

# **Zonificación y caracterización geotécnica de los suelos de la sede central del Instituto Tecnológico de Costa Rica**

### CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Gustavo Rojas Moya, Ing. Alonso Poveda Montoya, Ing. Marco Tapia Balladares, Ing. Milton Sandoval Quirós, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



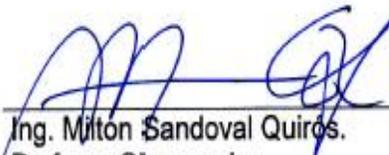
Ing. Gustavo Rojas Moya.  
Director



Ing. Alonso Poveda Montoya.  
Profesor Guía



Ing. Marco Tapia Balladares.  
Profesor Lector



Ing. Milton Sandoval Quirós.  
Profesor Observador

# Abstract

The present investigation comprises a progressive development of different stages that begin with the compilation and analysis of geotechnical studies of the buildings of the headquarters of Technological of Costa Rica. Information has been obtained through field and laboratory test, such as the Standard Penetration Test (SPT), granulometry, Atterberg Limits and moisture content, provide the necessary data for the classification and quantification of soil bearing capacity.

As a final step and objective of the Project, statistically validated maps of the classification and permissible soil capacity are generated at different depths, by means of the spatial interpolation of Ordinary Kriging and the Weighted of the Inverse Distance (IDW) method,

The probes are properly georeferenced by Global Navigation Satellite System (GNSS), and ArcGis 10.3 software.

At the end of the work the profiles of each perforation are presented and as aid to explain the reliability of the maps are included maps of prediction of error, tables and graphs with geostatistical information; It is concluded that for the choice of an appropriate spatila interpolation method, special attention should be paid to the distribution of data in the simple space and generated error.

Keywords: Kriging, IDW, geostatistics, spatial interpolation.

# Resumen

La presente investigación comprende un desarrollo progresivo de distintas etapas que inician con la recopilación y análisis de estudios geotécnicos de las edificaciones de la sede central del Tecnológico de Costa Rica. Se ha obtenido información por medio de pruebas de campo y laboratorio, tales como la Prueba de Penetración Estándar (SPT), granulometría, Límites de Atterberg y contenido de humedad, brindan los datos necesarios para la clasificación y cuantificación de la capacidad soportante del suelo.

Como etapa final y objetivo del proyecto, se generan mapas estadísticamente validados de clasificación y capacidad admisible del suelo a diferentes profundidades, por medio de la interpolación espacial de Kriging Ordinario y el método de Peso Ponderado por el Inverso de la Distancia (IDW).

Los sondeos se encuentran debidamente georreferenciados por un Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS), y el software ArcGis 10.3.

Al final del trabajo se presentan los perfiles de cada perforación y como ayuda para explicar la confiabilidad de los mapas se incluyen mapas de predicción de error, tablas y gráficas con información geoestadística; además se concluye que para la escogencia de un método de interpolación espacial adecuado, se debe prestar especial atención a la distribución de datos en el espacio muestral y error generado.

Palabras claves: Kriging, IDW, geoestadística, interpolación espacial.

# **Zonificación y caracterización geotécnica de los suelos de la sede central del Instituto Tecnológico de Costa Rica**

DANIEL EMILIO MASÍS FLORES

Proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Mayo del 2017

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

|   |     |
|---|-----|
| PREFACIO.....                                     | 1   |
| RESUMEN EJECUTIVO.....                            | 2   |
| INTRODUCCIÓN.....                                 | 4   |
| METODOLOGÍA.....                                  | 5   |
| MATERIAL ROCOSO.....                              | 8   |
| TIPOS DE SUELO.....                               | 9   |
| ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO.....               | 11  |
| CLASIFICACIÓN DE SUELOS.....                      | 15  |
| PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL<br>SUELO..... | 18  |
| INTERPOLACIÓN ESPACIAL.....                       | 21  |
| RESULTADOS.....                                   | 25  |
| ANÁLISIS DE RESULTADOS.....                       | 109 |
| CONCLUSIONES Y<br>RECOMENDACIONES.....            | 114 |
| APÉNDICES.....                                    | 115 |
| ANEXOS.....                                       | 171 |
| REFERENCIAS.....                                  | 205 |

# Prefacio

La falta de conocimiento de las características físicas y mecánicas del suelo sobre el cual se pretende desarrollar una obra civil, puede generar sobrecostos (sobrediseños, imprevistos, atrasos en la programación), que bien podrían haber sido evitados mediante un estudio del suelo antes de la construcción.

Un adecuado estudio del suelo del sitio donde se pretende desarrollar un proyecto facilita al ingeniero los datos necesarios para determinar el diseño más apropiado y económico de la estructura, y es, además, una garantía previa a la buena edificación. Comúnmente el costo de la investigación del suelo representa un porcentaje muy bajo del costo total del proyecto.

La sede central del Tecnológico de Costa Rica carece de mapas de zonificación y caracterización geotécnica, por lo cual se recopilarán y analizarán los estudios de suelos existentes y se ejecutarán nuevas investigaciones en zonas inexploradas del campus, para generar mapas de clasificación y capacidad soportante del suelo en distintas profundidades, lo cual permite visualizar su variación vertical y horizontal del mismo.

El objetivo principal del proyecto es zonificar el campus de la sede central del Tecnológico de Costa Rica de acuerdo con las características geotécnicas del sitio.

Se agradece al Ing. Roberto Yglesias Cuadra y al Ing. Saúl Fernández Espinoza por facilitarme los estudios de suelo de la sede central de la institución, a los técnicos de laboratorio del Centro de Investigación en Vivienda y Construcción (CIVCO), los cuales me guiaron en la ejecución de los ensayos de laboratorio y muy especial a mi profesor guía el Ing. Alonso Poveda Montoya quien supo guiarme y asesorarme de excelente manera para que este proyecto haya sido posible, y a mi padre, madre, hermano y hermana por el apoyo brindado durante la carrera.

# Resumen ejecutivo

El desconocimiento de las propiedades físicas y mecánicas del suelo donde se pretende construir una obra civil, provoca que se presenten imprevistos y gastos extraordinarios, aparte de retrasos en la obra, los cuales pueden ser evitados con el estudio apropiado del suelo de la zona de construcción. En este estudio se presentaron mapas de capacidad soportante y tipo de suelo en el área de la sede central del Tecnológico de Costa Rica a 0,5m, 1,0m, 1,5m, 2,0m, 2,5m, 3,0m, 3,5m y 4m de profundidad a partir del nivel de terreno, generados por los métodos de interpolación espacial de Kriging ordinario y Peso Ponderado por el Inverso de la Distancia (IDW), y de este modo visualizar tanto la variación horizontal como vertical de las propiedades interpoladas.

Este proyecto lo dedico a mi padre, madre, hermano y hermana, por brindar apoyo en la ejecución de esta investigación y durante toda la carrera.

Se elaboraron mapas de capacidad de soporte última y tipo de suelo a 0,5m, 1,0m, 1,5m, 2,0m, 2,5m, 3,0m, 3,5m, y 4,0m de profundidad a partir del nivel de terreno, los cuales se encuentran estadísticamente validados por medio de errores de predicción, pruebas de normalidad Quantile-Quantile, histogramas. Además, con el fin de determinar la confiabilidad del pronóstico en las distintas zonas del espacio estudiado, se realizaron mapas de predicción de error. La Oficina de Ingeniería del Tecnológico de Costa Rica, diferentes empresas, estudiantes y la Escuela de Ingeniería en Construcción, pueden hacer uso de estos mapas como guía de diseño para darse una idea tanto del tipo de suelo que se presenta en la zona como de su resistencia.

Como objetivo principal de este proyecto, como se hizo mención anteriormente, se establece el zonificar el campus de la sede central del Tecnológico de Costa Rica de acuerdo a las características geotécnicas del sitio.

La recopilación de información geotécnica se efectuó en conjunto con la Oficina de Ingeniería del Tecnológico de Costa Rica, la cual brindó acceso a los estudios de suelo disponibles de las construcciones de la institución, de los que se extrajo información de espesor de cada estrato localizado, clasificación y descripción de cada estrato, la capacidad de soporte del suelo a diferente profundidad, así como la ubicación de cada sondeo.

Se efectuaron pruebas complementarias, las cuales se hicieron en zonas no exploradas del campus. Para la extracción de muestras e identificación del tipo de suelo, se llevaron a cabo Pruebas de Penetración Estándar (SPT) conforme a la norma ASTM D-1586, análisis granulométrico por tamizado (ASTM D-422), Límites de Atterberg (ASTM D-4318), además la clasificación del suelo se hizo a través del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) (ASTM D-2487).

Para la capacidad soportante del suelo se utilizó la fórmula de Peck, Hanson y Thornburn, que relaciona el número de golpes de la Prueba de Penetración Estándar (SPT) corregidos por un coeficiente de confinamiento efectivo, el cual considera asentamientos esperados de 25,4mm y que el nivel freático se encuentra a gran profundidad, con la resistencia del suelo.

Los sondeos se georreferenciaron con un Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS). Posteriormente, se realizaron tablas con las variables a interpolar y sus respectivas coordenadas. Las tablas mencionadas se cargaron al software ArcGis 10.3 (Arcmap), al cual se aplicó el método de Kriging ordinario y Peso Ponderado por el Inverso de la Distancia (IDW).

Para la interpolación de Kriging ordinario se escoge el semivariograma exponencial, ya que de entre todos los modelos de varigrafía, el exponencial es el que mejor se ajusta a la distribución de datos, debido a que se obtiene un menor error de predicción; aparte se observa la existencia de una correlación alta al principio y

conforme se avanza en el eje de las abscisas, la correlación disminuye exponencialmente.

Al ver el detallado de los mapas resultantes se concluye que la interpolación de Kriging ordinario de varigrafía exponencial, es el más adecuado para generar modelos en espacios muestrales reducidos como en el caso del terreno de la sede central del Tecnológico de Costa Rica, es decir que no distribuye el área con distinta cantidad de eventos, además presenta un menor error cuadrático medio, un error relativo más pequeño, así como una desviación típica próxima a uno, esto comparado con el método IDW.

La pérdida de sondeos a mayor profundidad se debe a la geología de la provincia de Cartago, pues predominan depósitos aluviales y coaluviales, en interacción con los fenómenos tanto de meteorización como erosión.

# Introducción

El Código de Cimentaciones de Costa Rica exige para identificar las características físicas y mecánicas del suelo, estudios preliminares, estudios de diseño y construcción y de comprobación. En este caso para clasificar el suelo como mínimo se estudia el contenido de humedad, peso volumétrico, granulometría y límites de plasticidad.

Desde su creación en 1971 hasta la fecha el Tecnológico de Costa Rica a través de la Oficina de Ingeniería, encomienda a distintas empresas estudios geotécnicos para las construcciones dentro de la institución.

El problema radica en que la sede central del Tecnológico de Costa Rica carece de mapas de zonificación y caracterización de los suelos, por lo que no se puede dar una idea del tipo de suelo y la resistencia del campus de la institución. Sólo se cuenta con estudios de suelos puntuales, los cuales brindan únicamente las características geotécnicas de una pequeña zona donde se construye la obra civil, y no ofrecen datos generales del comportamiento del suelo de todo el campus.

Debido a esta problemática, en este proyecto se realiza una recopilación de los estudios geotécnicos existentes y una investigación de los suelos en zonas no exploradas del campus. Con la ayuda de un Sistema Global de Navegación por Satélite (Su acrónimo en inglés, GNSS) y el software ArcGis 10.3 (Arcmap), se le otorga a cada perforación una determinada posición, por lo que todos los puntos en el espacio muestral se encuentran debidamente georeferenciados.

El tema de este proyecto se encuentra inmerso dentro del área de la geotecnia, específicamente en el campo de la geoestadística, por lo tanto es indispensable poseer algún conocimiento en geotecnia y estadística espacial.

Como objetivo principal de este proyecto, como se hizo mención anteriormente, se establece el zonificar el campus de la sede central del Tecnológico de Costa Rica de acuerdo a las características geotécnicas del sitio. De tal manera que para ejecutar los modelos de predicción, se escogieron los fenómenos de capacidad de soporte última y tipo de suelo, mediante la interpolación de Kriging ordinario y Peso Ponderado por el Inverso de la Distancia (IDW).

# Metodología

Para la investigación se recolectó la mayor cantidad de estudios geotécnicos realizados por distintas empresas para las construcciones de la sede central del Tecnológico de Costa Rica, además se llevaron a cabo estudios de suelo complementarios dentro del campus de la institución. Dichos ensayos fueron ejecutados con base en las normas American Society of Testing Materials (ASTM), por el Centro de Investigación en Vivienda y Construcción (CIVCO).

Respecto a la recopilación de información geotécnica, se realizó una investigación con ingenieros de la Oficina de Ingeniería del Tecnológico de Costa Rica para determinar la disponibilidad de estudios de suelo. En esta etapa se analizó cada estudio de suelo, se extrajo información relevante, como el espesor y profundidad de cada estrato localizado, clasificación y descripción de los estratos, la capacidad admisible a distinta profundidad, así como la ubicación de cada sondeo.

En el caso de las pruebas complementarias, se realizaron en zonas inexploradas del campus. Para la extracción de muestras e identificación del tipo de suelo se hicieron Pruebas de Penetración Estándar (SPT) conforme a la norma ASTM D-1586, que consiste en dejar caer un martillo de 64 kg sobre la barra de perforación, desde una altura de 76 cm. La resistencia a la penetración estándar se define como el número de golpes  $N_{SPT}$ , necesarios para penetrar 30 cm el muestreador en el suelo, sin considerar los primeros 15 cm de penetración.

Se llevaron a cabo ensayos que determinan el contenido de humedad en muestras de suelo, esto apegados a la norma ASTM D-2216, en la cual determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a  $110 \pm 5$  °C\*. El peso del suelo que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerado como el peso del agua.

Una muestra de suelo seco y triturado es lavado en un recipiente por medio de agitación manual, utilizando agua corriente. El agua del lavado (que contiene material suspendido y disuelto) es decantada y se pasa a través de la malla de 0,075 mm (No.200), hasta que el agua que pasa por la malla sea clara. La pérdida en masa que resulta del tratamiento de lavado se calcula como un porcentaje de masa del espécimen original y se reporta como el porcentaje de material más fino que la malla de 0,075 mm (No.200) por lavado.

Se efectuaron análisis granulométricos por tamizado (ASTM D-422) para determinar la uniformidad en el tamaño de las partículas y el porcentaje de material grueso y fino presente en cada muestra. Para obtener la distribución de tamaños, se emplean tamices normalizados y numerados, dispuestos en orden decreciente. En dichas mallas se agrega el material y con una técnica adecuada se tamiza y se obtiene el peso retenido en cada malla. Con la relación entre el peso retenido en cada tamiz y el peso seco total de la muestra de suelo se consigue el porcentaje retenido, posteriormente al sumar el porcentaje retenido en cada malla más el porcentaje retenido en la malla anterior, se obtiene el porcentaje retenido acumulado y este porcentaje al restarlo de cien se obtiene el porcentaje pasando en cada malla. Ya llegado a este se analiza la uniformidad de las partículas que conforman la muestra de suelo analizada.

Se llevaron a cabo ensayos de Límites de Atterberg (ASTM D-4318) al material fino (pasando el tamiz N°40) para conocer su plasticidad. El procedimiento para la obtención del límite líquido consiste en dejar caer una copa de bronce sobre la base por una leva operada por una manivela. Se coloca la pasta en la copa y se le hace una ranura, y el contenido de agua en porcentaje para cerrar la ranura 12,7 mm a los 25 golpes se alcanza el límite líquido. En el caso del límite plástico, el ensayo consiste en llegar al

contenido de humedad a la cual se desmoronen cilindros de 3 mm de diámetro.

La clasificación se hizo a través del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) (ASTM D-2487), con el fin de identificar tanto el material como sus características.

Para la capacidad soportante se utilizó la fórmula de Peck, Hanson y Thornburn, la cual relaciona el número de golpes corregido de la Prueba de Penetración Estándar (SPT) con la capacidad soportante del suelo, así mismo se utilizó el número de golpes del SPT para identificar la consistencia de cada estrato.

Superados los pasos anteriores se procedió a georreferenciar cada sondeo con el uso de un Sistema Global de Navegación por Satélite (Su acrónimo en inglés, GNSS), donde se localizaba cada sondeo dentro del campus. El sistema se dejaba en postproceso unos cuatro segundos en cada punto y se obtenían las coordenadas de cada perforación. Posteriormente se elaboraron tablas con número de perforación, tipo de suelo, capacidad admisible del mismo, con sus respectivas coordenadas y elevaciones.

Dichas tablas se cargaron al software ArcGis 10.3 (Arcmap), seguidamente se aplicó la interpolación espacial de Kriging Ordinario, el cual utiliza modelos estadísticos entre puntos medidos y la ponderación de valores circundantes para calcular una predicción de valores sin medición. Por medio de herramientas de graficación, Kriging hace una representación del error y el ajuste de las predicciones, para luego generar una superficie de predicción. El Peso Ponderado del Inverso de la Distancia (IDW) utiliza el inverso de la distancia elevada a una potencia. IDW hace uso de celdas de predicción donde los datos más cercanos al centro de la celda tienen menos error, y al utilizar la potencia en el inverso de la distancia en cada par de valores, genera una superficie de predicción. De esta manera se obtuvieron mapas de clasificación y capacidad soportante del suelo a diferente profundidad.

# Material rocoso

Para efectuar el análisis de los estratos de suelo más firmes, es necesario conocer los tipos de rocas, su clasificación y propiedades.

## Clasificación de las rocas

La clasificación de las rocas está basada en las características que pueden ser observadas directamente en el campo, en consecuencia, para clasificar una roca se deben tomar en cuenta, como factores principales, su composición mineralógica y su textura.

Una vez que se ha examinado cuidadosamente la muestra de roca, deberán definirse, en el orden que se indica, los tres aspectos fundamentales siguientes: la textura, la composición mineralógica y el grupo al cual pertenece (ígnea, sedimentaria o metamórfica). Las rocas ígneas o magmáticas se forman cuando el magma se enfría y se solidifica, cuando el enfriamiento se produce lentamente y bajo la superficie, se producen rocas con cristales denominadas plutónicas o intrusivas, y si el enfriamiento ocurre rápidamente se forman rocas volcánicas. Las rocas sedimentarias se forman por la acumulación de sedimentos, que son partículas de diversos tamaños transportados por el agua, el viento o el hielo y son sometidas a procesos físicos y químicos (diagénesis), que dan lugar a materiales consolidados. Las rocas metamórficas son formadas por otras rocas preexistentes en el interior de la tierra mediante un proceso llamado metamorfismo, llevado a cabo a través de calor, presión, fluidos químicamente activos que producen la transformación de rocas que sufren cambios en su estructura y mineralogía.

Tabla 1. Clasificación de rocas

|               |                 |                  |   |
|---------------|-----------------|------------------|---|
| Ígneas        | Ácidas          | De grano grueso  | Granito-Diorita                             |
|               |                 | De grano fino    | Andesita-Riolita                            |
|               | Básicas         | De grano grueso  | Gabro                                       |
|               |                 | De grano fino    | Basalto                                     |
|               | No granulares   |                  | Pedernal-Obsidiana                          |
| Sedimentarias | De grano grueso |                  | Conglomerado-Brecha<br>Pudinga              |
|               | De grano fino   |                  | Arenisca-Ortocuarcita<br>Limolita-Arcillita |
|               | No granulares   |                  | Caliza-Dolomita                             |
|               | Cristalinas     |                  | Yeso-Anhidrita                              |
|               | Metamórficas    | De grano grueso  |   |
| De grano fino |                 | Pizarra-Esquisto |   |
| No granulares |                 | Cuarcita-Mármol  |   |

Fuente. Manual de Penetración y Voladura de Rocas de España, 1994

## Características mecánicas de las rocas

Las condiciones mecánicas de una roca las definen el grado de cristalización y el tamaño de los cristales, la velocidad de enfriamiento, los rasgos morfológicos megascópicos, las deformaciones y discontinuidades, el tamaño de grano y la orientación de los cristales que conforman la roca.

Generalmente las rocas presentan un comportamiento frágil, es decir, carecen de ductilidad, por lo que fallan de manera súbita. Cuanto más pequeño el tamaño de grano de la roca y la orientación homogénea, se presenta mejor resistencia a la compresión, ya que existen más granos que transmiten esfuerzos unos a otros, esto en comparación con una roca de tamaño de grano más grande y orientación dispersa de los cristales.

Tabla 2. Resistencia a la compresión simple de los tipos de roca

| Tipo de roca     | Resistencia a la compresión simple (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|------------------|--|
| Andesita         | 1500 - 2500  |
| Arcillita        | 280 - 800  |
| Arenisca         | 80 - 2000  |
| Basalto          | 2000 - 4000  |
| Caliza           | 800 - 1500   |
| Conglomerado     | 1400   |
| Cuarcita         | 900 - 4700   |
| Dacita           | 1200 - 5000  |
| Diabasa          | 1600 - 2400  |
| Dolomía          | 360 - 5600   |
| Esquisto         | 108 - 2300   |
| Gabro            | 1500 - 2800  |
| Gneis            | 1500 - 3000  |
| Granito alterado | 108 - 1450   |
| Granito sano     | 800 - 2700   |
| Grauvaca         | 2000 - 2500  |
| Marga            | 35 - 1970  |
| Mármol           | 800 - 1500   |
| Micacita         | 200 - 653  |
| Pizarra          | 2000 - 2500  |
| Riolita          | 800 - 1600   |
| Traquita         | 3300   |
| Yeso             | 40 - 430   |

Fuente. Manual de Penetración y Voladura de Rocas de España, 1994

Tabla 3. Consistencia de los tipos de roca, en relación con la resistencia a la compresión simple

| Consistencia      | Resistencia a la compresión simple (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------|--|
| Muy blanda        | 10 - 15  |
| Blanda            | 50 - 250   |
| Media             | 250 - 500  |
| Medianamente dura | 500 - 1000   |
| Dura              | 1000 - 2500  |
| Muy dura          | > 2500   |

Fuente. Manual de Penetración y Voladura de Rocas de España, 1994

## Geología de Cartago, Costa Rica

En el Valle Central predominan depósitos aluviales y coaluviales debido a la actividad volcánica en el Pleistoceno – Holoceno, esto colmata la cuenca del Valle Central, continentalizado desde el Mioceno superior, dando paso a la formación de lahares. El levantamiento diferencial de la cuenca condujo a su meteorización y erosión, así como a la consecuente acumulación de aluvias y coluvias.

El área de Cartago se encuentra asentada sobre una secuencia volcánica y sedimentaria desde el Mioceno hasta el Pleistoceno. En la cordillera actual permanecen depósitos fluviales y lacustres, donde se dan las interestratificaciones de conglomerados brechosos y areniscas conglomeráticas muy resistentes a la meteorización, limolitas, así como presencia en gran medida de lutitas, todas tobáceas, con espesores mayores a 1148m.

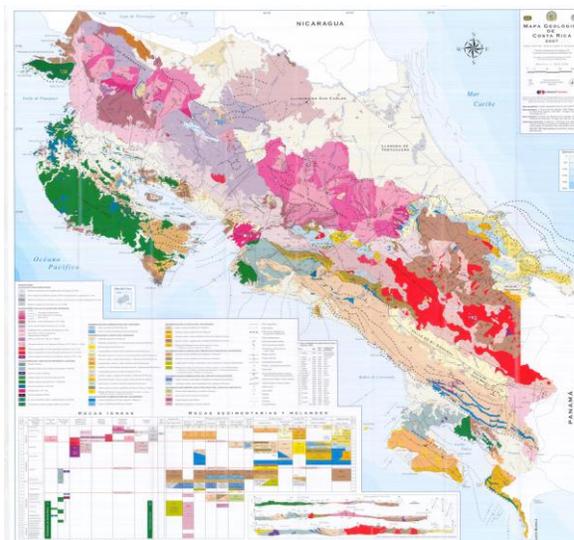


Figura 1. Mapa geológico de Costa Rica  
Fuente. Denyer y Kussmaul, 2000

# Tipos de suelo

Para realizar el análisis del suelo es necesario conocer los tipos de suelo y sus características.

## Suelos granulares

Los suelos granulares están formados mayoritariamente por gravas y arenas. La resistencia de estos suelos se da por las fuerzas de fricción, es decir el rozamiento interno de sus granos, y pueden soportar cargas en función de su compactación.

### Gravas

Son fragmentos de roca cuyo tamaño van de 2 mm a 250 mm. Los tamaños son variados, de formas redondeadas o angulares. Se encuentran combinadas con otros tipos de suelo y habrá que darle tratamientos como a los cantos gruesos.

### Arenas

Son pequeñas partículas de formas redondeadas o angulosas que proceden de rocas disgregadas.

Tabla 4. Clasificación de las arenas

| Tipo de arena | Diámetros       |
|---------------|-----------------|
| Arena fina    | 0,005 - 0,25 mm |
| Arena media   | 0,2 - 0,6 mm    |
| Arena gruesa  | 2,0 - 2,5 mm    |

Fuente. Das, 2001

Estas se constituyen en suelos que no tienen cohesión, estando limpias no se contraen al secarse, son mucho menos compresibles que las arcillas y si se aplica una carga en su superficie, se comprimen casi de manera instantánea.

Las arenas limosas o materiales arenosos normalmente son buenos para cimentación. Sin embargo, cuando la arena es muy fina y suelta disminuye su resistencia y capacidad de soportar cargas. Los suelos arenosos como Limo arenoso, arena limosa, arenas puras, y otras; son muy susceptibles a los problemas de erosión, socavación, y a disminuir rápidamente su resistencia. Este tipo de suelo se mejora con un tratamiento ligante y confinante, de esta forma se vuelve apto para cimentación.

## Suelos finos

Los suelos finos están compuestos de fragmentos diminutos de roca, minerales y minerales de arcilla. De acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), estas partículas tienen un tamaño inferior a 0,075 mm, que corresponden a la categoría de limo y arcilla.

### Limos

Son suelos compuestos de partículas muy finas, con poca o ninguna plasticidad, cuyos diámetros varían de 0.05 a 0.005 mm aproximadamente. Los limos orgánicos generalmente se encuentran mezclados con materia orgánica finalmente dividida, de olor desagradable si está contaminada. Los limos sueltos y saturados son completamente inadecuados para soportar cargas a través de la estructura de cimentación.

La permeabilidad de los limos es muy baja y su compresibilidad muy alta. Los limos de no encontrarse en estado denso, no se consideran buenos para cimentar, en espesor grueso son buenos para cimentar. Son suelos de partículas muy finas que a veces pueden confundirse con la arcilla, debido a que algunos presentan cierta plasticidad por asociaciones arcillosas, lo cual modifica su típico comportamiento, en relación con la consistencia, resistencia y capacidad de carga; aunque esta plasticidad se puede disminuir combinándolo con un suelo arenoso.

## **Arcillas**

Están compuestas de partículas finas, generalmente en forma de laminillas o escamas, cuyos diámetros llegan a ser menores de 0.005 mm. Las arcillas se vuelven plásticas cuando se humedecen, pero pierden la plasticidad y se contraen al secarse. Presentan marcada cohesión según su humedad, son compresibles y al aplicarles una carga en su superficie se comprimen lentamente, es muy sensible a los cambios volumétricos y a las contracciones principalmente perdiendo su resistencia y capacidad de carga.

# Otros tipos de suelo

## **Turba**

Es suelo constituido por materia orgánica parcialmente descompuesta. La turba es inservible en suelo de cimentación o como material de relleno.

## **Tierra vegetal**

Es una mezcla de arena, limo o arcilla, o una combinación de cualquiera de ellos, además de materia orgánica.

# Ensayos de campo y laboratorio

Para conocer las propiedades físicas y mecánicas del suelo, así como el analizar el tipo de suelo con el que se trabaja, es necesario efectuar distintas pruebas de campo y laboratorio.

## Pruebas de campo

Los ensayos geotécnicos de campo se realizan en la etapa de exploración y muestreo. En esta etapa se define la estratigrafía del suelo, y en este caso mediante la Prueba de Penetración Estándar (SPT), se conoce el comportamiento mecánico de los suelos.

### Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

Se realizaron perforaciones a distintas profundidades por medio del Ensayo de Penetración Estándar descrito en la norma ASTM D-1586, que consiste en dejar caer un martillo de 64 kg sobre la barra de perforación, desde una altura de 76 cm. La resistencia a la penetración estándar se define como el número de golpes  $N_{SPT}$ , necesarios para penetrar 30 cm el muestreador en el suelo, sin considerar los primeros 15 cm de penetración.

Para identificar la densidad de las arenas y la consistencia de los suelos finos a distintas profundidades se utilizan las tablas 5 y 6 que brindan correlaciones entre el número de golpes y el estado del suelo.

Tabla 5. Relación de la compacidad en suelos granulares con el número de golpes del SPT

| Compacidad | N (SPT) |
|------------|---------|
| Muy suelta | < 4     |
| Suelta     | 4 - 10  |
| Compacta   | 10 - 30 |
| Densa      | 30 - 50 |
| Muy densa  | > 50    |

Fuente. Villalaz, 2004

Tabla 6. Relación de la consistencia en suelos cohesivos con el número de golpes del SPT

| Consistencia | N (SPT) |
|--------------|---------|
| Muy blanda   | < 2     |
| Blanda       | 2 - 4   |
| Mediana      | 4 - 8   |
| Compacta     | 8 - 15  |
| Muy compacta | 15 - 30 |
| Dura         | > 30    |

Fuente. Villalaz, 2004

La resistencia a la penetración estándar se determina mediante la siguiente ecuación:

$$N_{SPT} = N_{15-30} + N_{30-45} \quad (\text{ec } 6)$$

Donde:

$N_{SPT}$ : Resistencia a la penetración estándar

$N_{15-30}$ : Número de golpes en el intervalo de profundidad de 15 cm a 30 cm

$N_{30-45}$ : Número de golpes en el intervalo de profundidad de 30 cm a 45 cm

La influencia en la presión vertical efectiva con el número de golpes  $N_{SPT}$  muestra que la resistencia a la penetración estándar en un depósito de arena incrementa con la profundidad, de igual manera o hará la densidad relativa ( $D_r$ ).

Para determinar el parámetro de resistencia  $\phi$  en los diferentes depósitos de arena de manera

cuantitativa, se realizó corrección al número de golpes  $N_{SPT}$  para determinar  $N_{60}$  (Coduto, 1999), mediante la siguiente ecuación:

$$N_{60} = \frac{EmCbCcCr.Nspt}{0.60} \quad (\text{ec } 7)$$

Donde:

$N_{60}$ : Valor corregido de NSPT por procedimiento de ensayos de campo

$Em$ : Eficiencia del martinete, (0.45 para martinete de cadena, 0.60 para martinete de seguridad)

$Cb$ : Corrección del diámetro de perforación (1.05 para diámetro de 150 mm)

$Cs$ : Corrección por muestreo (1.0 para muestreo estándar)

$Cr$ : Corrección por longitud de barras de perforación (0.75 para longitudes de 3-4 m)

NSPT: Número de golpes en ensayo SPT

Para obtener el valor de  $\phi'$ , se utilizó la correlación de Hatanaka y Uchida (Das, 2012) expresado con la siguiente ecuación:

$$\phi' = x = \sqrt{20(N_{60})} + 20 \quad (\text{ec } 8)$$

Donde:

$\phi'$ : Resistencia a la penetración estándar en depósitos arenosos

$N_{60}$ : Valor corregido de NSPT por procedimiento de ensayos de campo

## Pruebas efectuadas en el laboratorio

### Muestreo de materiales

El propósito del muestreo de materiales es garantizar la representatividad de la muestra respecto a la fuente de extracción.

El método del cuarteo sirve para la reducción de muestras de agregado y suelos de gran tamaño a muestras con un tamaño apropiado para llevar a cabo las pruebas en el laboratorio. Este método es empleado para disminuir las variaciones en las características del material

entre las muestras de prueba y el material muestreado.

Para llevar a cabo el cuarteo, primero se coloca una lona sobre una superficie firme, rígida y lisa, en la cual se coloca la muestra para homogenizar, posteriormente se forma un pequeño apilamiento cónico, donde se nivela la superficie del apilamiento con espesor y diámetro uniforme, luego se separa el apilamiento aplanado y uniforme en cuatro porciones mediante una varilla o placa, después se remueven las esquinas opuestas, finalmente se continua separando el material hasta alcanzar la cantidad requerida. Este procedimiento se amplía en la norma ASTM C-702.

### Porcentaje de humedad

La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas.

Se determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a  $110 \pm 5$  °C\*. El peso del suelo que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerado como el peso del agua. La norma que rige este ensayo es la ASTM D- 2216.

### Análisis granulométrico

Su finalidad es obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo. Así es posible también su clasificación mediante sistemas como AASHTO o SUCS. El ensayo es importante, ya que gran parte de los criterios de aceptación de suelos para ser utilizados en bases o sub-bases de carreteras, presas de tierra o diques, drenajes, etc., depende de este análisis. Para obtener la distribución de tamaños, se emplean tamices normalizados y numerados, dispuestos en orden decreciente. La norma que rige este ensayo es la ASTM D-422 que es el análisis granulométrico por tamizado.

| Tamiz (ASTM) | Tamiz (Nch) (mm.) | Abertura real (mm.) | Tipo de suelo |
|--------------|-------------------|---------------------|---------------|
| 3 "          | 80                | 76,12               | GRAVA         |
| 2 "          | 50                | 50,80               |               |
| 1 1/2 "      | 40                | 38,10               |               |
| 1 "          | 25                | 25,40               |               |
| 3/4 "        | 20                | 19,05               |               |
| 3/8 "        | 10                | 9,52                | ARENA GRUESA  |
| Nº 4         | 5                 | 4,76                |               |
| Nº 10        | 2                 | 2,00                |               |
| Nº 20        | 0,90              | 0,84                | ARENA MEDIA   |
| Nº 40        | 0,50              | 0,42                |               |
| Nº 60        | 0,30              | 0,25                |               |
| Nº 140       | 0,10              | 0,105               | ARENA FINA    |
| Nº 200       | 0,08              | 0,074               |               |

Figura 2. Numeración y abertura de tamices  
Fuente. Badillo y Rodríguez, 2005

$$\% \text{retenido} = \frac{WR}{WST} * 100 \quad (\text{ec } 2)$$

$$\% \text{retenido acumulado} = \% \text{retenido en la malla} + \% \text{retenido en la malla anterior} \quad (\text{ec } 3)$$

$$\% \text{pasando} = 100 - \% \text{retenido acumulado} \quad (\text{ec } 4)$$

$$\% \text{pasando} \# 200 = \frac{(WST - WSL) + Wcharola}{WST} * 100 \quad (\text{ec } 5)$$

Donde:

WR: Peso retenido en cada malla

WST: Peso seco

WSL: Peso seco lavado

Wcharola: Peso retenido en la charola.

## Límites de consistencia

La consistencia de los suelos finos se refiere al grado de adhesión entre las partículas del suelo y a la resistencia ofrecida contra las fuerzas que tienden a deformar o romper el suelo.

Los límites de Atterberg se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo de su propia naturaleza y la cantidad de agua que contengan. Así, un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico y líquido o viscoso.

La arcilla, por ejemplo, si está seca se encuentra muy suelta o en terrones; añadiendo agua adquiere una consistencia similar a una pasta, y añadiendo más agua adquiere una consistencia fluida.

Los límites de consistencia se basan en que en un suelo fino existen cuatro estados de consistencia según su contenido de agua. Se

encuentra en estado sólido cuando está seco, y al añadir agua se pasa al estado semisólido, plástico y líquido. Los puntos de transición de un estado a otro se denominan límite de contracción, límite plástico y límite líquido.

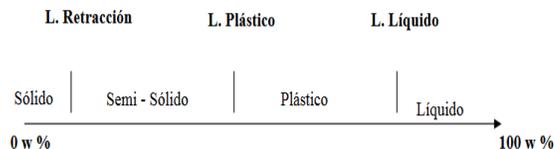


Figura 3. Límites de consistencia del suelo  
Fuente. Villalaz, 2004

El límite líquido se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico.

En el año de 1932 Casagrande concluyó que cada golpe de un dispositivo estándar para límite líquido corresponde a una resistencia cortante del suelo, de aproximadamente 1gr/cm<sup>2</sup> (0.1 KN/m<sup>2</sup>). Por consiguiente, el límite líquido de un suelo de grado fino da el contenido de agua, para el cual la resistencia cortante del suelo es aproximadamente de 25gr/cm<sup>2</sup> (2.5 KN/m<sup>2</sup>). El procedimiento de esta prueba en el laboratorio se realiza de la siguiente manera: Consiste en una copa de bronce y una base de hule duro, esta copa, se deja caer sobre la base por una leva operada por una manivela. Para la prueba se coloca una pasta en la copa, se corta una ranura en el centro de la pasta de suelo, usando la herramienta de corte estándar, luego con la leva operada por la manivela, se levanta la copa y se deja caer desde una altura de 10 mm. El contenido de agua, en porcentaje requerido para cerrar una distancia de 12.7 mm a lo largo del fondo de la ranura a los 25 golpes se define como el límite líquido. Este procedimiento se amplía en las Normas ASTM D- 4318.

El límite plástico se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico.

La prueba en el laboratorio se ejecuta formando cilindros delgados con una muestra de suelo plástico con un diámetro de 3 mm, si el suelo no se desmorona, se recoge el cilindro, se vuelve a amasar y se rola de nuevo. Se repite este proceso hasta que el cilindro comienza a desmoronarse hasta adquirir un diámetro de 3mm.

A la humedad a la cual se desmorona el cilindro se conoce como límite plástico.

El índice de plasticidad (IP) es el rango entre el límite líquido y el límite plástico, y representa el intervalo de humedades para pasar del estado semisólido al líquido de un suelo.

$$IP(\%) = LL - LP \quad (\text{ec } 1)$$

Donde:

*LL*: Límite líquido

*LP*: Límite plástico

*IP*: Índice de plasticidad

Los resultados de los ensayos de los límites se grafican en la carta de plasticidad donde el eje de las abscisas son los valores del límite líquido y las ordenadas el índice plástico, de esta manera se identifica la plasticidad del suelo fino y su clasificación.

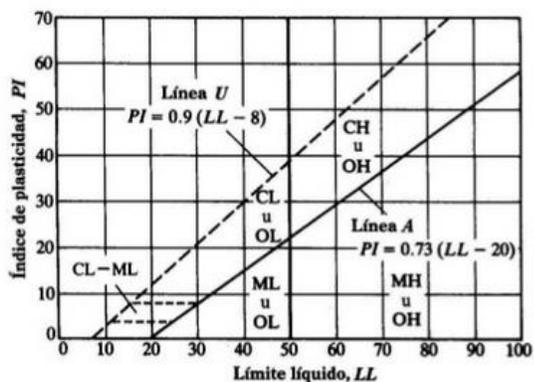


Figura 4. Carta de plasticidad  
Fuente. Rico y Del Castillo, 2005

# Clasificación de suelos

Una vez que se conoce la distribución de tamaño de partículas del suelo, así como su plasticidad, se procede a su clasificación. En este el suelo se va a clasificar mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y el sistema AASHTO (AASHTO M-45).

Para clasificar un suelo es necesario agruparlo en un número reducido de tipos donde se conocen sus descripciones y resistencia, de tal modo que se pueda identificar y tener una idea de su futuro comportamiento en cualquier tipo de obra.

En la clasificación de suelos se tiene la gran ventaja de la notación corta, así, los suelos con propiedades similares se clasifican en grupos o subgrupos basados en su comportamiento ingenieril. Para expresar en forma clara las características generales de los suelos existen los sistemas de clasificación, los cuales brindan información general para identificar un suelo.

Ambos sistemas clasifican el suelo en grupos y subgrupos basándose en el comportamiento ingenieril. La norma AASHTO de clasificación de suelos es muy usada en Estados Unidos en construcción de carreteras, se agrupa el suelo según su comportamiento como capa de soporte o asiento del firme. Utiliza un sistema de letras y números para designar categorías y subcategorías del suelo, esto a diferencia del sistema SUCS que utiliza únicamente letras para definir grupos y subgrupos en la clasificación de suelos.

## Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Para clasificar el suelo del Tecnológico de Costa Rica, se utilizó el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), según la norma ASTM D-2487. Este sistema de clasificación puede ser aplicado a la mayoría de los materiales sin consolidar y se representa mediante un símbolo con dos letras. Cada letra es descrita debajo (con la excepción de Pt). Para clasificar el suelo hay que realizar previamente una granulometría del suelo mediante tamizado u otros. También se le denomina clasificación modificada de Casagrande.

Este sistema clasifica los suelos en suelos de grano grueso, los cuales son de naturaleza tipo grava y arenosa con menos del 50% pasando por la malla No.200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo G o S; donde “G” significa grava o suelo gravoso y “S” significa arena o suelo arenoso y suelos de grano fino con 50% o más pasando por la malla No.200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo “M”, que significa limo inorgánico, “C” para arcilla inorgánica u “O” para limos y arcillas orgánicos. El símbolo “Pt” se usa para turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos.

Para una clasificación apropiada con este sistema se recomienda usar los símbolos de grupo para suelos tipo grava de grano grueso son GW, GP, GM, GC, GC-GM, GW-GM, GW-GC, GP-GM y GP-GC. Similarmente, los símbolos de grupo para suelos de grano fino son CL, ML, OL, CH, MH, OH, CL-ML, y Pt.

Donde

W: bien graduado

P: mal graduado

L: baja plasticidad (límite líquido menor que 50)

H: alta plasticidad (límite líquido mayor que 50)

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (SUOS) ASTM D-1487

| Criterio para la asignación de símbolos de grupo y nombre de grupo en el caso de ensayos de laboratorio |   | Clasificación suelos                                       |   |                                 |                             |
|---|---|--|---|---------------------------------|-----------------------------|
|   |   | Símbolo de grupo   | Nombre del grupo  |                                 |                             |
| Gravas limpias<br>Más del 5% para la malla No. 200  | Cu > 4 y 5 Cu < 3   | GM   | Grava bien graduada   |                                 |                             |
|   | Cu < 4 y 5 Cu > 3   | GP   | Grava mal graduada  |                                 |                             |
|   | Gravas con finos<br>Más del 5% de la fracción gruesa retenida en la malla No. 4 | IP < 4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad | GM  | Grava limosa                    |                             |
|   |   | IP > 7 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad | GC  | Grava arcillosa                 |                             |
|   | Gravas limpias y con finos<br>Entre el 5 y 12% para malla No. 200               | Cumple los criterios para GM y GM                          | GM-GM   | Grava bien graduada con limo    |                             |
|   |   | Cumple los criterios para GM y GC                          | GM-GC   | Grava bien graduada con arcilla |                             |
|   |   | Cumple los criterios para GP y GM                          | GP-GM   | Grava mal graduada con limo     |                             |
|   |   | Cumple los criterios para GP y GC                          | GP-GC   | Grava mal graduada con arcilla  |                             |
|   | Arenas limpias<br>Más del 5% para la malla No. 200                              | Cu > 6 y 5 Cu < 3  | SM  | Arena bien graduada             |                             |
|   |   | Cu < 6 y 5 Cu > 3  | SP  | Arena mal graduada              |                             |
| Arenas con finos<br>Más del 5% de la fracción gruesa para la malla No. 4                                |   | IP < 4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad | SM  | Arena limosa                    |                             |
|   |   | IP > 7 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad | SC  | Arena arcillosa                 |                             |
| Arenas limpias y con finos<br>Entre el 5 y 12% para malla No. 200                                       |   | Cumple los criterios para SM y SM                          | SM-SM   | Arena bien graduada con limo    |                             |
|   |   | Cumple los criterios para SM y SC                          | SM-SC   | Arena bien graduada con arcilla |                             |
|   |   | Cumple los criterios para SP y SM                          | SP-SM   | Arena mal graduada con limo     |                             |
|   |   | Cumple los criterios para SP y SC                          | SP-SC   | Arena mal graduada con arcilla  |                             |
| Suelos de partículas gruesas más del 50% de retenido en la malla No. 200                                |   | Inorgánicos  | IP > 7 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A" | CL                              | Arcilla de baja plasticidad |
|   |   |  | IP < 4 y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"  | ML                              | Limo de baja plasticidad    |
|   | Limos y arcillas<br>Límite Líquido mayor que 50                                 | Orgánicos  | Límite líquido - seco al horno < 0.75                                 | OL                              | Arcilla orgánica            |
|   |   |  | Límite líquido - no secado < 0.75                                     | UOL                             | Limo orgánico               |
|   | Limos y arcillas<br>Límite Líquido mayor que 50                                 | Inorgánicos  | IP > 7 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A" | CH                              | Arcilla de alta plasticidad |
|   |   |  | IP < 4 y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"  | MH                              | Limo de alta plasticidad    |
|   |   | Orgánicos  | Límite líquido - seco al horno < 0.75                                 | OH                              | Arcilla orgánica            |
|   |   |  | Límite líquido - no secado < 0.75                                     | UOH                             | Limo orgánico               |
|   | Suelos altamente orgánicos  | Principalmente materia orgánica de color oscuro            | PT  | Turba                           |                             |

Figura 5. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos  
Fuente. ASTM D-2487, 2011

## Sistema AASHTO de clasificación de suelos

Este sistema de clasificación de suelos está regido por la norma AASHTO M-45. En esta clasificación los suelos se clasifican en siete grupos (A-1, A-2, ..., A-7), según su granulometría y plasticidad. Más concretamente, en función del porcentaje que pasa por los tamices nº 200, 40 y 10, y de los Límites de Atterberg de la fracción que pasa por el tamiz nº 40. Estos siete grupos se corresponden a dos grandes categorías de suelos, suelos granulares (con no más del 35% que pasa por el tamiz nº 200) y suelos limo-arcillosos (más del 35% que pasa por el tamiz nº 200).

La categoría de los suelos granulares; gravas, arenas y zahorras está compuesta por los grupos A-1, A-2 y A-3, y su comportamiento en explanadas es, en general, de bueno a excelente, salvo los subgrupos A-2-6 y A-2-7, que se comportan como los suelos arcillosos debido a la

alta plasticidad de los finos que contiene, siempre que el porcentaje de estos supere el 15%. Los grupos incluidos por los suelos granulares son los siguientes:

- A-1: Corresponde a una mezcla bien graduada de gravas, arenas (gruesa y fina) y finos no plásticos o muy plásticos. También se incluyen en este grupo las mezclas bien graduadas de gravas y arenas sin finos.
- A-1-a: Incluye los suelos con predominio de gravas, con o sin material fino bien graduado
- A-1-b: Incluye suelos constituidos principalmente por arenas gruesas, con o sin material fino bien graduado.
- A-3: Corresponde, típicamente, a suelos constituidos por arena fina de playa o de duna, de origen eólico, sin finos limosos o arcillosos o con una pequeña cantidad de limo no plástico. También incluyen este grupo los depósitos fluviales de arena fina mal graduada con pequeñas cantidades de arena gruesa o grava.
- A-2: Este grupo comprende a todos los suelos que contienen un 35% o menos de material que pasa por el tamiz nº 200 y que no pueden ser clasificados en los grupos A-1 y A-3, debido a que el porcentaje de finos o la plasticidad de estos (o ambas cosas) están por encima de los límites fijados para dichos grupos. Por todo esto, este grupo contiene una gran variedad de suelos granulares que estarán entre los correspondientes a los grupos A-1 y A-3 y a los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7.
- A-2-4 y A-2-5: En estos subgrupos se incluyen los suelos que contienen un 35% o menos de material que pasa por el tamiz nº 200 y cuya fracción que pasa por el tamiz nº 40 tiene las características de los grupos A-4 y A-5 de suelos limosos. En estos subgrupos están incluidos los suelos compuestos por grava y arena gruesa con contenidos de limo o índices de plasticidad por encima de las limitaciones del grupo A-1, y los suelos compuestos por arena fina con una proporción de limo no plástico que excede la limitación del grupo A-3.

- A-2-6 y A-2-7: En estos subgrupos se incluyen suelos como los descritos para en los subgrupos A-2-4 y A-2-5, excepto que los finos contienen arcilla plástica, contienen las características de los grupos A-6 y A-7.

La categoría de los suelos limo-arcillosos está compuesta por los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, cuyo comportamiento en explanadas va de regular a malo. En esta categoría los suelos se clasifican en los distintos grupos atendiendo únicamente a su límite líquido y a su índice de plasticidad, según las zonas del siguiente gráfico de plasticidad. De esta forma se clasifican también los suelos del grupo A-2 en los distintos subgrupos.

# Propiedades mecánicas y físicas del suelo

Estas propiedades son necesarias para determinar la resistencia del suelo y así estimar el comportamiento que tendrá al pasar el tiempo.

## Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas sirven para conocer la respuesta del suelo al ser sometido a diferentes tipos de cargas a través de estructuras de cimentación.

La capacidad admisible es la carga que puede ser aplicada al suelo sin producir defectos en la estructura soportada, teniendo, además, un margen de seguridad dado por el coeficiente de seguridad adoptado. La carga admisible no depende únicamente del terreno, sino también de la cimentación, características de la estructura y del coeficiente de seguridad que se adopte en cada caso. (Villalaz, 2004).

La ecuación más utilizada para determinar la capacidad de soporte admisible ( $q_a$ ) de un suelo es la presentada por Peck, Hanson & Thornburn (1974).

$$q_a \text{ (kg/m}^2\text{)} = 1000 N_{\text{Corregido}} \quad (\text{ec } 9)$$

$$N_{\text{Corregido}} = N_{\text{Campo}} \cdot C_N \quad (\text{ec } 10)$$

Según los autores como Peck, Hansen, y Thornburn (1974), se considera que:

$$C_N = 0,77 \log(200/\sigma'_{vo}) \leq 2 \quad (\text{ec } 11)$$

En esta expresión se considera la corrección por confinamiento efectivo y se considera, además, un asentamiento esperado de 25.4 mm y que el nivel freático se encuentra a gran profundidad.

