24  |

**ANEXO D: Planos con curvas  
de ISO INDICE DE  
COMPRESIBILIDAD C<sub>c</sub>  
Programa usado: ARCGIS**







# INDICE DE COMPRESION $C_c$

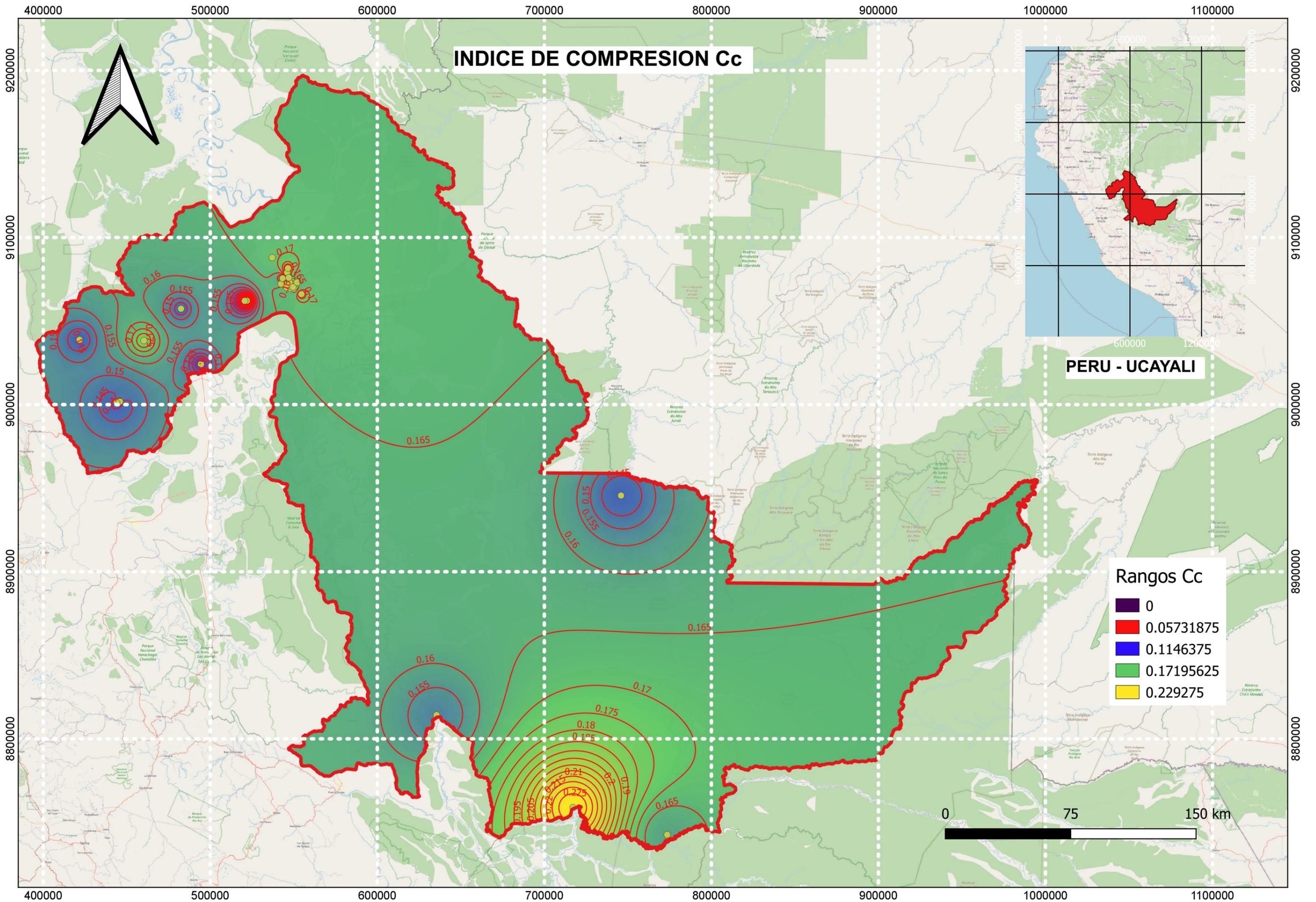
**AMAZONAS**

## Rangos $C_c$

- 0
- 0.05731875