Donde:

$C_N$  = coeficiente de corrección por confinamiento efectivo

$N_{\text{Corregido}}$  = número de golpes SPT corregido

$N_{\text{Campo}}$  = número de golpes SPT de campo

$q_a$  = capacidad de soporte admisible

$\sigma'_{vo}$  = esfuerzo efectivo vertical en (T/m<sup>2</sup>)

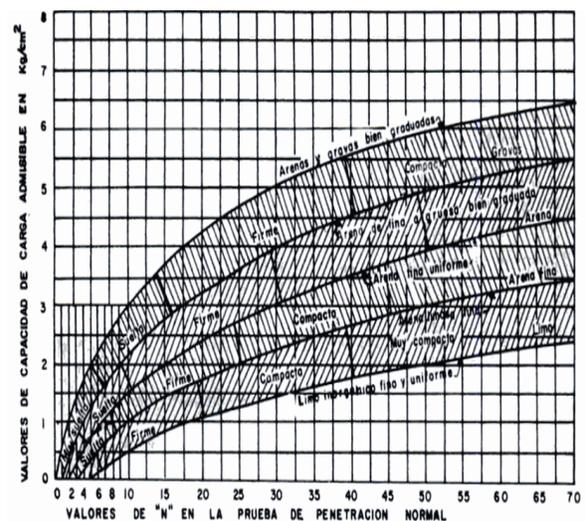


Figura 6. Capacidad admisible de suelos granulares en relación con el número de golpes de la Prueba de Penetración Estándar.

Fuente. Villalaz, 2004

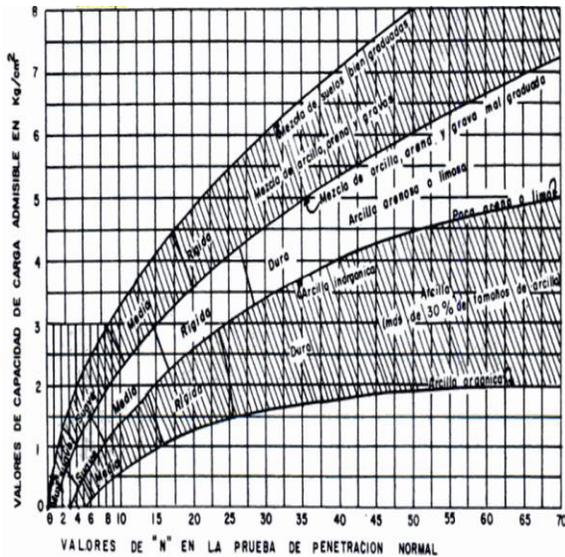


Figura 7. Capacidad admisible en arcillas y mezclas de suelos en relación con el número de golpes de la Prueba de Penetración Estándar.  
Fuente. Villalaz, 2004

## Propiedades físicas

Los suelos se pueden diferenciar entre sí, a través de sus propiedades físicas en formas cualitativas como la textura, la cual es el grado de fineza y uniformidad del suelo descrito según la sensación que produce el tacto y por descripción visual, la estructura o forma en que las partículas de suelo se disponen (entre sí) dentro de la masa del suelo, conformando su esqueleto, la consistencia que define es el grado de tracción entre las partículas del suelo y la resistencia ofrecida a las fuerzas que tienden a deformar o a romper en sí el suelo, se describe como dura, frágil, friable, pegajosa, plástica y blanda. A los suelos en general a partir de la estructura que tienen en estado natural se le determina sus propiedades físicas, considerando que están compuestos en tres porciones fundamentales, una sólida de suelos propiamente dicho, otra líquida en forma de contenido de agua y otra gaseosa en forma de combinación de distintos gases acumulados en el subsuelo de la corteza terrestre.

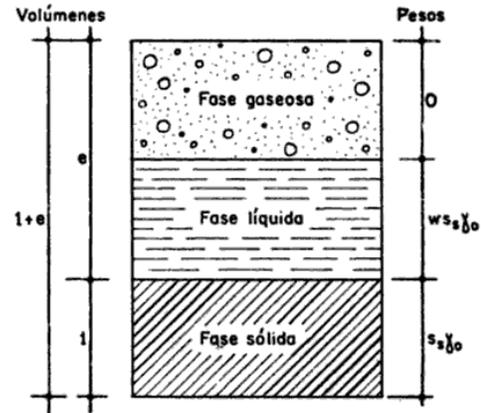


Figura 8. Fases fundamentales del suelo  
Fuente. Badillo y Rodríguez 2005

Las propiedades cuantitativas son determinadas por medio de ensayos de laboratorio, tal como el peso específico seco que define la relación entre el peso seco del suelo (secado al horno a 105°C +/- 5°C) con respecto a su volumen total. El peso específico saturado que es la relación entre el peso del suelo saturado del agua estado natural y el volumen total del suelo.

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_m} \quad (\text{ec } 12)$$

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{W_s - W_w}{V_m} \quad (\text{ec } 13)$$

Donde:

- $\gamma_s$ : peso específico seco
- $\gamma_{\text{sat}}$ : peso específico saturado
- $W_s$ : peso del suelo seco
- $V_m$ : volumen total del suelo
- $W_w$ : peso del agua

Tabla 7. Relación de la cantidad de golpes de la Prueba de Penetración Estándar con el peso específico seco en suelos granulares

| <b>N<sub>SPT</sub></b> | <b>Peso específico seco (g/cm<sup>3</sup>)</b> |
|------------------------|--|
| 70 - 90                | 2,04 - 2,21                                    |
| 65 - 70                | 1,89 - 2,04                                    |
| 50 - 65                | 1,76 - 1,89                                    |
| 45 - 50                | 1,65 - 1,76                                    |
| 35 - 45                | 1,49 - 1,65                                    |
| 4 - 35                 | 1,35 - 1,49                                    |

Fuente. Naranjo y Dranichnikov, 2012

Tabla 8. Relación de la cantidad de golpes de la Prueba de Penetración Estándar con el peso específico seco en suelos finos

| <b>N<sub>SPT</sub></b> | <b>Peso específico seco (g/cm<sup>3</sup>)</b> |
|------------------------|--|
| > 30                   | > 2  |
| 15 - 30                | 2,08 - 2,24                                    |
| 8 - 15                 | 1,92 - 2,08                                    |
| 4 - 8                  | 1,76 - 1,92                                    |
| 2 - 4                  | 1,60 - 1,76                                    |
| < 2                    | 1,44 - 1,60                                    |

Fuente. Naranjo y Dranichnikov, 2012

# Interpolación espacial

Estadística espacial es la reunión de un conjunto de metodologías apropiadas para el análisis de datos que corresponden a la medición de variables aleatorias en diversos sitios (puntos del espacio o agregaciones espaciales) de una región. De manera más formal se puede decir que la estadística espacial trata con el análisis de realizaciones de un proceso estocástico  $\{Z(s): s \in D\}$ , en el que  $s \in R^d$  representa una ubicación en el espacio euclidiano  $d$ -dimensional,  $Z(s)$  es una variable aleatoria en la ubicación  $s$  y  $s$  varía sobre un conjunto de índices  $D \subset R^d$  (Giraldo, 2010).

## Paradigma estocástico

Sea  $D$  un subconjunto del plano,  $R^2$  o del espacio  $R^3$  y  $z(x)$  una función (propiedad petrofísica, por ejemplo) objeto de estudio definida en  $D$ . El paradigma estocástico consiste en considerar a  $z(x)$  como una realización de un proceso estocástico  $Z(x,w)$ . Se entiende que es un proceso estocástico si para cada  $X_0 \in D$ , fijo,  $Z(x_0,w)$  es una variable aleatoria, y para cada  $w_0$  fijo  $Z(x,w_0)$  es una función de  $x$ . Más precisamente, existe  $w_k$  tal que la función de interés,  $z(x)$ , es la realización  $z(x) = Z(x,w_k)$ . En lo que sigue se notará  $z_k$  a la variable aleatoria  $Z(x_k,w)$  salvo que sea necesario enfatizar la posición  $x_k$  y en cuyo caso se indicará el  $z(x)$

## Interpolación de Kriging

El método de Kriging encierra un conjunto de métodos de predicción espacial que se fundamentan en la minimización del error cuadrático medio de predicción (Giraldo, 2010).

Para el cálculo de Kriging se utiliza la siguiente fórmula:

$$F(x,y) = \sum_{i=1}^n w_i f_i \quad (\text{ec } 14)$$

Donde:

$n$ : Número de muestras obtenidas

$f_i$ : Valor obtenido en el punto  $i$

$w_i$ : Es el peso asignado al punto  $i$

Con el fin de obtener los pesos de los  $N$  puntos, para cada uno de ellos se realiza un cálculo  $w_1, w_2, \dots, w_n$ . Tal procedimiento depende del tipo de Kriging que se utiliza, por lo cual de manera general se toma en cuenta la siguiente notación:

$W_j$ : Peso del  $j$ -ésimo punto

$S(d_{ij})$ : Valor de la semivariancia de  $d_{ij}$

$\lambda$ : Variable temporal

## Kriging ordinario

Kriging Ordinario es similar a Kriging Simple y sólo se diferencia en el hecho que la media del proceso,  $E(z_j) = \mu$ , es constante pero desconocida y deberá ser estimada. La estimación de  $\mu$  también se construye a partir de una combinación lineal de la muestra; además, como  $\mu'$  es un estimador se determinará su varianza para poder hacer inferencia acerca del verdadero valor de  $\mu$ .

Dada la muestra  $A = \{(z_1, x_1), \dots, (z_j, x_j), \dots, (z_n, x_n)\}$  del campo aleatorio en el espacio  $R^p$ , es decir:  $z_1, \dots, z_j, \dots, z_n$  las variables aleatorias definidas en los puntos  $x_1, \dots, x_j, \dots, x_n$  del campo en consideración, y asumiendo como hipótesis que el proceso es estacionario de segundo orden y su estructura de covarianza es conocida. La media del proceso es:

$$E(z_j) = \mu \quad (\text{ec } 15)$$

Donde:

$E(z_j)$  = media del proceso

$\mu$  = varianza

Kriging Ordinario persigue los objetivos de construir un estimador lineal insesgado  $\mu'$  de  $\mu$  de varianza mínima, y determinar dicha varianza con la finalidad de hacer inferencia sobre el verdadero valor de la media  $\mu$ .

Dada la muestra A y punto arbitrario  $x_0$ , donde se desconoce  $z_0$ , construir un predictor lineal insesgado  $z'_0$  de  $z_0$  de modo de minimizar la varianza del error, donde se entiende por error la variable aleatoria error =  $z_0 - z'_0$ , diferencia entre  $z_0$  y el predictor  $z'_0$ . Además, determinar dicha varianza.

El Kriging ordinario obtiene los pesos de los valores resolviendo la siguiente ecuación:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma[d(S_i, S_j)] + m = \gamma[d(S_0, S_i)], \quad (\text{ec } 15)$$
$$i = 1, \dots, n; \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

Por medio de un semivariograma se obtiene la distancia entre medidas y similitud entre observaciones. La ecuación para la semivarianza es la siguiente:

$$\gamma[d(S_i, S_0)] = \text{var}[z(S_i) - z(S_0)] \quad (\text{ec } 16)$$

Donde:

$N$ = Número de observaciones  
 $m$ = Multiplicador Lagrange usado para la minimización de las restricciones  
 $\lambda$ = Es el peso de cada una de las observaciones  
 $i$  y  $j$ = Subíndices que denotan los puntos muestreados  
Subíndice 0= Es el punto de estimación  
 $S$ : Medición efectuada  
 $d(S_i, S_0)$ = Es la distancia entre  $S_i$  y  $S_0$  a partir del semivariograma  
 $z$ = propiedad aleatoria

## Error asociado a la predicción

Para predecir un nuevo punto  $X_0$  el valor del proceso  $Z_0$  del proceso, se asumirá que el predictor es una combinación lineal óptima de los valores de la muestra  $Z_1, \dots, Z_n$ , donde  $Z_0^* = \gamma^T Z$ , donde óptimo se refiere a que se encontrará un

predictor que haga mínima la varianza del error. (Pintos, 2012)

Los puntos  $x$  son fijos y las propiedades  $z$  son aleatorias y el al ser aleatorio tiene una varianza asociada, donde  $E(\gamma^T Z) = \gamma^T E(Z) = E(Z_0) = 0$ , por lo cual:

$$E = Z_0 - Z_0^*. \quad (\text{ec } 17)$$

Donde:

$Z_0$  y  $Z_0^*$  = propiedades aleatorias del proceso

## Variable regionalizada

Una variable medida en el espacio de forma que presente una estructura de correlación, se dice que es una variable regionalizada. De manera más formal se puede definir como un proceso estocástico con dominio contenido en un espacio euclidiano  $d$ - dimensional  $R^d$ ,  $\{Z(x) : x \in D \subset R^d\}$ . Si  $d = 2$ ,  $Z(x)$  puede asociarse a una variable medida en un punto  $x$  del plano.

## Estacionariedad

La variable regionalizada es estacionaria si su función de distribución conjunta es invariante respecto a cualquier traslación del vector  $h$ , o lo que es lo mismo, la función de distribución del vector aleatorio:

$$Z(x) = [Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_n)]^T \quad (\text{ec } 18)$$

$$Z(x) = [Z(x_1+h), Z(x_2+h), \dots, Z(x_n+h)]^T \quad (\text{ec } 19)$$

Donde:

$Z(X)$  = vector aleatorio  
 $h$  = cualquier vector de posición

## Semivariogramas

La solución del problema de predicción espacial kriging requiere del conocimiento de la estructura de autocorrelación para cualquier posible distancia entre sitios dentro del área de estudio.

El semivariograma es una función que relaciona la semivarianza con el vector  $h$

conocido como “lag”, el cual denota la separación en distancia y dirección de cualquier par de vectores  $Z(x)$  y  $Z(x+h)$ . “ $C_0$ ” es la varianza de discontinuidad espacial, “ $C$ ” es la varianza estructural o espacialmente dependiente y  $C+C_0$  representa donde la varianza de las diferencias son máximas.

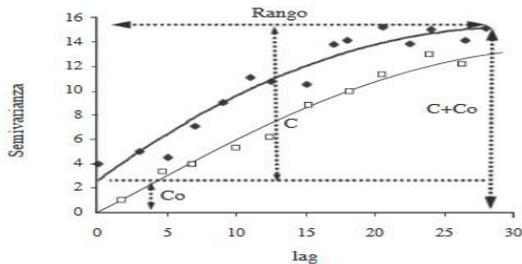


Figura 9. Componentes del semivariograma  
Fuente. Giraldo, 2002

El modelo esférico tiene un crecimiento rápido cerca del origen, pero los incrementos marginales van decreciendo para distancias grandes, para distancias superiores al rango los incrementos son nulos. Su expresión matemática es la siguiente:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left( \frac{3}{2} \left( \frac{h}{\alpha} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{\alpha} \right)^3 \right) \text{ con } h \leq \alpha \quad (\text{ec 20})$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \text{ con } h > \alpha \quad (\text{ec 21})$$

Donde:

- $C_1$  = meseta
- $\alpha$  = rango
- $h$  = distancia

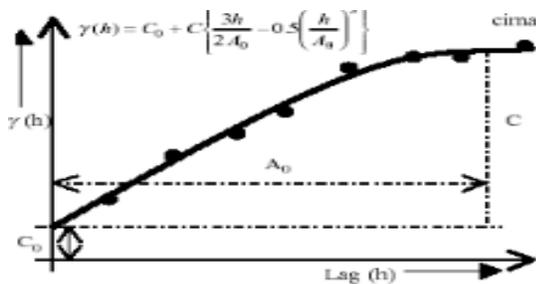


Figura 10. Modelo de semivariograma esférico  
Fuente. Giraldo, 2002

El modelo exponencial modelo se aplica cuando la dependencia espacial tiene un crecimiento exponencial respecto a la distancia entre las observaciones. El valor del rango es igual a la distancia para la cual el semivariograma toma un valor igual al 95% de la meseta. Este modelo es ampliamente usado. Su expresión matemática es la siguiente:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left( 1 - \exp\left(-\frac{3h}{\alpha}\right) \right) \quad (\text{ec 22})$$

Donde:

- $C_1$  = meseta
- $\alpha$  = rango
- $h$  = distancia

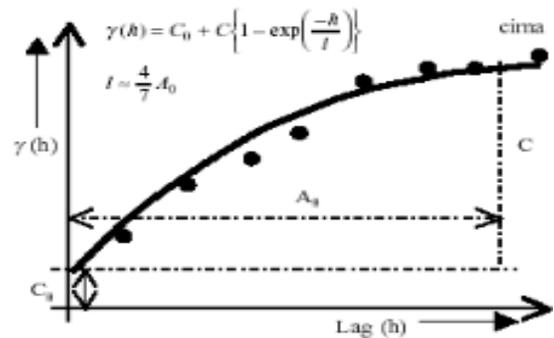


Figura 11. Modelo de semivariograma exponencial  
Fuente. Giraldo, 2002

El modelo Gaussiano, al igual que en el modelo exponencial, la dependencia espacial se desvanece solo en una distancia que tiende a infinito. El principal distintivo de este modelo es su forma parabólica cerca al origen. Su expresión matemática es:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left( 1 - \exp\left(-\frac{h^2}{\alpha^2}\right) \right) \quad (\text{ec 23})$$

Donde:

- $C_1$  = meseta
- $\alpha$  = rango
- $h$  = distancia

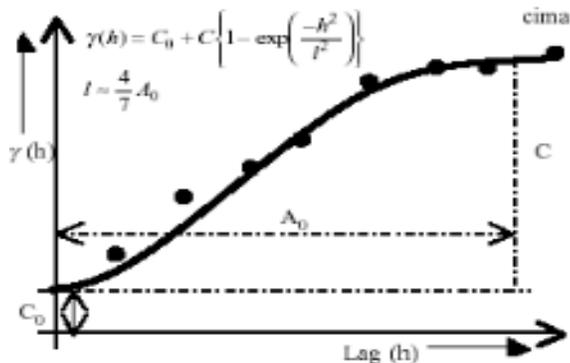


Figura 12. Modelo de semivariograma Gaussiano  
Fuente. Giraldo, 2002

## Representación de predicciones

Una vez hecha la predicción en un conjunto de puntos diferentes de los muestrales vía kriging, se debe elaborar un mapa que dé una representación global del comportamiento de la variable de interés en la zona estudiada. Los más empleados son los mapas de contornos, los mapas de residuos y los gráficos tridimensionales. En el caso de los mapas de contornos, en primer lugar se divide el área de estudio en un enmallado y se hace la predicción en cada uno de los nodos de este. Posteriormente se unen los valores predichos con igual valor, generando así las líneas de contorno (isolíneas de distribución).

Este gráfico permite identificar la magnitud de la variable en toda el área de estudio. Es conveniente acompañar el mapa de interpolaciones de la variable con los correspondientes mapas de isolíneas de los errores y de las varianzas de predicción (posiblemente estimados a través de métodos matemáticos), con el propósito de identificar zonas de mayor incertidumbre respecto a las predicciones.

## Intervalos de confianza

Asumiendo que los errores de predicción siguen una distribución normal estándar y que son independientes, un intervalo de confianza del  $100(1-\alpha) \%$ ,  $0 < \alpha < 1$ , para  $Z(x)$  es  $[z^*(x) - z_{1-\alpha/2}\sigma_k, z^*(x) + z_{1-\alpha/2}\sigma_k]$ , con  $Z^*(x)$  el valor calculado de la predicción  $Z_{1-\alpha/2}$  el percentil de una normal estándar.

## Interpolación IDW

La interpolación del peso ponderado por el inverso de la distancia determina los valores de celda a través de una combinación ponderada linealmente de un conjunto de datos contenidos en un espacio muestral. La función de la distancia inversa es la ponderación, donde la variable que se interpola depende de la posición del punto. Cuanto más cerca este el dato del centro de la celda, mejor será la predicción.

El método IDW está basado en la inversa de la distancia elevada a una potencia, la cual controla la significancia de puntos conocidos en los valores interpolados basándose en la distancia desde el punto de salida.

En un valor de potencia alto, se pone énfasis en los puntos más cercanos, por lo que los datos cercanos tendrán influencia y la superficie será menos suave.

La interpolación IDW calcula el peso de los valores con la siguiente ecuación:

$$\lambda_i = \frac{[d(S_0, S_i)]^{-p}}{\sum_{i=1}^n [d(S_0, S_i)]^{-p}} \quad (\text{ec 24})$$

Donde:

- $\lambda$  = Es el peso de cada una de las observaciones
- $i$  y  $0$  = Subíndices que denotan los puntos muestreados
- Subíndice  $0$  = Es el punto de estimación
- $S$ : Medición efectuada
- $d(S_i, S_0)$  = Es la distancia entre  $S_i$  y  $S_0$  a partir del semivariograma
- $p$  = valor de potencia del método IDW

Cuanto mayor sea  $p$ , mayor peso es dado a los puntos más cercanos y por consiguiente se obtienen superficies más continuas o suaves y las predicciones tienden al promedio de la muestra.

# Resultados

Inicialmente se presenta la ubicación de los sondeos a profundidades de 0,5m, 1,0m, 1,5m, 2,0m, 2,5m, 3,0m, 3,5m, y 4,0m. Posteriormente se muestran los mapas de tipos de suelo y capacidad de soporte del suelo, así como el cuadro de validación de las interpolaciones, histogramas, gráficos de normalidad Quantile-Quantile, curvas de error, semivariogramas y mapas de predicción de error en el espacio muestral donde se llevó a cabo la interpolación (campus del Tecnológico de Costa Rica)

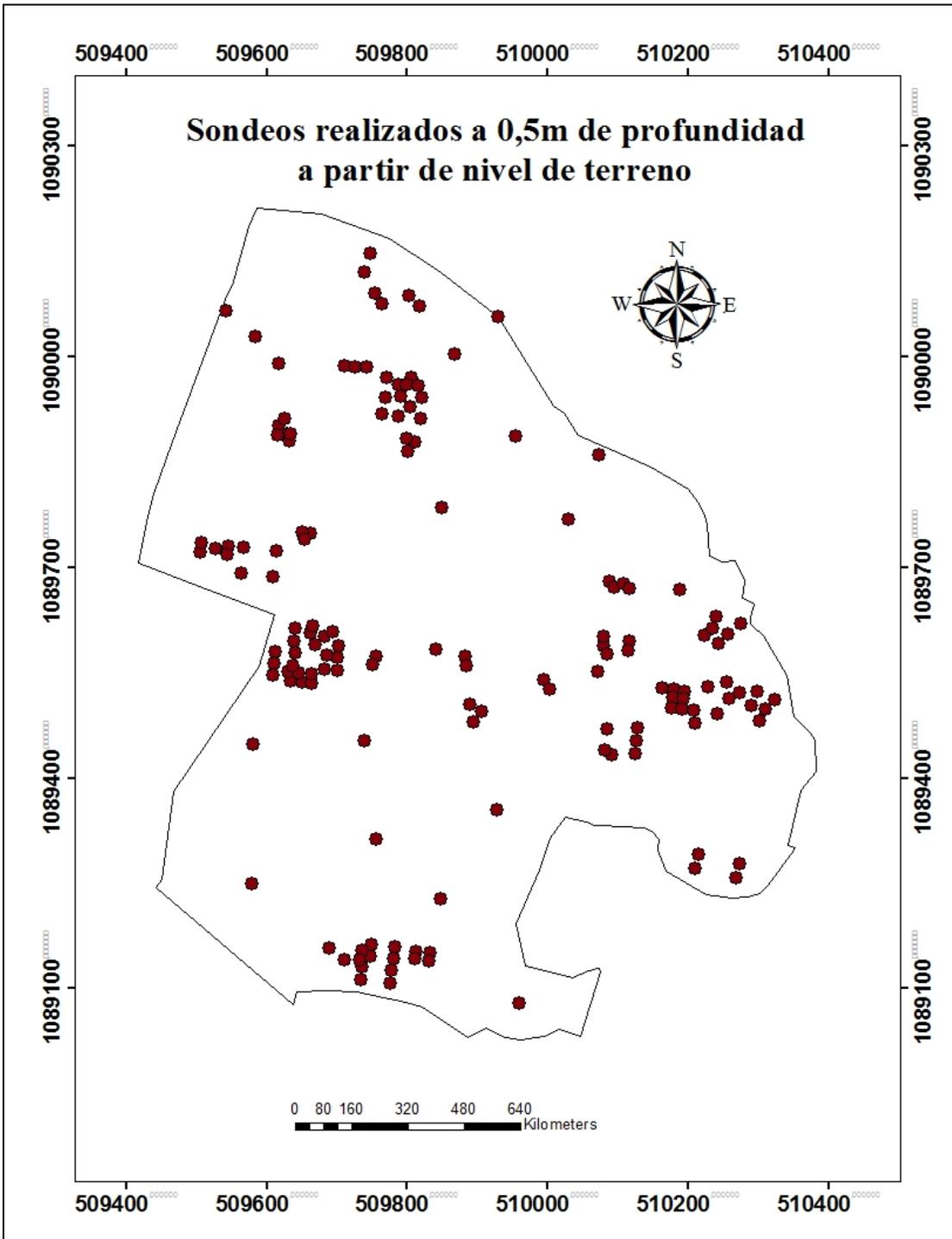


Figura 13. Distribución de sondeos a 0,5m de profundidad  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

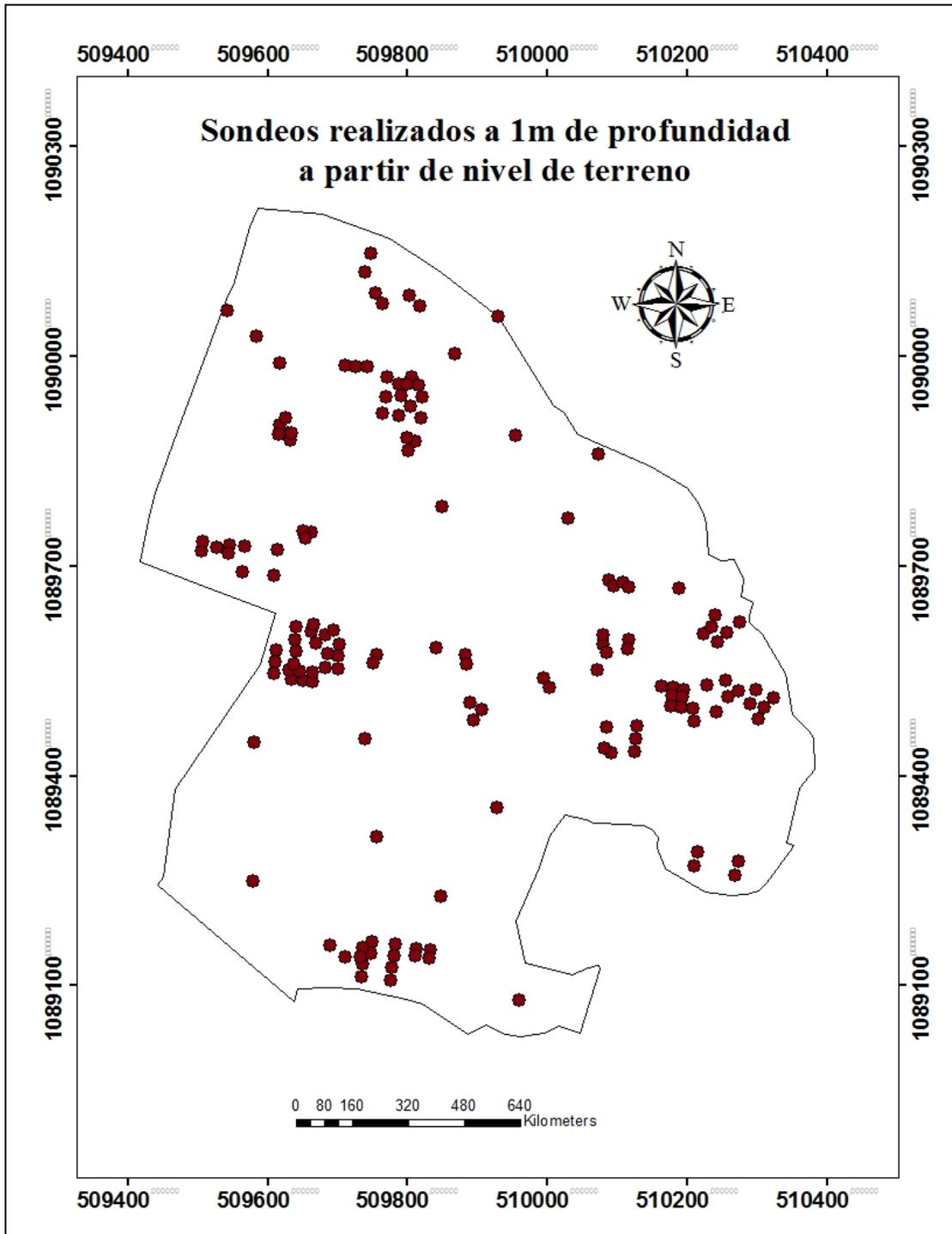


Figura 14. Distribución de sondeos a 1m de profundidad  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

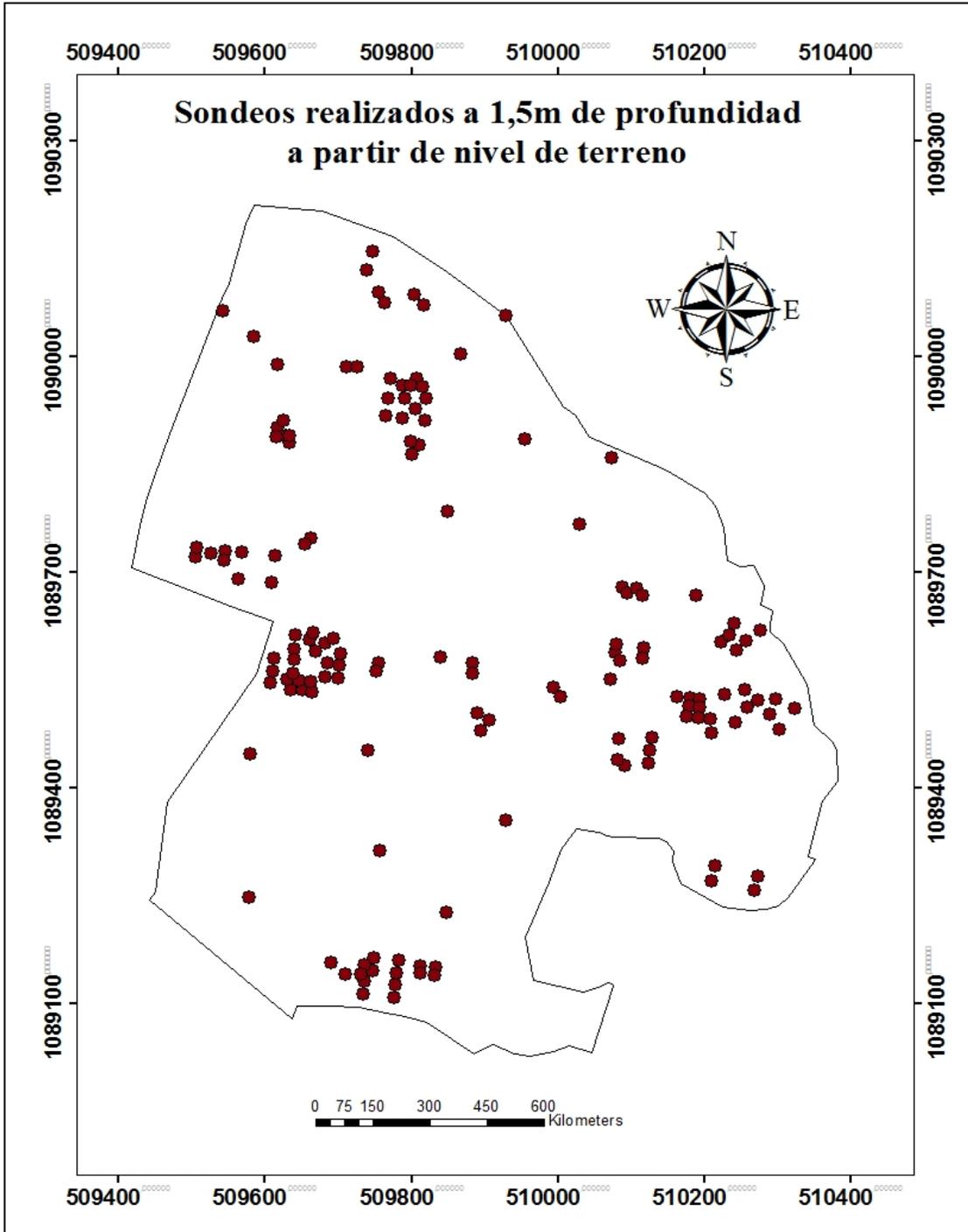


Figura 15. Distribución de sondeos a 1,5m de profundidad  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

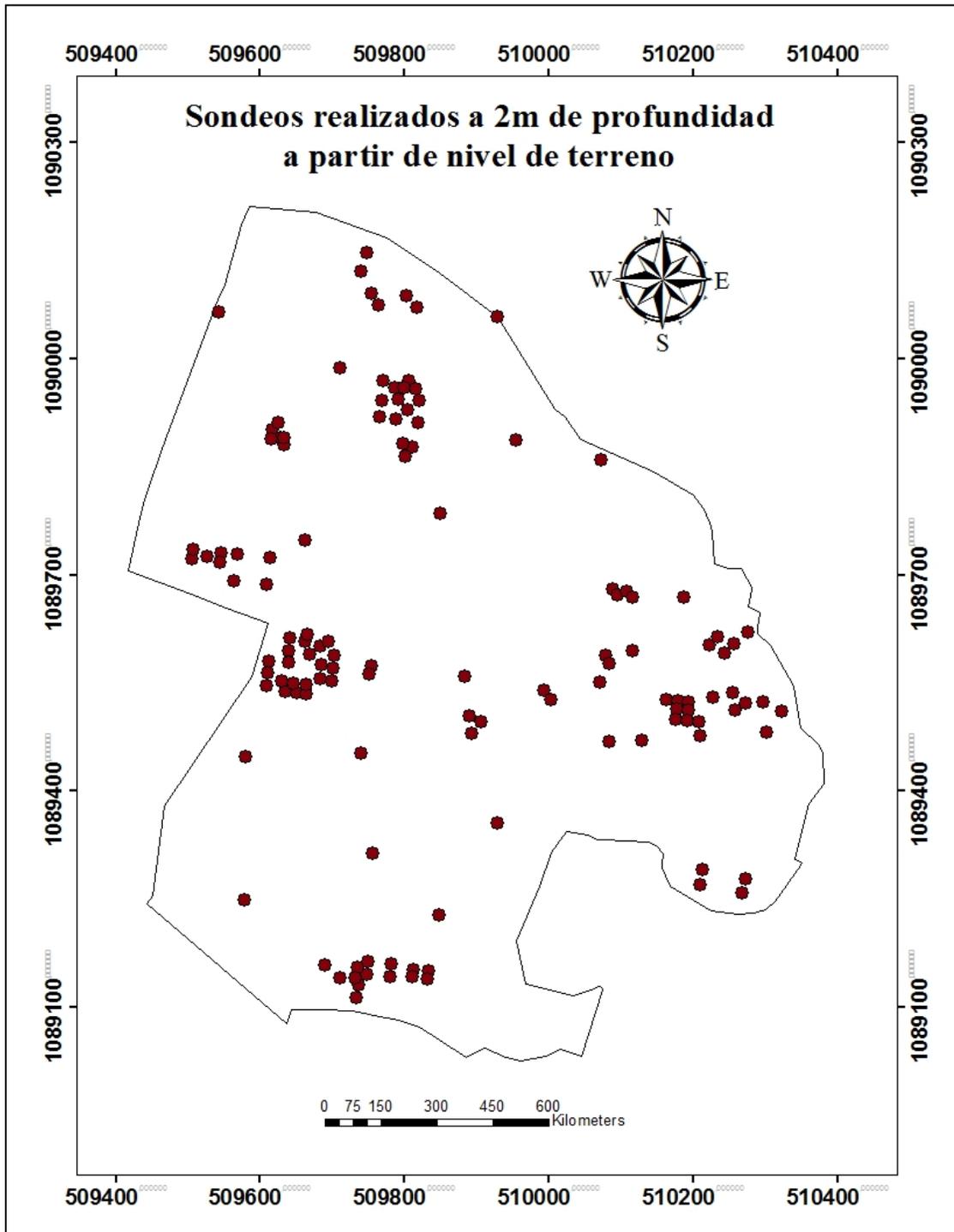


Figura 16. Distribución de sondeos a 2m de profundidad  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

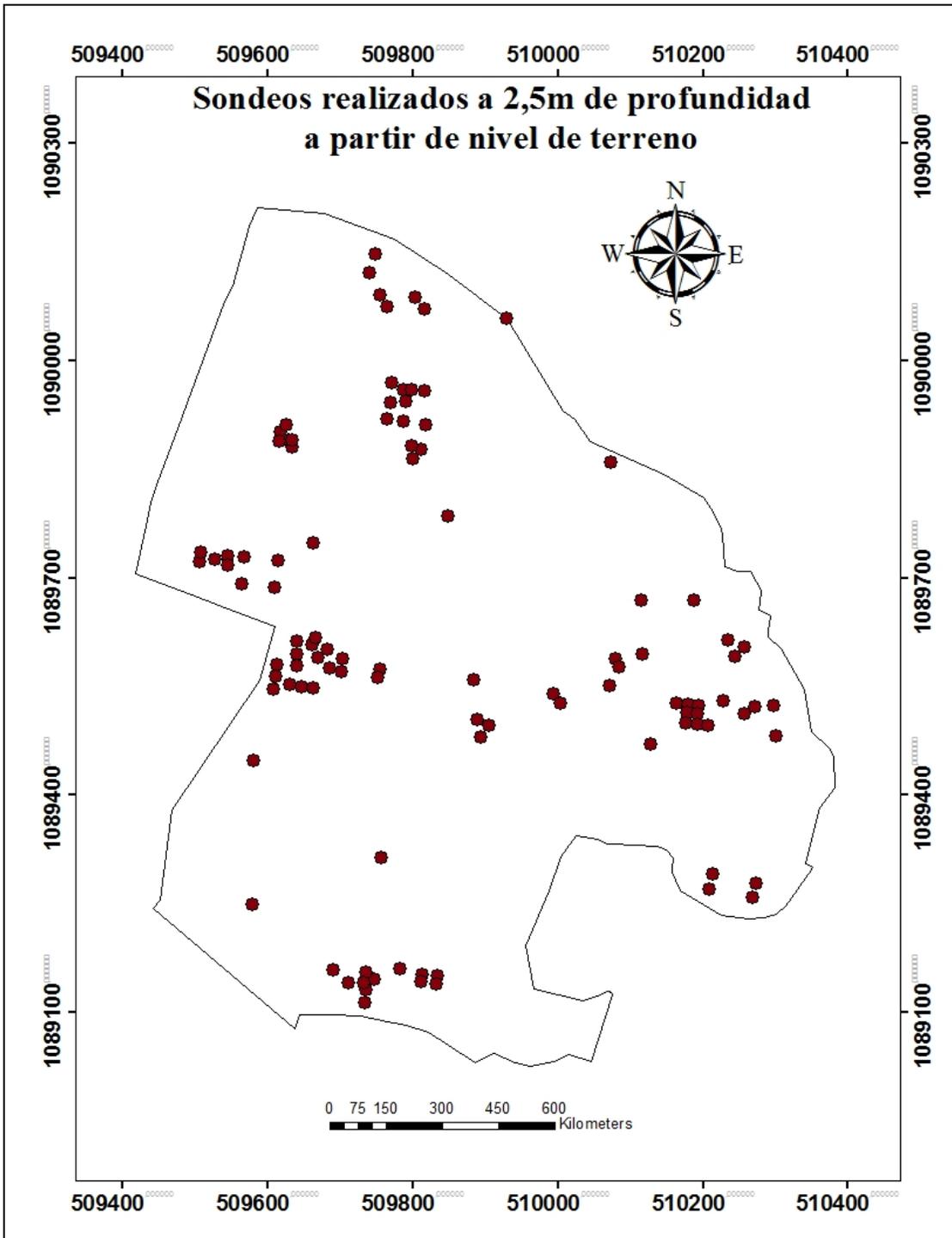


Figura 17. Distribución de sondeos a 2,5m de profundidad  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

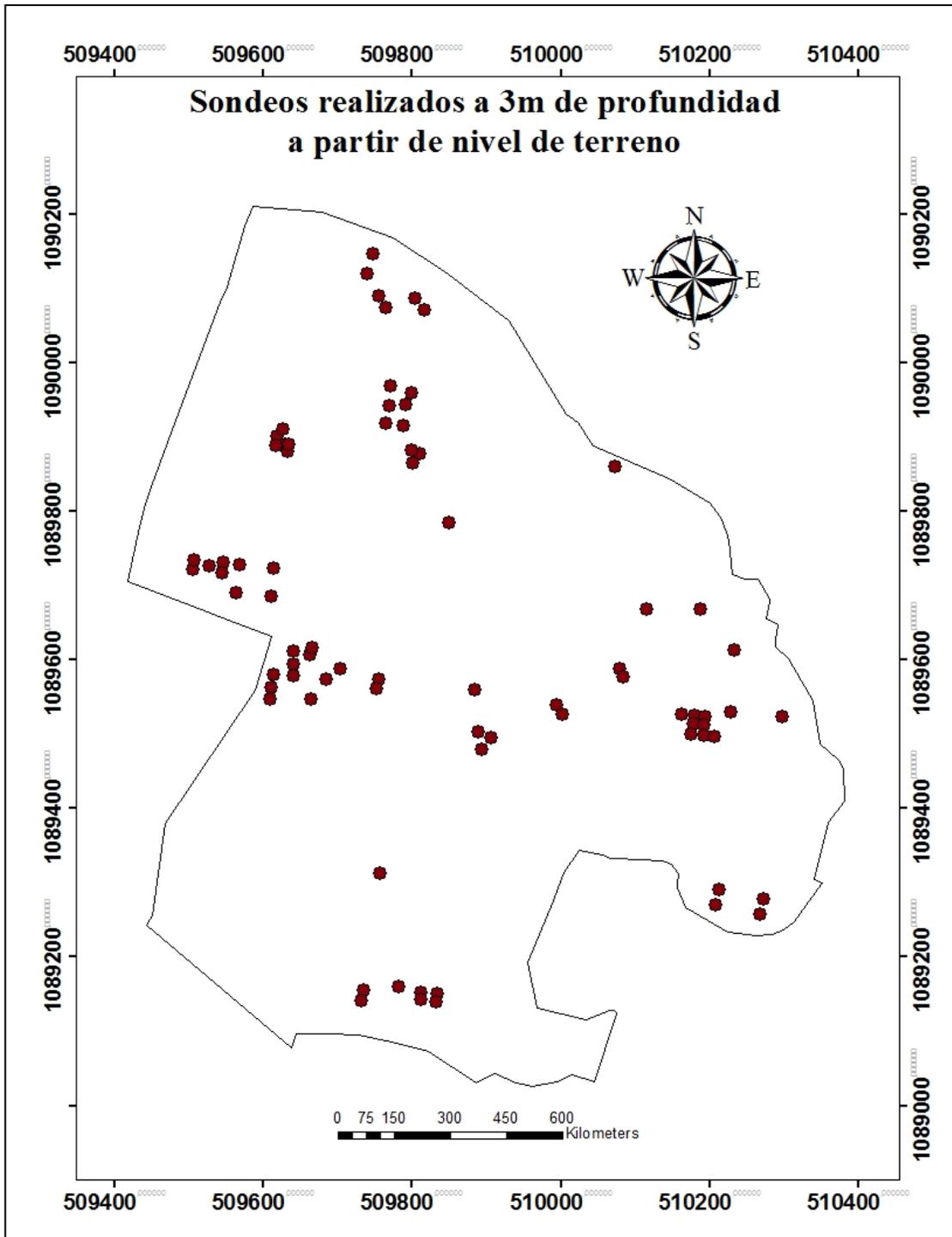


Figura 18. Distribución de sondeos a 3m de profundidad  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

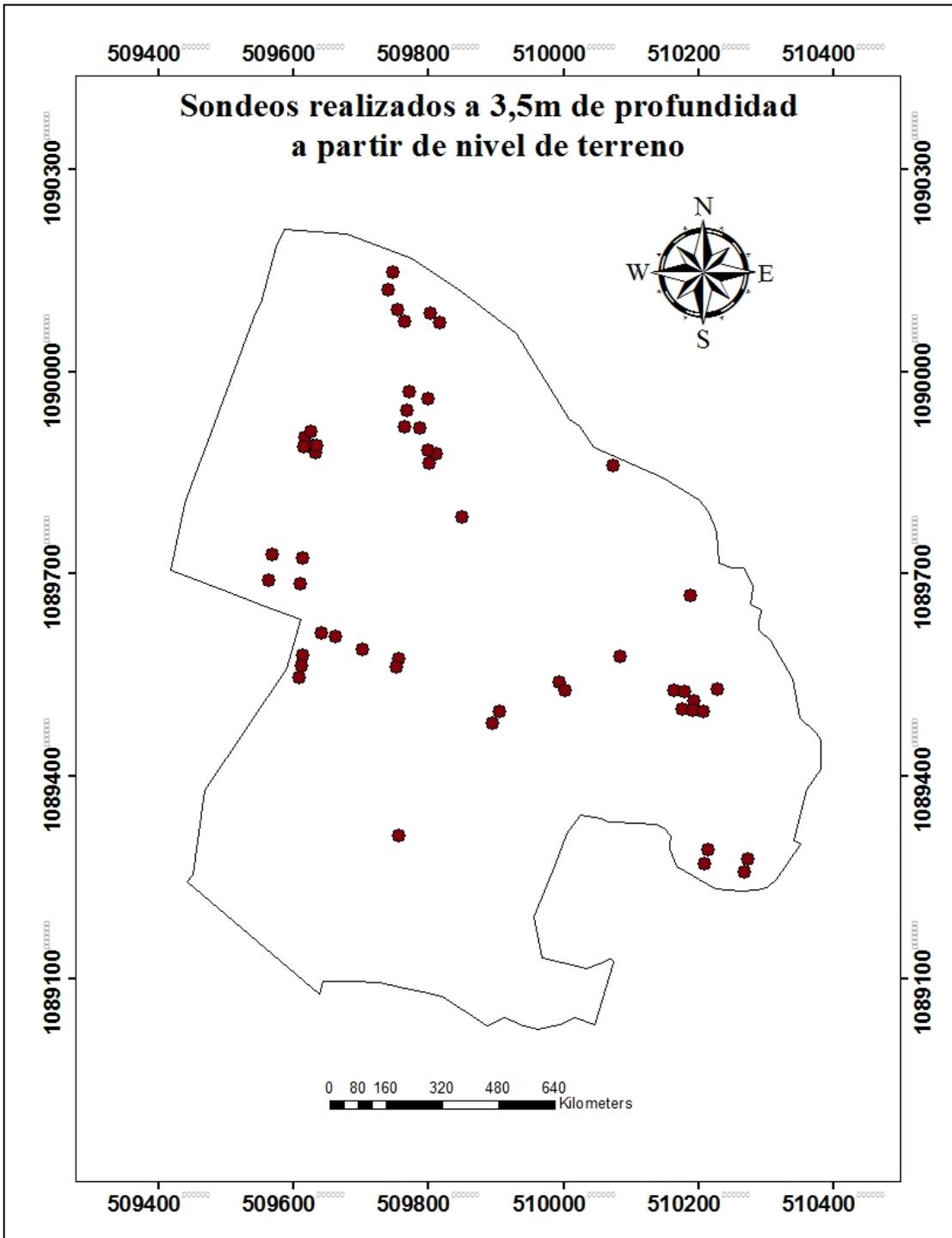


Figura 19. Distribución de sondeos a 3,5m de profundidad  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

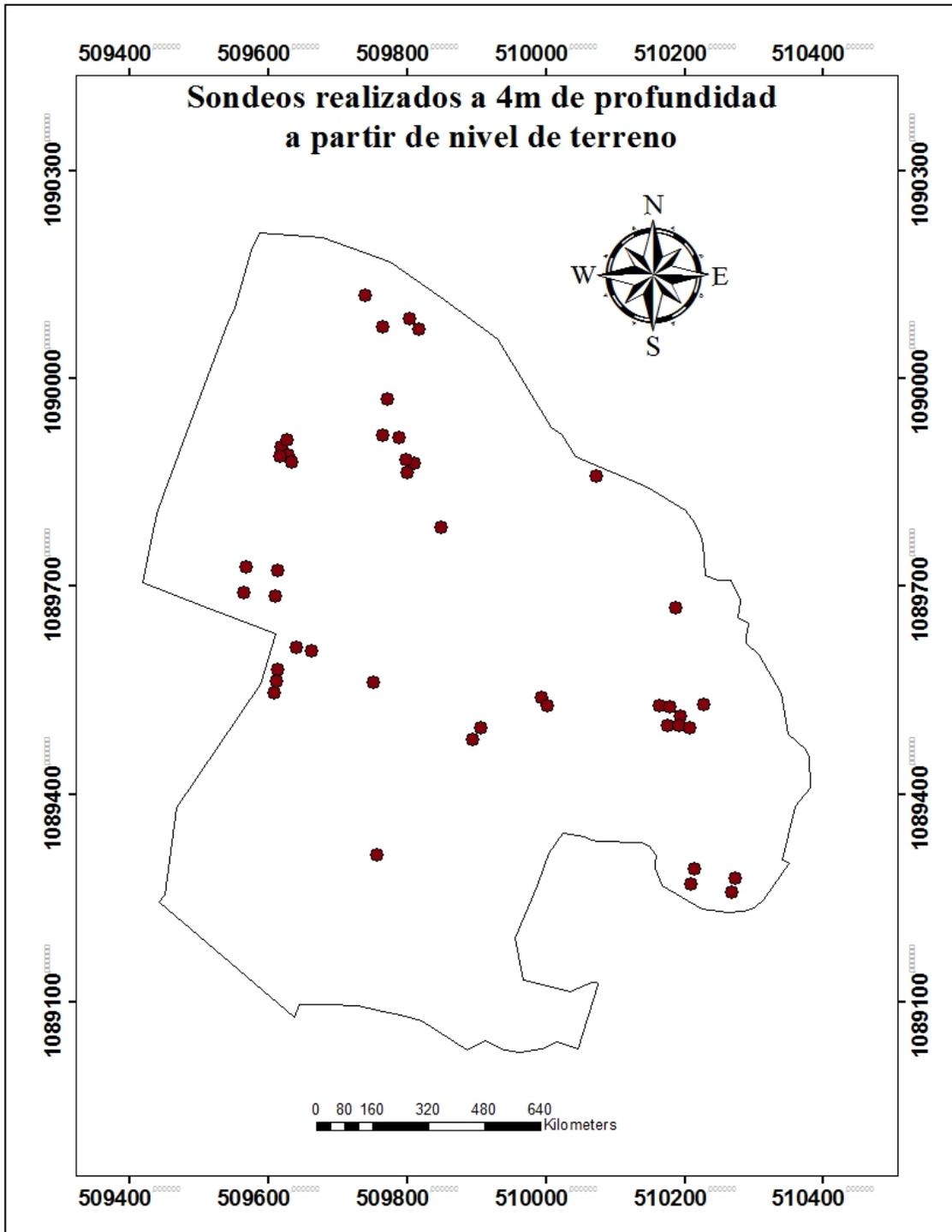


Figura 20. Distribución de sondeos a 4m de profundidad  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

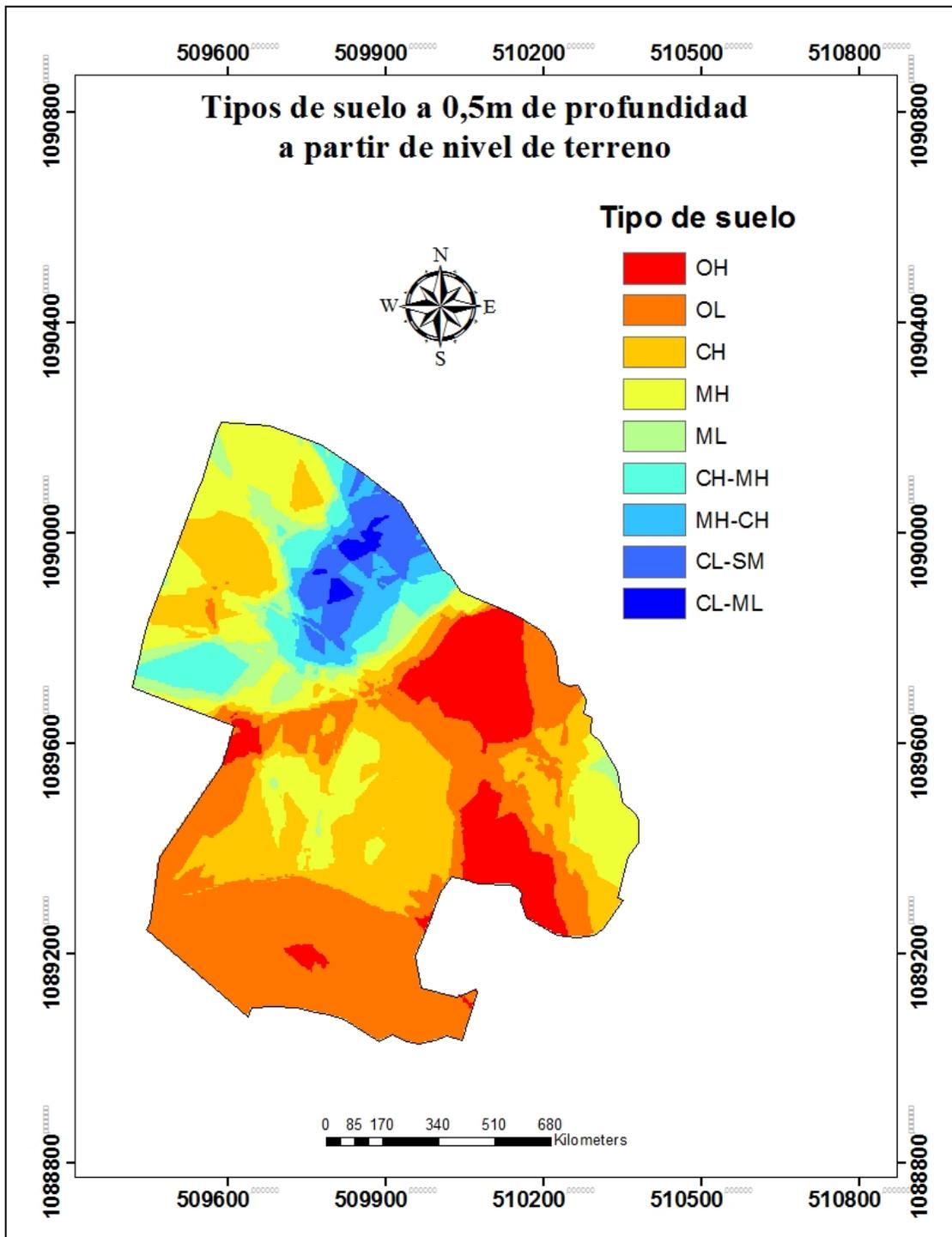


Figura 21. Mapa de tipo de suelo a 0,5m de profundidad modelado por el método de Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

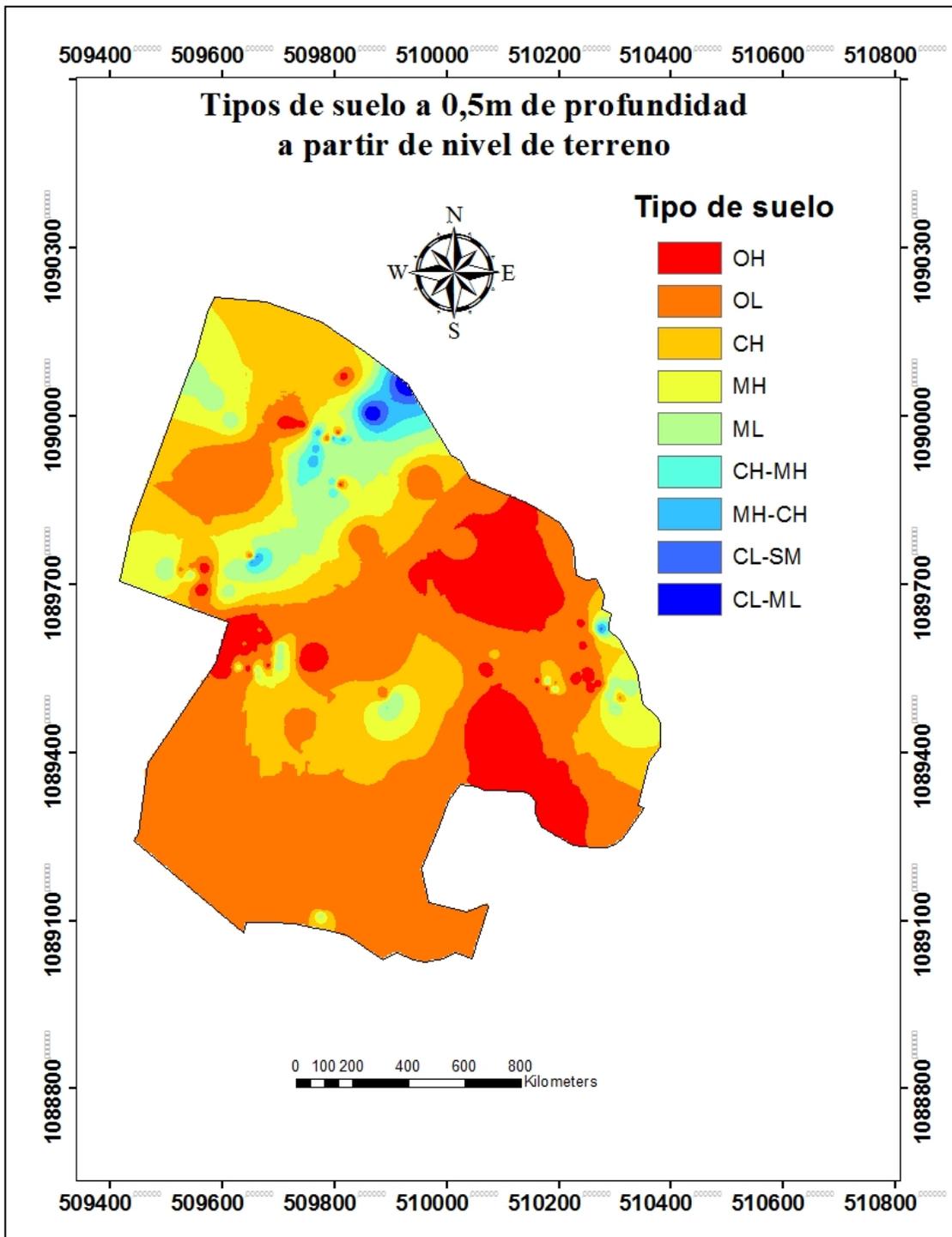


Figura 22. Mapa de tipo de suelo a 0,5m de profundidad modelado por el método IDW  
Fuente. Elaboración propia en ArcGIS 10.3

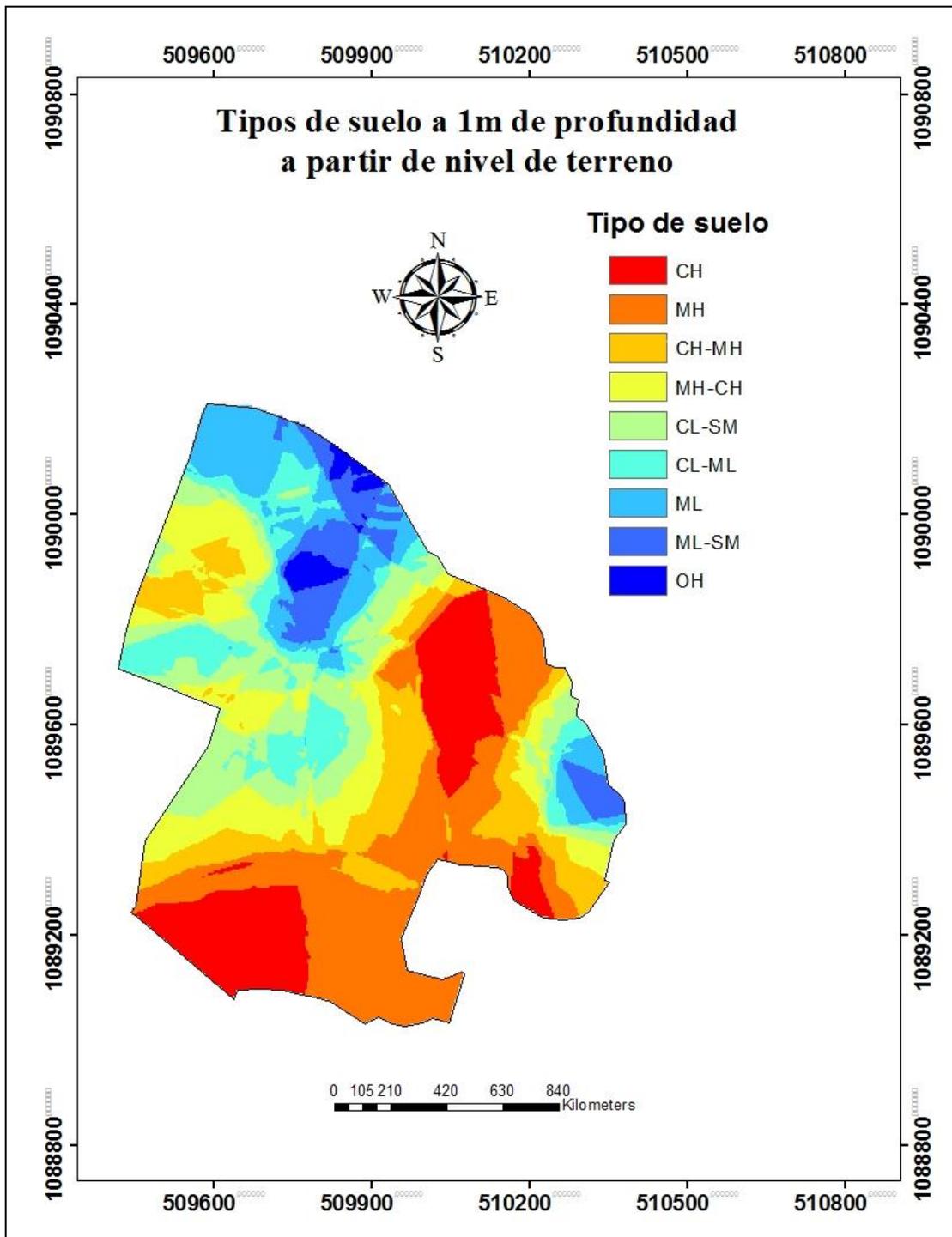


Figura 23. Mapa de tipo de suelo a 1m de profundidad modelado por el método de Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

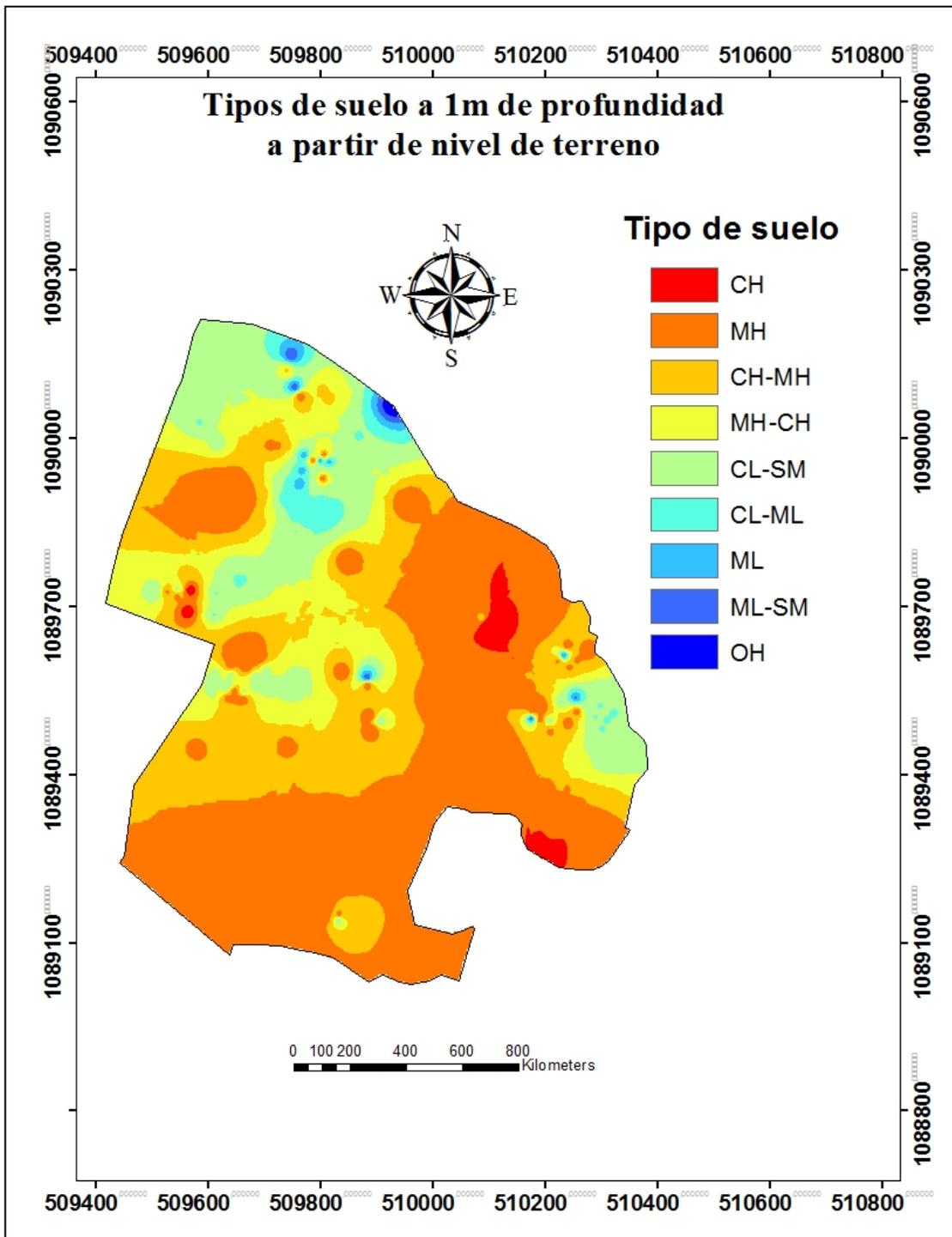


Figura 24. Mapa de tipo de suelo a 1m de profundidad modelado por el método IDW  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

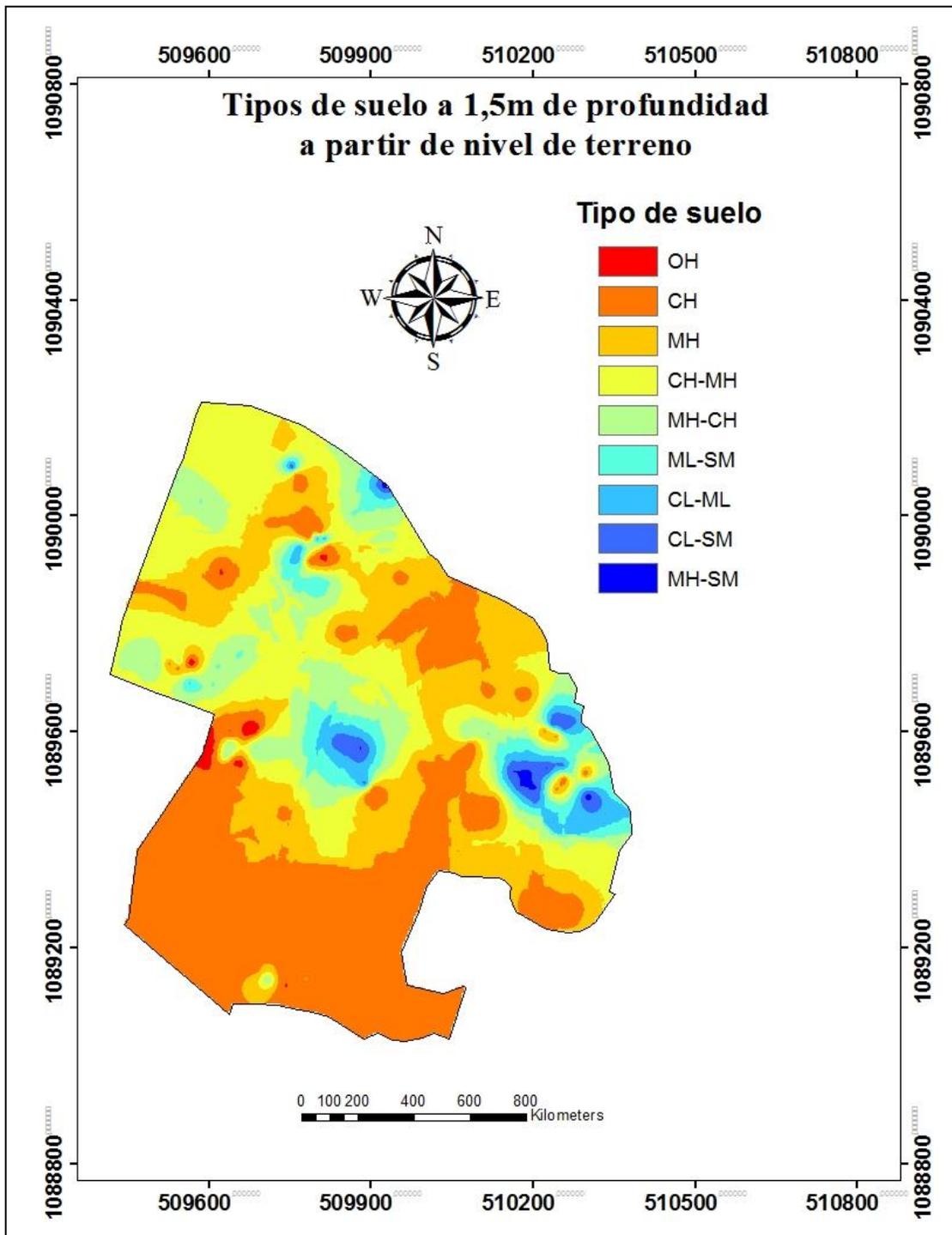


Figura 25. Mapa de tipo de suelo a 1,5m de profundidad modelado por el método de Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

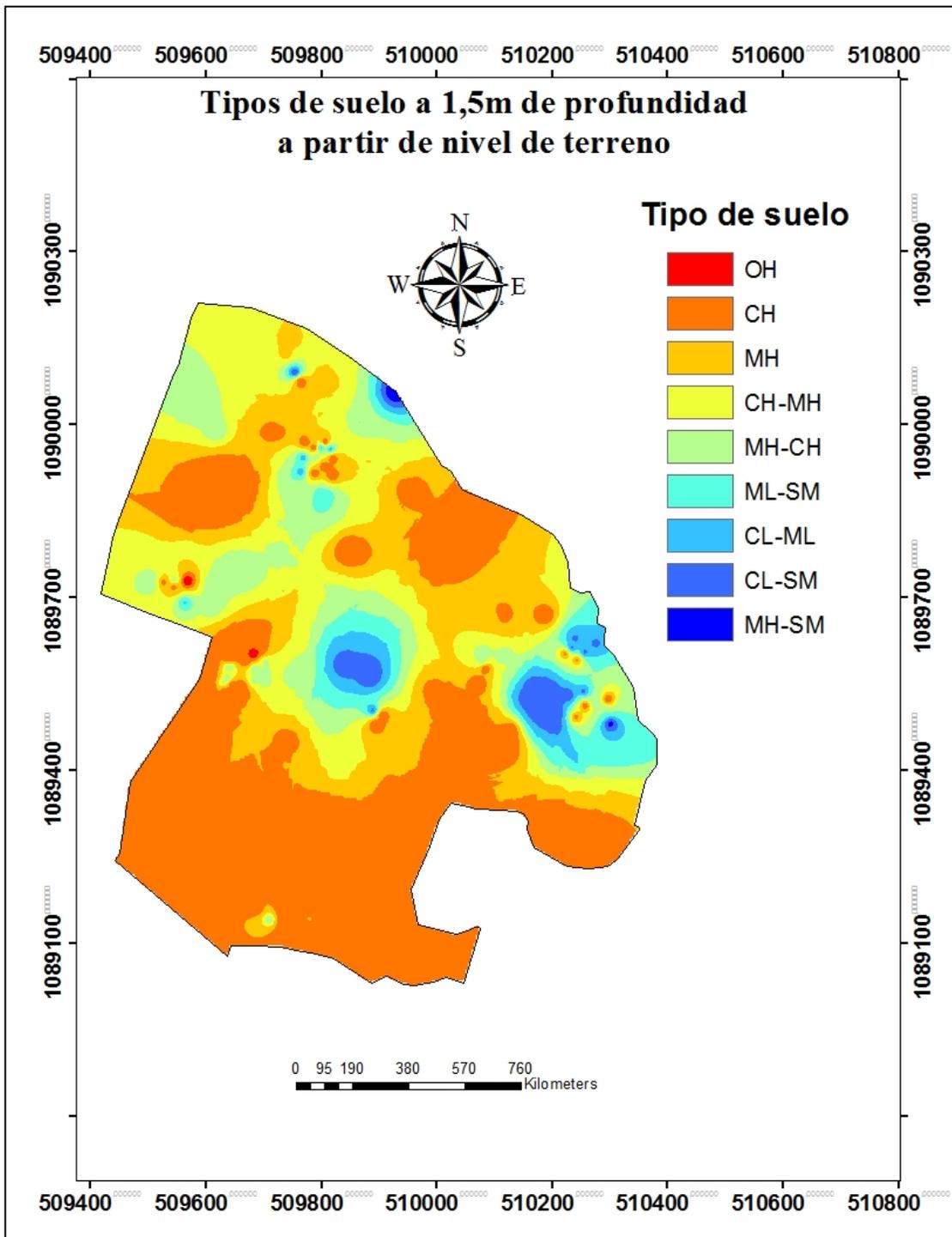


Figura 26. Mapa de tipo de suelo a 1,5m de profundidad modelado por el método IDW  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

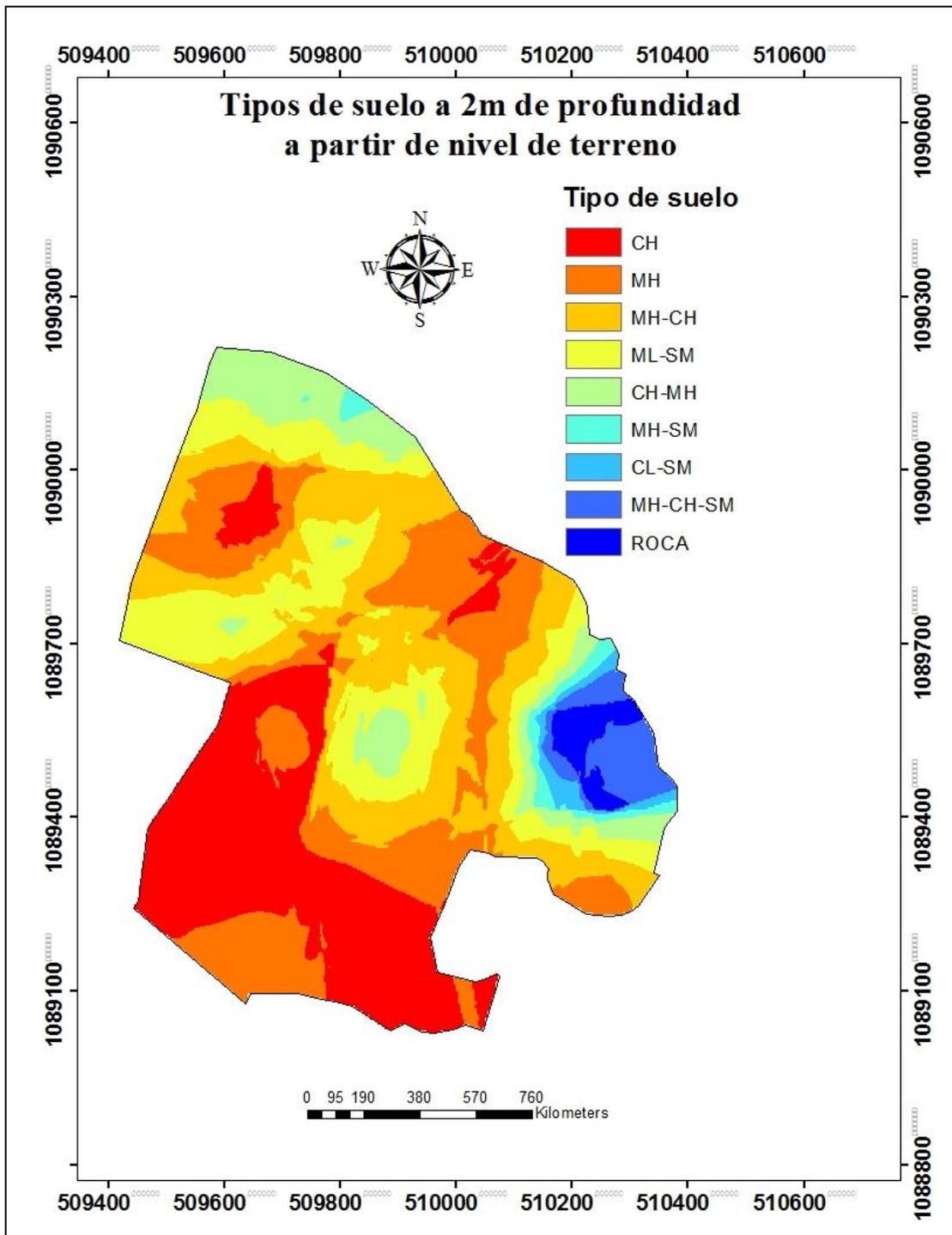


Figura 27. Mapa de tipo de suelo a 2m de profundidad modelado por el método de Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

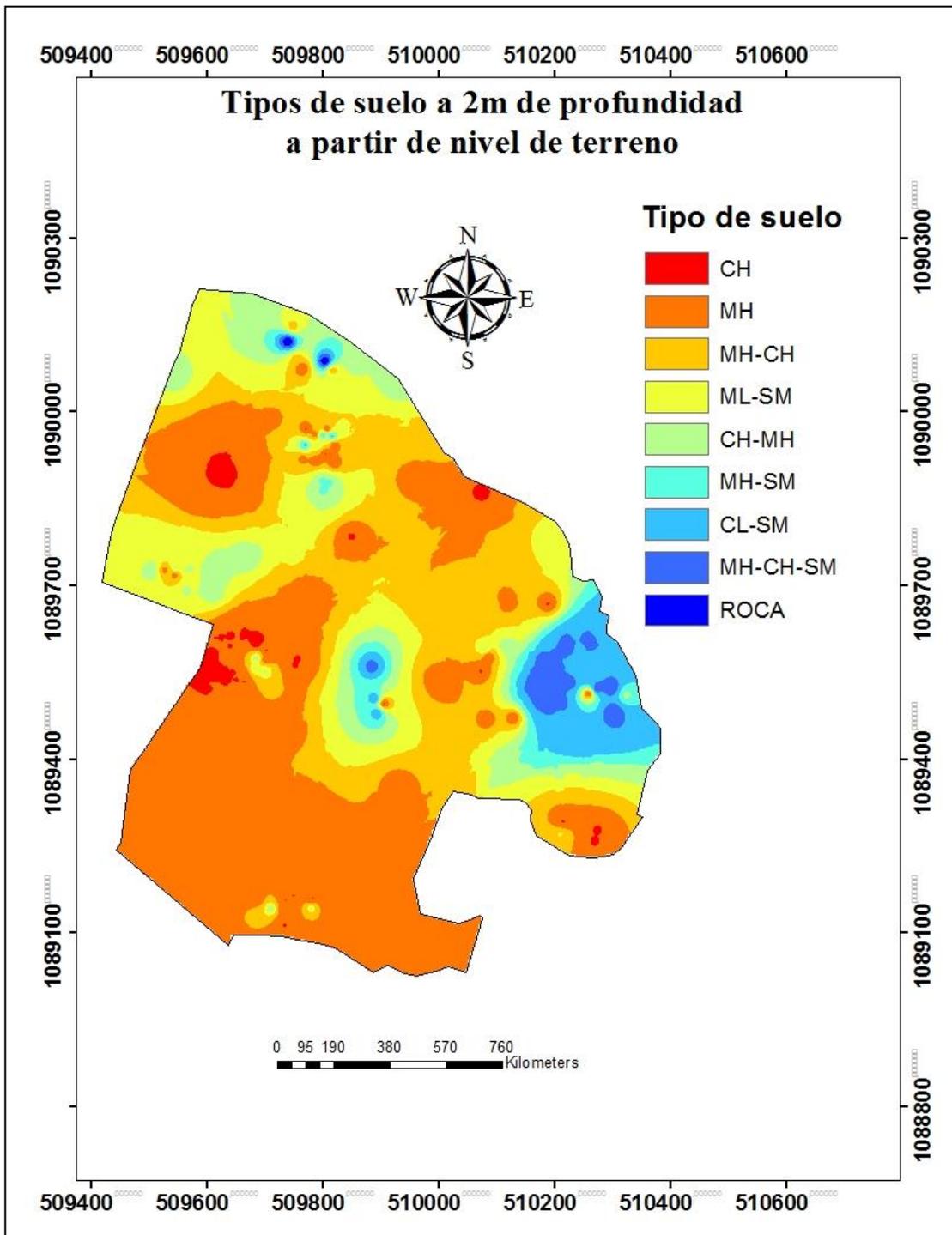


Figura 28. Mapa de tipo de suelo a 2m de profundidad modelado por el método IDW  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

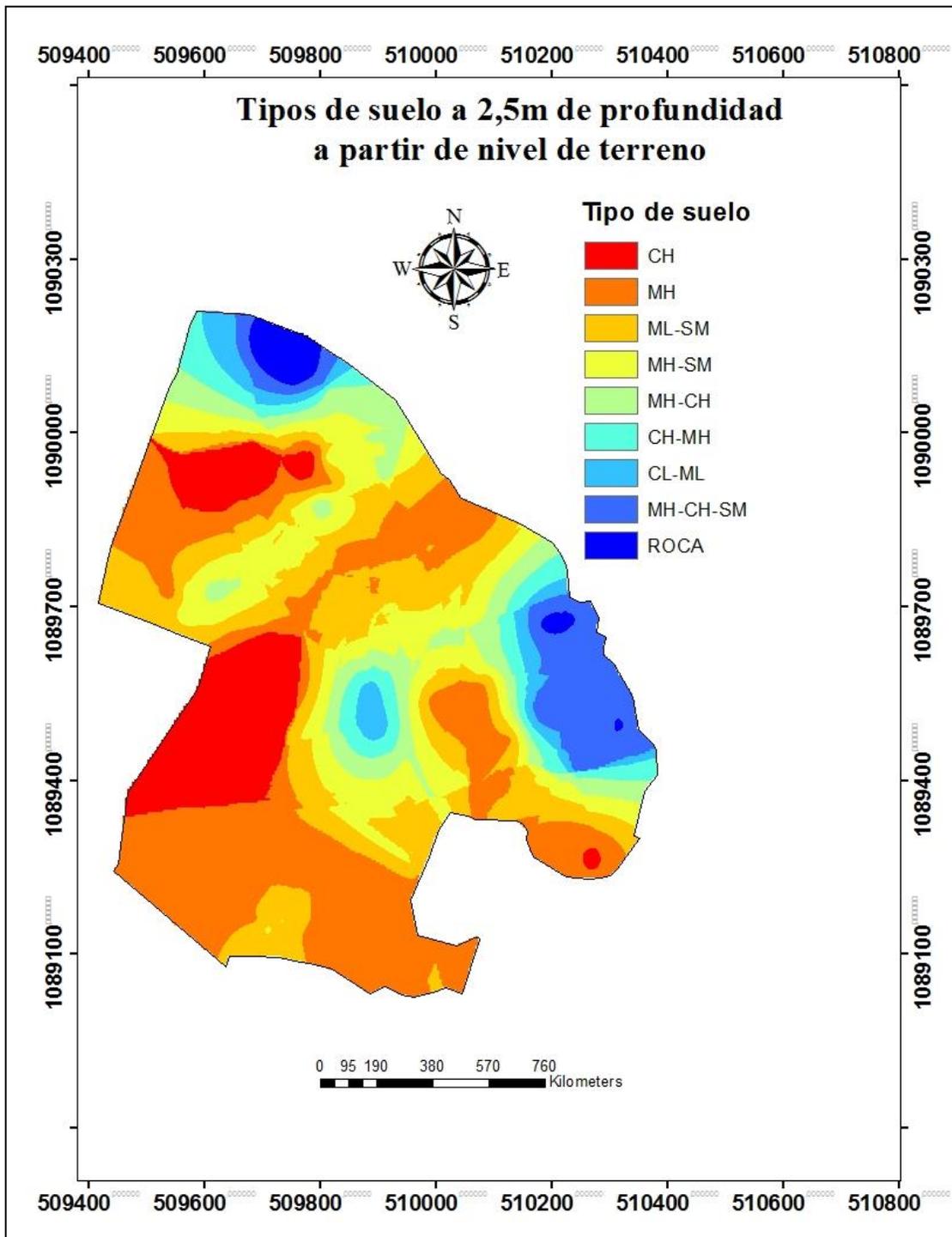


Figura 29. Mapa de tipo de suelo a 2,5m de profundidad modelado por el método de Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

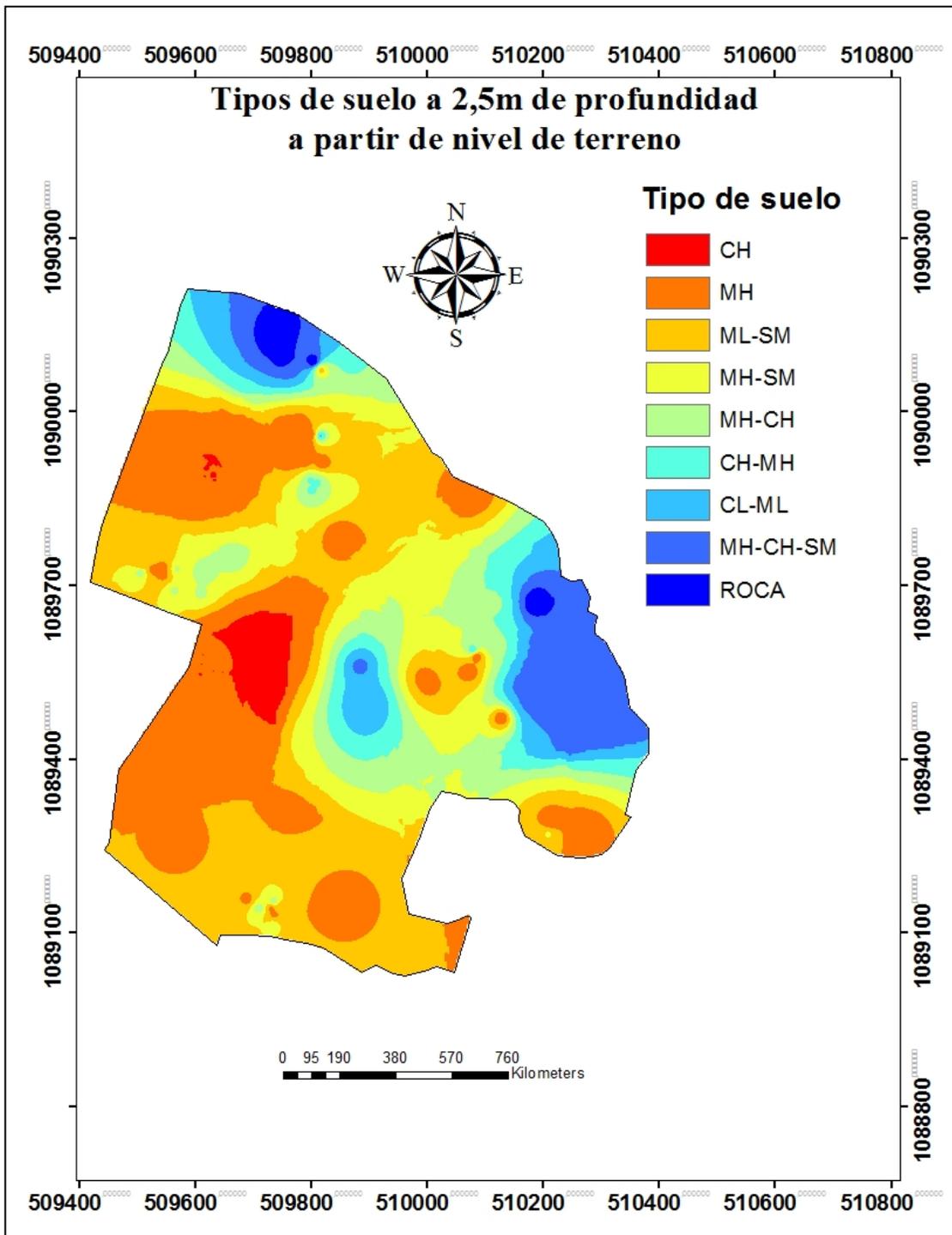


Figura 30. Mapa de tipo de suelo a 2,5m de profundidad modelado por el método IDW  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

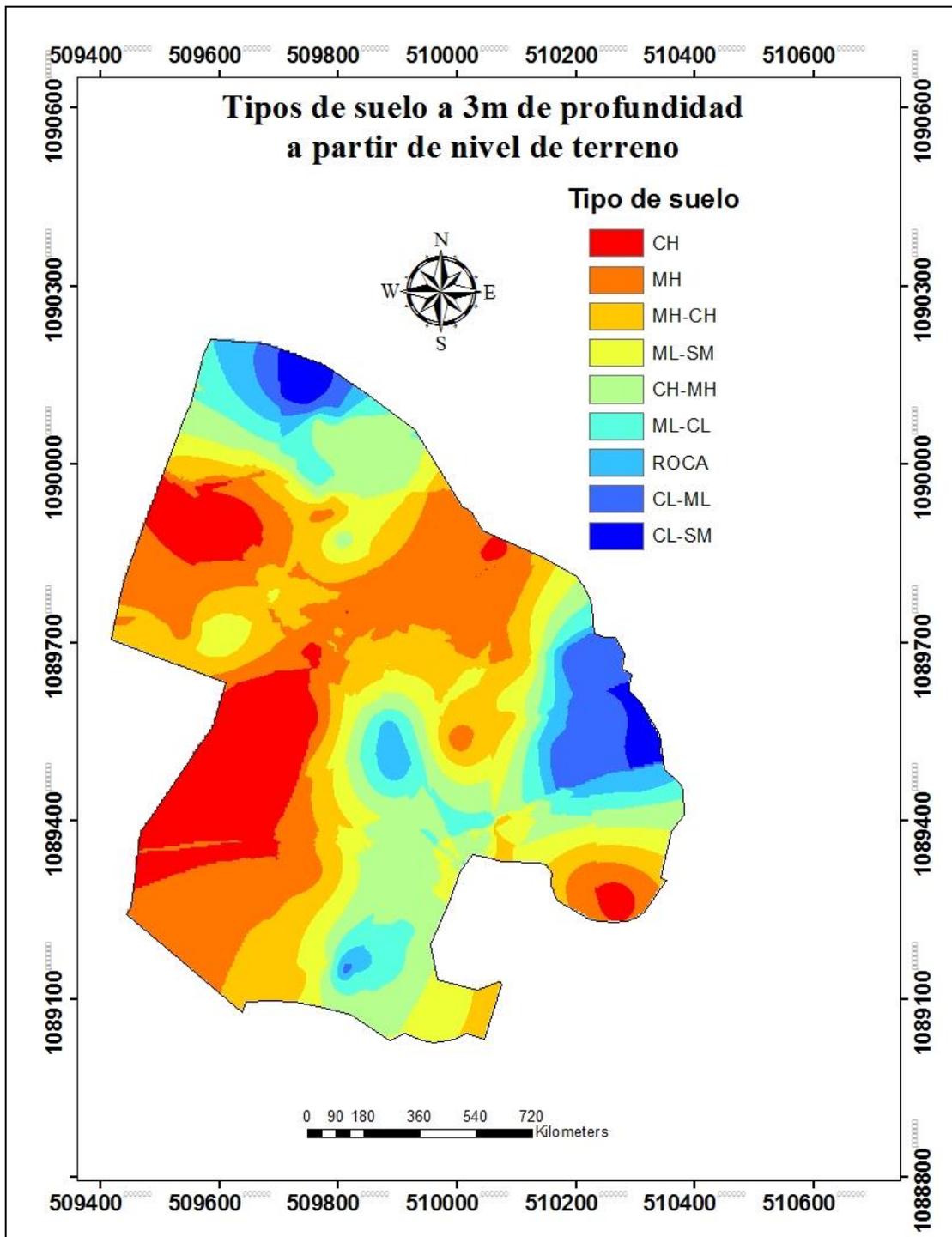


Figura 31. Mapa de tipo de suelo a 3m de profundidad modelado por el método de Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

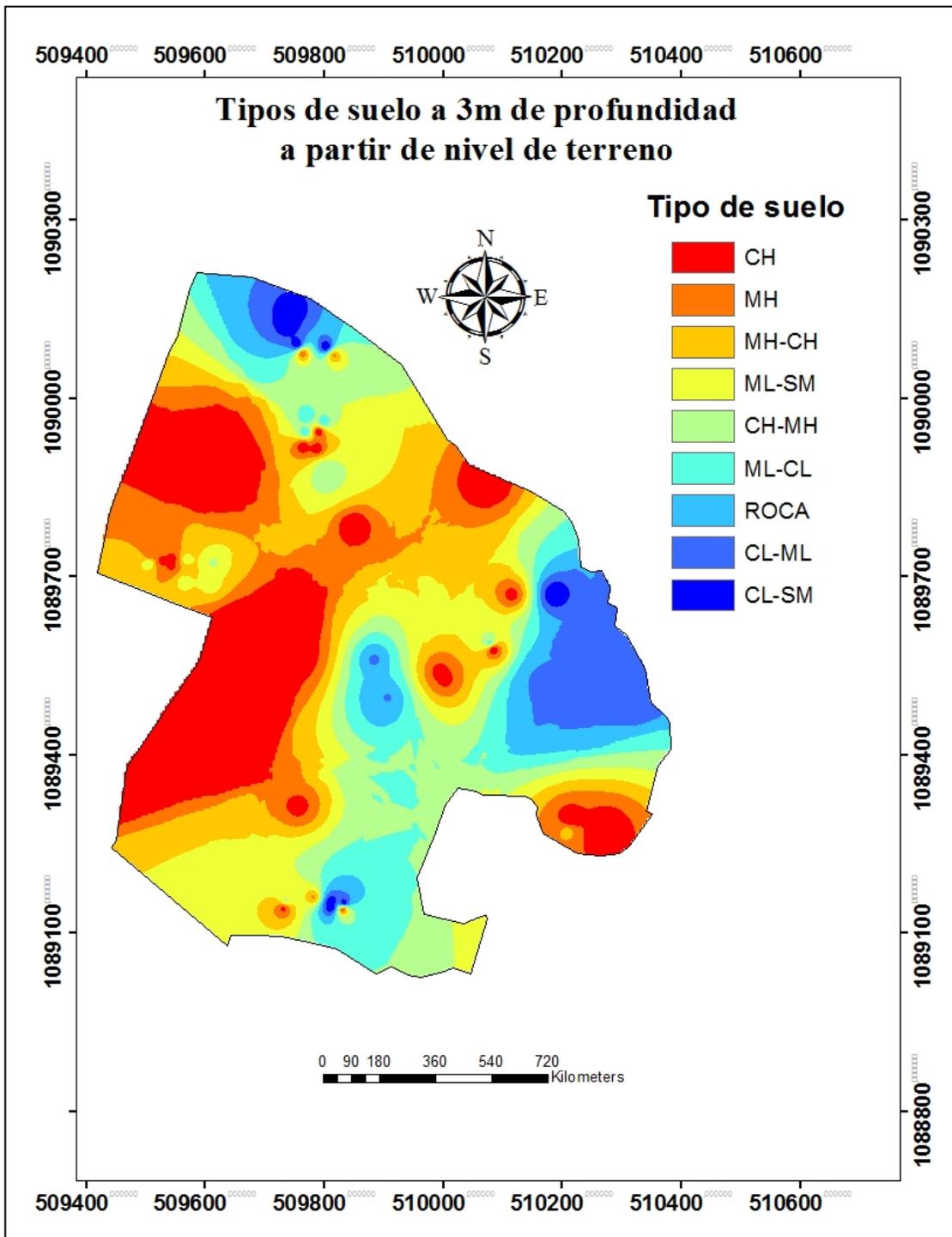


Figura 32. Mapa de tipo de suelo a 3m de profundidad modelado por el método IDW  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

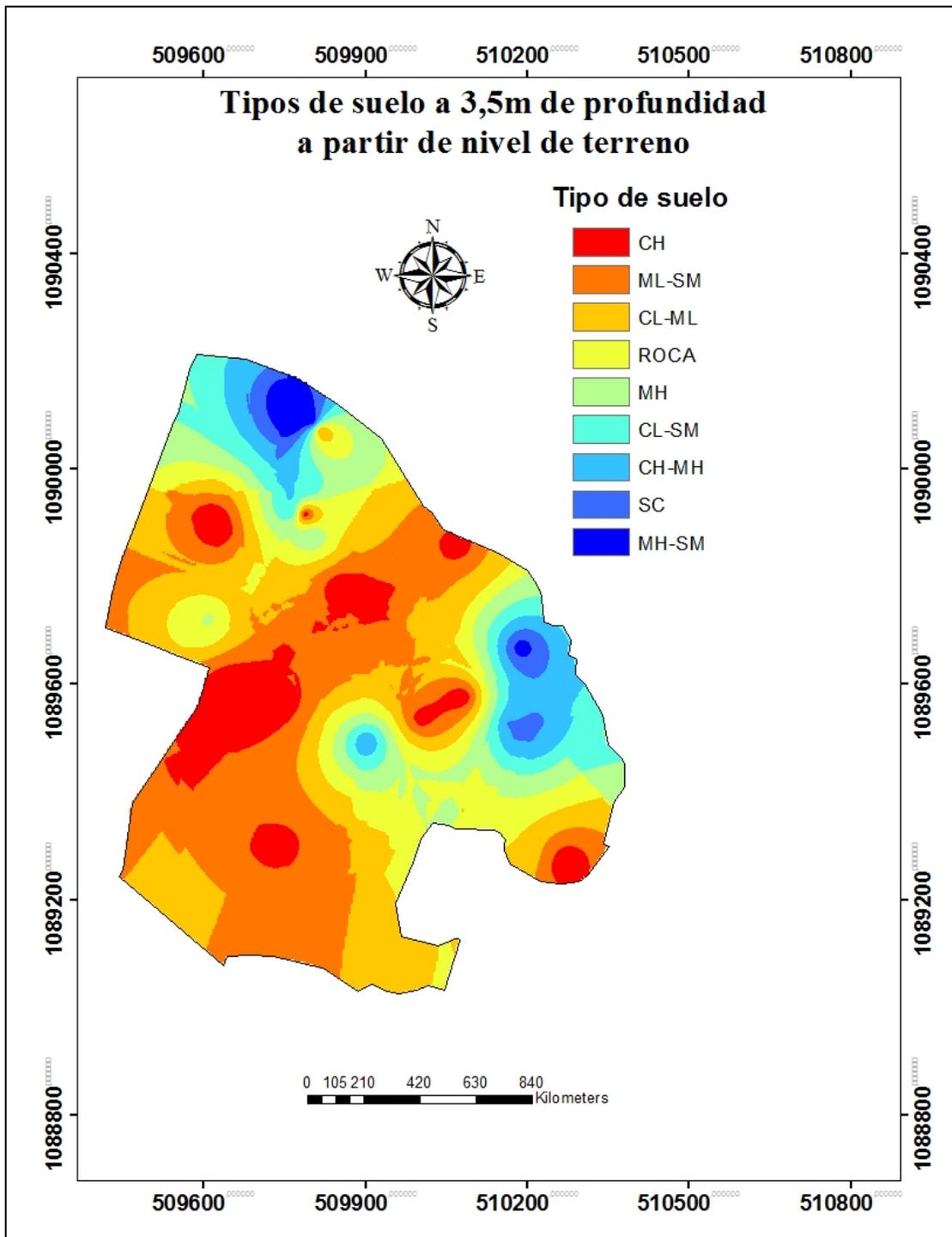


Figura 33. Mapa de tipo de suelo a 3,5m de profundidad modelado por el método de kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