- 0.1146375
- 0.17195625
- 0.229275

**PERU - AMAZONAS**





# INDICE DE COMPRESION Cc

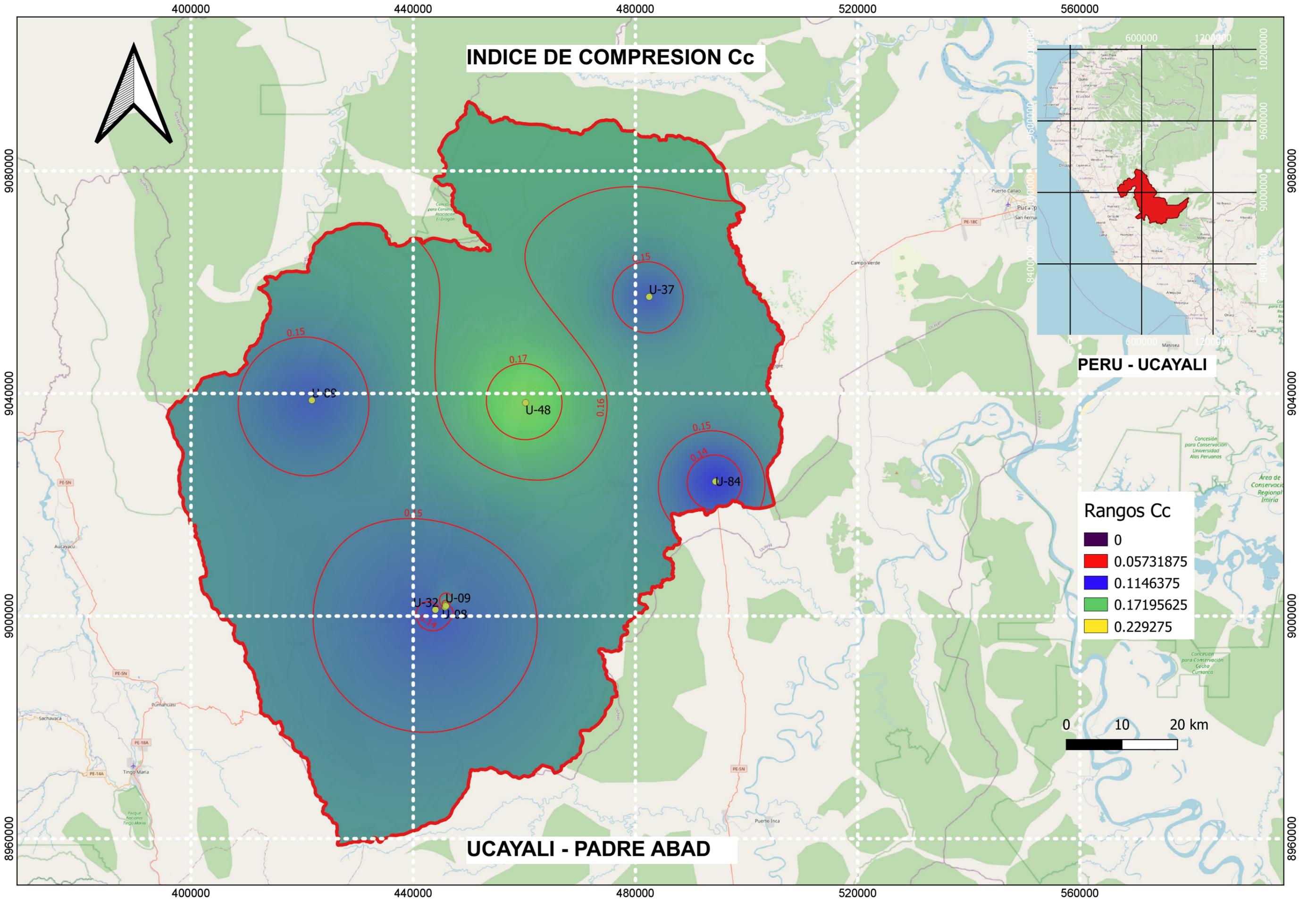
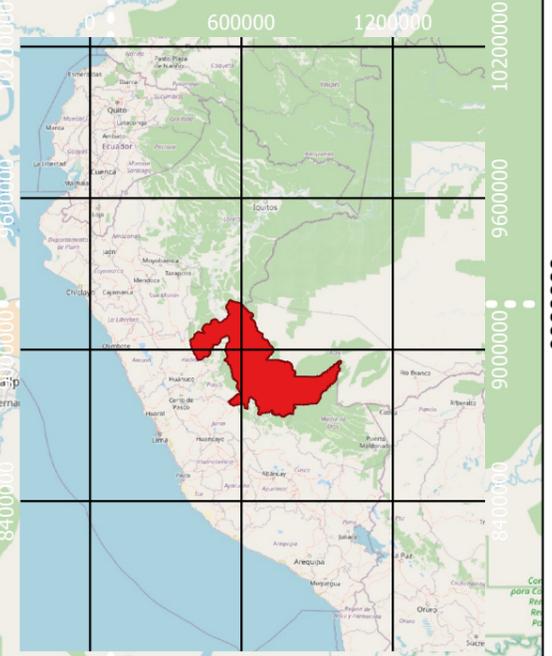
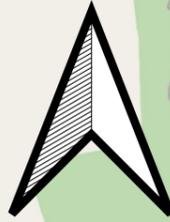
# UCAYALI - PADRE ABAD