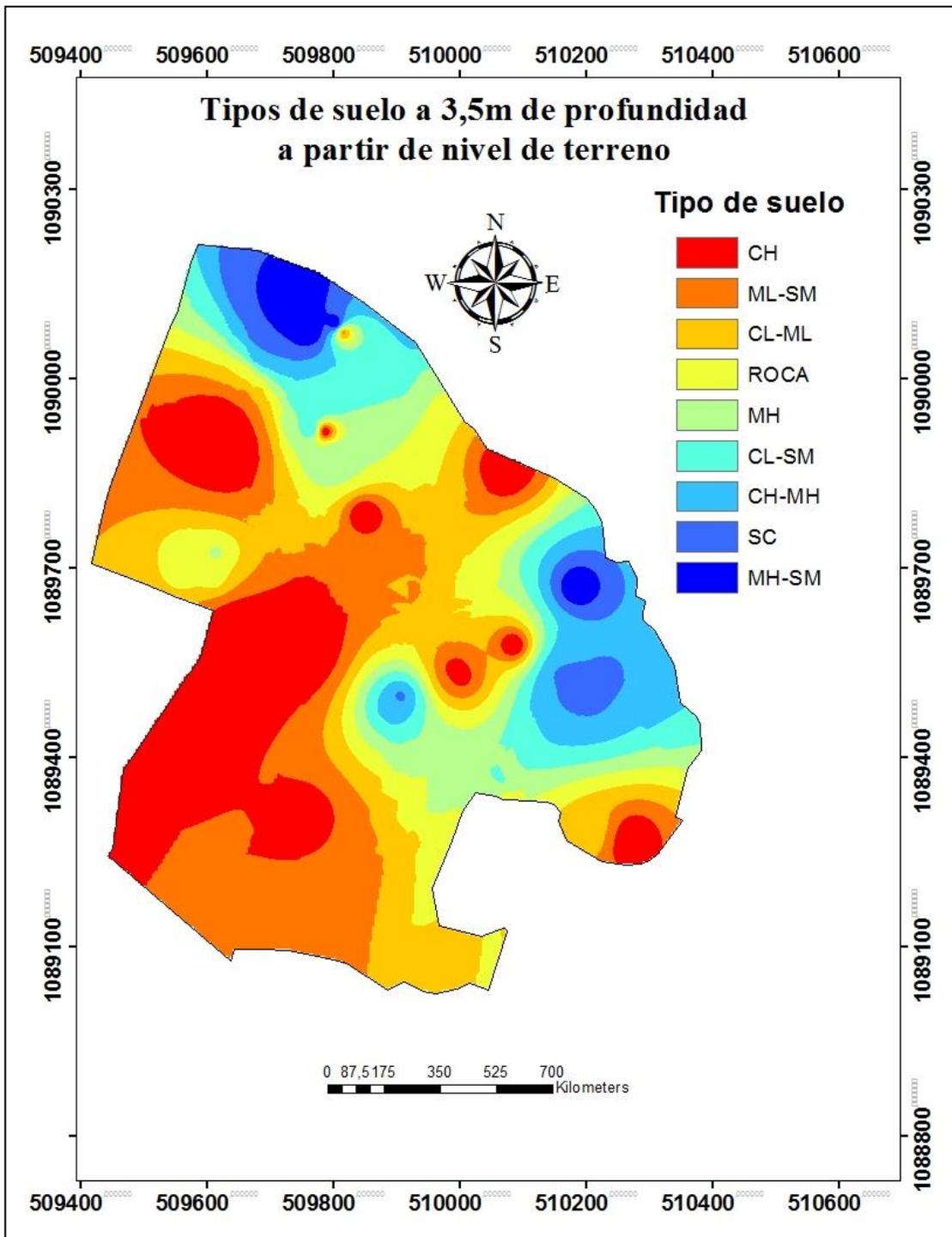


Figura 34. Mapa de tipo de suelo a 3,5m de profundidad modelado por el método IDW  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

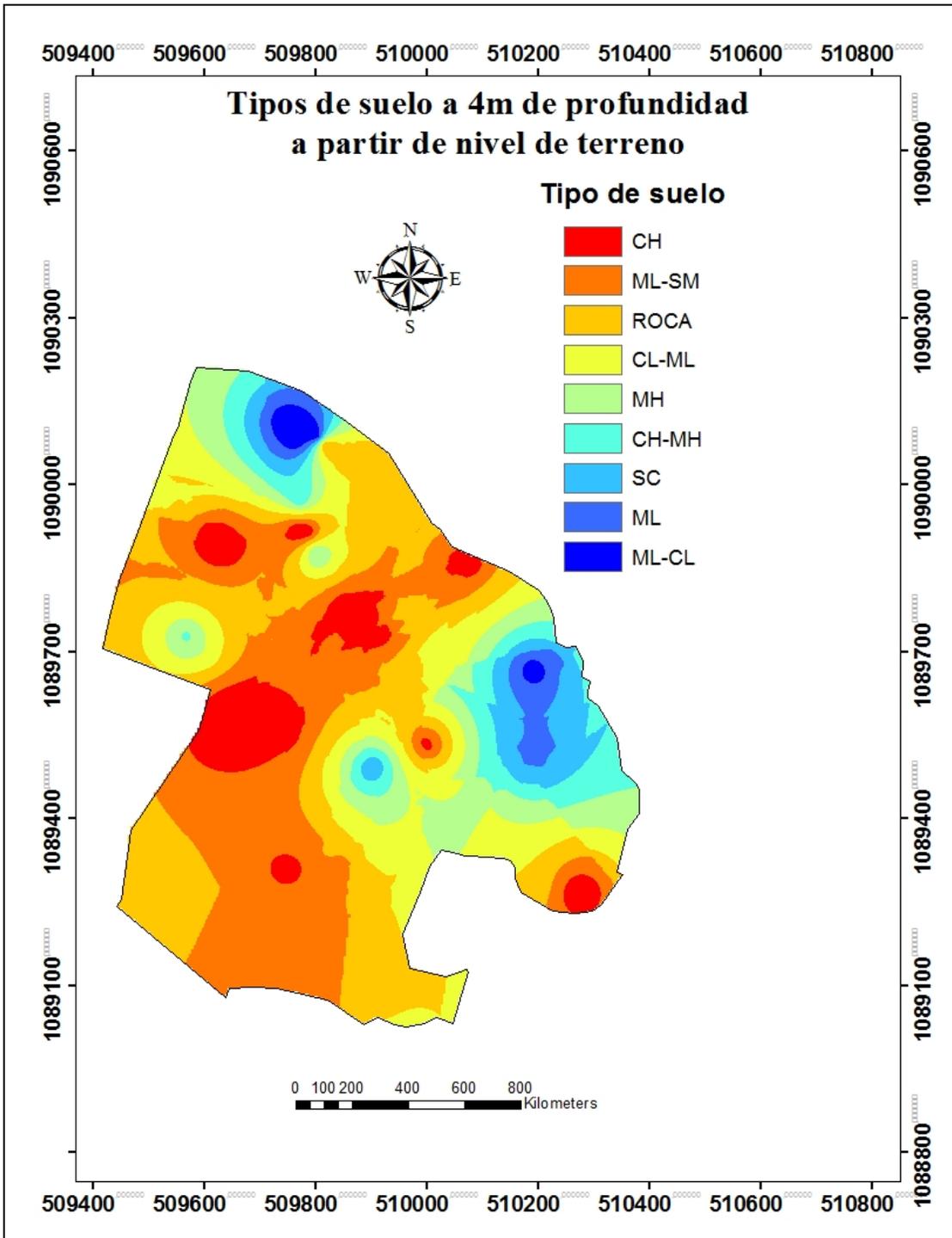


Figura 35. Mapa de tipo de suelo a 4m de profundidad modelado por el método de Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

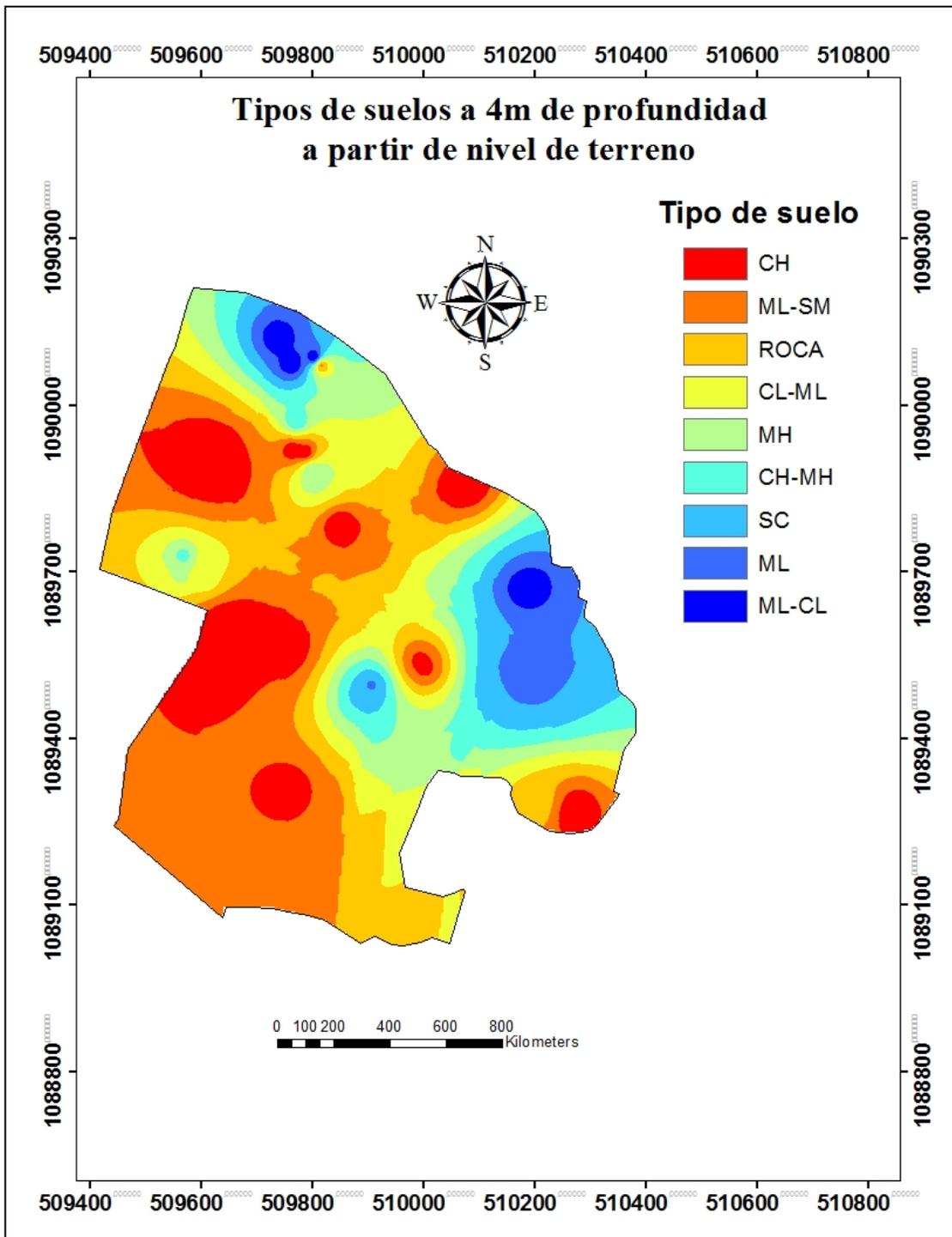


Figura 36. Mapa de tipo de suelo a 4m de profundidad modelado por el método IDW  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

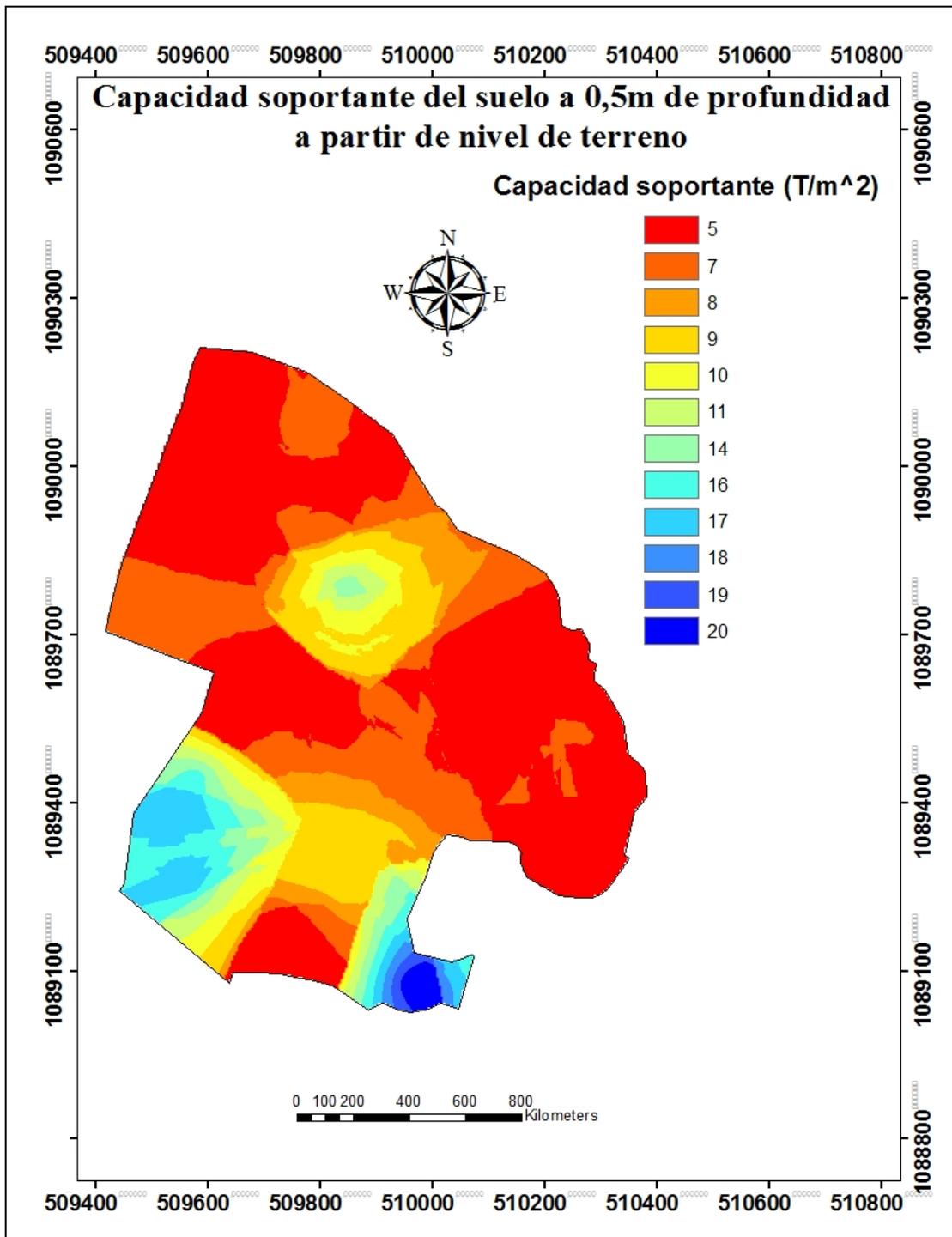


Figura 37. Mapa de capacidad admisible del suelo a 0,5m de profundidad modelado por el método de Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

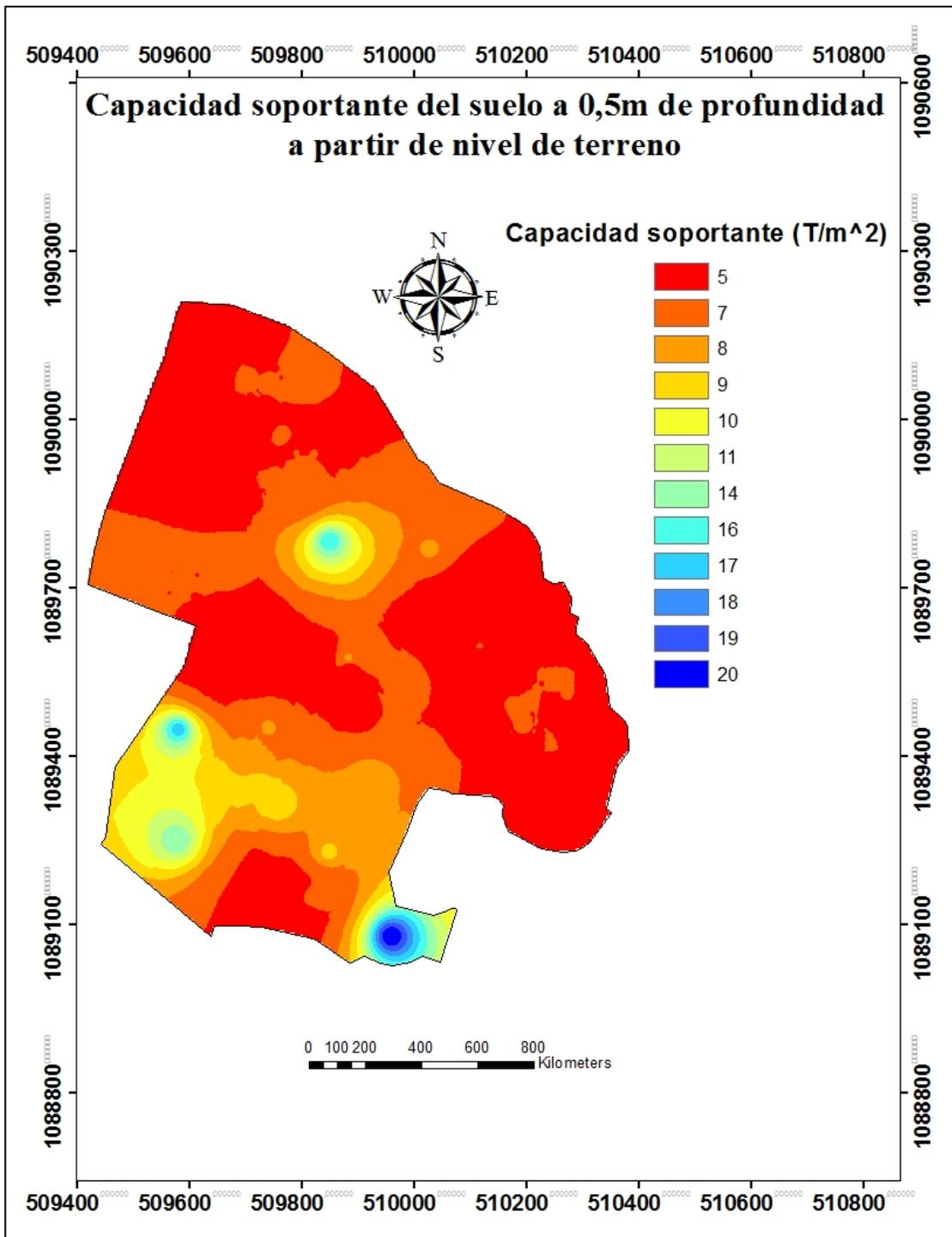


Figura 38. Mapa de capacidad admisible del suelo a 0,5m de profundidad modelado por el método IDW  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

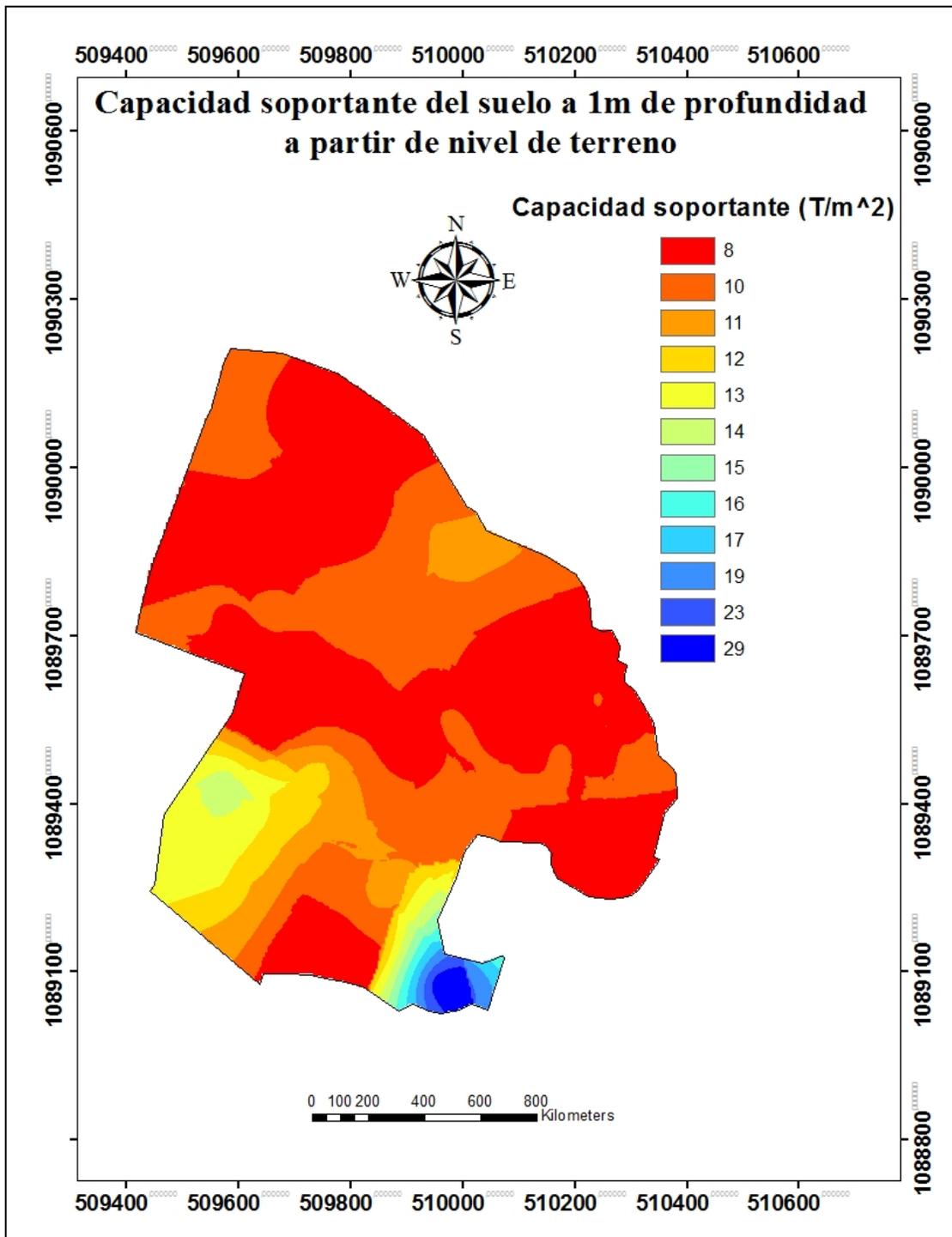


Figura 39. Mapa de capacidad admisible del suelo a 1m de profundidad modelado por el método de Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

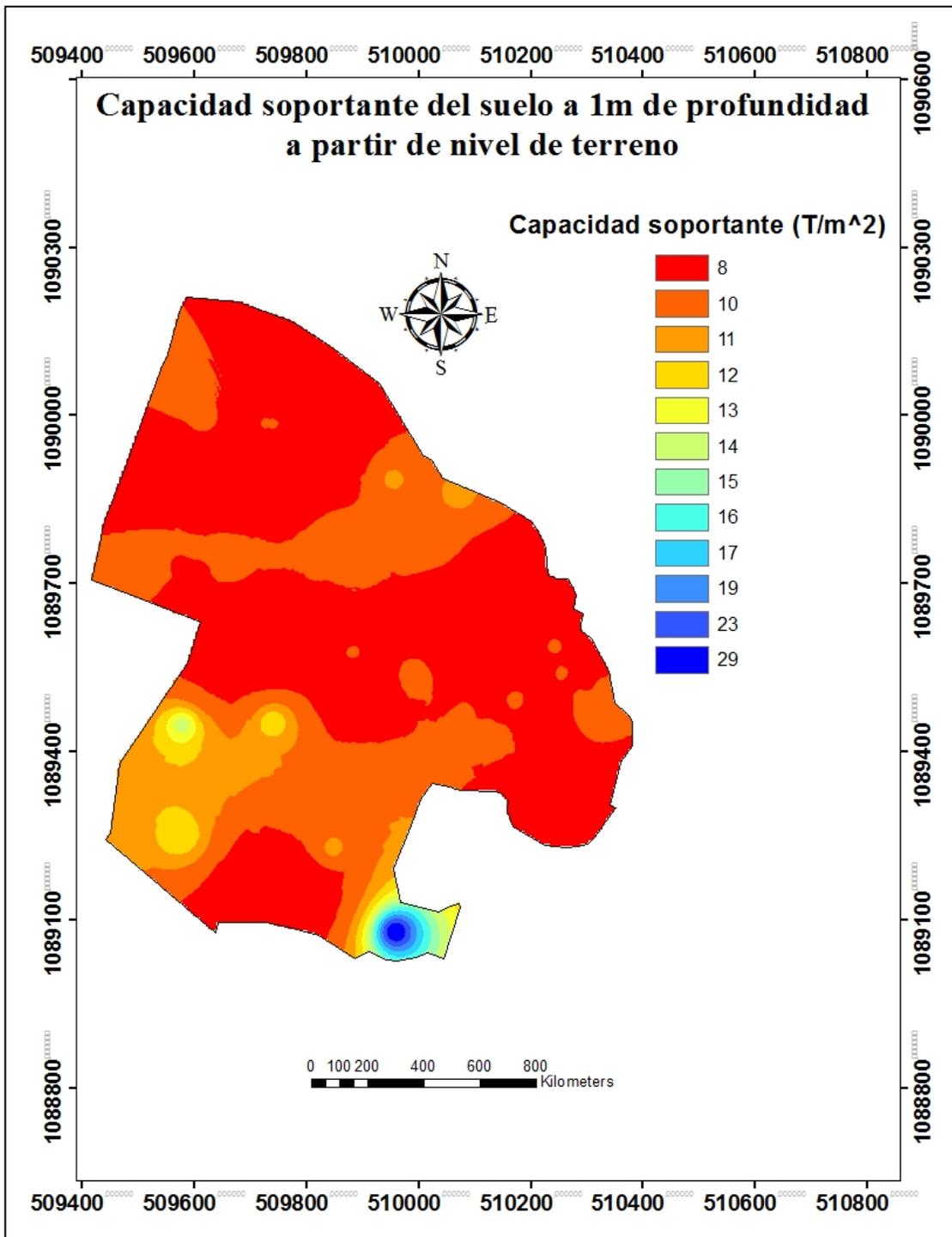


Figura 40. Mapa de capacidad admisible del suelo a 1m de profundidad modelado por el método IDW  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

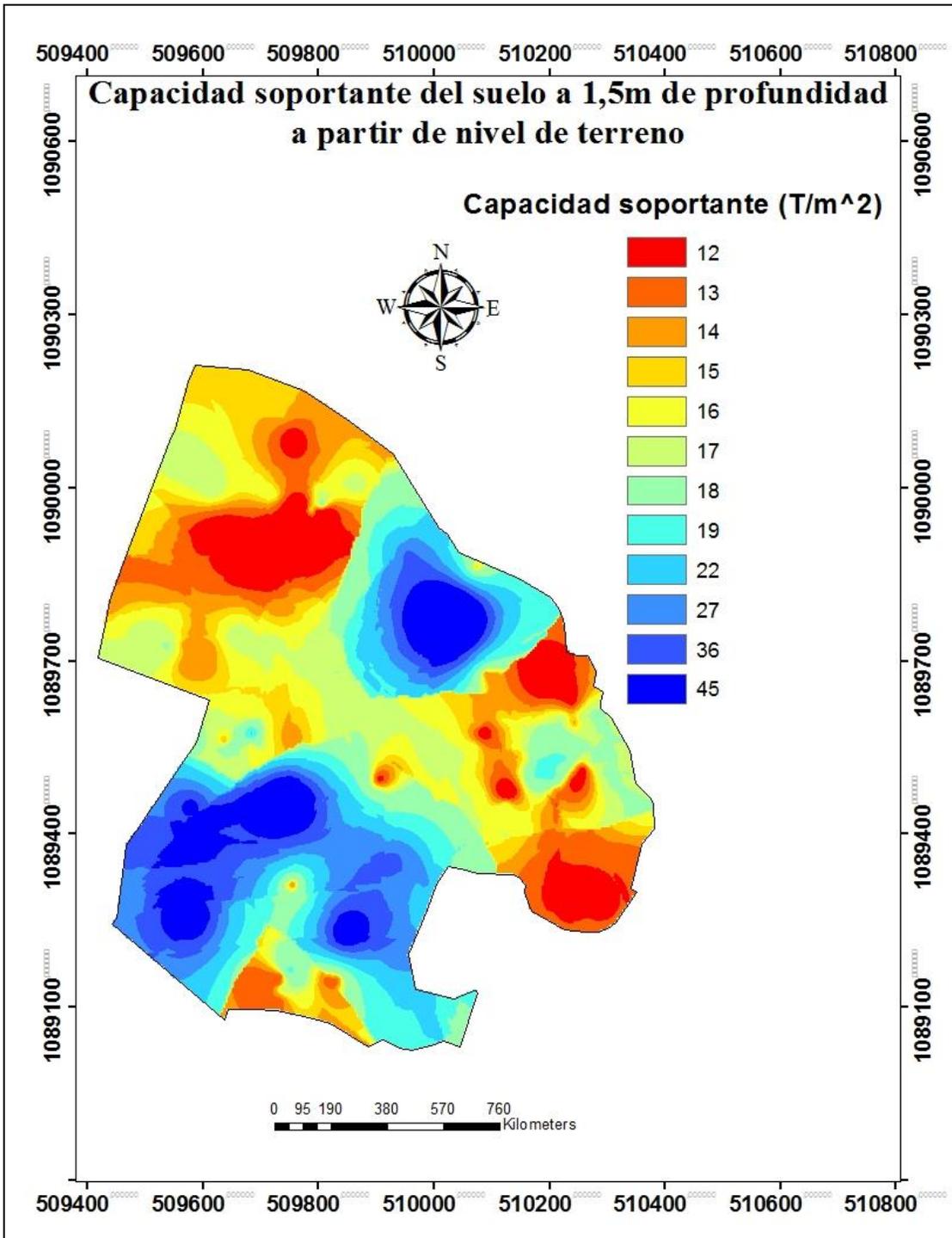


Figura 41. Mapa de capacidad admisible del suelo a 1,5m de profundidad modelado por el método de Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

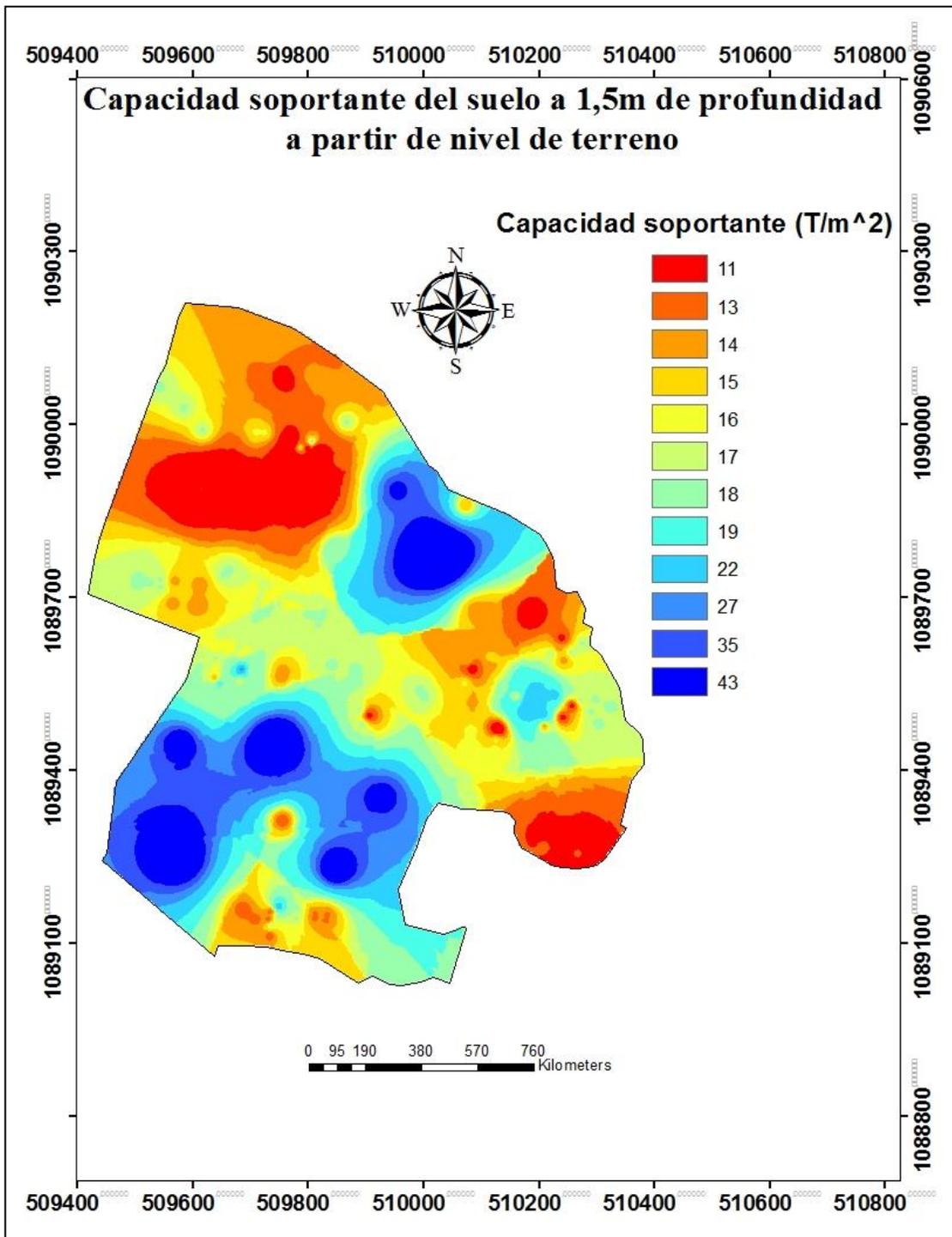


Figura 42. Mapa de capacidad admisible del suelo a 1,5m de profundidad modelado por el método IDW  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

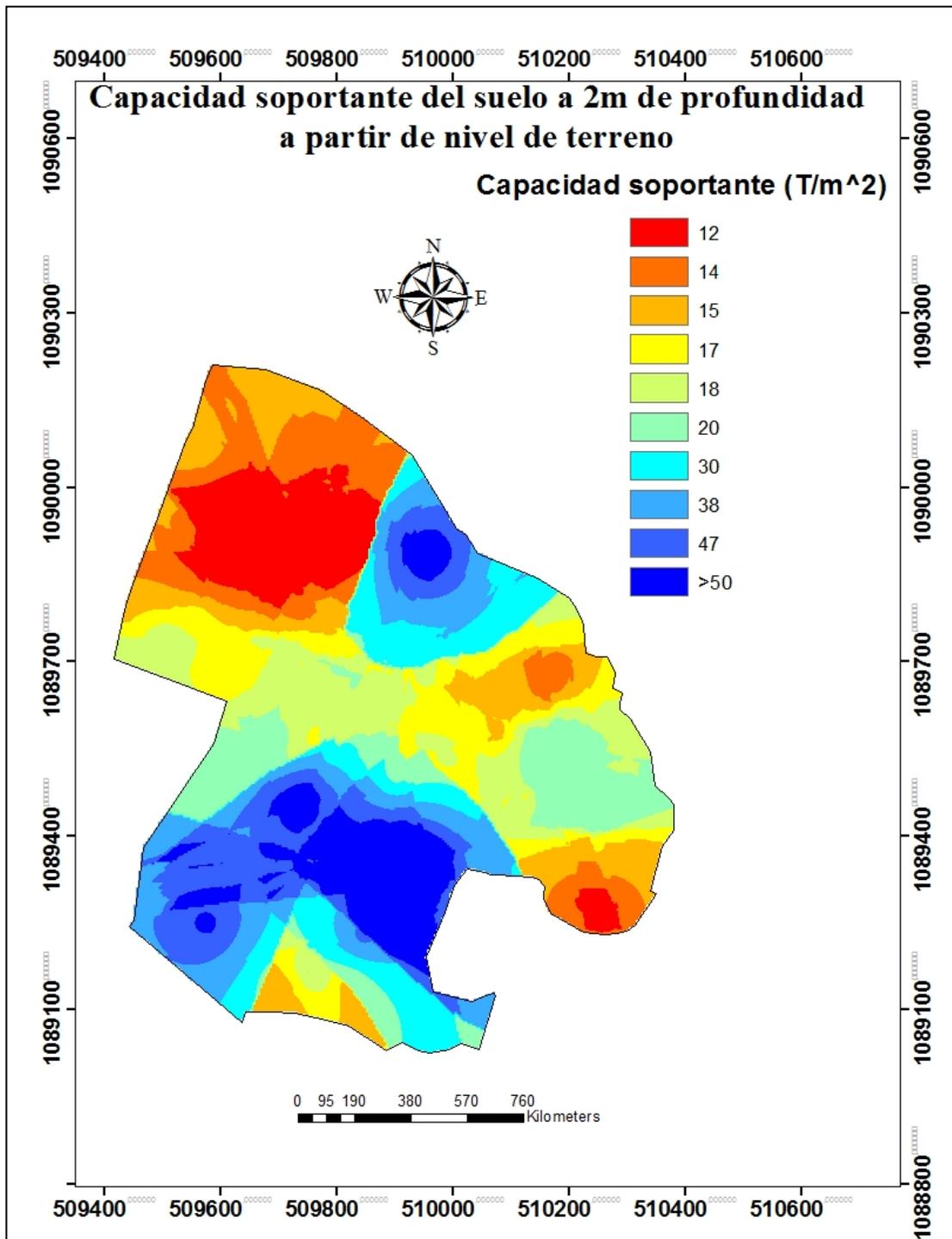


Figura 43. Mapa de capacidad admisible del suelo a 2m de profundidad modelado por el método de Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

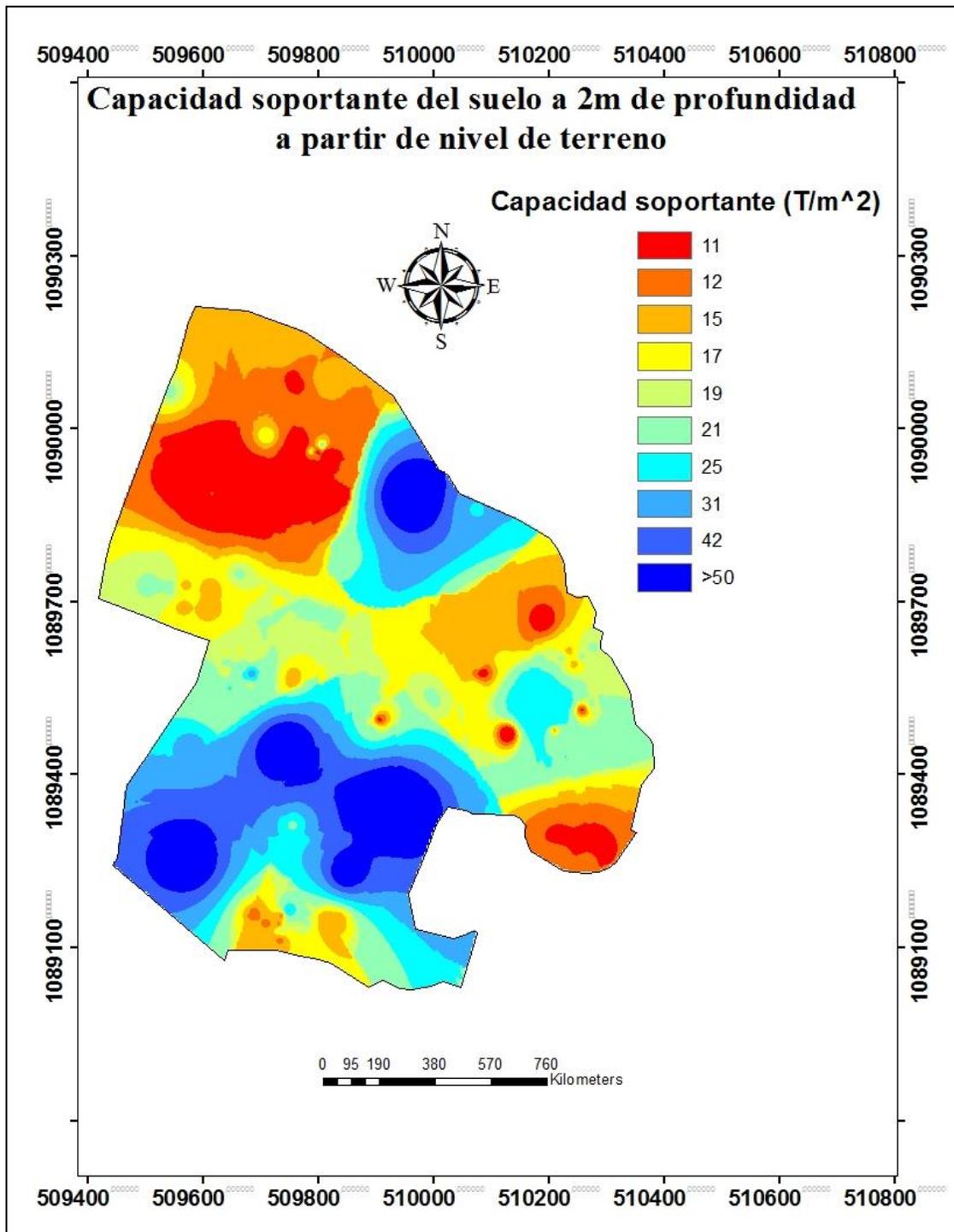


Figura 44. Mapa de capacidad admisible del suelo a 2m de profundidad modelado por el método IDW  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

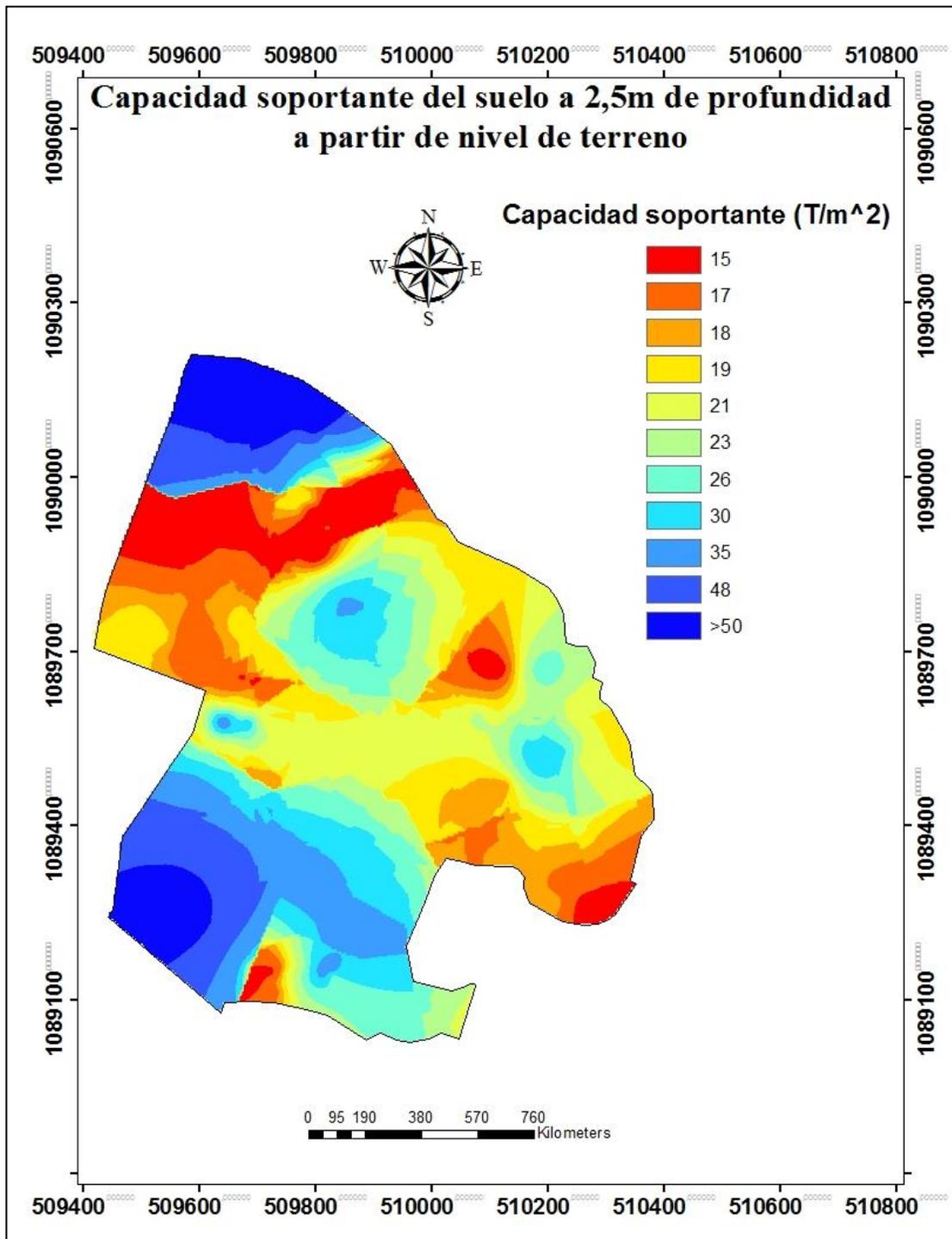


Figura 45. Mapa de capacidad admisible del suelo a 2,5m de profundidad modelado por el método de Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

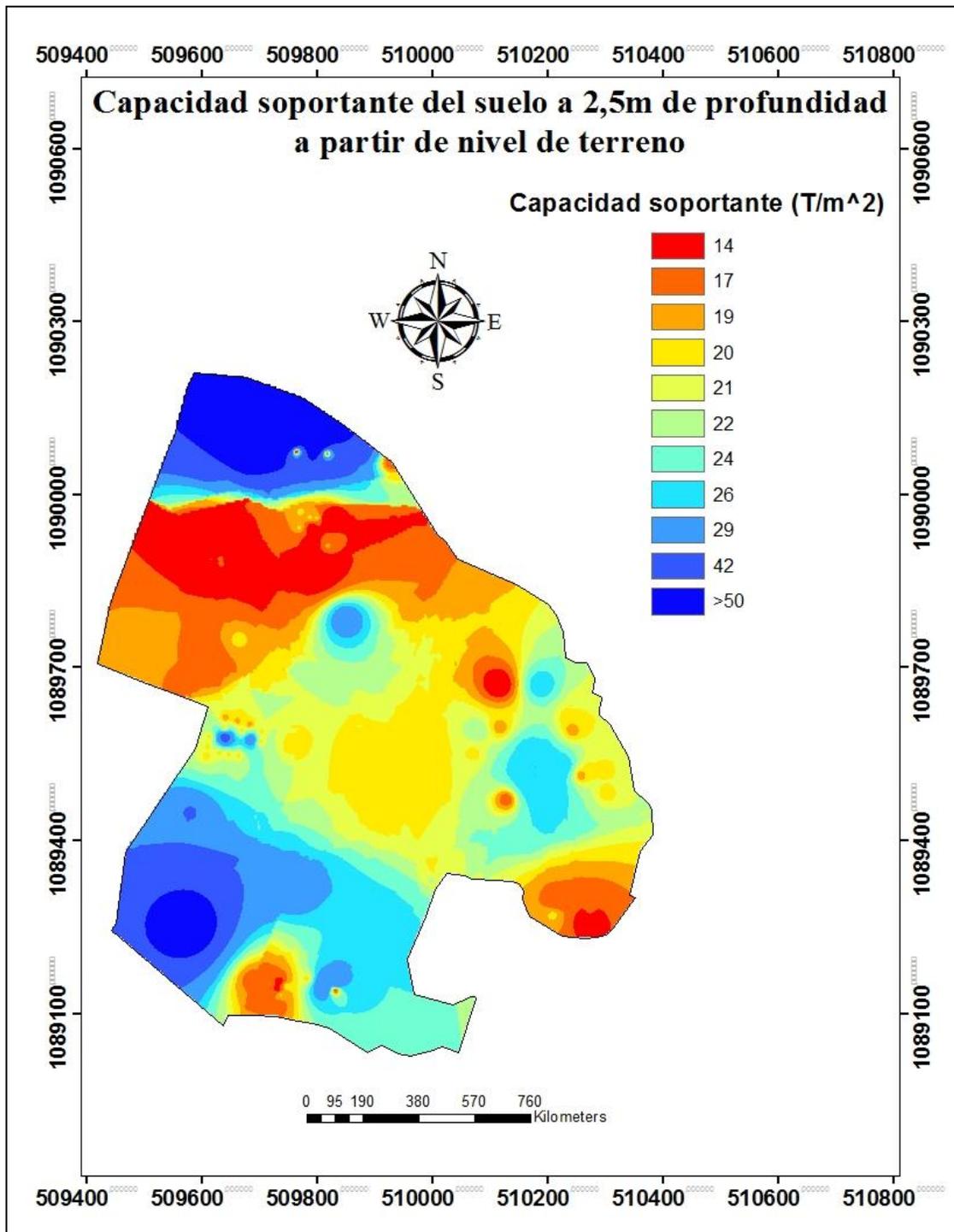


Figura 46. Mapa de capacidad admisible del suelo a 2,5m de profundidad modelado por el método IDW  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