## Rangos Cc

- 0
- 0.05731875
- 0.1146375
- 0.17195625
- 0.229275

0 10 20 km

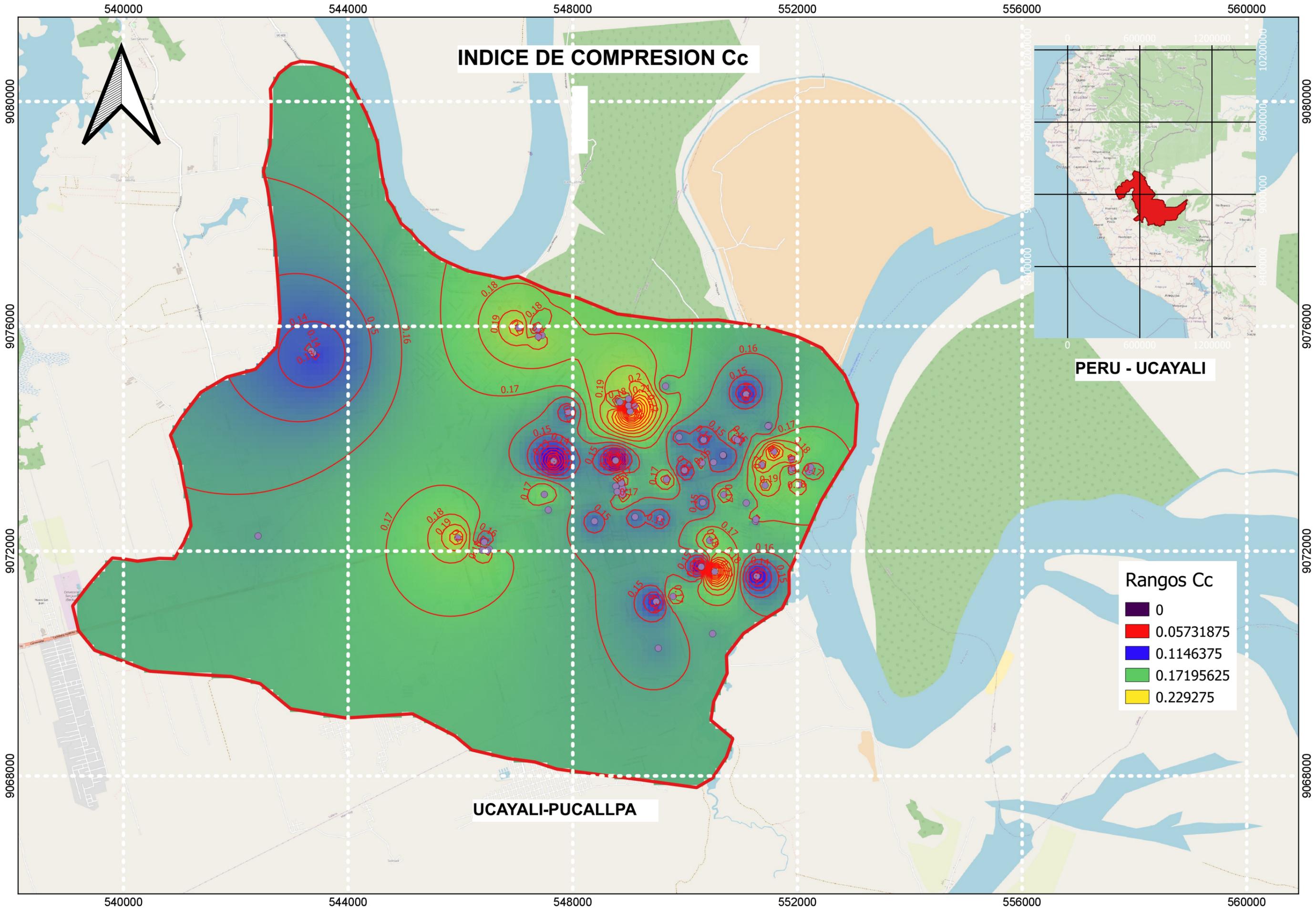
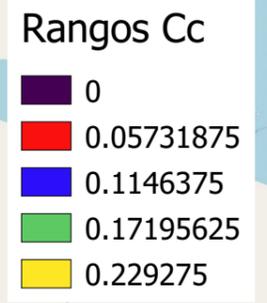
## PERU - UCAYALI



# INDICE DE COMPRESION Cc

UCAYALI-PUCALLPA

PERU - UCAYALI



**ANEXO E:**  
**Resultados de las**  
**investigaciones**  
**geotécnicas ejecutados**  
**por**  
**el Tesista.**



Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S21 - 204-1

SOLICITANTE : CESAR ERNESTO MARROQUIN MARIN
PROYECTO : TESIS PARA OBTENER TÍTULO DE INGENIERO CIVIL - C.E.M.M.
UBICACIÓN : UCAYALI, SAN MARTÍN Y AMAZONAS, PERÚ
FECHA : 11 DE MAYO 2021

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-1
Prof. (m.) : 2.00
Referencia : Calleria - Pucallpa - Ucayali

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - REFERENCIA ASTM D6913 / D6913M
Procedimiento interno AT-PR.4 - Método "B"

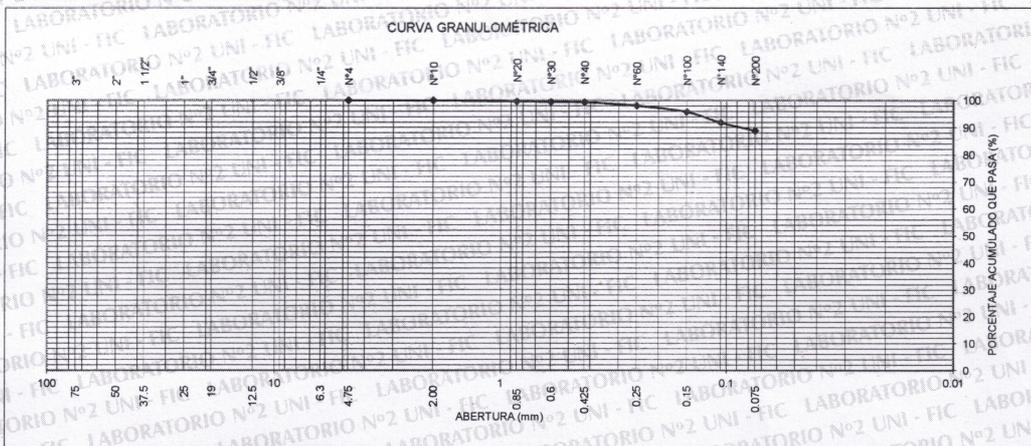
Table with columns: Tamiz, Abertura (mm), Parcial Retenido, (% Retenido), (% Pasa). Rows include various sieve sizes from 3" down to FONDO.