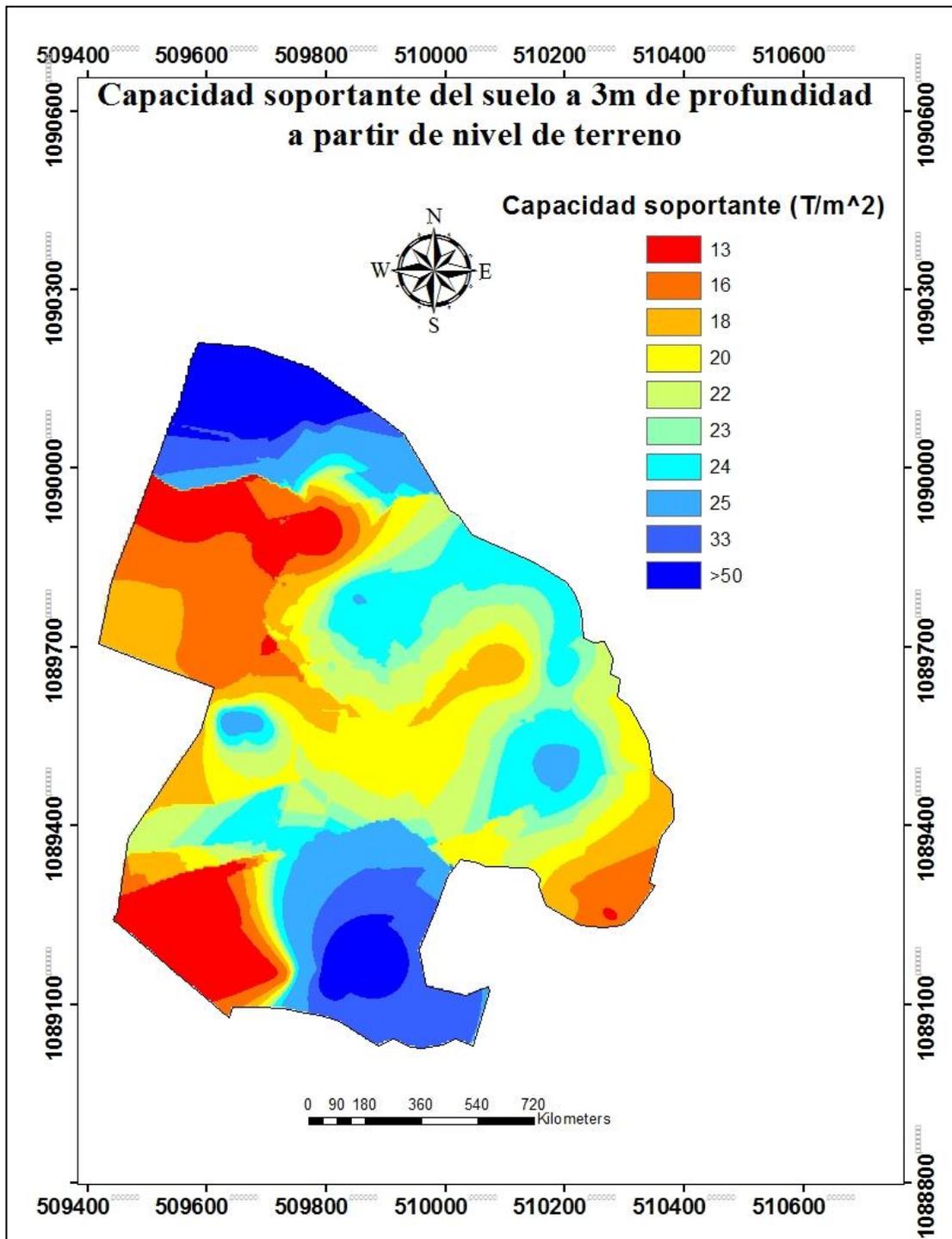


Figura 47. Mapa de capacidad admisible del suelo a 3m de profundidad modelado por el método de Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

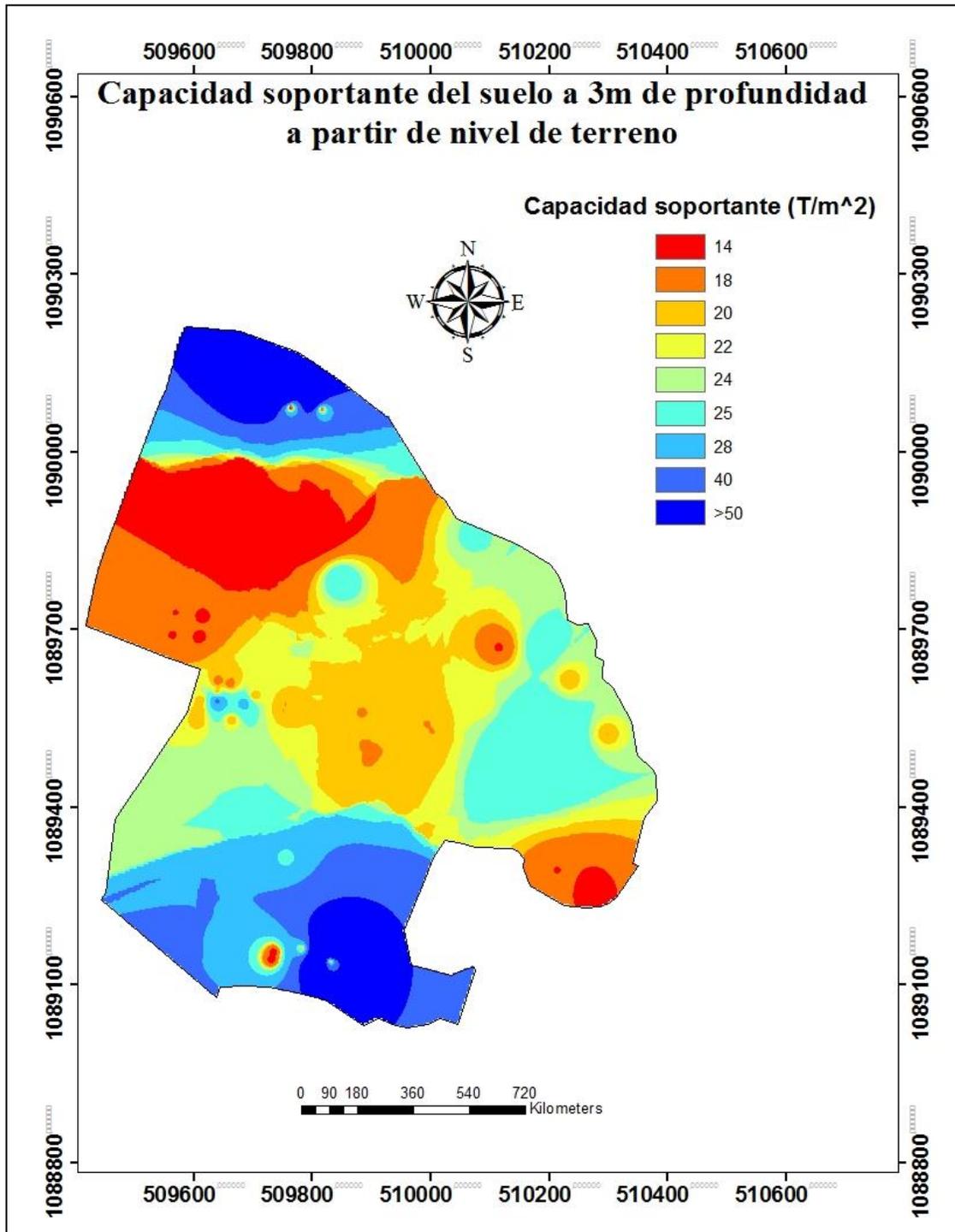


Figura 48. Mapa de capacidad admisible del suelo a 3m de profundidad modelado por el método IDW  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

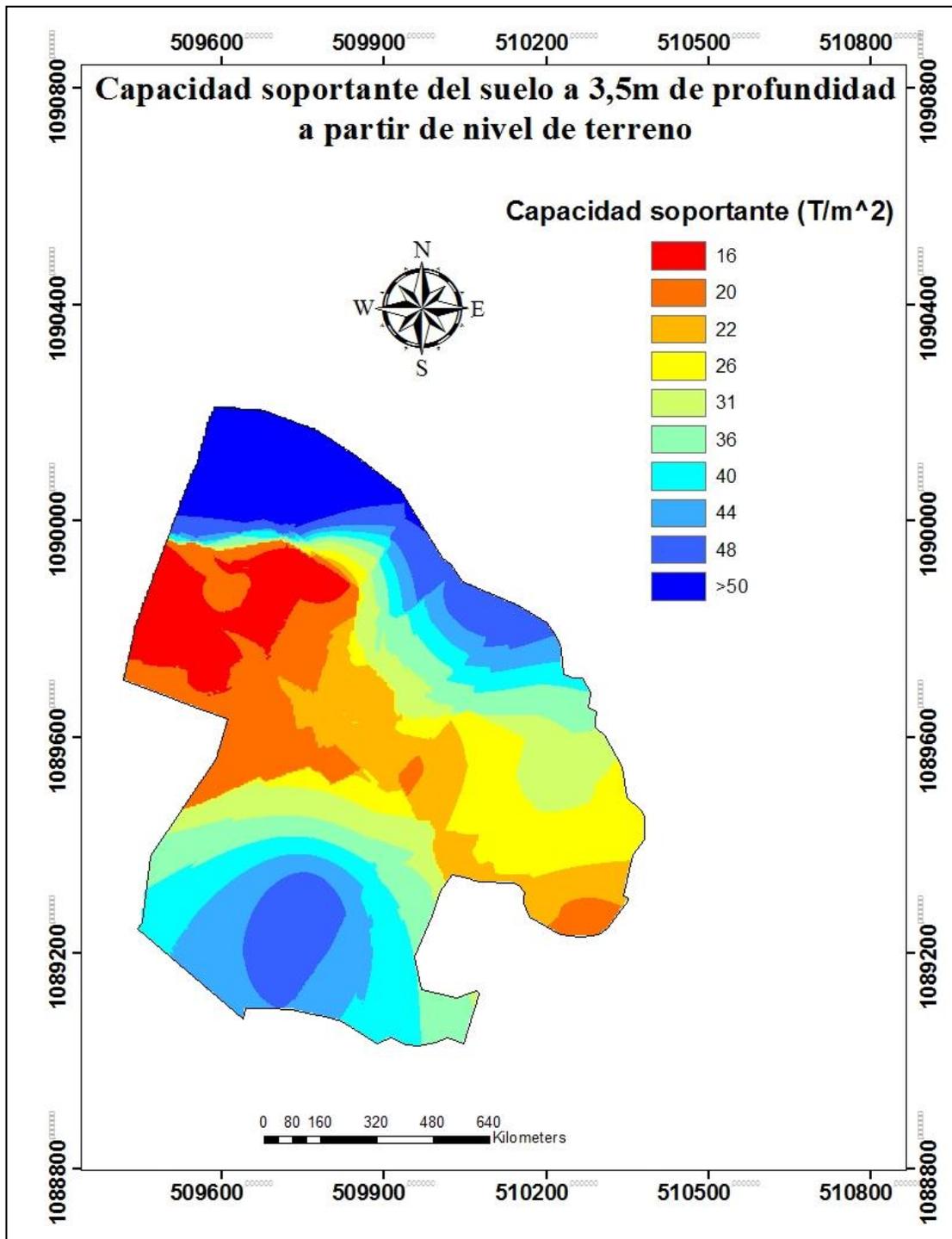


Figura 49. Mapa de capacidad admisible del suelo a 3,5m de profundidad modelado por el método de Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

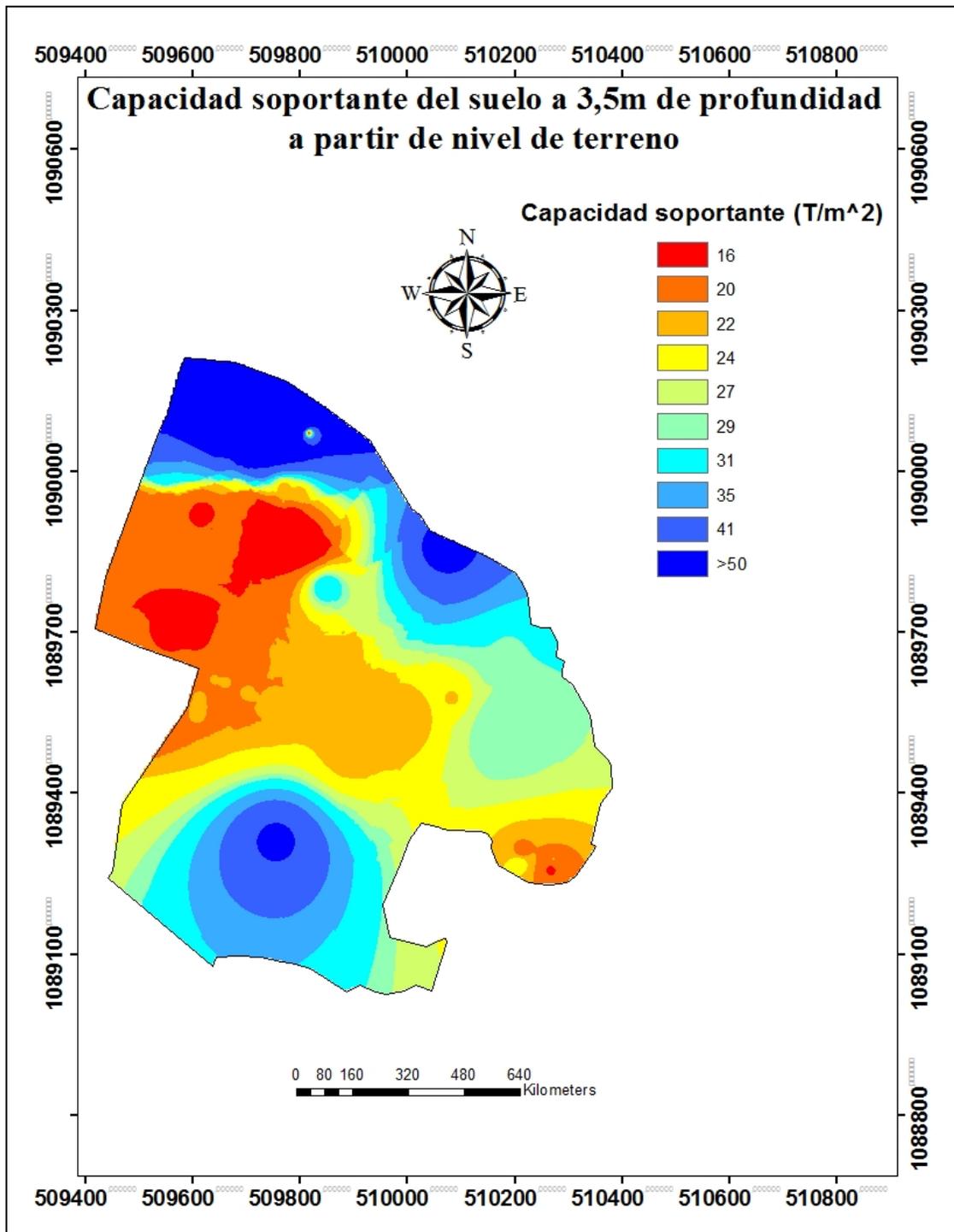


Figura 50. Mapa de capacidad admisible del suelo a 3,5m de profundidad modelado por el método IDW  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

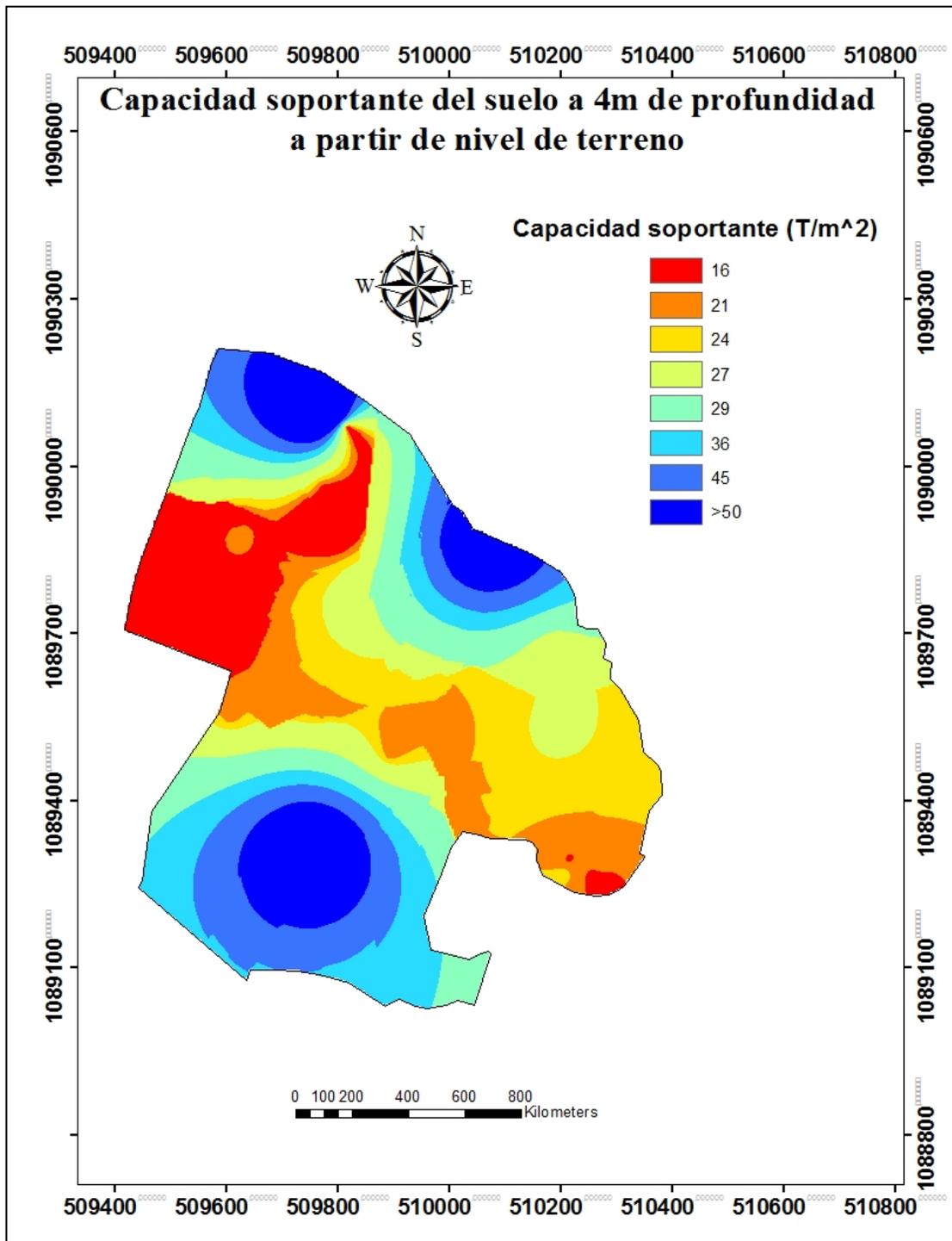


Figura 51. Mapa de capacidad admisible del suelo a 4m de profundidad modelado por el método de Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

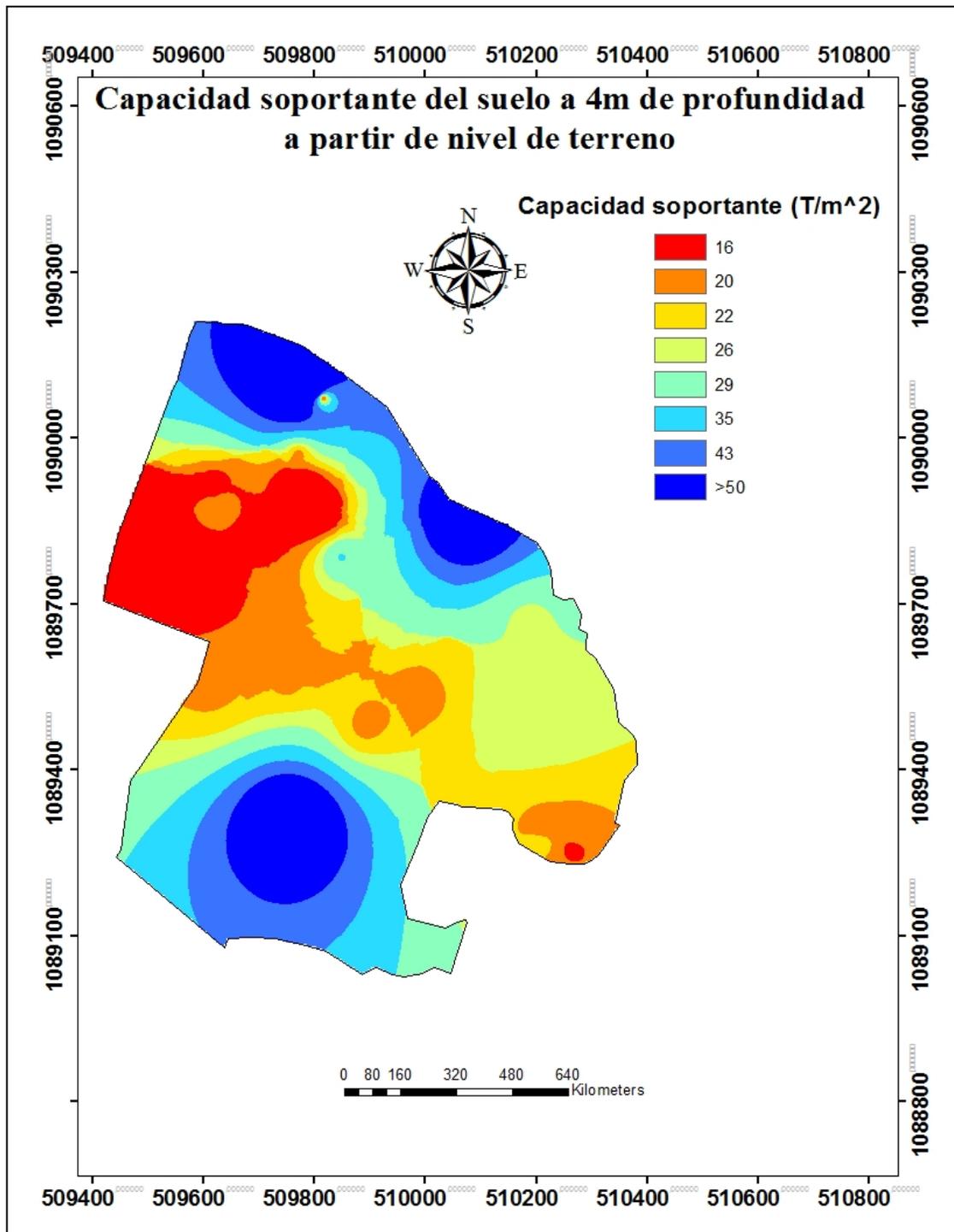


Figura 52. Mapa de capacidad admisible del suelo a 4m de profundidad modelado por el método IDW  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

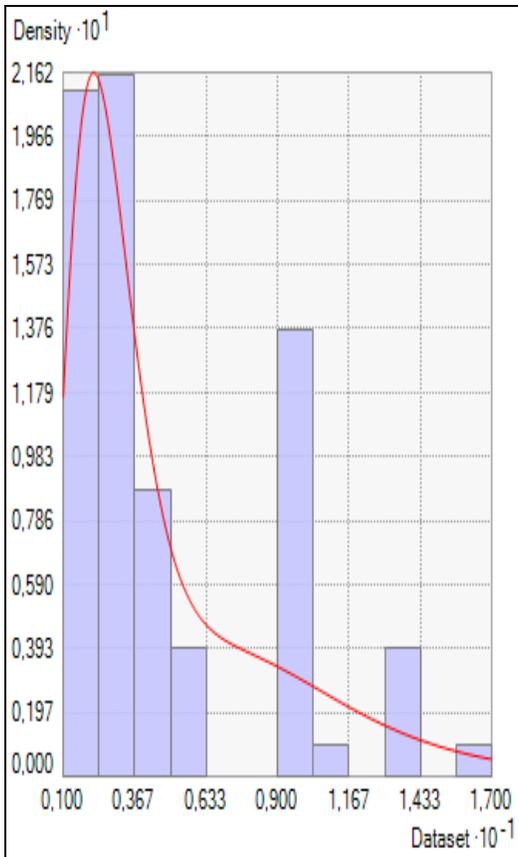


Figura 53. Histograma de datos de tipo de suelo a 0,5m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

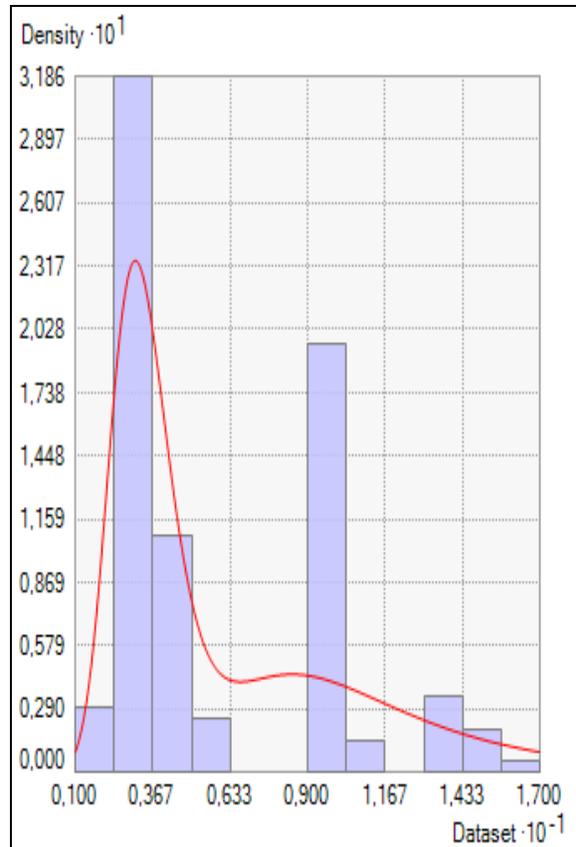


Figura 54. Histograma de datos de tipo de suelo a 1,0m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

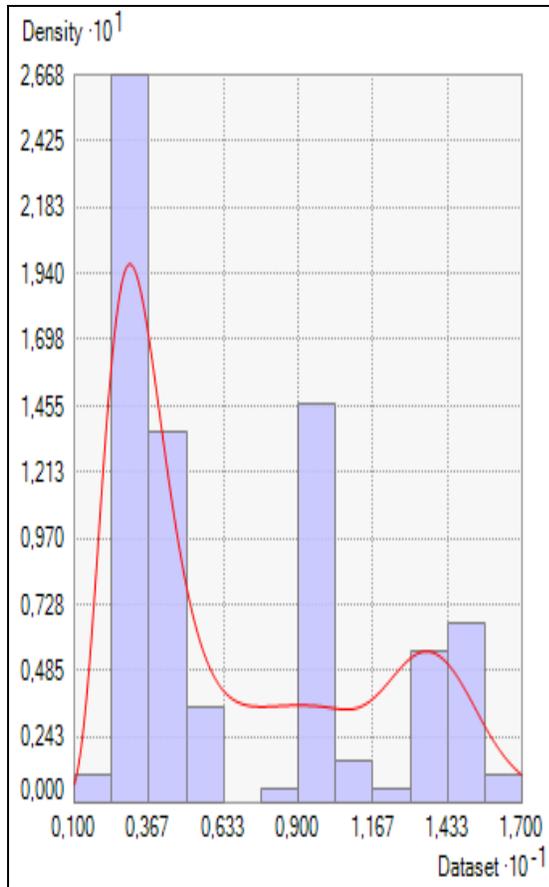


Figura 55. Histograma de datos de tipo de suelo a 1,5m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

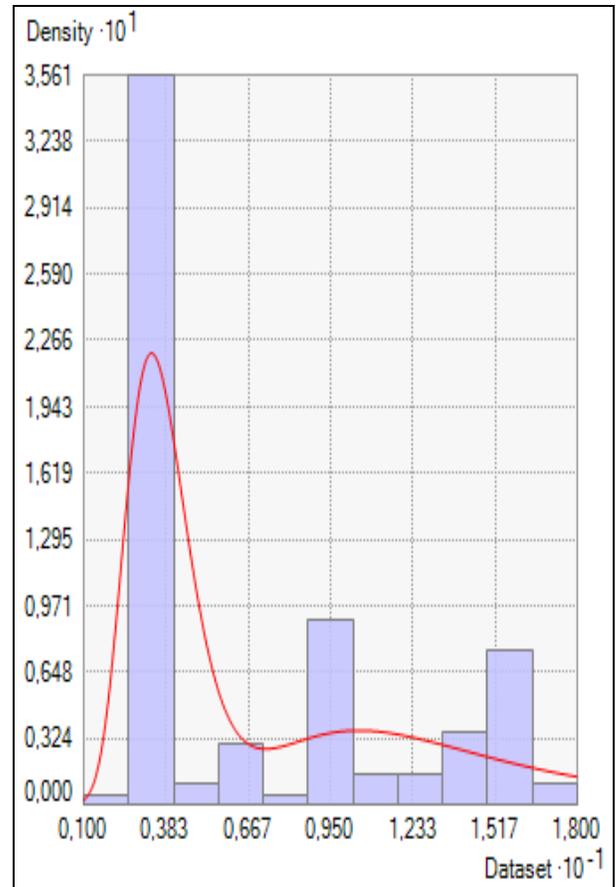


Figura 56. Histograma de datos de tipo de suelo a 2,0m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

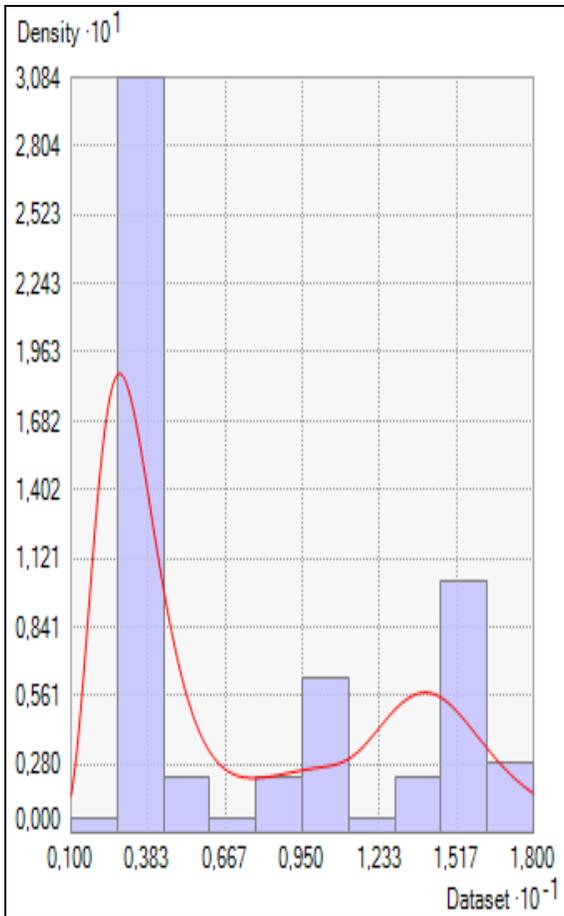


Figura 57. Histograma de datos de tipo de suelo a 2,5m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

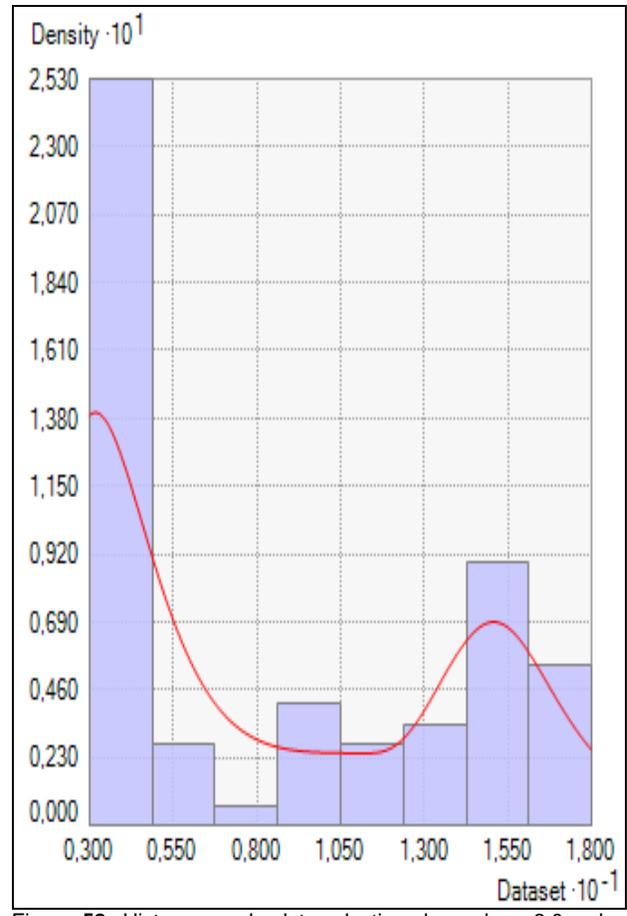


Figura 58. Histograma de datos de tipo de suelo a 3,0m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

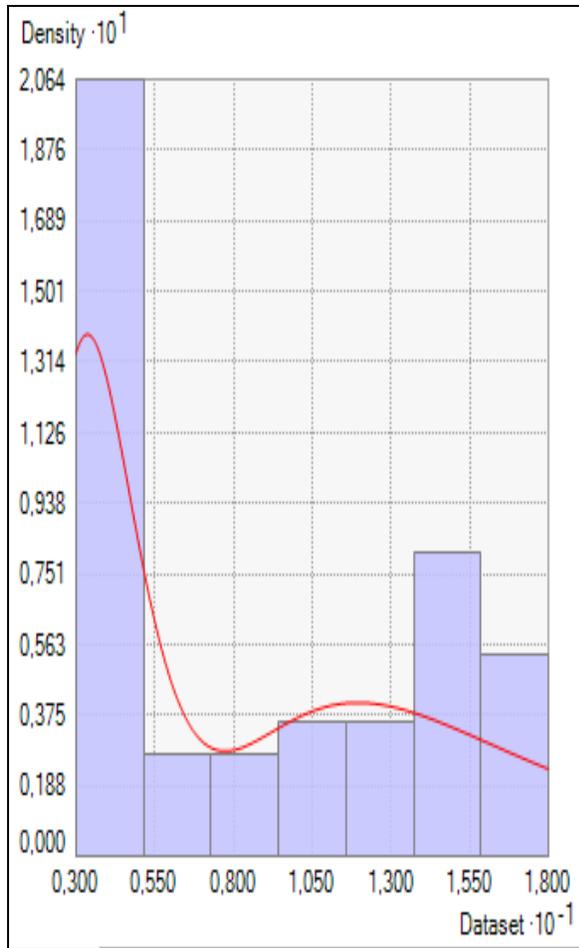


Figura 59. Histograma de datos de tipo de suelo a 3,5m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

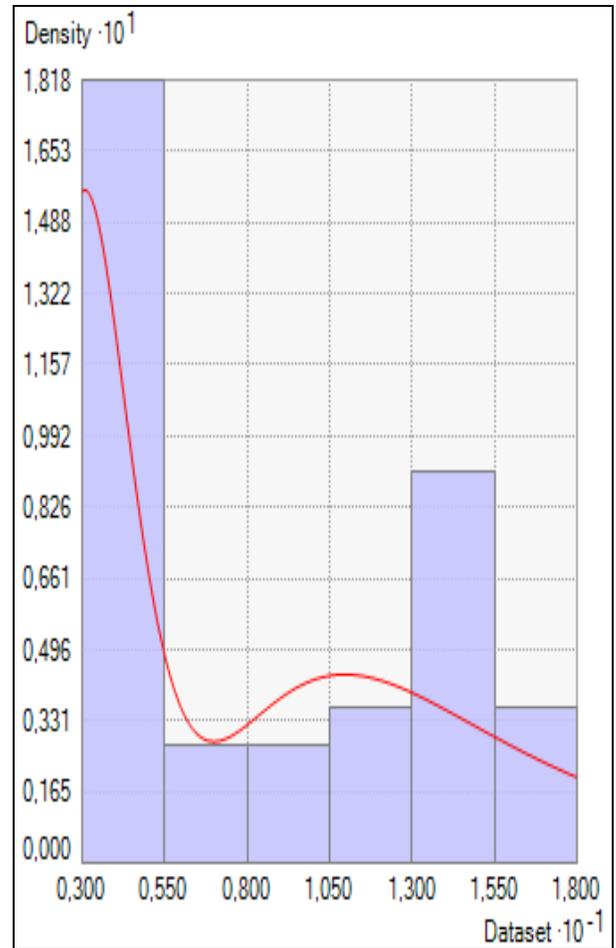


Figura 60. Histograma de datos de tipo de suelo a 4,0m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

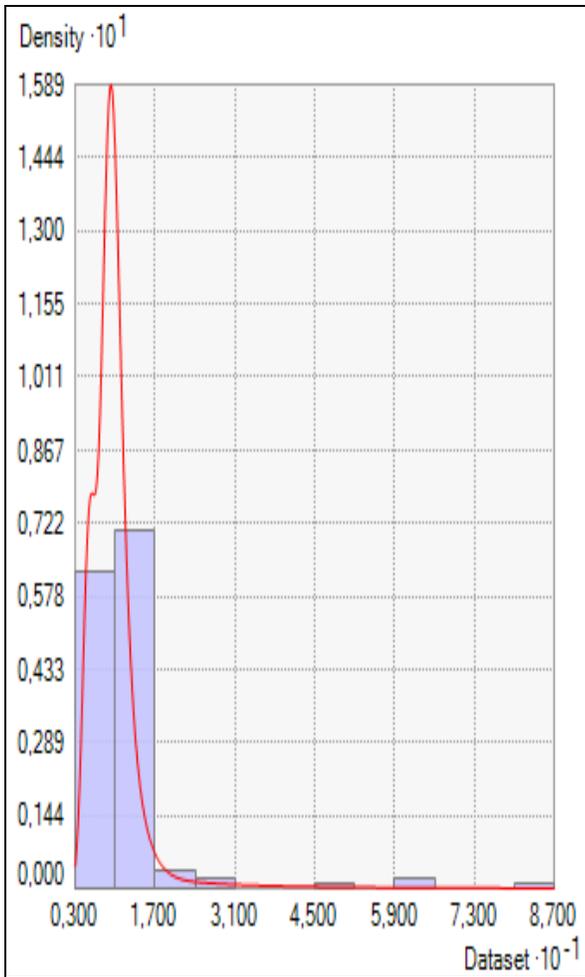


Figura 61. Histograma de datos de capacidad soportante del suelo a 0,5m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

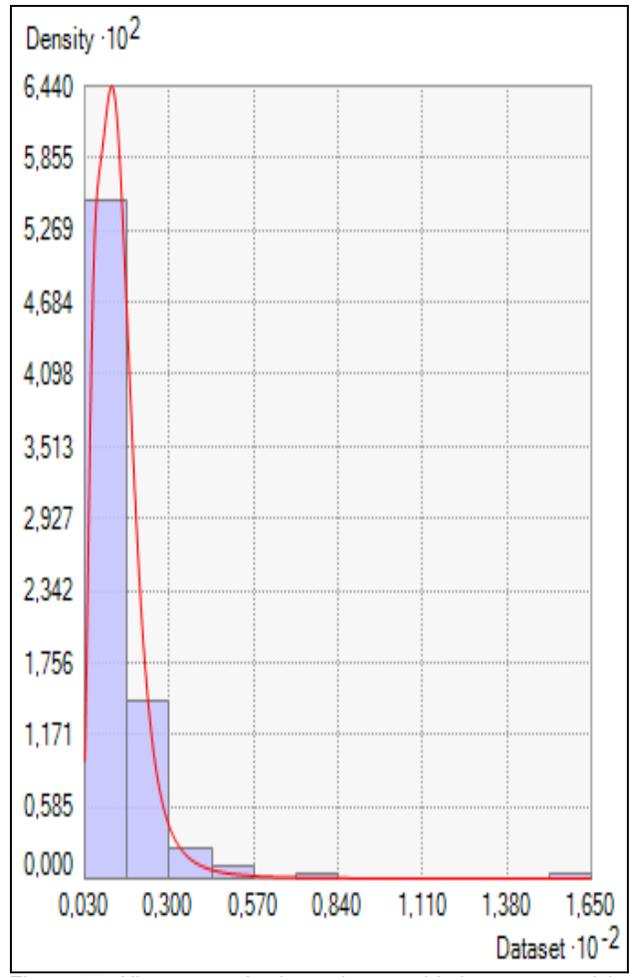


Figura 62. Histograma de datos de capacidad soportante del suelo a 1,0m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

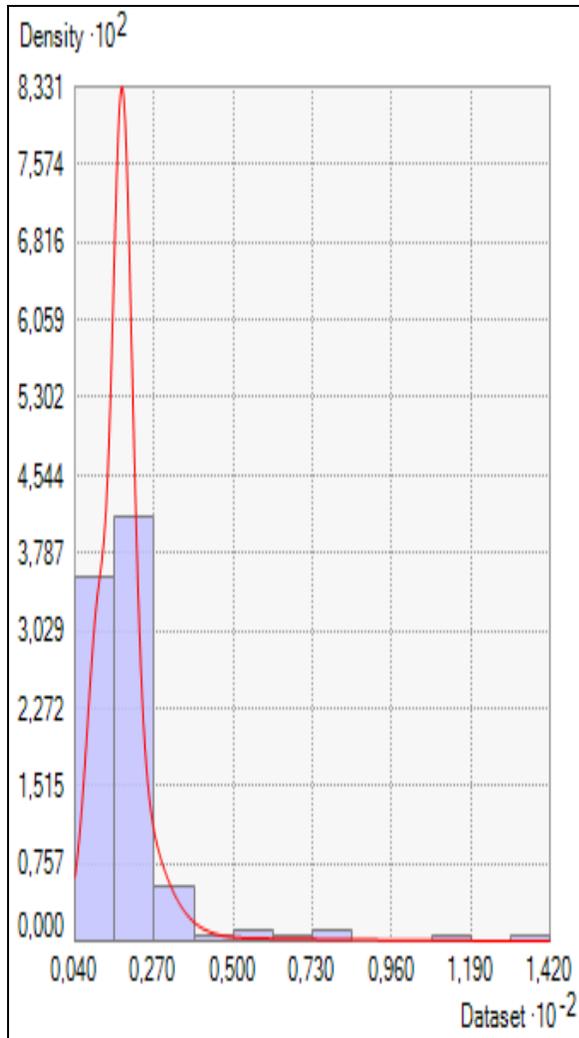


Figura 63. Histograma de datos de capacidad soportante del suelo a 1,5m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

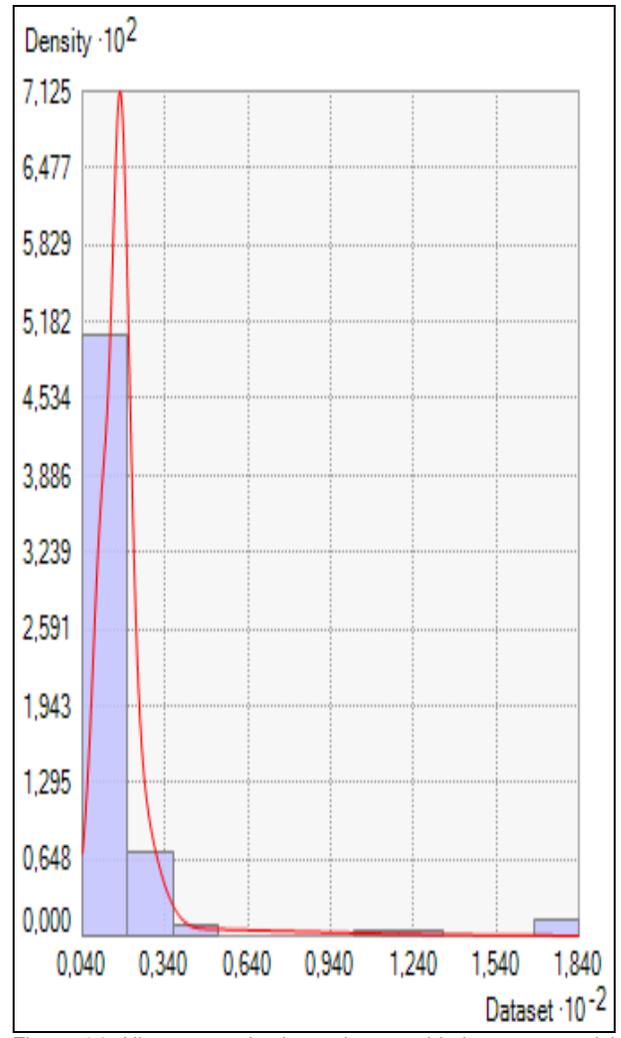


Figura 64. Histograma de datos de capacidad soportante del suelo a 2,0m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

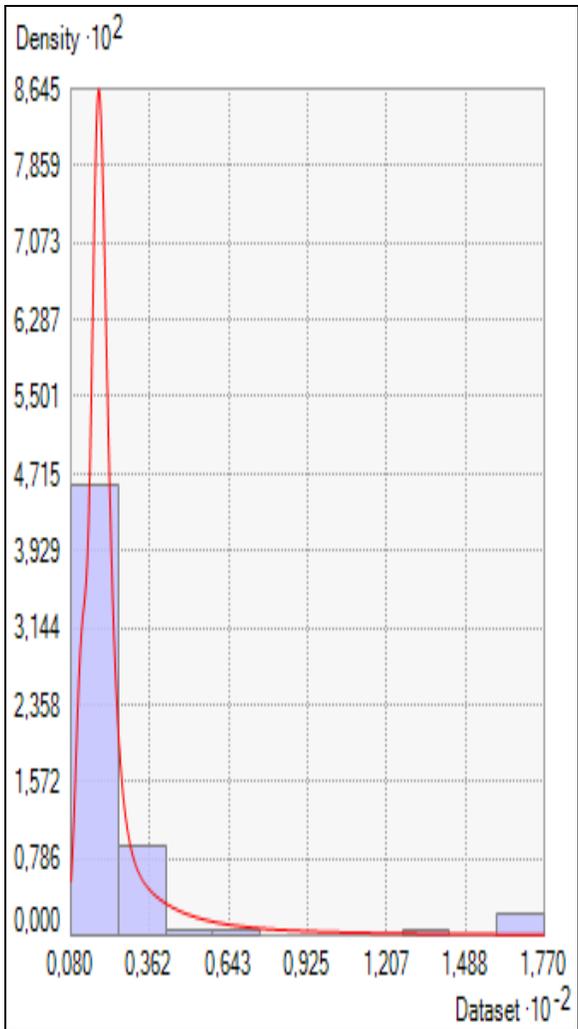


Figura 65. Histograma de datos de capacidad soportante del suelo a 2,5m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

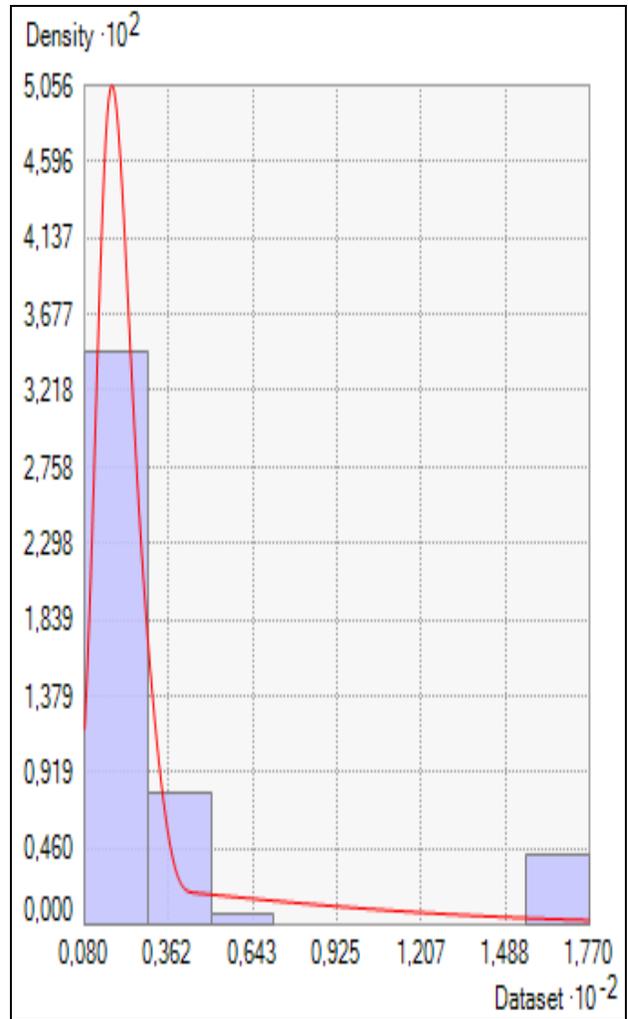


Figura 66. Histograma de datos de capacidad soportante del suelo a 3,0m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

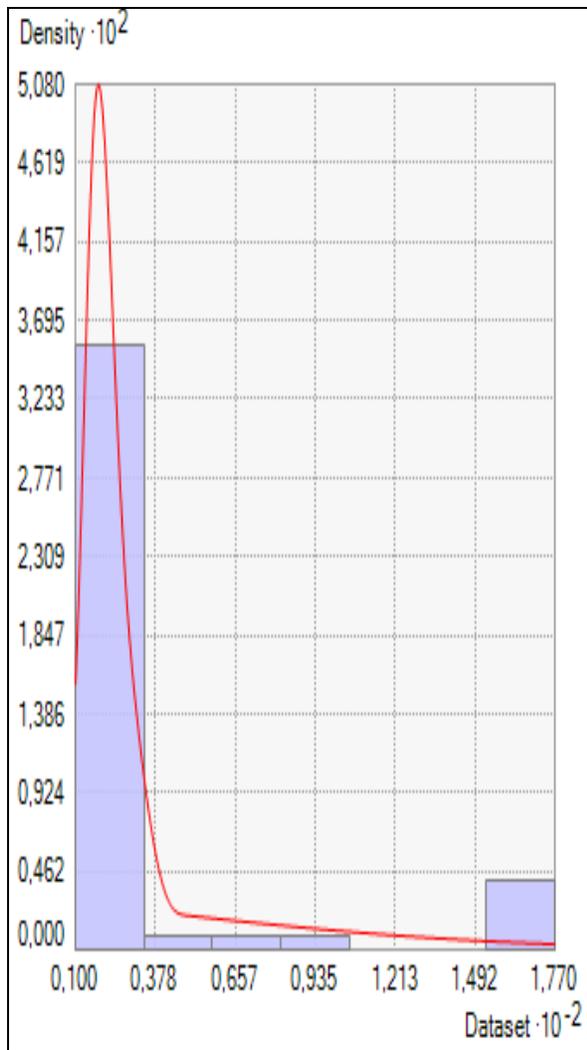


Figura 67. Histograma de datos de capacidad soportante del suelo a 3,5m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

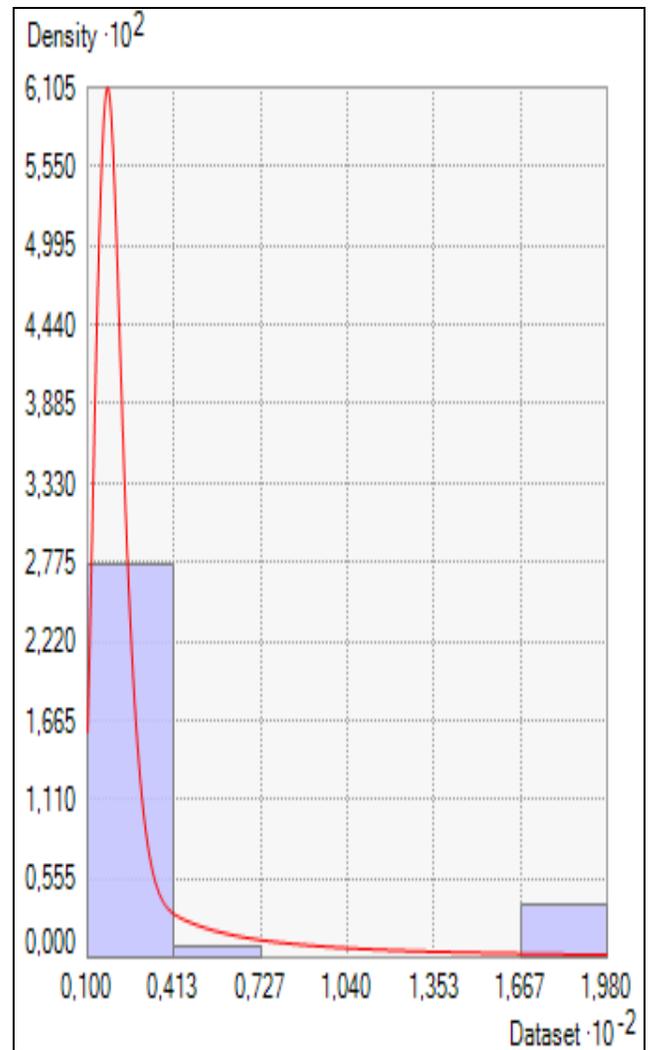


Figura 68. Histograma de datos de capacidad soportante del suelo a 4,0m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

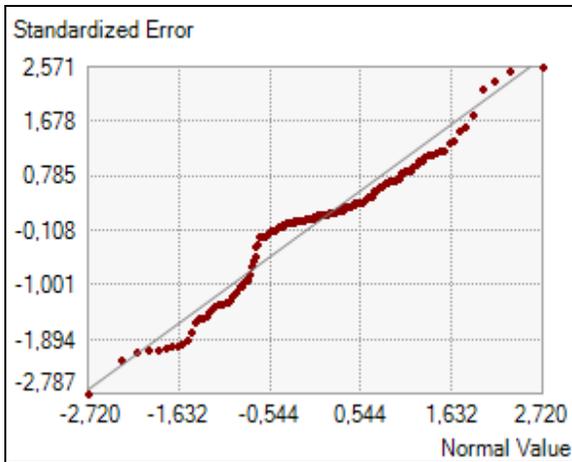


Figura 69. Gráfica de normalidad Q-Q en datos de tipo de suelo a 0,5m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

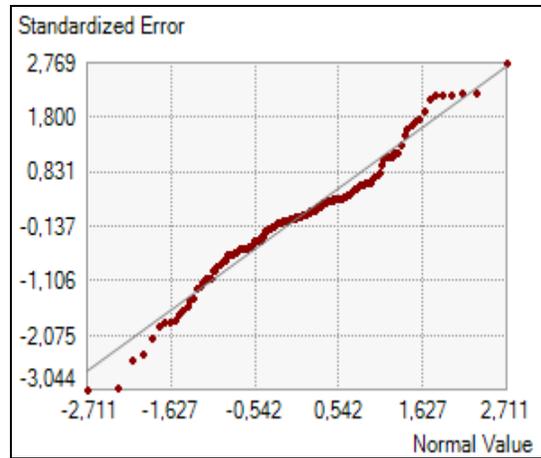


Figura 71. Gráfica de normalidad Q-Q en datos de tipo de suelo a 1,5m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

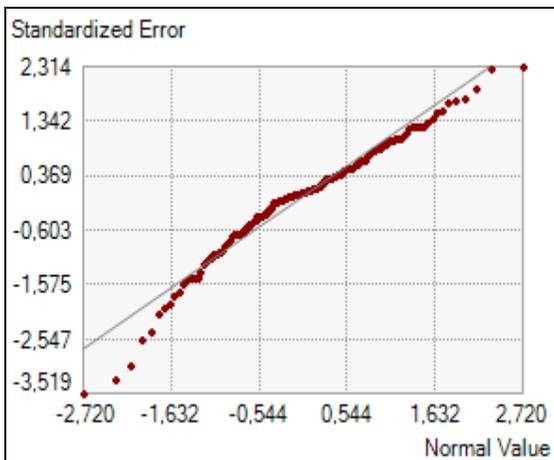


Figura 70. Gráfica de normalidad Q-Q en datos de tipo de suelo a 1,0m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

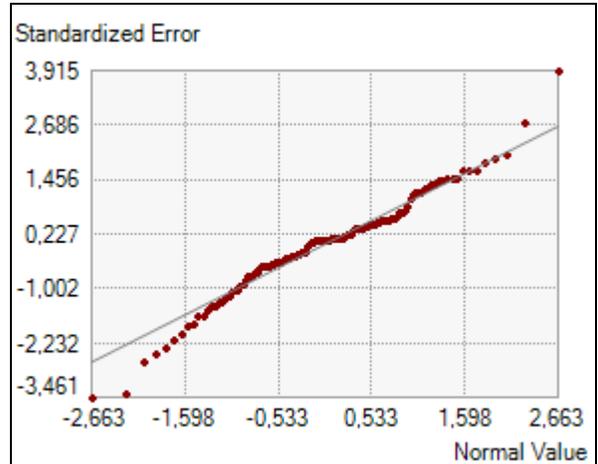


Figura 72. Gráfica de normalidad Q-Q en datos de tipo de suelo a 2,0m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

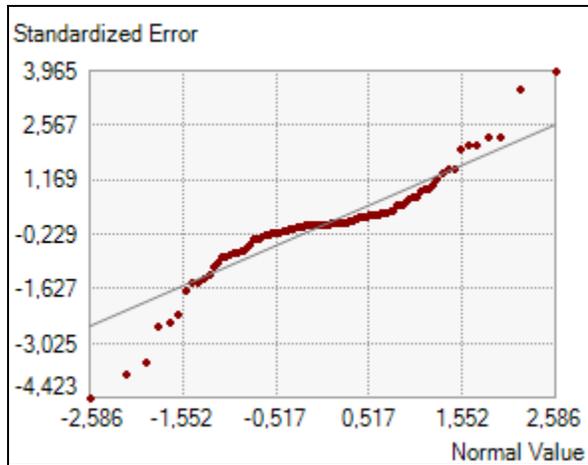


Figura 73. Gráfica de normalidad Q-Q en datos de tipo de suelo a 2,5m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

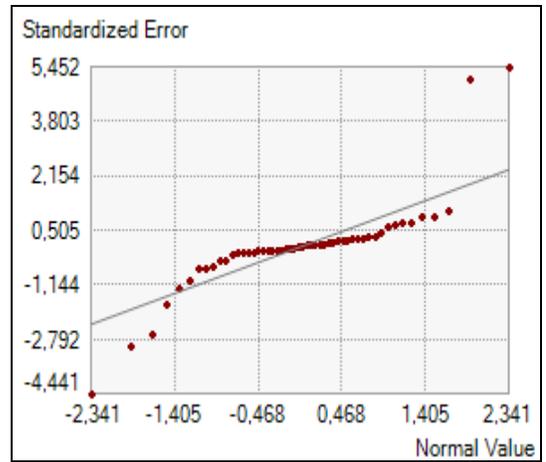


Figura 75. Gráfica de normalidad Q-Q en datos de tipo de suelo a 3,5m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

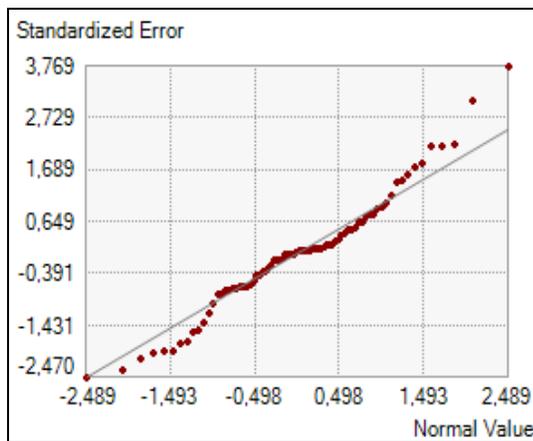


Figura 74. Gráfica de normalidad Q-Q en datos de tipo de suelo a 3,0m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

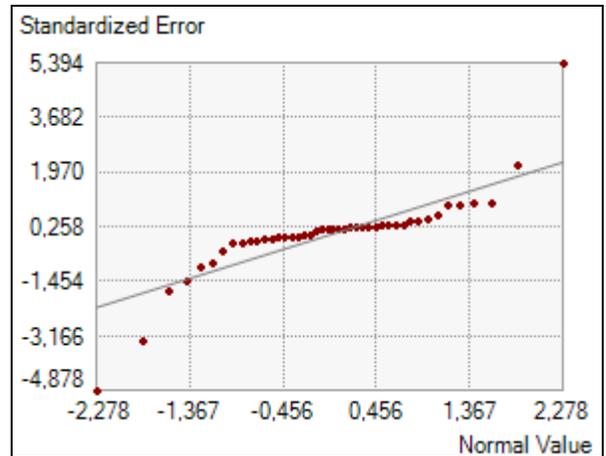


Figura 76. Gráfica de normalidad Q-Q en datos de tipo de suelo a 4,0m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

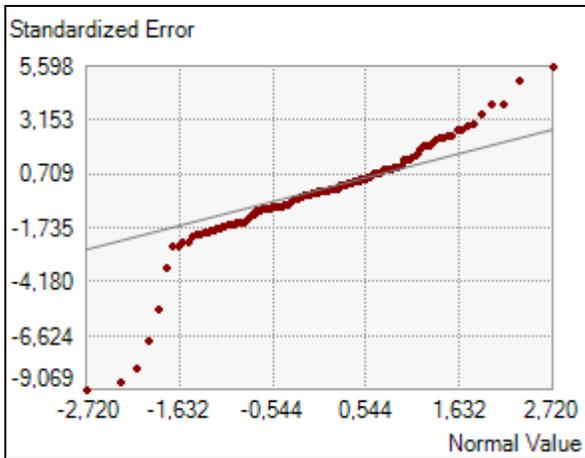


Figura 77. Gráfica de normalidad Q-Q en datos de capacidad soportante del suelo a 0,5m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

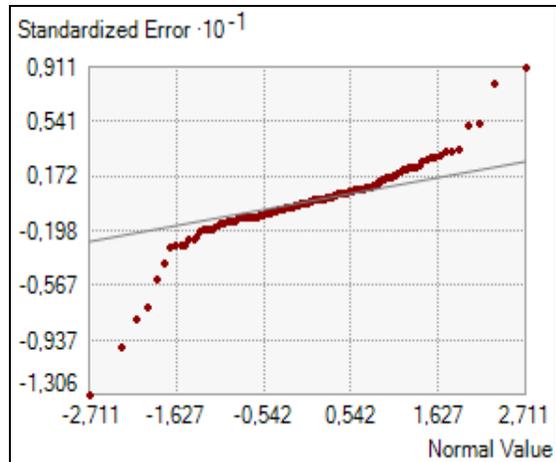


Figura 79. Gráfica de normalidad Q-Q en datos de capacidad soportante del suelo a 1,5m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

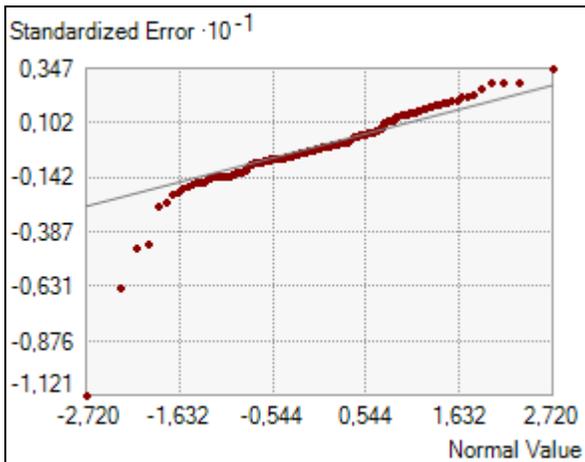


Figura 78. Gráfica de normalidad Q-Q en datos de capacidad soportante del suelo a 1,0m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

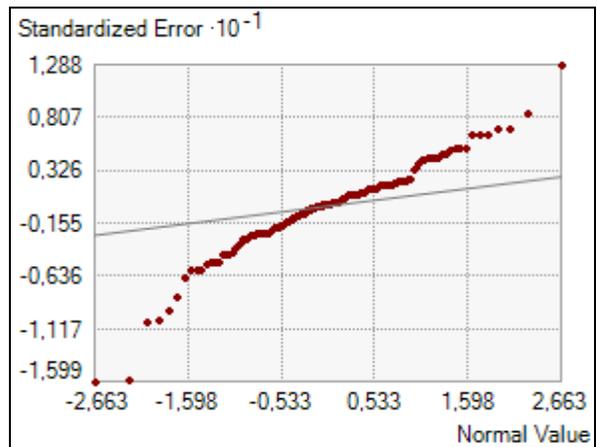


Figura 80. Gráfica de normalidad Q-Q en datos de capacidad soportante del suelo a 2,0m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

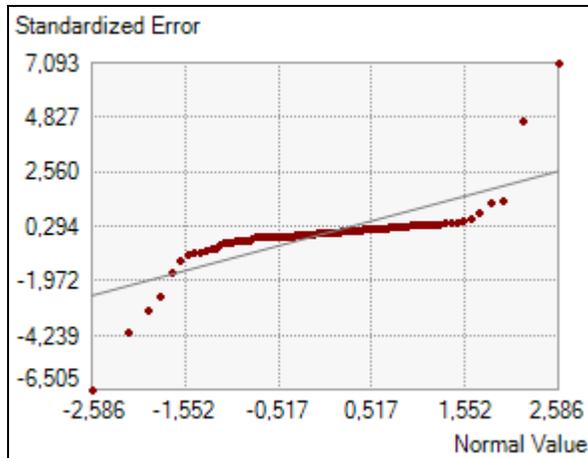


Figura 81. Gráfica de normalidad Q-Q en datos de capacidad soportante del suelo a 2,5m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

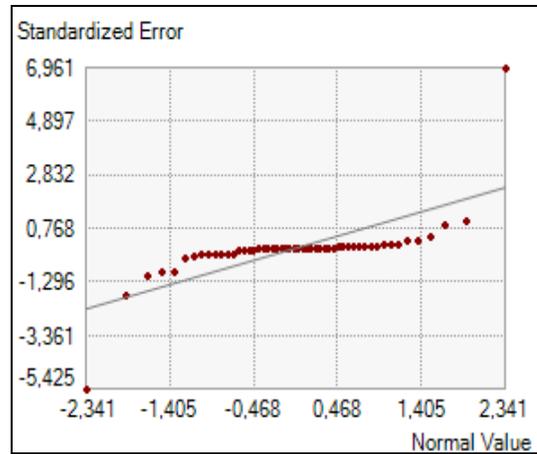


Figura 83. Gráfica de normalidad Q-Q en datos de capacidad soportante del suelo a 3,5m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

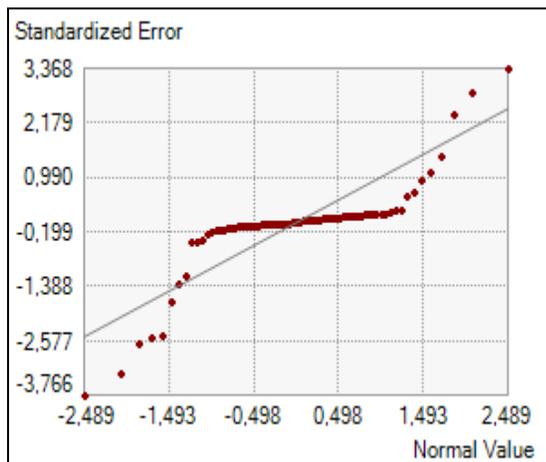


Figura 82. Gráfica de normalidad Q-Q en datos de capacidad soportante del suelo a 3,0m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

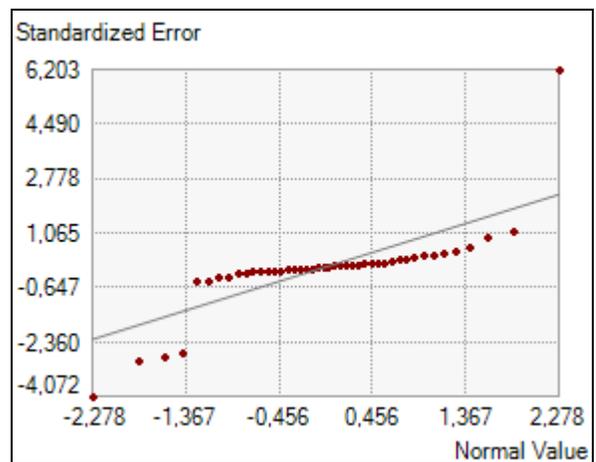


Figura 84. Gráfica de normalidad Q-Q en datos de capacidad soportante del suelo a 4,0m de profundidad a partir de nivel de terreno  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

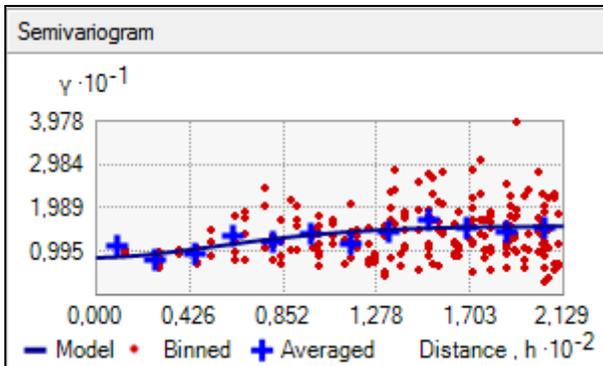


Figura 85. Semivariograma exponencial en datos de tipo de suelo a 0,5m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

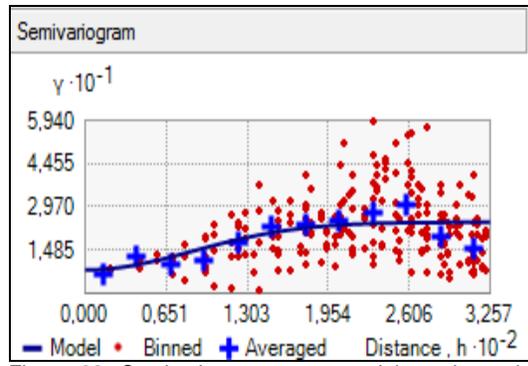


Figura 88. Semivariograma exponencial en datos de tipo de suelo a 2,0m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

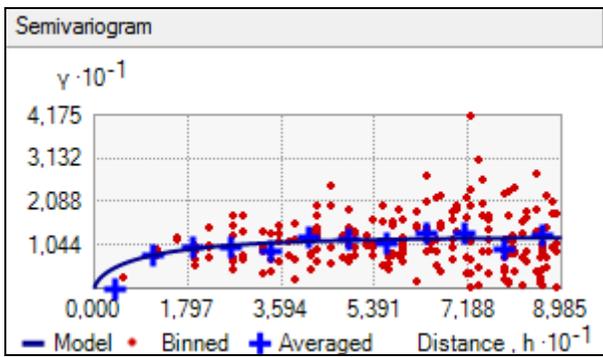


Figura 86. Semivariograma exponencial en datos de tipo de suelo a 1,0m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

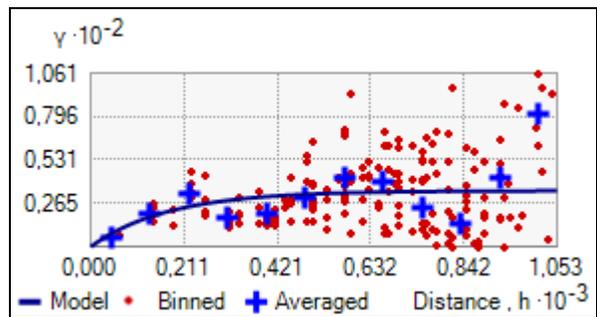


Figura 89. Semivariograma exponencial en datos de tipo de suelo a 2,5m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

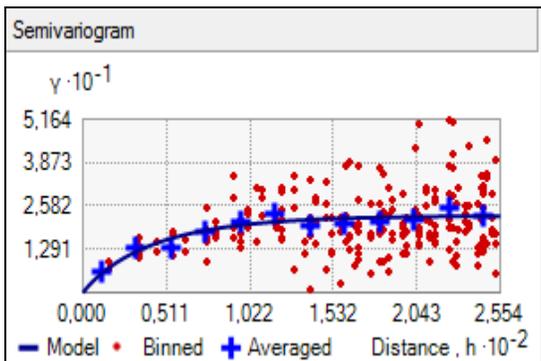


Figura 87. Semivariograma exponencial en datos de tipo de suelo a 1,5m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

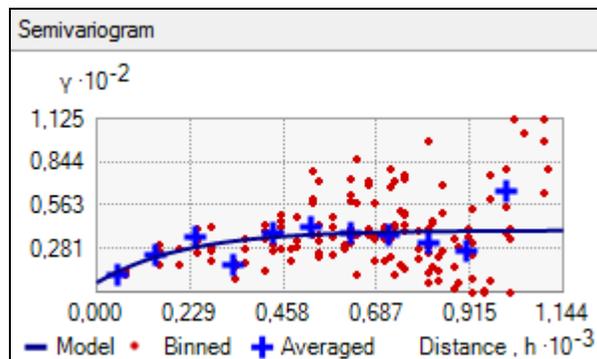


Figura 90. Semivariograma exponencial en datos de tipo de suelo a 3,0m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

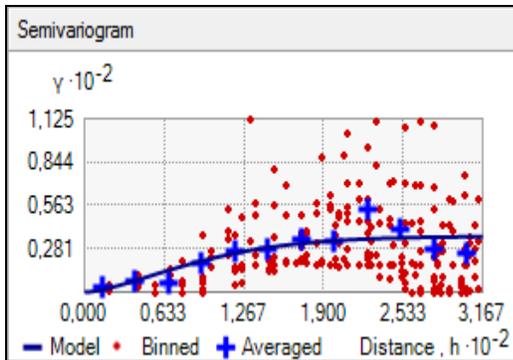


Figura 91. Semivariograma exponencial en datos de tipo de suelo a 3,5m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

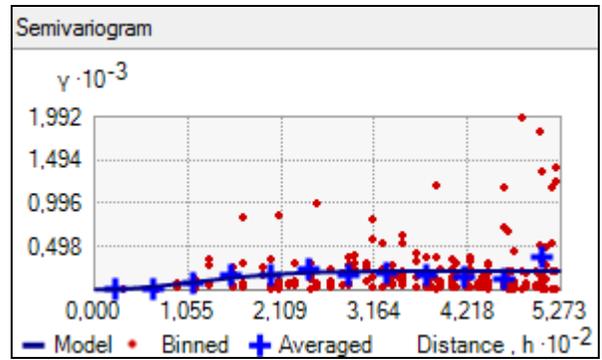


Figura 94. Semivariograma exponencial en datos de capacidad soportante del suelo a 1,0m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

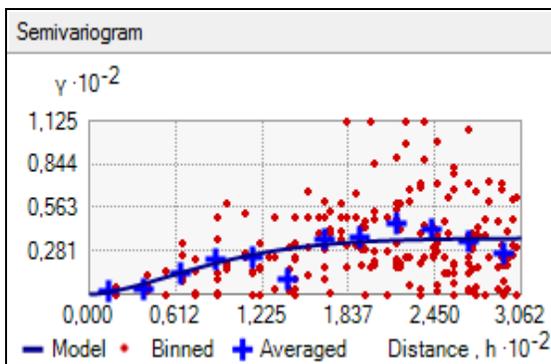


Figura 92. Semivariograma exponencial en datos de tipo de suelo a 4,0m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

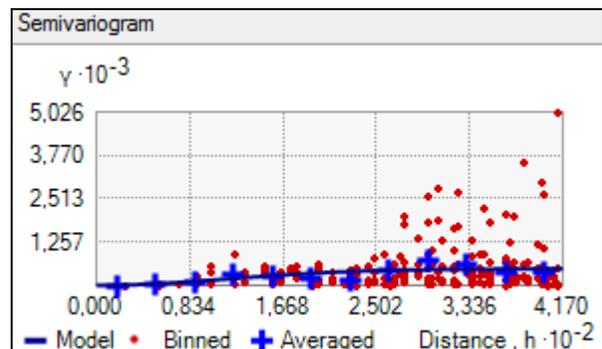


Figura 95. Semivariograma exponencial en datos de capacidad soportante del suelo a 1,5m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

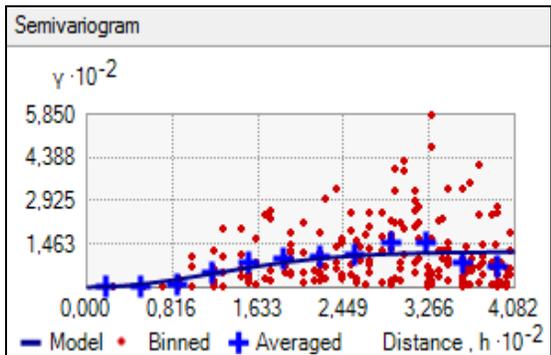


Figura 93. Semivariograma exponencial en datos de capacidad soportante del suelo a 0,5m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

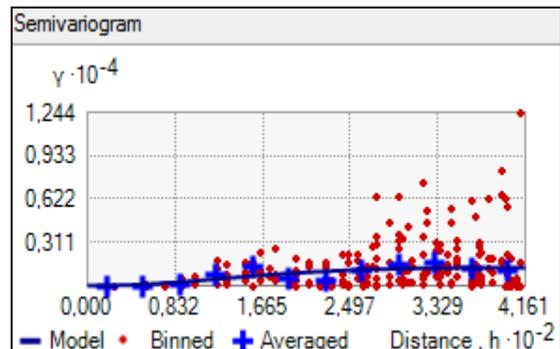


Figura 96. Semivariograma exponencial en datos de capacidad soportante del suelo a 2,0m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

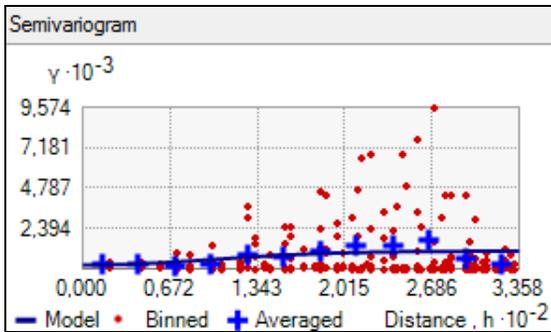


Figura 97. Semivariograma exponencial en datos de capacidad soportante del suelo a 2,5m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario

Fuente. Elaboración propia en ArcGIS 10.3

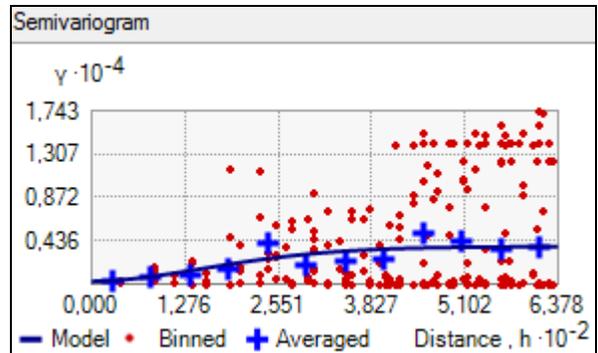


Figura 100. Semivariograma exponencial en datos de capacidad soportante del suelo a 4,0m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario

Fuente. Elaboración propia en ArcGIS 10.3

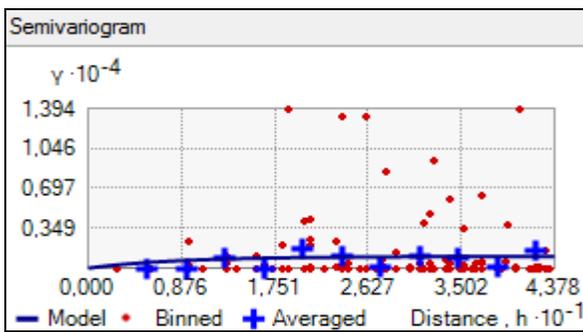


Figura 98. Semivariograma exponencial en datos de capacidad soportante del suelo a 3,0m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario

Fuente. Elaboración propia en ArcGIS 10.3

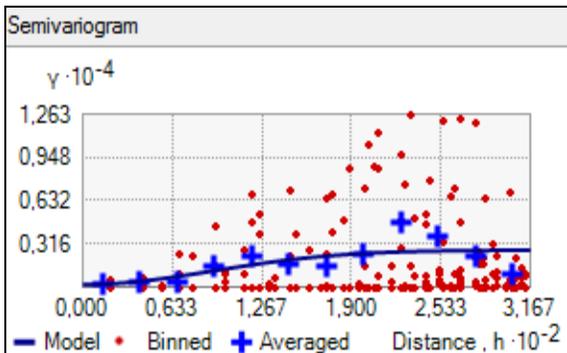


Figura 99. Semivariograma exponencial en datos de capacidad soportante del suelo a 3,5m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario

Fuente. Elaboración propia en ArcGIS 10.3

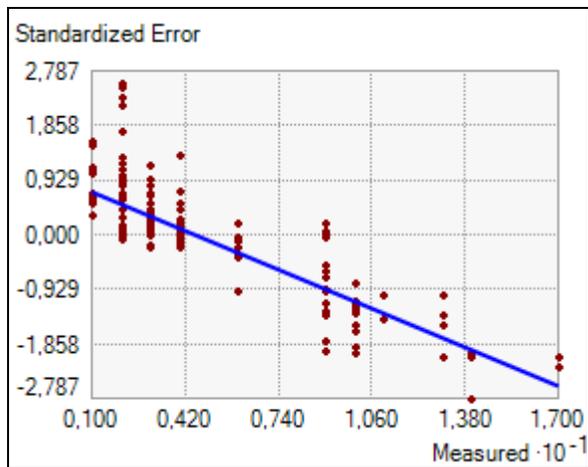


Figura 101. Gráfica de error estandarizado en datos de tipo de suelo a 0,5m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

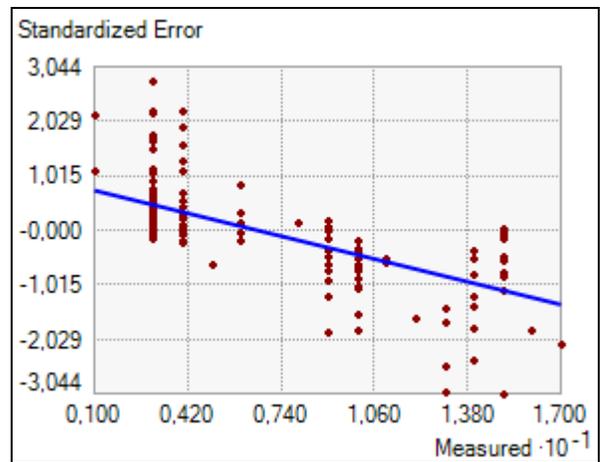


Figura 103. Gráfica de error estandarizado en datos de tipo de suelo a 1,5m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

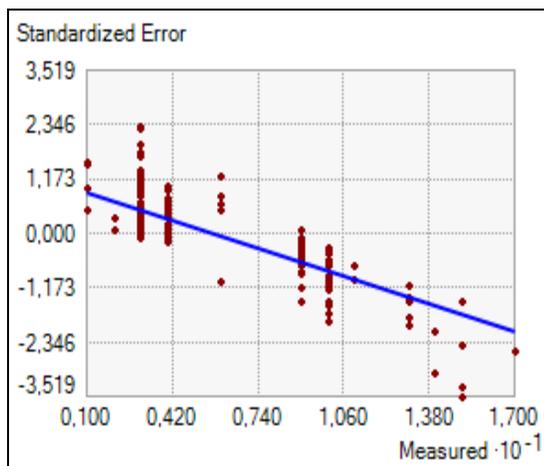


Figura 102. Gráfica de error estandarizado en datos de tipo de suelo a 1,0m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

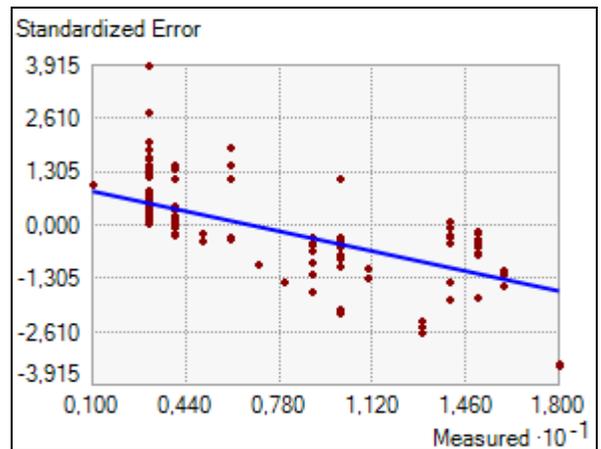


Figura 104. Gráfica de error estandarizado en datos de tipo de suelo a 2,0m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

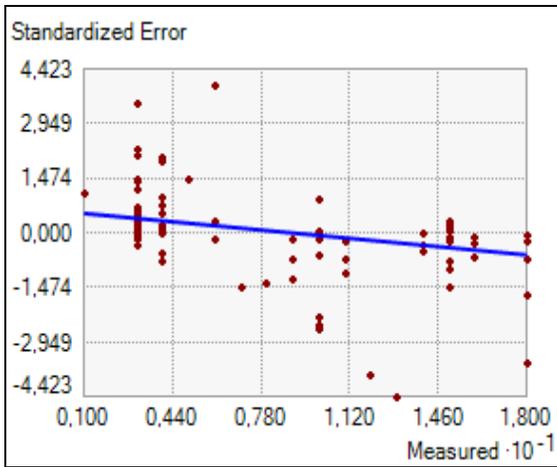


Figura 105. Gráfica de error estandarizado en datos de tipo de suelo a 2,5m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

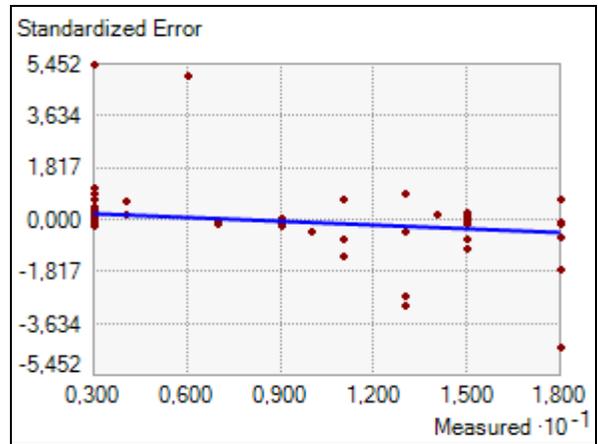


Figura 107. Gráfica de error estandarizado en datos de tipo de suelo a 3,5m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

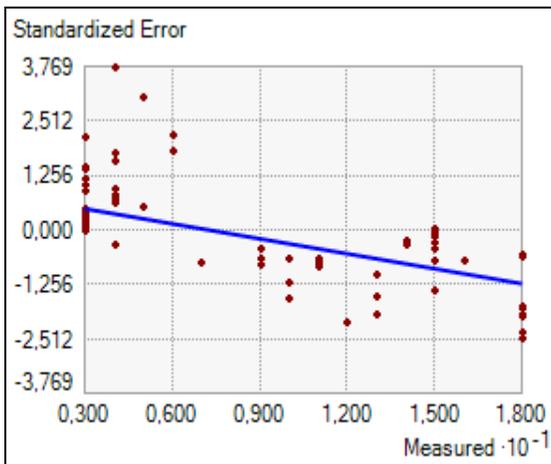


Figura 106. Gráfica de error estandarizado en datos de tipo de suelo a 3,0m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

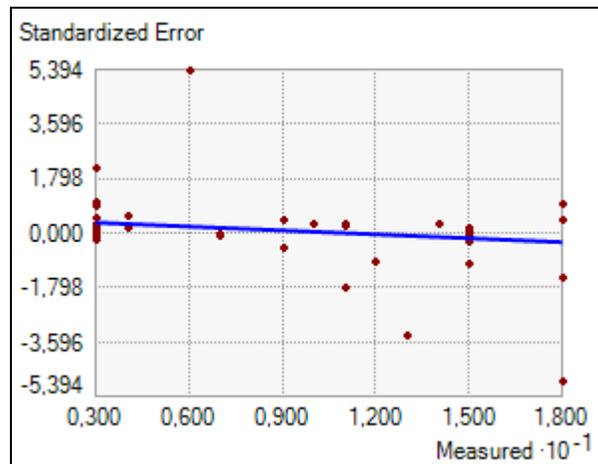


Figura 108. Gráfica de error estandarizado en datos de tipo de suelo a 4,0m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

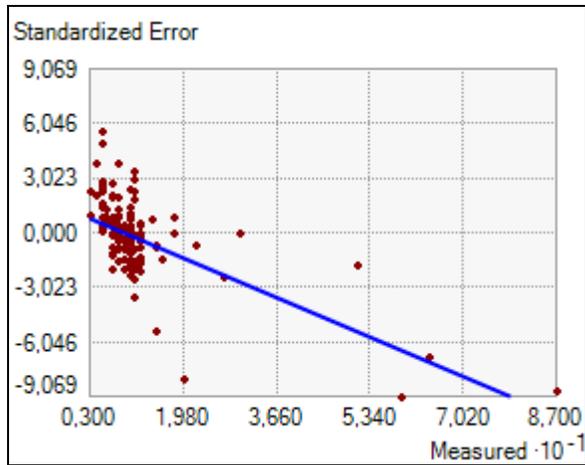


Figura 109. Gráfica de error estandarizado en datos de capacidad soportante del suelo a 0,5m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

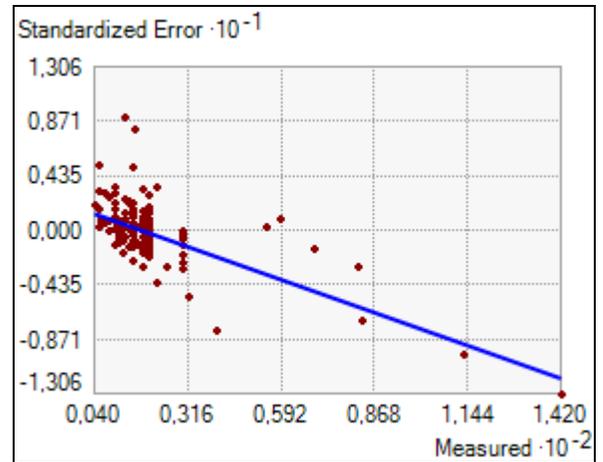


Figura 111. Gráfica de error estandarizado en datos de capacidad soportante del suelo a 1,5m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

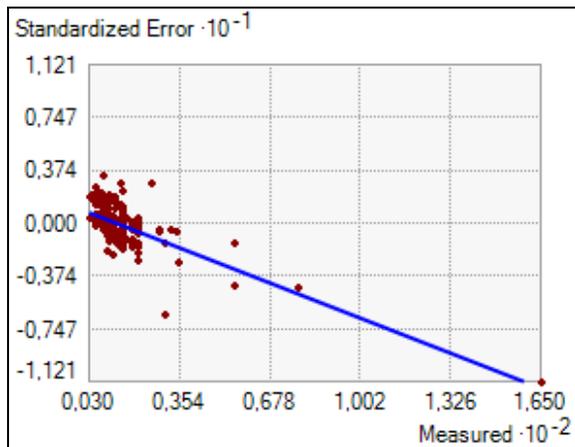


Figura 110. Gráfica de error estandarizado en datos de capacidad soportante del suelo a 1,0m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

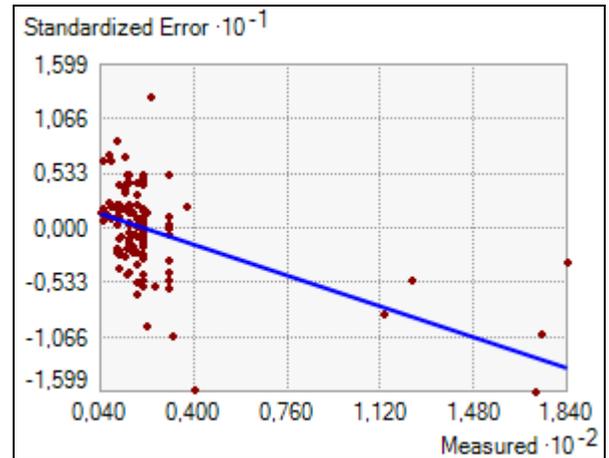


Figura 112. Gráfica de error estandarizado en datos de capacidad soportante del suelo a 2,0m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

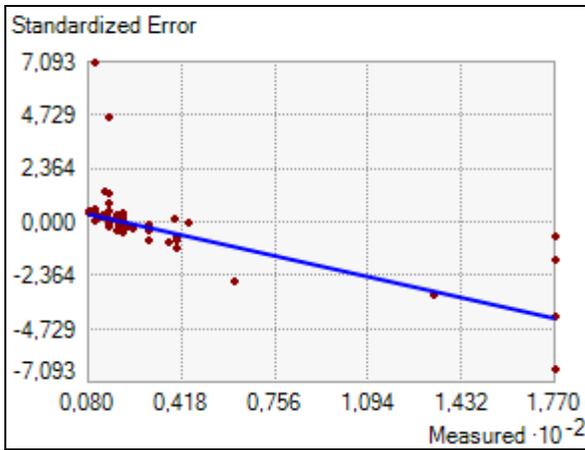


Figura 113. Gráfica de error estandarizado en datos de capacidad soportante del suelo a 2,5m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

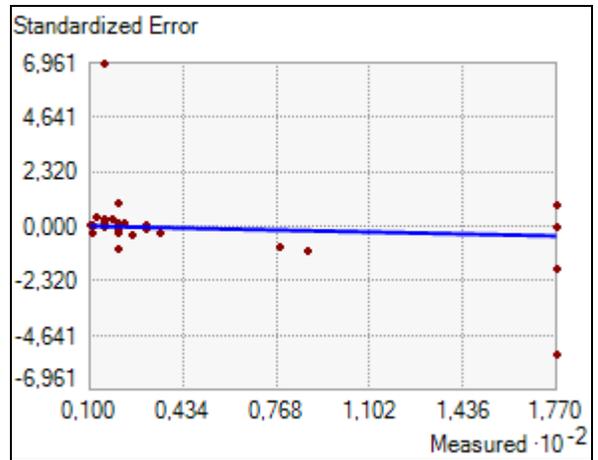


Figura 115. Gráfica de error estandarizado en datos de capacidad soportante del suelo a 3,5m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

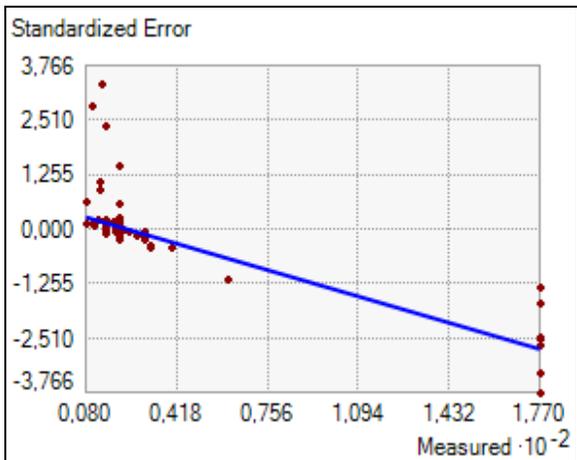


Figura 114. Gráfica de error estandarizado en datos de capacidad soportante del suelo a 3,0m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

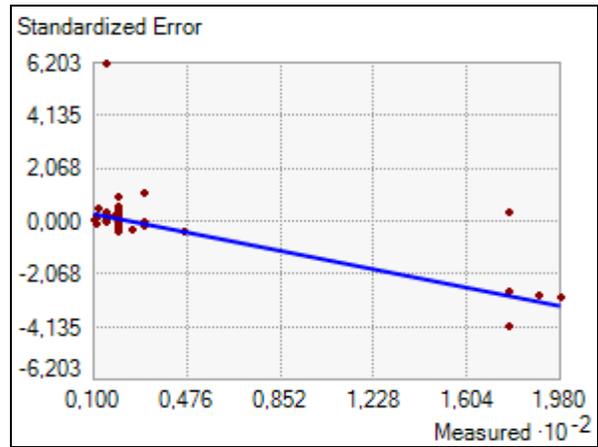


Figura 116. Gráfica de error estandarizado en datos de capacidad soportante del suelo a 4,0m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando Kriging ordinario  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

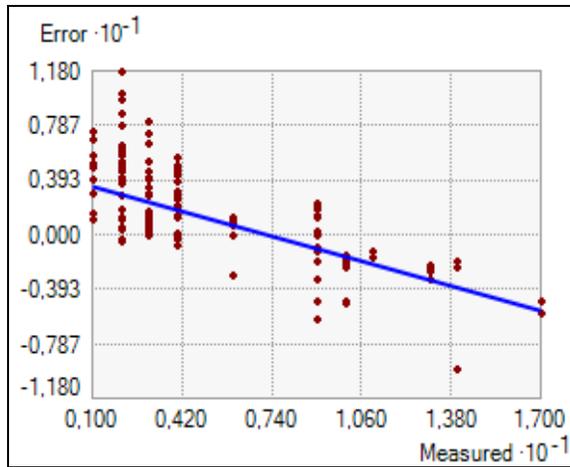


Figura 117. Gráfica de error estandarizado en datos de tipo de suelo a 0,5m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando IDW  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

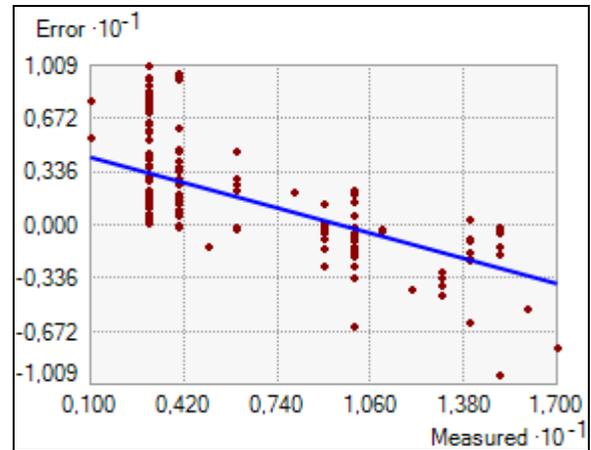


Figura 119. Gráfica de error estandarizado en datos de tipo de suelo a 1,5m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando IDW  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