Summary table: % Grava: ----, % Arena: 11.1, % Finos: 88.9

LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318
Procedimiento interno AT-PR.5
Límite Líquido: 62
Límite Plástico: 28
Índice Plástico: 34

Clasificación SUCS ASTM D2487 : CH

Contenido de Humedad ASTM D2216 (%): 28
Método "A"
Procedimiento interno AT-PR.1



Nota:
Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.
Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. D. Del Río N.
Aprobación : Ing. D. Basurto R.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI



Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S21 - 204-1

SOLICITANTE : CESAR ERNESTO MARROQUIN MARIN
PROYECTO : TESIS PARA OBTENER TÍTULO DE INGENIERO CIVIL - C.E.M.M.
UBICACIÓN : UCAYALI, SAN MARTÍN Y AMAZONAS, PERÚ
FECHA : 11 DE MAYO 2021

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL ASTM D2435

Estado : Inalterado
Calicata : C-1
Prof. (m.) : 2.00
Referencia : Calleria - Pucallpa - Ucayali

CARACTERÍSTICAS DEL ESPECIMEN

Table with 3 columns: Property, Inicial, Final. Rows include Diámetro (cm), Altura (cm), Densidad Húmeda (g/cm³), Densidad Seca (g/cm³), Humedad (%), Gravedad Especifica, Relación de vacíos, e.

RESULTADOS

Table with 3 columns: Presión (kg/cm²), e, δ (mm). Rows show data for pressures from 0.25 to 8.00 kg/cm².

Nota: Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente. Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. D. Del Río Ñ.
Aprobación : Ing. D. Basurto R.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI



ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL  
ASTM D2435

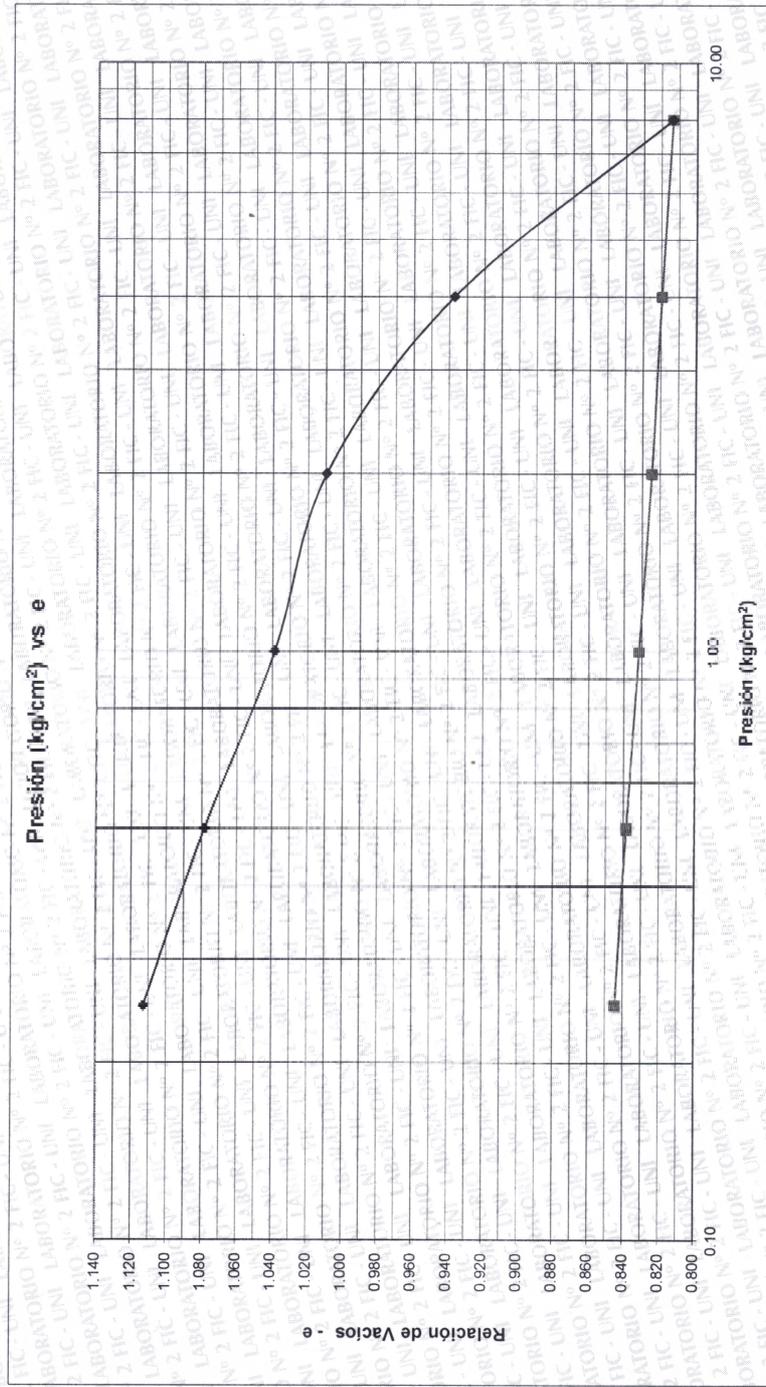
INFORME N° S21 - 204-1

SOLICITANTE : CESAR ERNESTO MARCOLOK MARIN  
PROYECTO : TESIS PARA OBTENER TÍTULO DE INGENIERO CIVIL - C.E.M.M.  
UBICACIÓN : UCAYALI, SAN MARTÍN Y AMAZONAS, PERÚ  
FECHA : 11 DE MAYO 2021

| Datos Muestra |                               |
|---------------|-------------------------------|
| Estado        | Inalterado                    |
| Calicata      | C-1                           |
| Prof. (m.)    | 2.00                          |
| Referencia    | Callejón - Pucallpa - Ucayali |