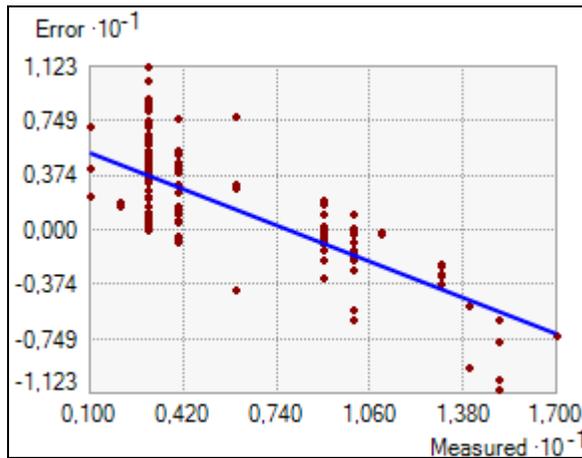


Figura 118. Gráfica de error estandarizado en datos de tipo de suelo a 1,0m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando IDW  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

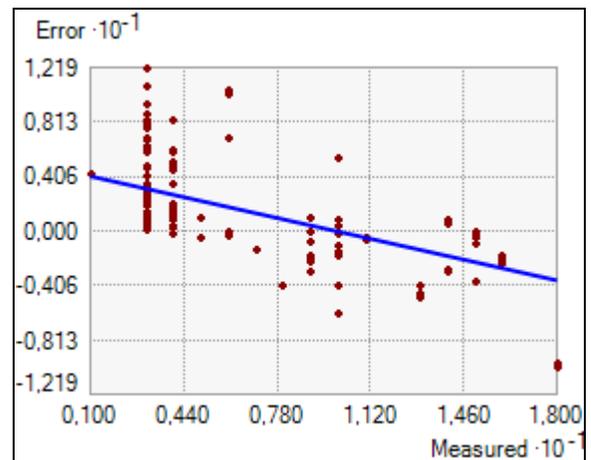


Figura 120. Gráfica de error estandarizado en datos de tipo de suelo a 2,0m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando IDW  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

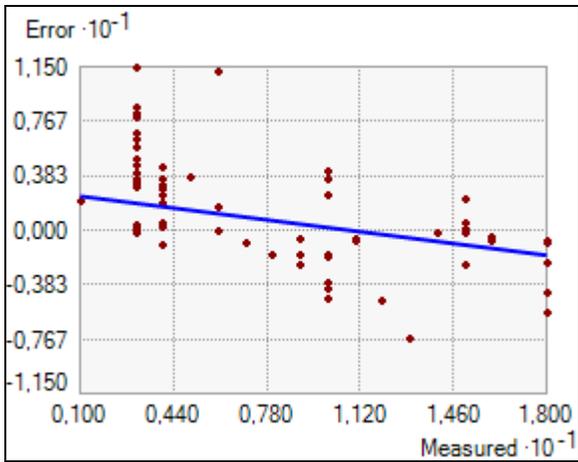


Figura 121. Gráfica de error estandarizado en datos de tipo de suelo a 2,5m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando IDW

Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

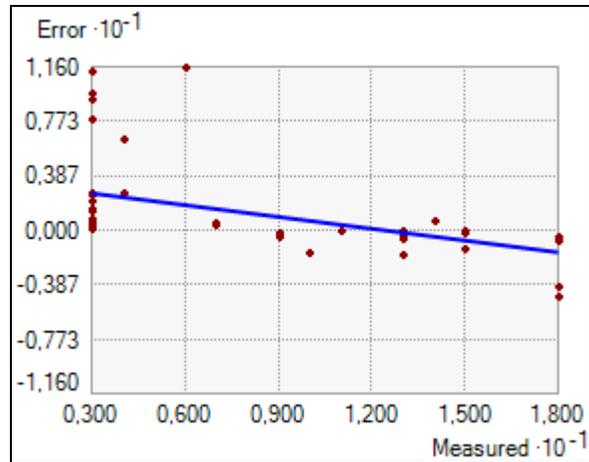


Figura 123. Gráfica de error estandarizado en datos de tipo de suelo a 3,5m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando IDW

Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

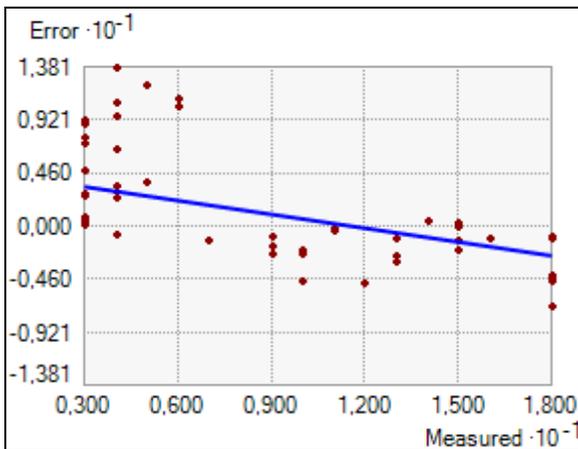


Figura 122. Gráfica de error estandarizado en datos de tipo de suelo a 3,0m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando IDW

Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

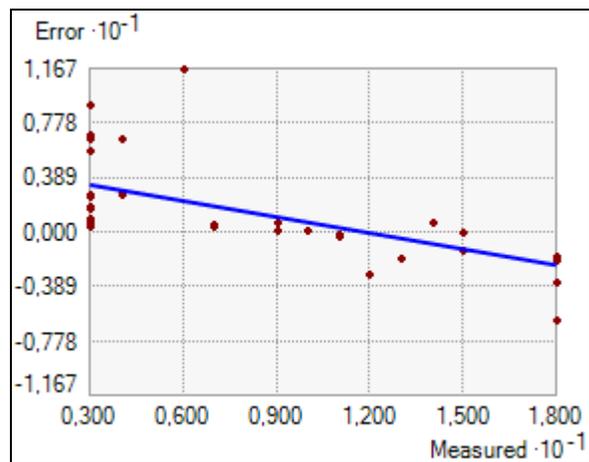


Figura 124. Gráfica de error estandarizado en datos de tipo de suelo a 4,0m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando IDW

Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

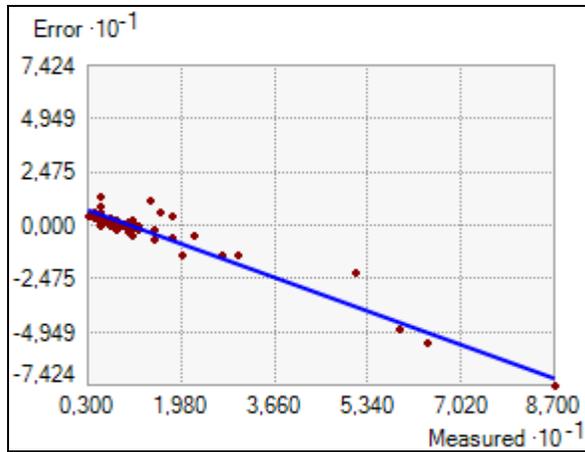


Figura 125. Gráfica de error estandarizado en datos de capacidad soportante del suelo a 0,5m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando IDW  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

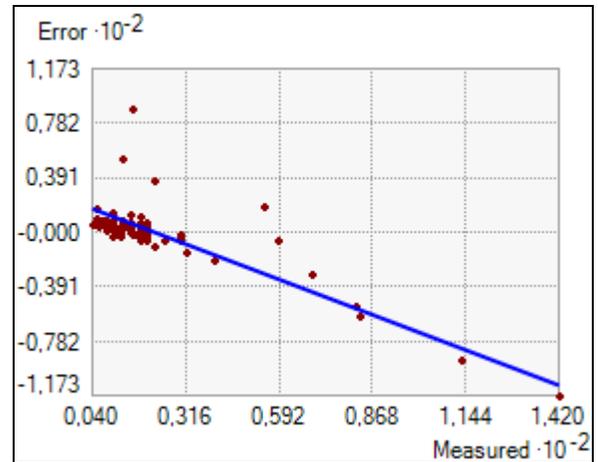


Figura 127. Gráfica de error estandarizado en datos de capacidad soportante del suelo a 1,5m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando IDW  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

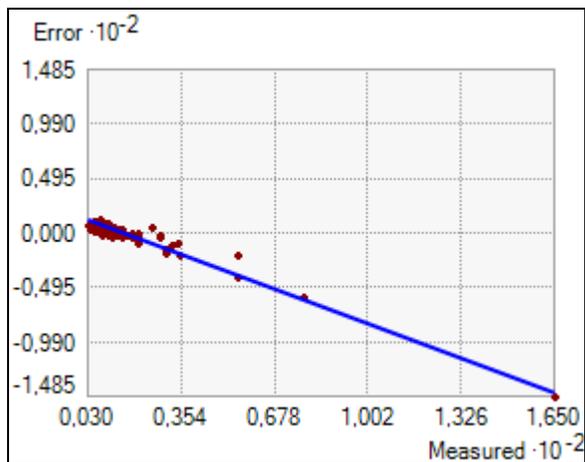


Figura 126. Gráfica de error estandarizado en datos de capacidad soportante del suelo a 1,0m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando IDW  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

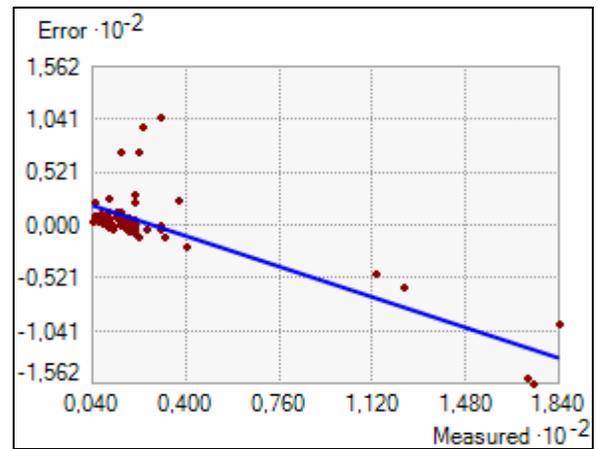


Figura 128. Gráfica de error estandarizado en datos de capacidad soportante del suelo a 2,0m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando IDW  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

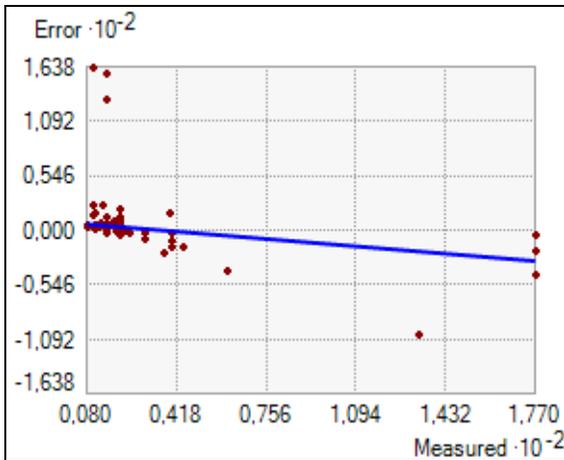


Figura 129. Gráfica de error estandarizado en datos de capacidad soportante del suelo a 2,5m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando IDW  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

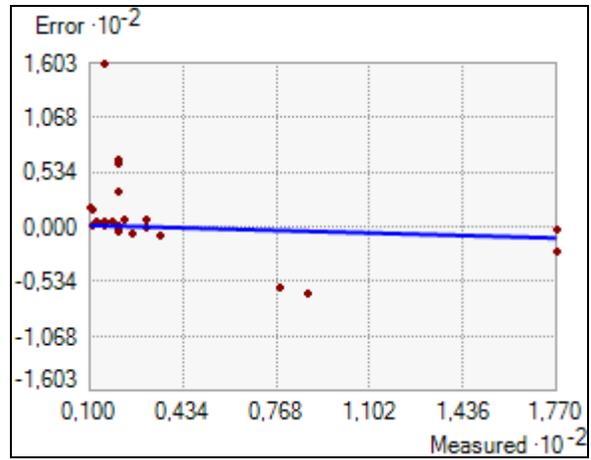


Figura 131. Gráfica de error estandarizado en datos de capacidad soportante del suelo a 3,5m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando IDW  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

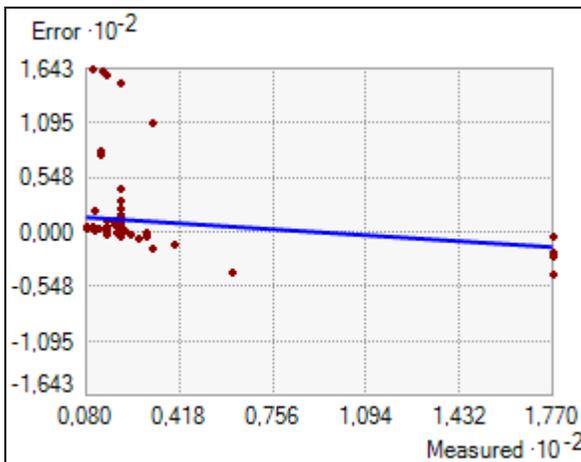


Figura 130. Gráfica de error estandarizado en datos de capacidad soportante del suelo a 3,0m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando IDW  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

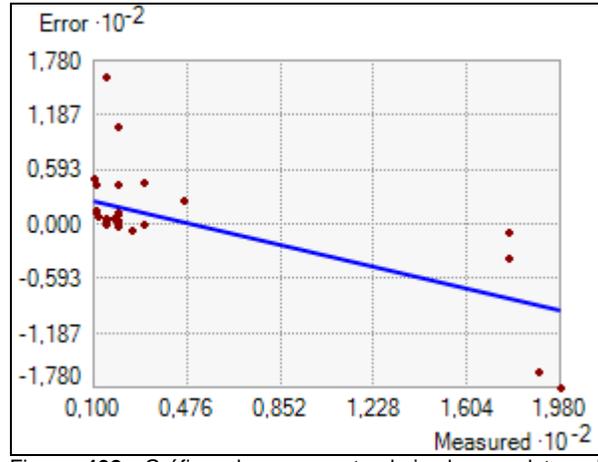


Figura 132. Gráfica de error estandarizado en datos de capacidad soportante del suelo a 4,0m de profundidad a partir de nivel de terreno utilizando IDW  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

### Predicción de errores estandarizados para datos de clasificación de suelos a 0,5m de profundidad a partir de nivel de terreno

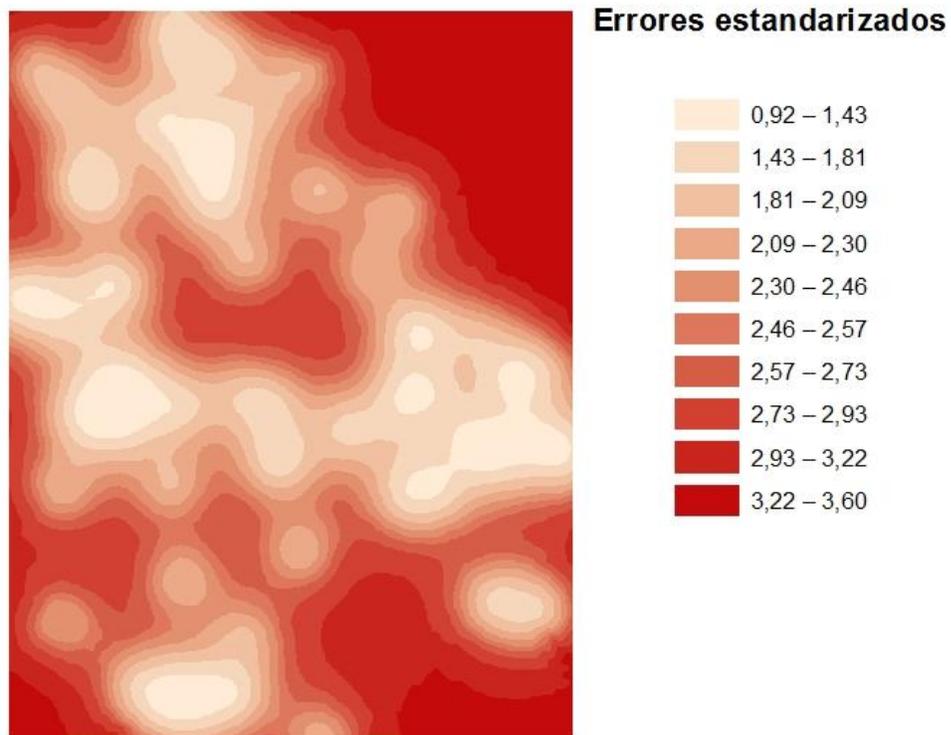


Figura 133. Mapa de predicción de errores estandarizados de tipo de suelo a 0,5m de profundidad  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

**Predicción de errores estandarizados para datos de clasificación de suelos a 1mde profundidad a partir de nivel de terreno**

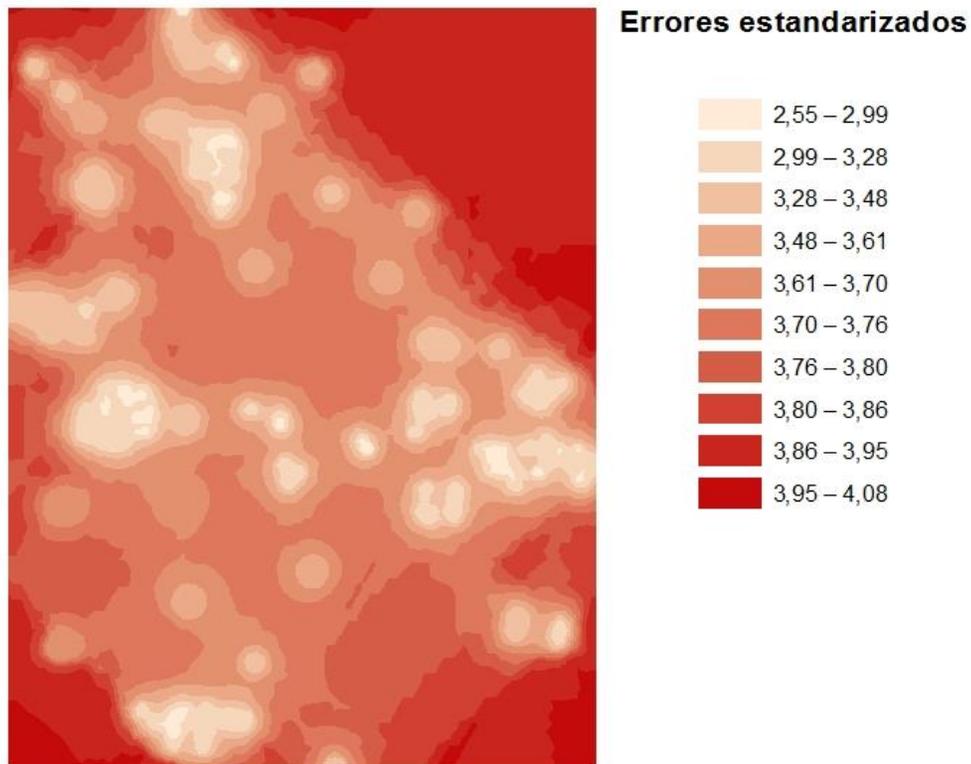


Figura 134. Mapa de predicción de errores estandarizados de tipo de suelo a 1,0m de profundidad  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

**Predicción de errores estandarizados para datos de clasificación de suelos a 1,5m de profundidad a partir de nivel de terreno**

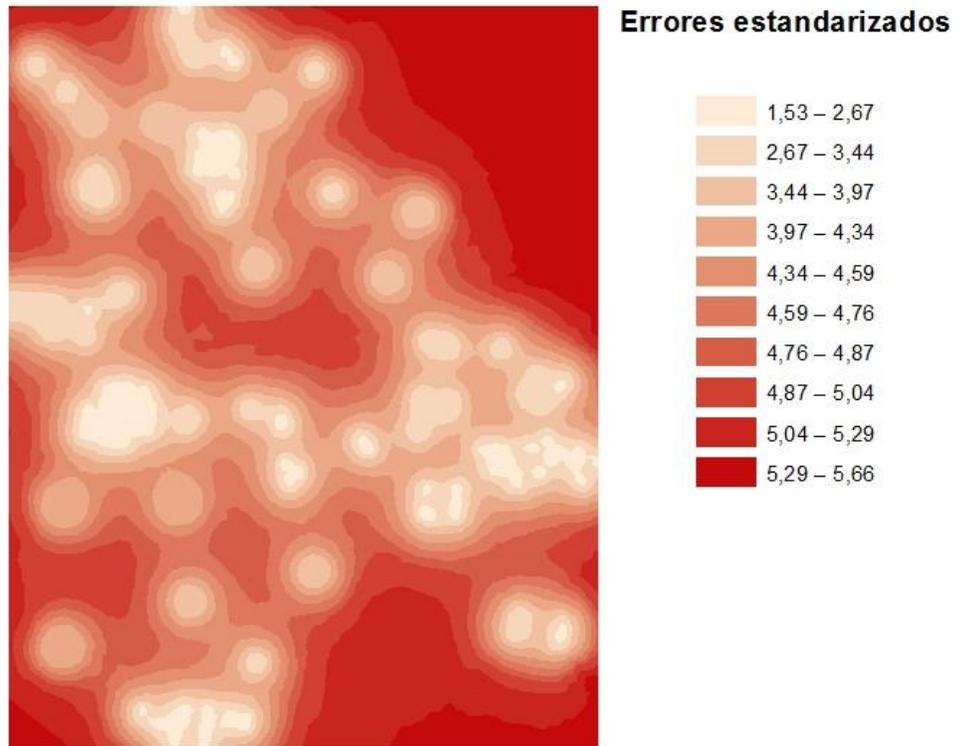


Figura 135. Mapa de predicción de errores estandarizados de tipo suelo a 1,5m de profundidad  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

**Predicción de errores estandarizados para datos de clasificación de suelos a 2m de profundidad a partir de nivel de terreno**

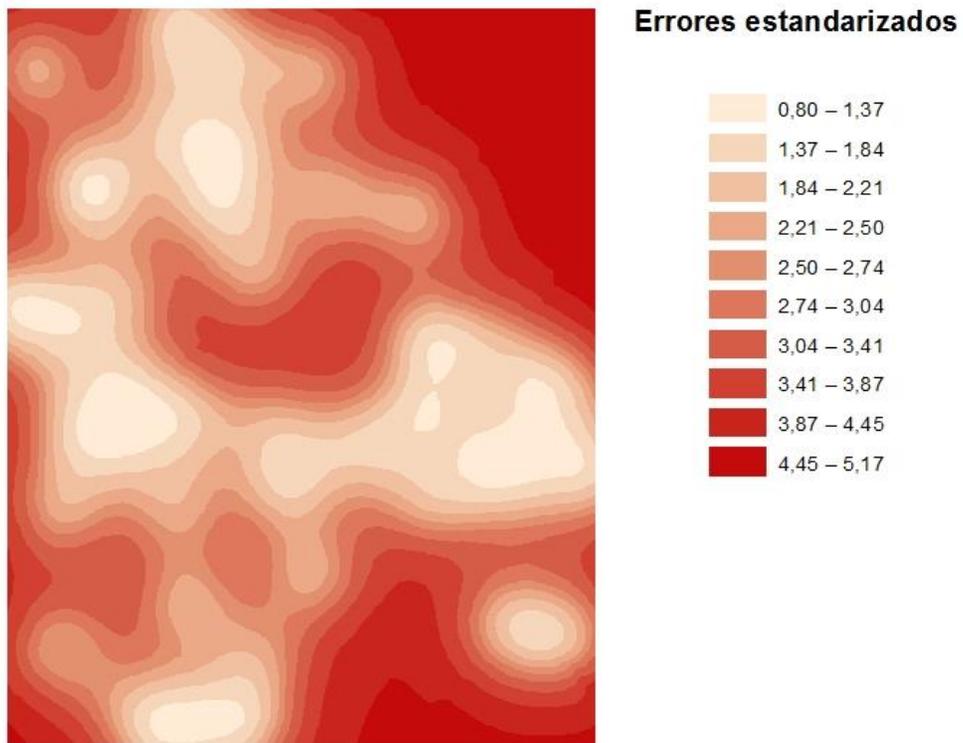


Figura 136. Mapa de predicción de errores estandarizados de tipo de suelo a 2,0m de profundidad  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

### Predicción de errores estandarizados para datos de clasificación de suelos a 2,5m de profundidad a partir de nivel de terreno

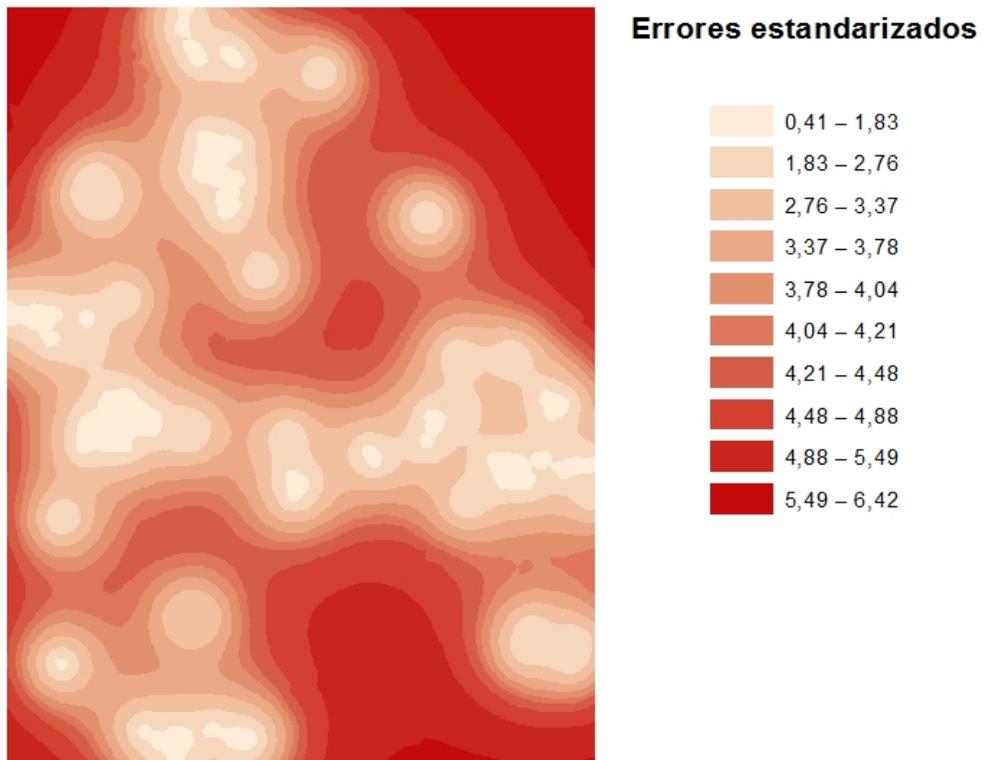


Figura 137. Mapa de predicción de errores estandarizados de tipo de suelo a 2,5m de profundidad  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

**Predicción de errores estandarizados para datos de clasificación de suelos a 3m de profundidad a partir de nivel de terreno**

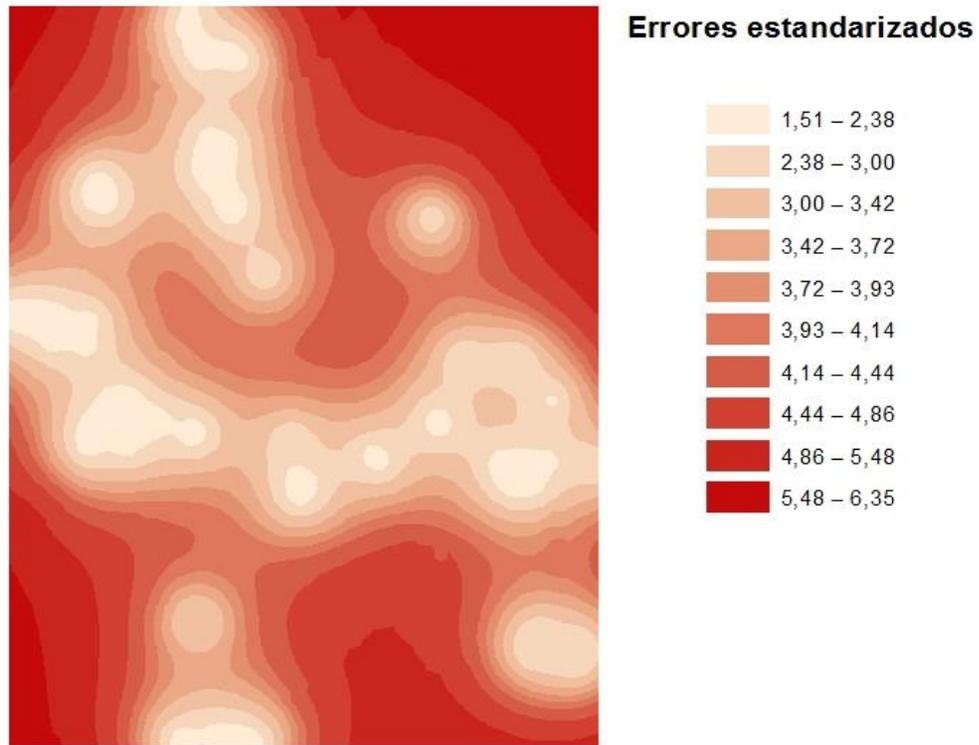


Figura 138. Mapa de predicción de errores estandarizados de tipo de suelo a 3,0m de profundidad  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

### **Predicción de errores estandarizados para datos de clasificación de suelos a 3,5m de profundidad a partir de nivel de terreno**

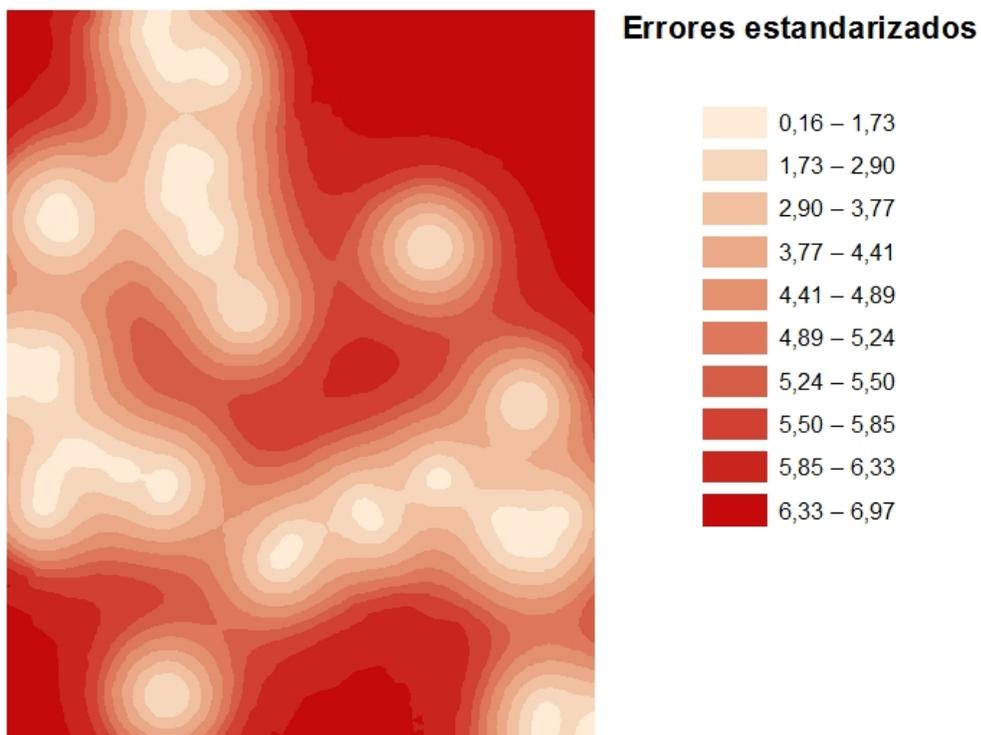


Figura 139. Mapa de predicción de errores estandarizados de tipo de suelo a 3,5m de profundidad  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

### Predicción de errores estandarizados para datos de clasificación de suelos a 4m de profundidad a partir de nivel de terreno

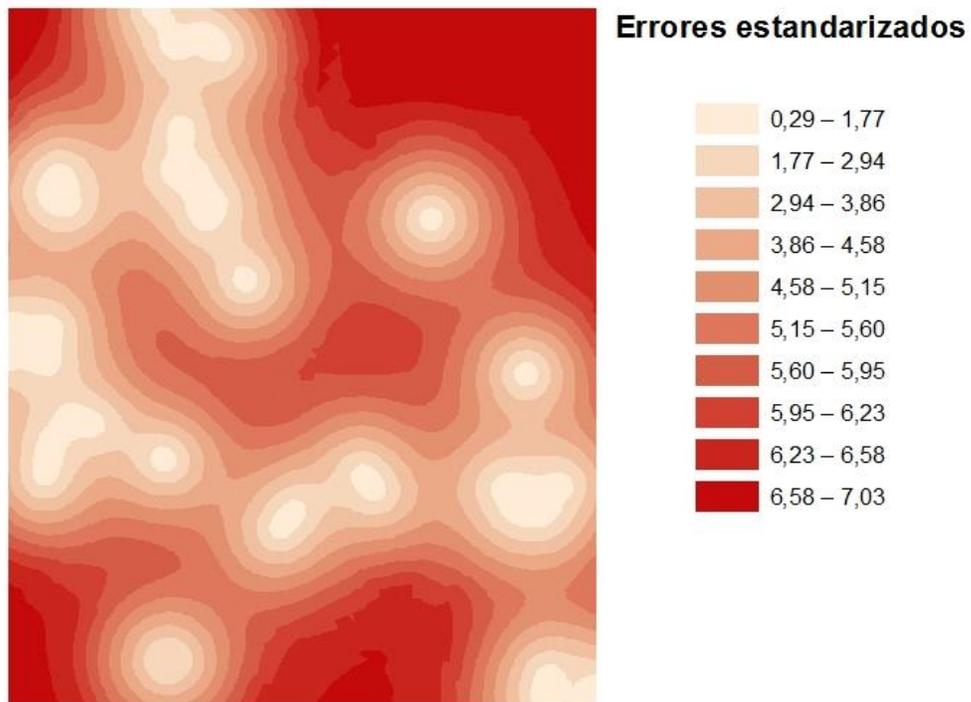


Figura 140. Mapa de predicción de errores estandarizados de tipo de suelo a 4,0m de profundidad  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

### Predicción de errores estandarizados para datos de capacidad soportante a 0,5m de profundidad a partir de nivel de terreno

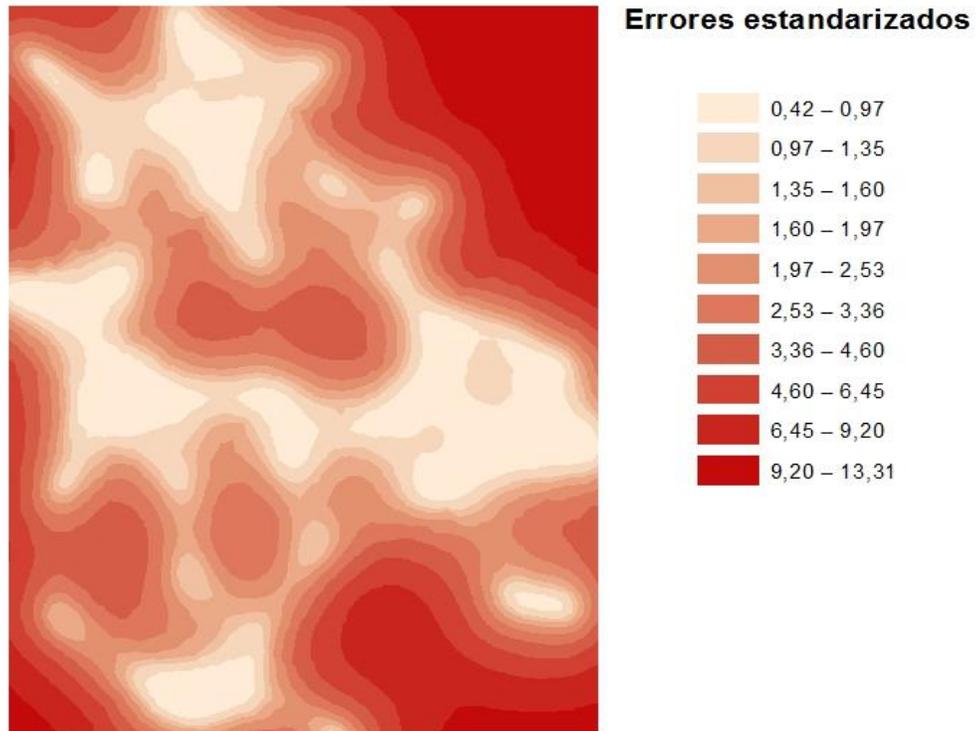


Figura 141. Mapa de predicción de errores estandarizados de capacidad soportante del suelo a 0,5m de profundidad  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

### Predicción de errores estandarizados para datos de capacidad soportante a 1m de profundidad a partir de nivel de terreno

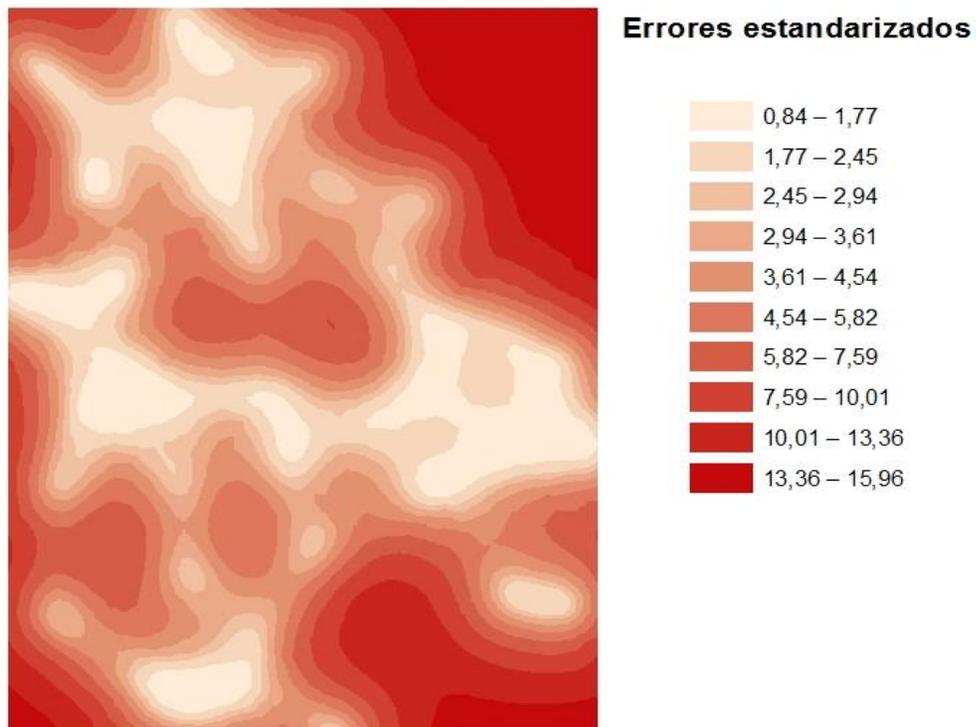


Figura 142. Mapa de predicción de errores estandarizados de capacidad soportante del suelo a 1,0m de profundidad  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

### Predicción de errores estandarizados para datos de capacidad soportante a 1,5m de profundidad a partir de nivel de terreno

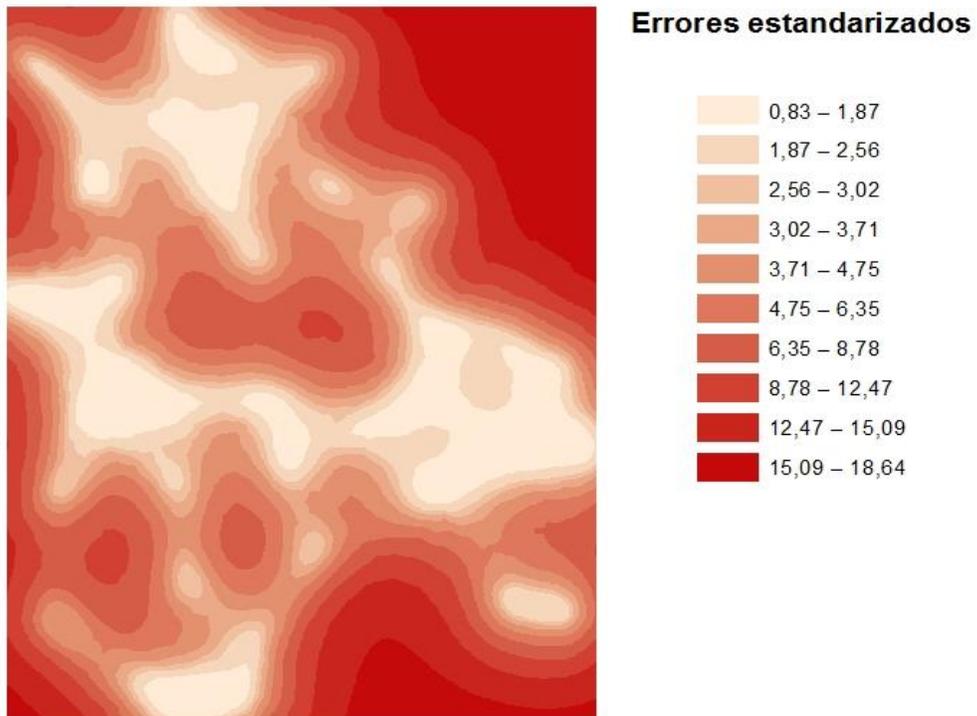


Figura 143. Mapa de predicción de errores estandarizados de capacidad soportante del suelo a 1,5m de profundidad  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

### Predicción de errores estandarizados para datos de capacidad soportante a 2m de profundidad a partir de nivel de terreno

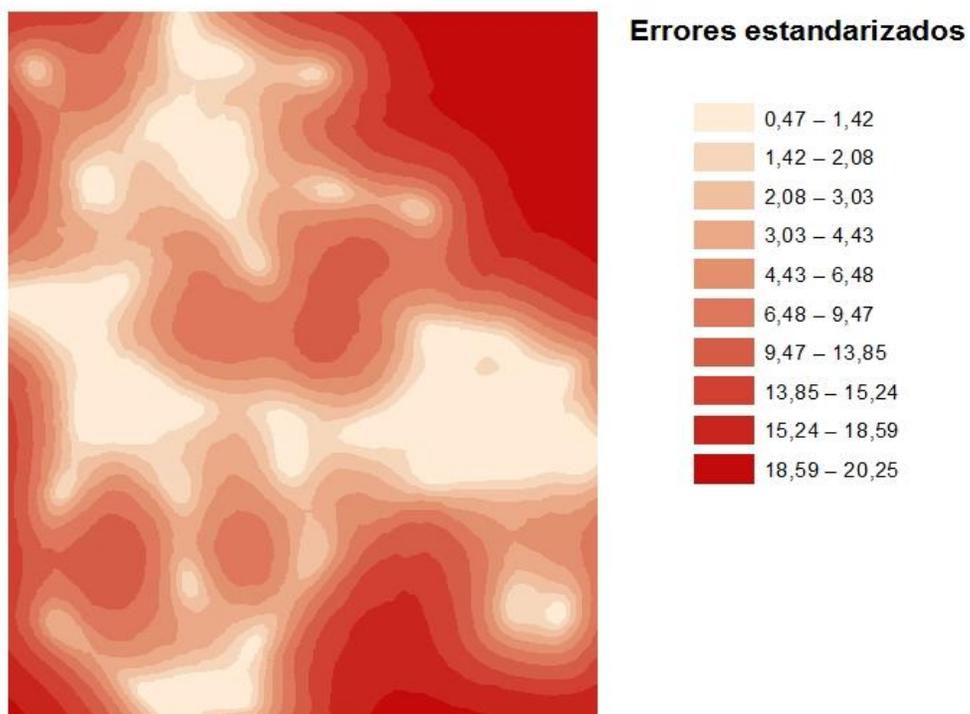


Figura 144. Mapa de predicción de errores estandarizados de capacidad soportante del suelo a 2,0m de profundidad  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

### Predicción de errores estandarizados para datos de capacidad soportante a 2,5m de profundidad a partir de nivel de terreno

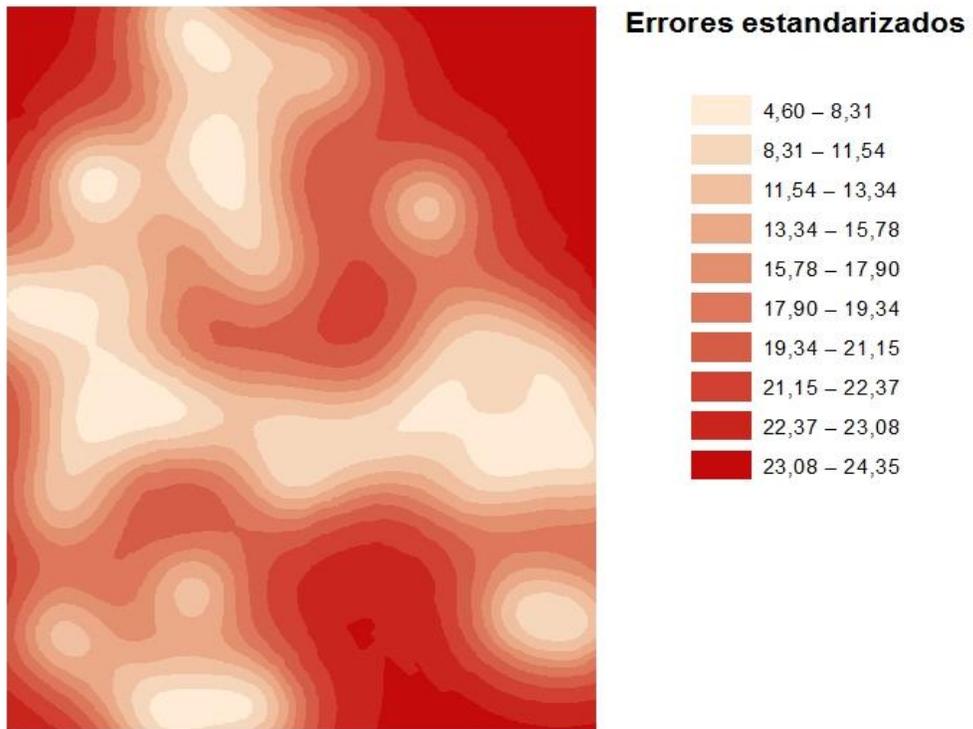


Figura 145. Mapa de predicción de errores estandarizados de capacidad soportante del suelo a 2,5m de profundidad  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

### Predicción de errores estandarizados para datos de capacidad soportante a 3m de profundidad a partir de nivel de terreno

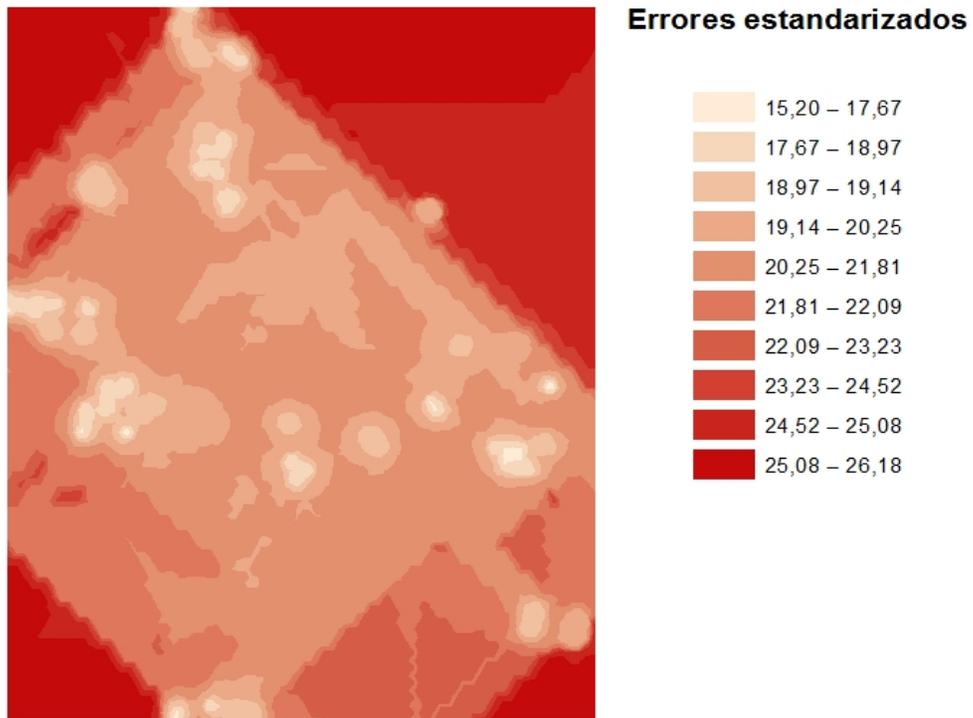


Figura 146. Mapa de predicción de errores estandarizados de capacidad soportante del suelo a 3,0m de profundidad  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

### Predicción de errores estandarizados para datos de capacidad soportante a 3,5m de profundidad a partir de nivel de terreno