| Características del Especimen        |       |
|--------------------------------------|-------|
| Caract. del Especimen                | Final |
| Dámetro (cm)                         | 6.36  |
| Altura (cm)                          | 2.16  |
| Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.924 |
| Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )   | 1.457 |
| Humedad (%)                          | 32.1  |
| Gravedad Específica                  | 2.720 |
| Relación de vacíos, e                | 1.175 |

| Resultados                    |       | Parámetros |                    |
|-------------------------------|-------|------------|--------------------|
| Presión (kg/cm <sup>2</sup> ) | e     | δ (mm)     |                    |
| 0.25                          | 1.113 | 0.720      | Índice de          |
| 0.50                          | 1.078 | 1.120      | Recompresión (Cr)  |
| 1.00                          | 1.039 | 1.580      | Cr:                |
| 2.00                          | 1.009 | 1.920      |                    |
| 4.00                          | 0.937 | 2.760      | Índice de          |
| 8.00                          | 0.813 | 4.190      | Consolidación (Cc) |
| 4.00                          | 0.825 | 4.120      | Cc:                |
| 2.00                          | 0.832 | 4.060      |                    |
| 1.00                          | 0.838 | 3.980      | Índice de          |
| 0.50                          | 0.838 | 3.900      | Expansión (Cs)     |
| 0.25                          | 0.845 | 3.830      | Cs:                |
|                               |       |            | 0.020              |



Nota: La expansión fue contrarrestada con el agua.





Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S21 - 204-2-1

SOLICITANTE : CESAR ERNESTO MARROQUIN MARIN
PROYECTO : TESIS PARA OBTENER TÍTULO DE INGENIERO CIVIL - C.E.M.M.
UBICACIÓN : UCAYALI, SAN MARTÍN Y AMAZONAS, PERÚ
FECHA : 11 DE MAYO 2021

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-2
Prof. (m.) : 1.60
Referencia : Tarapotillo - Tarapoto - San Martín

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - REFERENCIA ASTM D6913 / D6913M
Procedimiento interno AT-PR.4 - Método "B"

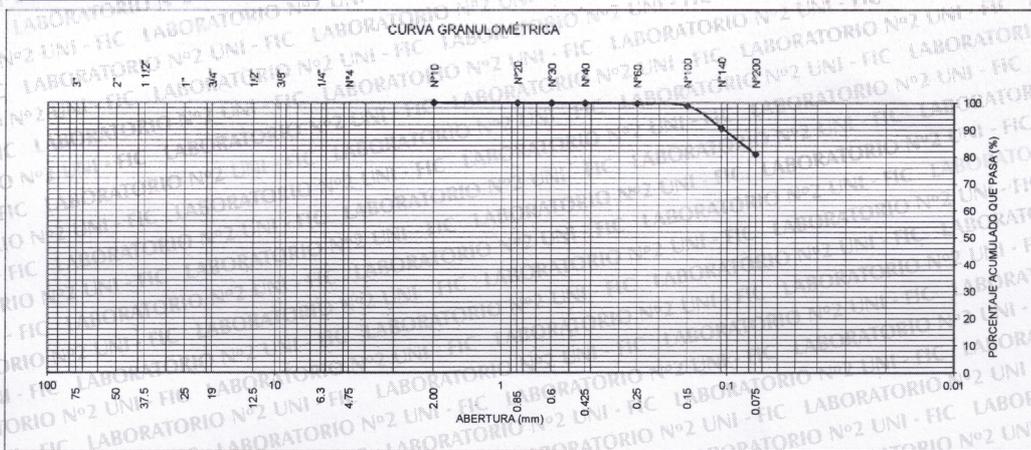
Table with 5 columns: Tamiz, Abertura (mm), Parcial Retenido, (% Acumulado) Retenido, Pasa. Rows include various sieve sizes from 3" down to FONDO.

Summary table: % Grava: ---, % Arena: 19.1, % Finos: 80.9

LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318
Procedimiento interno AT-PR.6
Límite Líquido: 39
Límite Plástico: 21
Índice Plástico: 18

Clasificación SUCS ASTM D2487 : CL

Contenido de Humedad ASTM D2216 (%) : 13
Método "A"
Procedimiento interno AT-PR.1



Nota:
Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.
Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. D. Del Rio N.
Aprobación : Ing. D. Basurto R.



Handwritten signature of Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS

Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI



Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S21 - 204-2-1

SOLICITANTE : CESAR ERNESTO MARROQUIN MARIN
PROYECTO : TESIS PARA OBTENER TÍTULO DE INGENIERO CIVIL - C.E.M.M.
UBICACIÓN : UCAYALI, SAN MARTÍN Y AMAZONAS, PERÚ
FECHA : 11 DE MAYO 2021

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL ASTM D2435

Estado : Remoldeado (material < tamiz N°4)
Calicata : C-2
Prof. (m.) : 1.60
Referencia : Tarapotillo - Tarapoto - San Martín

CARACTERISTICAS DEL ESPECIMEN

Table with 3 columns: Property, Inicial, Final. Rows include Diámetro (cm), Altura (cm), Densidad Húmeda (g/cm³), Densidad Seca (g/cm³), Humedad (%), Gravedad Especifica, Relación de vacíos, e.

RESULTADOS

Table with 3 columns: Presión (kg/cm²), e, δ (mm). Rows show data for pressures from 0.25 to 8.00 kg/cm².

Nota: El espécimen se remoldeo al 90% de la densidad del Peso Volumétrico.
Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.
Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. D. Del Río Ñ.
Aprobación : Ing. D. Basurto R.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

## Facultad de Ingeniería Civil

### Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos



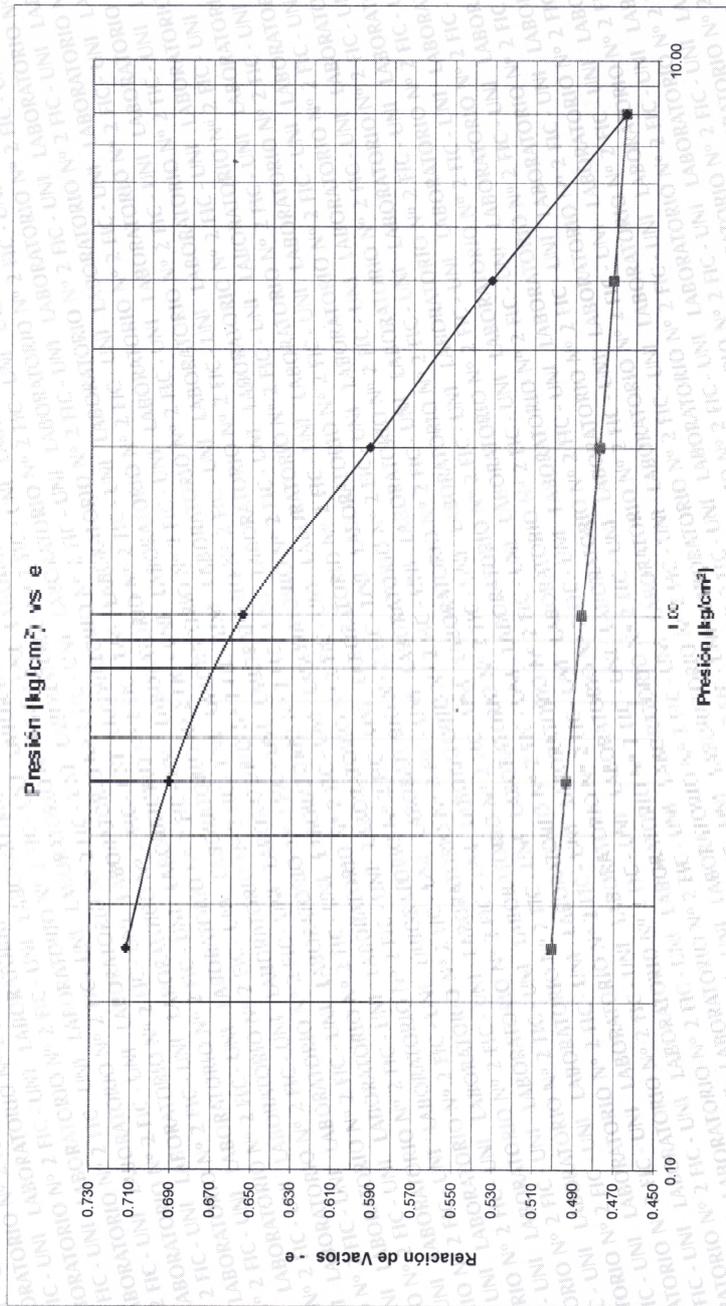
#### ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL ASTM D2435

**INFORME N° S11-204-2-1**  
**SOLICITANTE :** CESAR ERNESTO MARRUQUIN URRAL  
**PROYECTO :** TESIS PARA OBTENER TÍTULO DE INGENIERO CIVIL - C.E.M.M.  
**UBICACIÓN :** UCAVAL SAN MARTÍN - ANAHCORAS, PERU  
**FECHA :** 11 DE MAYO 2021

| Datos Muestra |                                    |
|---------------|------------------------------------|
| Estado        | Remoldeado (material - Tamiz N° 4) |
| Calicata      | C-2                                |
| Prof. (m.)    | 1.60                               |
| Referencia    | Tarapoto - Tarapoto - San Martín   |

| Características del Especimen        |               |
|--------------------------------------|---------------|
| Caract. del Especimen                | Inicial Final |
| Diametro (cm)                        | 11.26 11.26   |
| Altura (cm)                          | 3.80 3.29     |
| Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.755 2.132   |
| Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )   | 1.551 1.792   |
| Humedad (%)                          | 13.1 19.0     |
| Gravedad Específica                  | 2.700 2.700   |
| Relación de vacíos, e                | 0.741 0.507   |

| Resultados                    |        | Parámetros |                    |
|-------------------------------|--------|------------|--------------------|
| Presión (kg/cm <sup>2</sup> ) | e (mm) | Índice de  | Recompresión (Cr)  |
| 0.25                          | 0.712  | 0.620      | 1.080              |
| 0.50                          | 0.691  | 1.080      | 0.095              |
| 1.00                          | 0.655  | 1.870      | Cr:                |
| 2.00                          | 0.592  | 3.250      |                    |
| 4.00                          | 0.532  | 4.560      | Índice de          |
| 8.00                          | 0.466  | 6.000      | Consolidación (Cc) |
| 4.00                          | 0.472  | 5.870      | Cc:                |
| 2.00                          | 0.478  | 5.730      |                    |
| 1.00                          | 0.487  | 5.540      | Índice de          |
| 0.50                          | 0.494  | 5.380      | Expansión (Cs)     |
| 0.25                          | 0.501  | 5.230      | Cs:                |



Nota: La expansión fue contrastada con: 0.572 kg/cm<sup>2</sup>





Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S21 - 204-2-2

SOLICITANTE : CESAR ERNESTO MARROQUIN MARIN
PROYECTO : TESIS PARA OBTENER TÍTULO DE INGENIERO CIVIL - C.E.M.M.
UBICACIÓN : UCAYALI, SAN MARTÍN Y AMAZONAS, PERÚ
FECHA : 11 DE MAYO 2021

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-2
Prof. (m.) : 1.60
Referencia : Tarapotillo - Tarapoto - San Martín

ENSAYO DE PESO VOLUMÉTRICO DE LOS SUELOS COHESIVOS - REFERENCIA NTP 339.139
Procedimiento interno AT-PR.2

Peso Volumétrico (g/cm³) : 1.938

Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra preparada para el alumno.
Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Tdo. D. Del Rio N.
Aprobación : Ing. D. Gaxuma R.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (a) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI





Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S21 - 204-3

SOLICITANTE : CESAR ERNESTO MARROQUIN MARIN
PROYECTO : TESIS PARA OBTENER TÍTULO DE INGENIERO CIVIL - C.E.M.M.
UBICACIÓN : UCAYALI, SAN MARTÍN Y AMAZONAS, PERÚ
FECHA : 11 DE MAYO 2021

REPORT DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-3
Prof. (m.) : 1.40
Referencia : Chachapoyas - Amazonas

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - REFERENCIA ASTM D6913 / D6913M

Procedimiento interno AT-PR.4 - Método "B"

Table with 5 columns: Tamiz, Abertura (mm), Parcial Retenido, (%) Acumulado Retenido, and Pasa. Rows include various sieve sizes from 3" down to FONDO.

Summary table: % Grava : 1.7, % Arena : 58.9, % Finos : 39.4

LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318
Procedimiento interno AT-PR.5

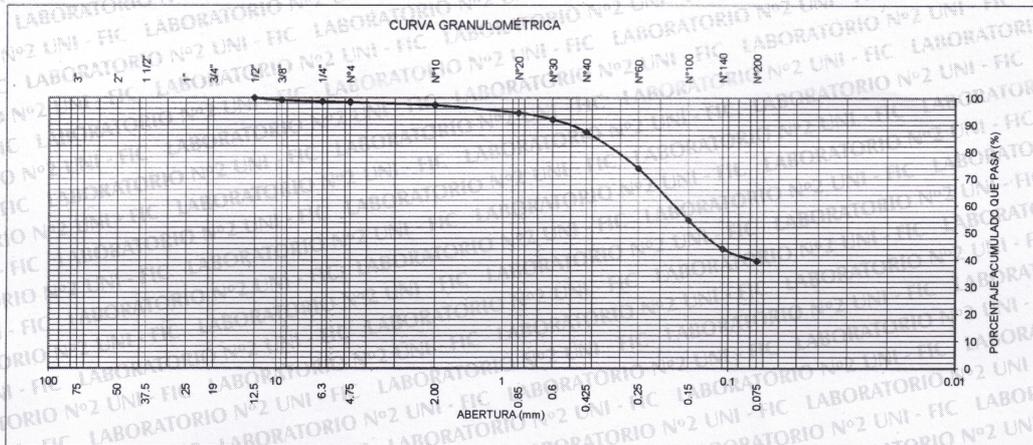
Table with 2 columns: Limite, and Value. Rows: Limite Líquido : 21, Limite Plástico : 15, Índice Plástico : 6

Clasificación SUCS ASTM D2487 : SC-SM

Contenido de Humedad ASTM D2216 (%) : 12

Método "A"

Procedimiento interno AT-PR.1



Nota:
Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.
Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. D. Del Río N.
Aprobación : Ing. D. Basurto R.



Handwritten signature of Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS

Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI



## Facultad de Ingeniería Civil

### Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

#### INFORME N° S21 - 204-3

**SOLICITANTE** : CESAR ERNESTO MARROQUIN MARIN  
**PROYECTO** : TESIS PARA OBTENER TÍTULO DE INGENIERO CIVIL - C.E.M.M.  
**UBICACIÓN** : UCAYALI, SAN MARTÍN Y AMAZONAS, PERÚ  
**FECHA** : 20 DE MAYO 2021

#### RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

##### ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL ASTM D2435

**Estado** : Inalterado  
**Calicata** : C-3  
**Prof. (m.)** : 1.40  
**Referencia** : Chachapoyas - Amazonas

##### CARACTERISTICAS DEL ESPECIMEN

|                                      | Inicial | Final |
|--------------------------------------|---------|-------|
| Diámetro (cm)                        | 6.36    | 6.36  |
| Altura (cm)                          | 2.52    | 2.202 |
| Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.04    | 2.29  |
| Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )   | 1.79    | 2.05  |
| Humedad (%)                          | 13.07   | 11.51 |
| Gravedad Especifica                  | 2.84    | 2.84  |
| Relación de vacíos, e                | 0.472   | 0.286 |

##### RESULTADOS

| Presión (kg/cm <sup>2</sup> ) | e     | δ (mm) |
|-------------------------------|-------|--------|
| 0.25                          | 0.454 | 0.310  |
| 0.50                          | 0.432 | 0.690  |
| 1.00                          | 0.398 | 1.270  |
| 2.00                          | 0.356 | 1.980  |
| 4.00                          | 0.310 | 2.770  |
| 8.00                          | 0.262 | 3.600  |
| 4.00                          | 0.268 | 3.500  |
| 2.00                          | 0.272 | 3.420  |
| 1.00                          | 0.277 | 3.340  |
| 0.500                         | 0.280 | 3.280  |
| 0.250                         | 0.284 | 3.220  |

##### Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

**Ejecución** : Téc. D. Del Río Ñ.

**Aprobación** : Ing. D. Basurto R.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS  
 Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos  
 Facultad de Ingeniería Civil - UNI





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**Facultad de Ingeniería Civil**  
**Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos**



**ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL**  
**ASTM D2435**

**INFORME N° 521 - 2013**

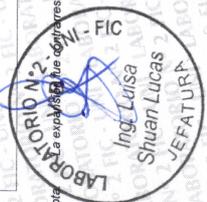
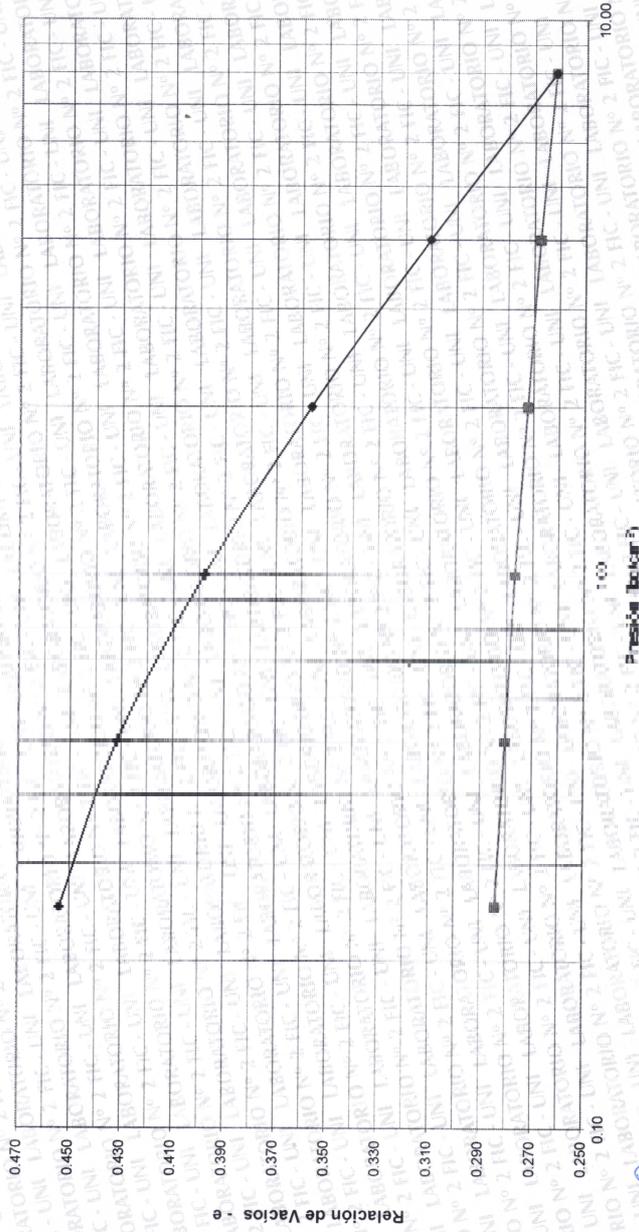
**SOLICITANTE** : CESAR ERVESTO MARRON VILLAR  
**PROYECTO** : TESIS PARA OBTENER TÍTULO DE INGENIERO CIVIL - C.E.M.M.  
**UBICACIÓN** : UCAYALI, SAN MARTÍN Y CAJAMARCA, P.E.  
**FECHA** : 20 DE MAYO 2011

| Datos Muestra |                        |
|---------------|------------------------|
| Estado        | Inalterado             |
| Calicita      | C-3                    |
| Prof. (m)     | 1.40                   |
| Referencia    | Chachapoyas - Amazonas |

| Caract. del Especimen                | Características del Especimen |       |
|--------------------------------------|-------------------------------|-------|
|                                      | Inicial                       | Final |
| Diámetro (cm)                        | 6.36                          | 6.36  |
| Altura (cm)                          | 2.52                          | 2.20  |
| Densidad Humeda (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.036                         | 2.286 |
| Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )   | 1.791                         | 2.050 |
| Humedad (%)                          | 13.7                          | 11.5  |
| Gravedad Específica                  | 2.637                         | 2.637 |
| Relación de vacíos, e                | 0.472                         | 0.286 |

| Presión (kg/cm <sup>2</sup> ) | e     | δ (mm) | Parámetros                  |                              |
|-------------------------------|-------|--------|-----------------------------|------------------------------|
|                               |       |        | Indice de Recompresión (Cr) | Indice de Consolidación (Cc) |
| 0.25                          | 0.454 | 0.310  | 0.690                       | 0.161                        |
| 0.50                          | 0.432 | 0.620  | 0.074                       |                              |
| 1.00                          | 0.398 | 1.270  |                             |                              |
| 2.00                          | 0.356 | 1.980  |                             |                              |
| 4.00                          | 0.310 | 2.770  |                             |                              |
| 8.00                          | 0.262 | 3.600  |                             |                              |
| 4.00                          | 0.268 | 3.500  |                             |                              |
| 2.00                          | 0.272 | 3.420  |                             |                              |
| 1.00                          | 0.277 | 3.340  |                             |                              |
| 0.50                          | 0.280 | 3.280  |                             |                              |
| 0.25                          | 0.284 | 3.220  |                             |                              |
|                               |       |        | Indice de Expansión (Cs)    | 0.017                        |

**Relación de Vacíos (e) vs e**



Nota: La expansión fue registrada con: 0 kg/cm<sup>2</sup>

**ANEXO F: Fotografías  
de las exploraciones  
geotécnicas  
ejecutadas por el  
Tesisista.**

# Exploración Geotécnica #01

## Ubicación: Pucallpa – Ucayali







# Exploración Geotécnica #02

## Ubicación: Tarapoto – San Martín







# Exploración Geotécnica #03

## Ubicación: Chachapoyas – Amazonas