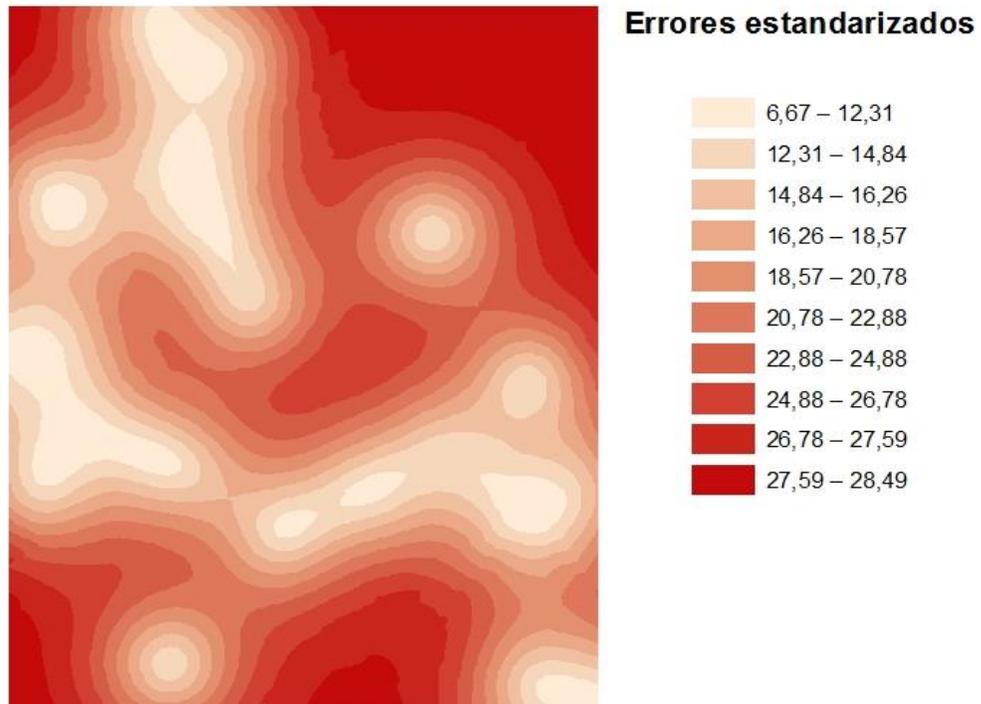


Figura 147. Mapa de predicción de errores estandarizados de capacidad soportante del suelo a 3,5m de profundidad  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3

### Predicción de errores estandarizados para datos de capacidad soportante a 4m de profundidad a partir de nivel de terreno

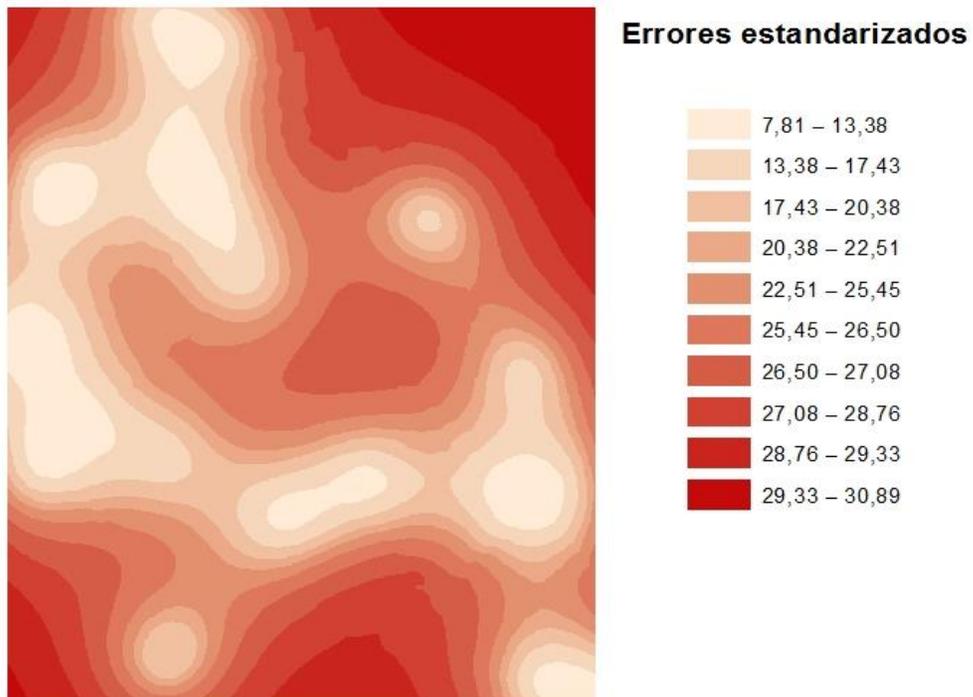


Figura 148. Mapa de predicción de errores estandarizados de capacidad soportante del suelo a 4,0m de profundidad  
Fuente. Elaboración propia en ArcGis 10.3



Figura 149. Mapa topográfico del campus del Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Fuente. Elaboración en AutoCad

| Cuadro 1. Cantidad de sondeos a distinta profundidad |                     |
|--|---------------------|
| Profundidad (m)                                      | Cantidad de sondeos |
| 0,5  | 153                 |
| 1,0  | 153                 |
| 1,5  | 149                 |
| 2,0  | 129                 |
| 2,5  | 103                 |
| 3,0  | 78                  |
| 3,5  | 52                  |
| 4,0  | 44                  |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

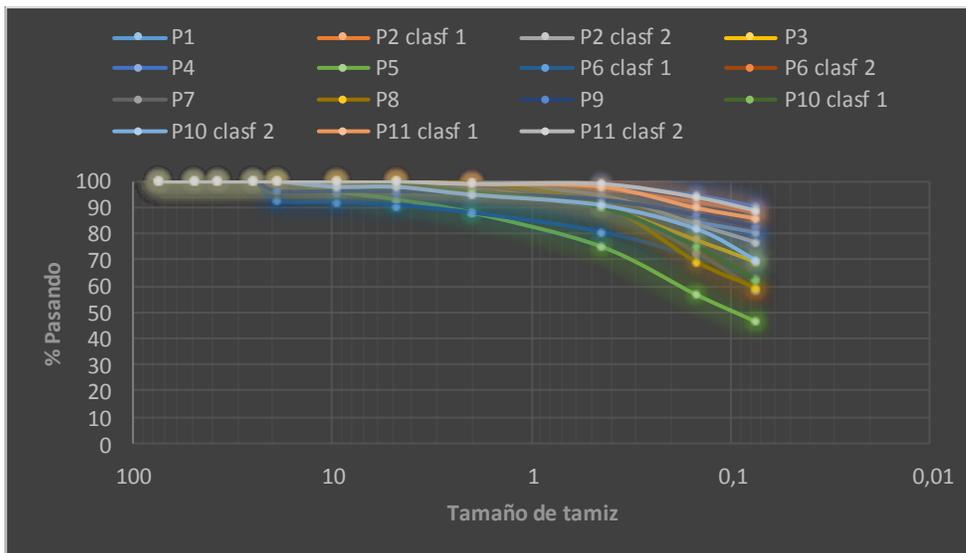


Figura 150. Curvas de granulométricas de los sondeos realizados  
Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

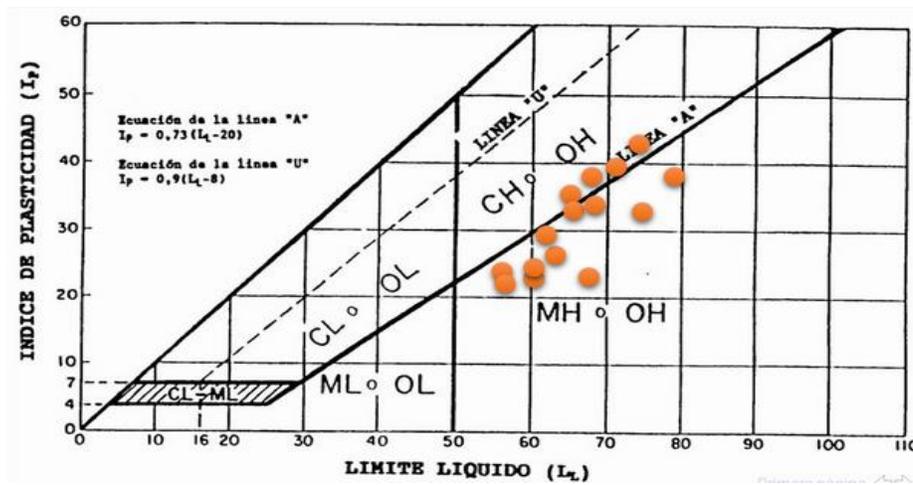


Figura 151. Carta de plasticidad de sondeos realizados  
Fuente. Elaboración propia

| <b>Cuadro 2. Validación de los modelos de predicción de capacidad admisible y tipo de suelo</b> |                        |                   |                       |                         |            |                            |             |                 |
|---|------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------|------------|----------------------------|-------------|-----------------|
| <b>Variable</b>   | <b>Profundidad (m)</b> | <b>Método</b>     | <b>Semivariograma</b> | <b>Media de errores</b> | <b>EMC</b> | <b>Media estandarizada</b> | <b>EMCE</b> | <b>Media EE</b> |
| Tipo de suelo   | 0,5                    | Kriging ordinario | Exponencial           | -0,058                  | 3,247      | -0,012                     | 0,972       | 3,378           |
| Tipo de suelo   | 1                      | Kriging ordinario | Exponencial           | -0,055                  | 3,444      | -0,014                     | 1,008       | 3,417           |
| Tipo de suelo   | 1,5                    | Kriging ordinario | Exponencial           | 0,013                   | 3,408      | 0,001                      | 1,011       | 3,457           |
| Tipo de suelo   | 2                      | Kriging ordinario | Exponencial           | 0,031                   | 3,66       | 0,002                      | 1,116       | 3,388           |
| Tipo de suelo   | 2,5                    | Kriging ordinario | Exponencial           | 0,051                   | 2,924      | 0,001                      | 1,199       | 2,483           |
| Tipo de suelo   | 3                      | Kriging ordinario | Exponencial           | 0,104                   | 4,255      | 0,013                      | 1,178       | 3,591           |
| Tipo de suelo   | 3,5                    | Kriging ordinario | Exponencial           | 0,155                   | 3,429      | 0,022                      | 1,416       | 2,686           |
| Tipo de suelo   | 4                      | Kriging ordinario | Exponencial           | 0,236                   | 3,711      | 0,049                      | 1,366       | 2,892           |
| Tipo de suelo   | 0,5                    | IDW               | -                     | 1,528                   | 3,672      | -                          | -           | -               |
| Tipo de suelo   | 1                      | IDW               | -                     | 1,355                   | 4,021      | -                          | -           | -               |
| Tipo de suelo   | 1,5                    | IDW               | -                     | 1,631                   | 3,981      | -                          | -           | -               |
| Tipo de suelo   | 2                      | IDW               | -                     | 1,504                   | 4,101      | -                          | -           | -               |
| Tipo de suelo   | 2,5                    | IDW               | -                     | 0,959                   | 3,269      | -                          | -           | -               |
| Tipo de suelo   | 3                      | IDW               | -                     | 1,381                   | 4,476      | -                          | -           | -               |
| Tipo de suelo   | 3,5                    | IDW               | -                     | 1,201                   | 3,498      | -                          | -           | -               |
| Tipo de suelo   | 4                      | IDW               | -                     | 1,267                   | 3,543      | -                          | -           | -               |
| Capacidad admisible   | 0,5                    | Kriging ordinario | Exponencial           | -1,137                  | 8,596      | -0,159                     | 2,026       | 2,283           |
| Capacidad admisible   | 1                      | Kriging ordinario | Exponencial           | -1,459                  | 14,19      | -0,091                     | 1,651       | 4,156           |
| Capacidad admisible   | 1,5                    | Kriging ordinario | Exponencial           | -0,225                  | 20,195     | -0,054                     | 2,461       | 4,451           |
| Capacidad admisible   | 2                      | Kriging ordinario | Exponencial           | -0,889                  | 31,849     | -0,117                     | 4,169       | 5,546           |
| Capacidad admisible   | 2,5                    | Kriging ordinario | Exponencial           | -0,637                  | 24,301     | -0,021                     | 1,264       | 18,583          |

|                     |     |                   |             |        |        |        |       |        |
|---------------------|-----|-------------------|-------------|--------|--------|--------|-------|--------|
| Capacidad admisible | 3   | Kriging ordinario | Exponencial | -1,905 | 34,053 | -0,058 | 1,025 | 33,174 |
| Capacidad admisible | 3,5 | Kriging ordinario | Exponencial | -1,641 | 27,771 | -0,018 | 1,291 | 25,972 |
| Capacidad admisible | 4   | Kriging ordinario | Exponencial | -5,243 | 46,154 | -0,063 | 1,377 | 25,903 |
| Capacidad admisible | 0,5 | IDW               | -           | -0.821 | 9,129  | -      | -     | -      |
| Capacidad admisible | 1   | IDW               | -           | -1,148 | 14,105 | -      | -     | -      |
| Capacidad admisible | 1,5 | IDW               | -           | 0,598  | 17,468 | -      | -     | -      |
| Capacidad admisible | 2   | IDW               | -           | 1,654  | 27,998 | -      | -     | -      |
| Capacidad admisible | 2,5 | IDW               | -           | 5,705  | 29,684 | -      | -     | -      |
| Capacidad admisible | 3   | IDW               | -           | 13,349 | 41,915 | -      | -     | -      |
| Capacidad admisible | 3,5 | IDW               | -           | 4,546  | 29,238 | -      | -     | -      |
| Capacidad admisible | 4   | IDW               | -           | 3,445  | 42,128 | -      | -     | -      |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

Donde:

EMC = Error medio cuadrático

EMCE = Error medio cuadrático estandarizado

EE = Error estandarizado

# Análisis de los resultados

Respecto al contenido de humedad del suelo expresado en porcentaje, oscila en un intervalo entre 17% y 58%, que representa la relación porcentual entre el peso del agua y el peso del sólido, con respecto al peso de las partículas sólidas del material. Estos porcentajes de humedad evidencian la presencia de agua en el suelo, lo cual provoca un incremento en la presión de poro, por lo tanto los esfuerzos efectivos se reducen así como la resistencia al corte del suelo cohesivo. La presencia de porosidad en el suelo puede llevar a la condición de cero resistencia del mismo, lo cual conlleva a la licuefacción y falla del suelo.

En cuanto al nivel freático, el mismo varía en distintas zonas del campus. En las zonas altas del área estudiada (zona donde se encuentra un lago) el nivel freático se encuentra aproximadamente a 2,25m de profundidad respecto al nivel del terreno y en las partes más bajas del campus se encuentra aproximadamente a 3,60m de profundidad respecto al nivel de terreno.

Los cambios de profundidad a la que se encuentra el nivel freático pueden causar asentamientos cuando existe un descenso en el nivel de agua, esto debido a que el peso efectivo del suelo aumenta.

El límite líquido se encuentra entre 55 y 79, lo cual evidencia que el peso de los sólidos difiere poco en relación con el peso de la humedad contenida, el límite plástico se encuentra entre 31 y 45, el cual se encuentra controlado por el contenido de arcillas y arcillas limosas, y estos contenidos de humedad reflejan la magnitud de la capacidad soportante del suelo, la cual crece rápidamente a medida que la cantidad de agua disminuye. El índice de plasticidad da una buena indicación de la compresibilidad del suelo, cuanto mayor sea el índice de plasticidad mayor será la compresibilidad. En este caso el índice de plasticidad anda entre 20 y 43, lo cual refleja elevada presencia de arcillas en algunas zonas del campus de la institución y su alta capacidad del

suelo de deformarse sin agrietarse ante un esfuerzo mecánico, conservando la deformación al retirarse la carga.

En relación al elevado índice plástico, indica una menor permeabilidad y una mayor resistencia seca, en cuanto al límite líquido alto indica una mayor permeabilidad y compresibilidad.

Al juntar los límites de plasticidad con el contenido de humedad del suelo, se puede conocer si un suelo está preconsolidado, es decir un suelo más denso con baja relación de vacíos, por lo cual si el suelo se encuentra bajo el nivel freático, está saturado, pero en suelo preconsolidado el contenido de humedad es bajo por ser más denso.

Dicha sobreconsolidación se debe a que el suelo estuvo sometido anteriormente a una presión mayor que la actual y se estudia la razón entre la presión efectiva máxima en el pasado con respecto a la presión efectiva máxima actual. Un OCR igual a 1 indica un suelo normalmente consolidado y un OCR mayor a 1 indica un suelo sobreconsolidado

El análisis granulométrico muestra la alta cantidad de limos y arcillas presentes en los suelos de la sede central del Tecnológico de Costa Rica, ya que en la curva granulométrica se ve que el porcentaje pasando por el tamiz número 200 ronda entre 60% y 98%. Los porcentajes prueban la elevada presencia de limos y arcillas, en menor cantidad arenas finas y la nula aparición de gravas en los suelos analizados.

Con respecto al tipo de suelo, en los primeros 50 cm predominan arcillas y limos orgánicos de alta y baja plasticidad, después de estos 50 cm se da la presencia de suelo de alta plasticidad y profundidades mayores a 2m ya se empieza a encontrar estratos duros o roca blanda, a partir de 2m de profundidad incrementa la probabilidad del rebote del martillo al ejecutar la Prueba de Penetración Estándar (SPT); donde se reportan más de 100 golpes al avanzar 45cm de profundidad, por lo cual se obtienen capacidades

de soporte últimas del suelo muy altas (mayor a 50 T/m<sup>2</sup>) a partir de 2m de fondo.

En el caso de la capacidad soportante del suelo no se efectuó el conteo para los primeros 15 cm de profundidad, ya que es tomado para propósitos de referencia, pero no es usado para el cálculo del número de golpes, dado que el suelo podría estar alterado por efectos del proceso utilizado durante la ejecución del sondeo, originando suelo suelto en la superficie. Para calcular la capacidad soportante los autores Peck, Hanson y Thornburn corrigen el número de golpes de campo por un factor de confinamiento efectivo, el cual considera asentamientos esperados de 25,4mm y que el nivel freático está gran profundidad. Se utiliza esta ecuación ya que relaciona el número de golpes SPT con la capacidad de soporte del suelo, debido a que los informes de suelo consultados tenían la información de capacidad de soporte obtenida con distintas ecuaciones, por lo cual para homogenizar los datos se hace uso de la ecuación de Peck, Hanson y Thornburn.

Los valores altos de resistencia del suelo a poca profundidad se debe a la formación geológica de la provincia de Cartago (ver Figura 1), en la cual predominan depósitos aluviales y coaluviales por efecto de la actividad volcánica en el Pleistoceno-Holoceno, lo cual explica el rebote del martillo de la Prueba de Penetración Estándar (SPT) y las elevadas capacidades de soporte del material a tan poca profundidad.

Inicialmente se verifica la normalidad de los datos de resistencia última y tipos de suelo, es decir, se obtiene un ajuste de probabilidad en forma de campana Gaussiana. Al analizar la distribución e información de cada punto en el espacio muestral se nota la inexistencia de normalidad, se usa ajuste lognormal, lo cual se refiere a la existencia de una distribución normal logarítmica de las variables aleatorias de resistencia última y tipos de suelo, cuyo logaritmo está normalmente distribuidos, con ciertos datos que se desvían de la media poblacional. La carencia de normalidad en algunas poblaciones, el contorno no suavizado y perpendicular en los mapas de resistencia se debe a la existencia de dispersión en los datos, es decir en espacios reducidos y en sondeos separados a poca distancia unos de otros se presentan diferencias significativas en los valores de capacidad soportante, por lo que el modelo interpreta que en

ese espacio tan pequeño hay gran variabilidad en los datos, lo cual explica el contorno perpendicular y los cambios bruscos en algunos mapas de resistencia del suelo.

Se puede ver que conforme aumenta la profundidad se pierden ciertos puntos, lo cual se debe a la presencia de depósitos aluviales y coaluviales a diferentes profundidades, por lo que el martillo del Ensayo de Penetración Estándar (SPT), rebota a distintas profundidades en todos los sondeos llevados a cabo. Como consecuencia el repartimiento de los puntos tiende a ser menos homogéneo y la distancia entre ellos se amplía, por lo que se puede ver afectado el comportamiento normal del fenómeno. Se evidencia que para los mapas a 0,5m, 1,0m y 1,5m de profundidad la confiabilidad de las interpolaciones es mayor, esto debido a que la pérdida de puntos en el área de estudio es nula. Con respecto a los histogramas de los modelos ejecutados a 3,0m, 3,5m y 4,0m de profundidad, se evidencia asimetría y observaciones individuales que quedan fuera del aspecto general, lo cual evidencia dispersión entre los datos y problemas con valores extremos en la distribución de los mismos.

Otra técnica aplicada para ver la normalidad de las variables de predicción son las gráficas Quantile-Quantile, la cual consiste en la comparación de cuantiles muestrales con los poblacionales, es decir, que se tienen dos series de datos que cuanto más similares sean, mejor será el ajuste. En términos generales la distribución para las propiedades de capacidad de soporte del suelo y tipo de suelo es normalmente distribuido, con ajuste normal logarítmico, donde se asemeja a la forma de la campana Gaussiana, ya que en las gráficas de dispersión Quantile-Quantile a 0,5m, 1,0m, 1,5m, 2,0m, 2,5m, 3,0m, 3,5m y 4,0m de profundidad, se visualiza que los datos se encuentran normalizados, con algunas desviaciones en las esquinas y una tendencia mayoritariamente central; las series de información muestral y poblacional se aproximan bastante a la línea recta.

Para la validación de los modelos se toman en cuenta errores de predicción (ver Cuadro 2). Se puede ver la media de error relativo en unos casos es positiva y en otros negativa, lo cual denota una tendencia menor al comportamiento general del fenómeno cuando el error es negativo. La presencia de error positivo indica una tendencia

mayor al comportamiento general de la población en estudio, por lo tanto si la media de error es negativa o positiva indica que el valor de predicción va a ser mayor con respecto a la media poblacional cuando el error es positivo, y el valor de predicción va a ser menor que la media poblacional cuando el error es negativo. Los mapas de capacidad admisible del suelo a 2,5m, 3,0m, 3,5m y 4,0m de profundidad en comparación a los mapas de con la misma variable a 0,5m, 1m, 1,5m y 2m, presentan una mayor media de errores a causa de la amplificación de distancia entre sondeos, por ende la interpolación se ejecuta con menos información, y al haber una mayor distancia entre puntos, el método tiene que predecir en áreas más grandes que carecen de datos para realizar una predicción confiable.

Se puede visualizar que la media de errores es más pequeña que el error predictivo estandarizado (ver cuadro 2), debido a que la media toma en cuenta la tendencia o frecuencia del fenómeno, mientras que el error estandarizado toma la desviación mayor de dato que más se aleja de la media poblacional. Al tomar en cuenta el error cuadrático medio, el mismo es mayor que el error relativo de predicción, ya que el error medio cuadrático representa el porcentaje de la varianza justificado por la variable independiente y es el cuadrado del coeficiente de correlación entre las variables dependientes e independientes, en la gráfica de error relativo, las líneas continuas representan la distancia entre el valor real y el estimado. Tal como se muestra en siguiente figura:

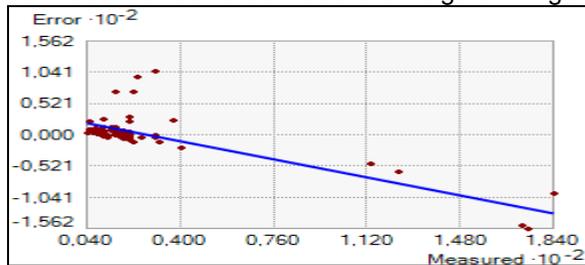


Figura 152. Gráfico de error de predicción  
Fuente. Elaboración propia con ArcGIS 10.3

Al analizar el Cuadro 2, se observa que la media de error relativo, la media de error estandarizado y error medio cuadrático, son mayores en la variable de capacidad soportante del suelo que en la propiedad de tipo de suelo, esto porque en la variable de capacidad admisible

del suelo hay mayor gama de datos. Esto incrementa la variabilidad y aleatoriedad del fenómeno, es decir que en zonas de estudio relativamente cercanas existen varias categorías de datos, lo cual hace crecer la desviación con respecto a la media y el error aleatorio en datos estadísticos intermedios causado por la varianza aleatoria del muestreo.

La confiabilidad de la predicción disminuye por la presencia de valores extremos, en comparación con los tipos de suelo que presenta menos categorías de datos, ya que un mismo tipo de suelo se aparece muchas veces, lo cual disminuye el error de predicción en los modelos de tipo de suelo. En términos generales los errores mostrados son aceptables, ya que la zona estudiada (terreno de la sede central del Tecnológico de Costa Rica) es un área relativamente pequeña, donde la distancia entre sondeos no es significativa, por lo tanto los errores de predicción esperados no son altos, ya que cuanto menor sea el espacio muestral, menor será el error. En las siguientes figuras se ve la disminución de datos del modelo a 4,0m de profundidad con respecto al modelo de 0,5m de profundidad

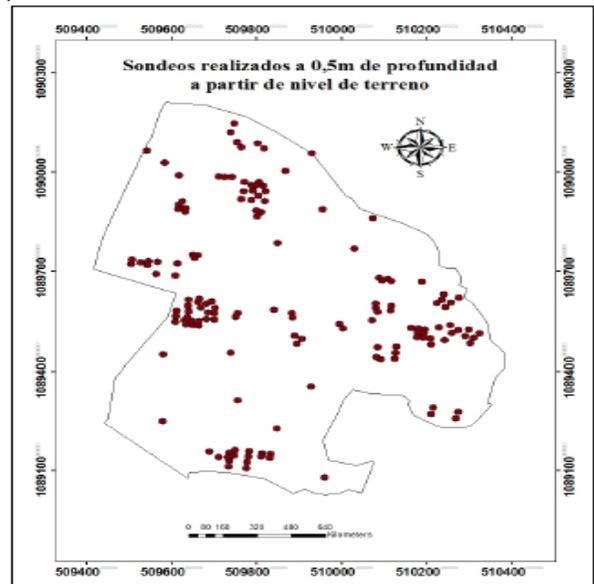


Figura 153. Sondeos realizados a 0,5m de profundidad  
Fuente. Elaboración propia con ArcGIS 10.3

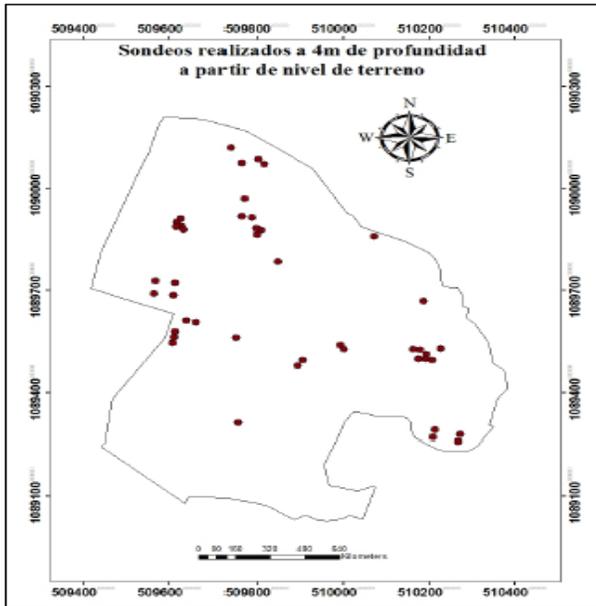


Figura 154. Sondeos realizados a 0,5m de profundidad  
Fuente. Elaboración propia con ArcGis 10.3

Los modelos de predicción se llevaron a cabo con los métodos de interpolación espacial de Kriging ordinario y Peso Ponderado por el Inverso de la Distancia (IDW). La bondad de ajuste de estas metodologías de predicción depende de características de la zona investigada, así como de las variables que desean interpolar y se escoge el método con menor error de pronóstico. La interpolación IDW considera que el peso de cada muestra es inversamente proporcional a la distancia desde el punto que se está tomando la muestra y Kriging se caracteriza no sólo por tomar la distancia entre las muestras, sino también la estructura espacial de los datos.

En el método IDW hay mayor variabilidad espacial en los espacios muestrales de los mapas de capacidad soportante y tipo de suelo a 2m, 2,5m, 3m, 3,5m y 4m de profundidad, a causa de los valores extremos, por lo tanto con Kriging se obtuvieron mapas más suavizados a estas profundidades.

Con el método de Kriging se obtiene un semivariograma que mide la media aritmética de todos los cuadrados de las diferencias entre pares de valores experimentales separados a cualquier distancia. La escogencia de la variografía se debe a la distribución de los sondeos en la zona de estudio, por lo cual se prueba un ajuste esférico, Gaussiano, lineal o exponencial, en este caso el más adecuado es el semivariograma exponencial,

esto porque los puntos muestran una correlación muy alta al principio y conforme se incrementa la distancia en el eje de las abscisas la correlación disminuye, al aumentarse exponencialmente la distancia entre puntos.

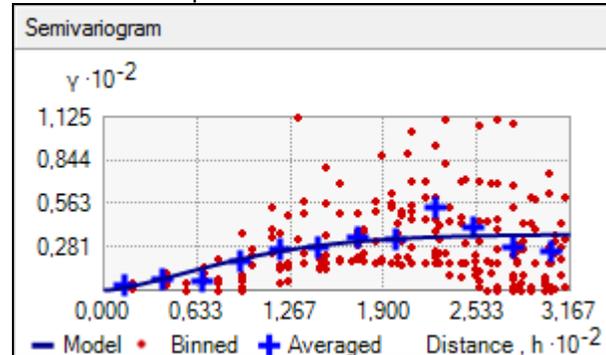


Figura 155. Semivariograma exponencial  
Fuente. Elaboración propia con ArcGis 10.3

Para la validación de los modelos de predicción, se tiene la base de datos  $D = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$  de registros que corresponden al número de perforación o sondeo realizado, y se tiene un conjunto de clases  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ , que son las ponderaciones de capacidad de soporte y tipo de suelo, donde cada perforación o registro es función de la clase, por lo cual se tiene  $f: D \rightarrow C$ , tal que cada  $t_i$  es asignada a una clase  $C_j$ , es decir a cada perforación se le asigna una clase de capacidad de soporte y tipo de suelo, para luego asignar clases a zonas sin datos.

Los mapas de confiabilidad y predicción de errores, hacen uso de los K vecinos más cercanos, como se observa en las zonas claras del mapa es donde hay mayor confiabilidad de predicción. Esto se debe a que en las áreas claras del mapa se encuentra una mayoría de registros con una misma clase de datos.

Los porcentajes más bajos de confiabilidad se encuentran en los modelos realizados a 4,0m de profundidad. Esto por la pérdida de puntos debida a razones ya explicadas, por ende la cantidad de registros por clase disminuye, y como consecuencia aumenta el error de pronóstico.

En cuanto a los mapas de porcentaje de error de predicción de la variable de tipo de suelo, el menor porcentaje de confiabilidad se encuentra en 93%, lo cual quiere decir que un 93% de las predicciones fueron realizadas correctamente, esto en cuanto a su valor más crítico de confiabilidad.

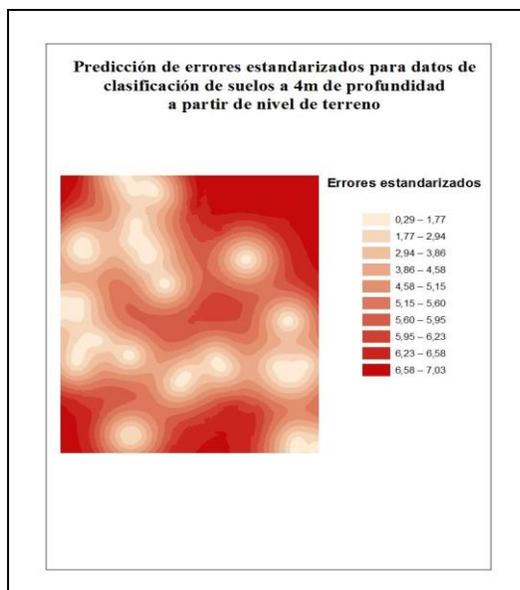


Figura 156. Mapa de predicción de errores de tipo de suelo a 4,0m de profundidad  
Fuente. Elaboración propia con ArcGis 10.3

Para la variable de capacidad de soporte del suelo, el menor porcentaje de confiabilidad se encuentra en 70%, es decir un 70% de las predicciones fueron realizadas correctamente, esto en cuanto a su valor más crítico de confiabilidad.

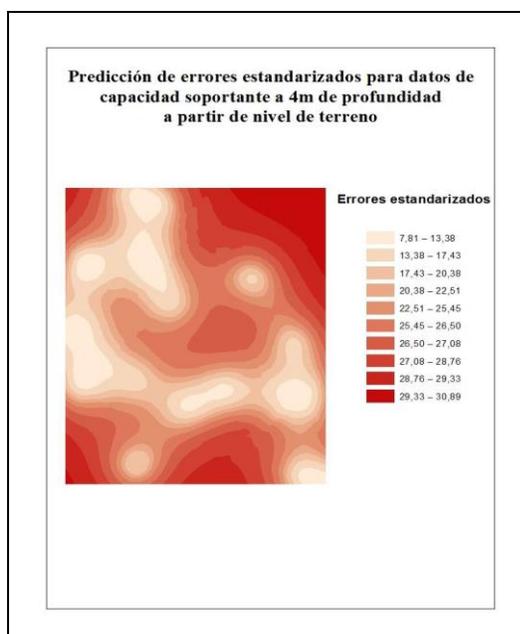


Figura 157. Mapa de predicción de errores de capacidad de soporte del suelo a 4,0m de profundidad  
Fuente. Elaboración propia con ArcGis 10.3

En este caso la variable de capacidad de soporte tiene más error estandarizado y menos confiabilidad que la variable de tipo de suelo debido a que los datos de resistencia del suelo tienen mayor cantidad de clases por registro, comparado con los datos de tipos de suelo.

Los mapas de confiabilidad y predicción de errores estandarizados, utilizan matrices de confusión o error para sistemas de clasificación, en este caso de tipo de suelo y capacidad de soporte. Se compara el conjunto de individuos de la tabla y la predicción en regiones sin datos con la clase a la que estos registros pertenecen.

El modelo de predicción IDW utiliza regiones de decisión, es decir divide el espacio de estudio en celdas donde se encuentran ciertos números de K individuos. Entre más registros de una misma clase se encuentren dentro de la celda, la predicción tiende a la clase predominante dentro de la celda y la confiabilidad es mayor. En los mapas efectuados con este método, las entradas producen invariablemente las mismas salidas, no contemplándose la existencia del azar ni el principio de incertidumbre, lo cual explica la carencia de suavidad en los contornos del mapa con respecto a los modelos de Kriging.

El análisis detallado de los mapas resultantes con el método de Kriging ordinario de variografía exponencial que genera una reducción en la variabilidad, posee una desviación típica próxima a uno, menos error de predicción y proporciona el valor más probable en el área basimétrica en un punto no experimental, siendo para este, un área relativamente pequeña, en términos generales el método más adecuado para generar mapas en espacios muestrales reducidos, es decir que no distribuye el área con diferente cantidad de eventos, comparado con IDW.

La carencia de normalidad en los datos no afecta la validación y confiabilidad de los mismos, ya que el método Kriging interpola con pares de datos basándose en el semivariograma donde la cresta de este variograma es la varianza máxima experimental y asume que la media poblacional es desconocida. El método IDW interpola datos no muestrales dentro de una celda basándose en datos muestrales de distinta clase, por lo que no se ve afectado por la normalidad

# Conclusiones y Recomendaciones

1. Comparado con el método del Peso Ponderado por el Inverso de la Distancia, con la interpolación de Kriging se consiguen resultados estadísticos más acertados, con margen de error de predicción menor.
2. La carencia de normalidad no afecta la confiabilidad de los modelos, debido a que los métodos asumen una media poblacional desconocida y se basan en las clases de vecinos más cercanos.
3. Se muestra un comportamiento centralizado en la media poblacional de los datos en todos los mapas generados, con leves problemas en valores extremos.
4. A 50cm de profundidad, predominan suelos arcillosos y limosos de tipo orgánico.
5. Se recomienda realizar los modelos de predicción con otros métodos, para ver si hay reducción del error y mejorar el modelo.
6. Se recomienda realizar pruebas de comprobación en el campus, para verificar si lo que presentan los modelos de predicción efectuados concuerdan con la realidad.
7. Se sugiere eliminar como mínimo los primeros 50 cm de suelo, debido a que a esta profundidad dominan los suelos orgánicos con muy baja resistencia.
8. Se debe añadir más sondeos al mapa para mejorar el modelo de predicción y su confiabilidad, esto conforme se ejecuten más estudios de suelo en el campus.
9. A 0,5m y 1m de profundidad predominan resistencias del suelo entre 5 T/m<sup>2</sup> y 10 T/m<sup>2</sup>.
10. A 1,5m de profundidad se presentan capacidades de soporte del suelo entre 17 T/m<sup>2</sup> y 22 T/m<sup>2</sup> al norte y sur del campus.
11. A partir de 2,5m y 3m de profundidad predominan en el noroeste y suroeste suelos muy firmes con resistencias mayores a 50 T/m<sup>2</sup>.
12. Según los mapas de capacidad de soporte y clasificación de suelo los suelos más firmes se encuentran al norte y sur del área investigada.
13. Debido a la variación de las ponderaciones, los modelos de capacidad admisible del suelo presentan errores relativos, errores estandarizados y errores cuadráticos mayores que los modelos de tipo de suelo, por lo tanto los modelos de tipo de suelo son más confiables.
14. En la interpolación de Kriging ordinario, para los modelos de predicción obtenidos y la distribución de sondeos, impera la variografía exponencial.
15. En la interpolación IDW los errores relativos, errores estandarizados y errores cuadráticos son menores tanto en los modelos de resistencia del suelo como tipo de suelo a profundidades de 0,5m a 2m, a causa de la escasa distancia entre sondeos.
16. Al trabajar en un espacio muestral no tan amplio los errores relativos, estandarizados y cuadráticos son relativamente pequeños y aceptables, esto debido a la poca distancia entre sondeos.
17. El método IDW aumenta el exponente del inverso del peso de la ponderación cuando los sondeos se encuentran escasamente espaciados, lo cual se ve reflejado en los errores de pronóstico en los modelos de 0,5m a 2m de profundidad de ambas variables estudiadas, a causa a la alta correlación entre puntos, por lo cual el modelo IDW es más confiable que Kriging cuando los sondeos se encuentran cercanos entre ellos.
18. La media de errores relativos es menor que la media de errores estandarizados, por lo tanto los modelos son confiables y la dispersión no los afecta en forma grave.

# Apéndices

**Apéndice 1. Ejecución de la Prueba de Penetración Estándar**



**Apéndice 4. Muestras de la Prueba de Penetración Estándar**



**Apéndice 2. Ejecución de la Prueba de Penetración Estándar**



**Apéndice 5. Muestras de la Prueba de Penetración Estándar**



**Apéndice 3. Ejecución de la Prueba de Penetración Estándar**



**Apéndice 6. Muestras de la Prueba de Penetración Estándar**



**Apéndice 7. Muestras de la Prueba de Penetración Estándar**



**Apéndice 8. Muestras ensayo de contenido de humedad**



**Apéndice 9. Ensayo de contenido de humedad**



**Apéndice 10. Muestras de suelo secas para triturar**



**Apéndice 11. Trituración de muestras de suelo**



**Apéndice 12. Trituración de muestras de suelo**



**Apéndice 13. Muestras de suelo trituras**



**Apéndice 14. Obtención de muestra para Límites de Atterberg**



**Apéndice 15. Muestra para límites de Atterberg**



**Apéndice 16. Ensayo límite líquido**



**Apéndice 17. Ensayo límite líquido**



**Apéndice 18. Ensayo límite líquido**



**Apéndice 19. Ensayo límite plástico**



**Apéndice 20. Muestras límite plástico**



**Apéndice 21. Muestras límite líquido**



**Apéndice 22. Lavado de muestra de suelo por tamiz N°200**



**Apéndice 23. Ensayo de granulometría**



**Apéndice 24. Toma de coordenadas**



**Apéndice 25. Toma de coordenadas**



| <b>Apéndice 26. Capacidad soportante del suelo, sondeo 143</b> |              |              |                          |                              |                                       |
|--|--------------|--------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Profundidad (m)</b>   | <b>30 cm</b> | <b>45 cm</b> | <b>N<sub>TOTAL</sub></b> | <b>N<sub>CORREGIDO</sub></b> | <b>q<sub>u</sub>(T/m<sup>2</sup>)</b> |
| 0,00 – 0,45  | 4            | 6            | 10                       | 18                           | 18                                    |
| 0,45 – 0,90  | 4            | 5            | 9                        | 16                           | 16                                    |
| 0,90 – 1,35  | 6            | 13           | 19                       | 33                           | 33                                    |
| 1,35 – 1,80  | 4            | 5            | 9                        | 16                           | 16                                    |
| 1,80 – 2,25  | 7            | 10           | 17                       | 30                           | 30                                    |
| 2,25 – 2,70  | 4            | 6            | 10                       | 17                           | 17                                    |
| 2,70 -3,15   | 3            | 12           | 15                       | 26                           | 26                                    |
| 3,15 – 3,60  | 26           | 24           | 50                       | 88                           | > 50                                  |
| 3,60 -4,05   | 50           | 57           | 107                      | 189                          | > 50                                  |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

| <b>Apéndice 27. Contenido de humedad, sondeo 143</b> |                  |
|--|------------------|
| <b>Profundidad (m)</b>                               | <b>% Humedad</b> |
| 0,00 – 0,45  | 34               |
| 0,45 – 0,90  | 44               |
| 0,90 – 1,35  | 47               |
| 1,35 – 1,80  | 53               |
| 1,80 – 2,25  | 46               |
| 2,25 – 2,70  | 55               |
| 2,70 -3,15   | 52               |
| 3,15 – 3,60  | 45               |
| 3,60 -4,05   | 51               |

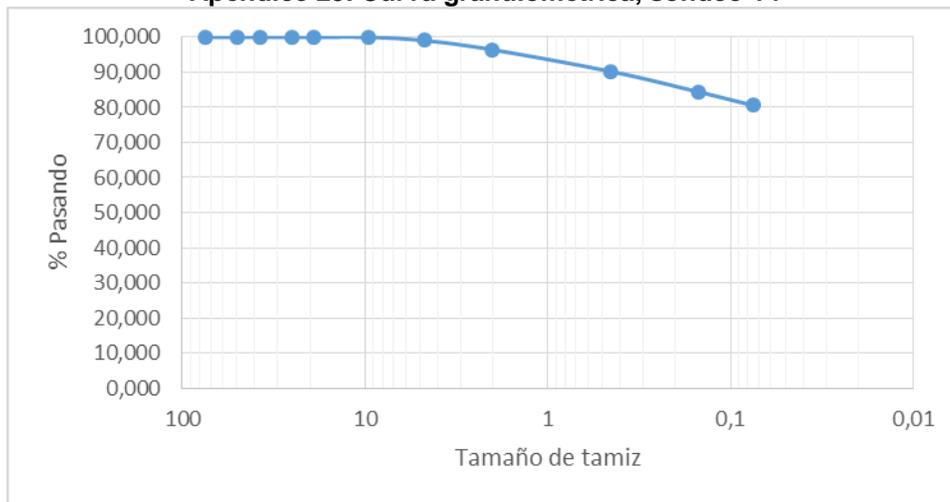
Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

**Apéndice 28. Granulometría, sondeo 143**

| Malla (mm)      | %Pasando |
|-----------------|----------|
| 3" (75mm)       | 100,00   |
| 2" (50mm)       | 100,00   |
| 1 1/2" (37,5mm) | 100,00   |
| 1" (25mm)       | 100,00   |
| 3"/4            | 100,00   |
| 3"/8            | 100,00   |
| #4              | 99,08    |
| #10             | 96,44    |
| #40             | 90,23    |
| #100            | 84,44    |
| #200            | 80,55    |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

**Apéndice 29. Curva granulométrica, sondeo 14**



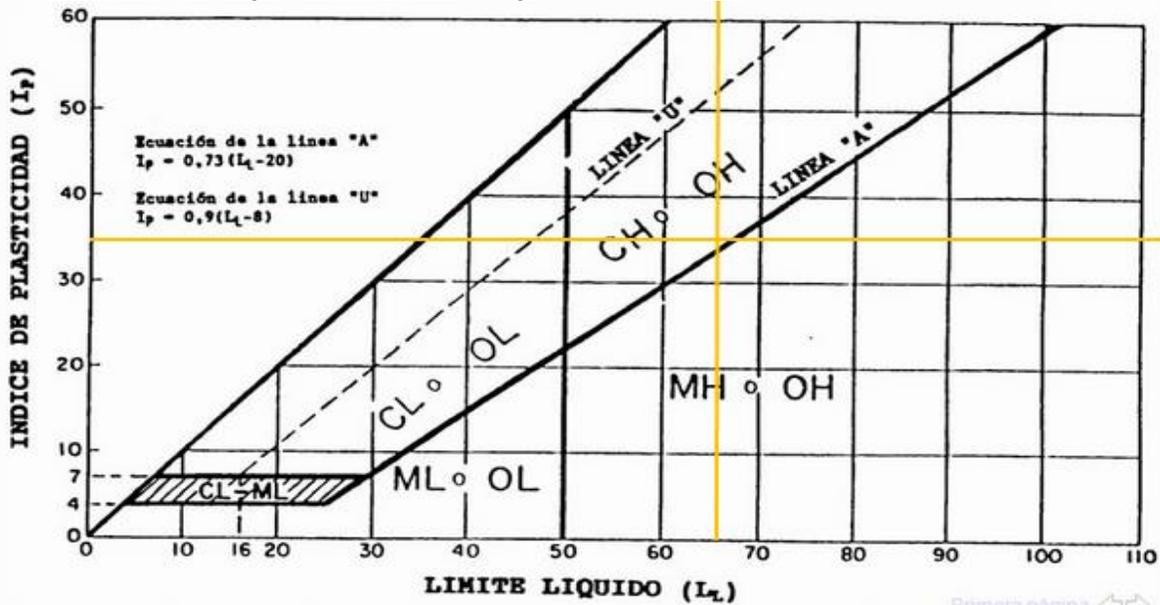
Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

**Apéndice 30. Límites de Atterberg, sondeo 143**

| Profundidad (m) | LL | LP | IP | Clasificación |
|-----------------|----|----|----|---------------|
| 0,00 – 0,45     | 66 | 32 | 34 | CH            |
| 0,45 – 0,90     |    |    |    |               |
| 0,90 – 1,35     |    |    |    |               |
| 1,35 – 1,80     |    |    |    |               |
| 1,80 – 2,25     |    |    |    |               |
| 2,25 – 2,70     |    |    |    |               |
| 2,70 -3,15      |    |    |    |               |
| 3,15 – 3,60     |    |    |    |               |
| 3,60 -4,05      |    |    |    |               |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

Apéndice 31. Carta de plasticidad, sondeo 143



Fuente. Elaboración propia

| Profundidad (m) | 30 cm | 45 cm | N TOTAL | N CORREGIDO | $q_u$ (T/m <sup>2</sup> ) |
|-----------------|-------|-------|---------|-------------|---------------------------|
| 0,00 – 0,45     | 4     | 4     | 8       | 14          | 14                        |
| 0,45 – 0,90     | 4     | 4     | 8       | 14          | 14                        |
| 0,90 – 1,35     | 9     | 9     | 18      | 32          | 32                        |
| 1,35 – 1,80     | 11    | 20    | 31      | 55          | > 50                      |
| 1,80 – 2,25     | 39    | 59    | 98      | 174         | > 50                      |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

| Profundidad (m) | % Humedad |
|-----------------|-----------|
| 0,00 – 0,45     | 17        |
| 0,45 – 0,90     | 40        |
| 0,90 – 1,35     | 48        |
| 1,35 – 1,80     | 47        |
| 1,80 – 2,25     | 44        |

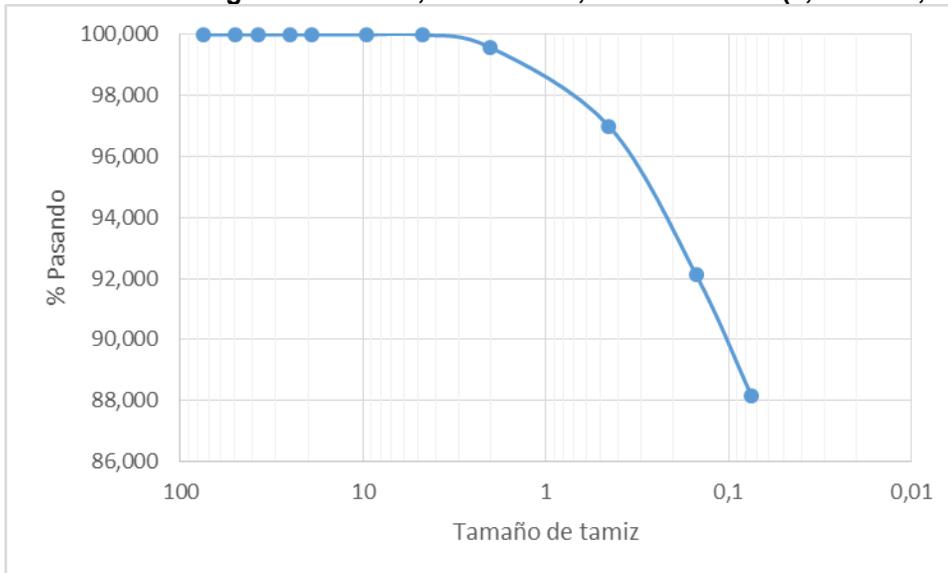
Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

**Apéndice 34. Granulometría, sondeo 144, clasificación 1 (0,00 m – 1,35 m)**

| Malla (mm)     | %Pasando |
|----------------|----------|
| 3" (75mm)      | 100,00   |
| 2"(50mm)       | 100,00   |
| 1 1/2"(37,5mm) | 100,00   |
| 1"(25mm)       | 100,00   |
| 3"/4           | 100,00   |
| 3"/8           | 100,00   |
| #4             | 100,00   |
| #10            | 99,57    |
| #40            | 96,99    |
| #100           | 92,11    |
| #200           | 88,17    |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

**Apéndice 35. Curva granulométrica, sondeo 144, clasificación 1 (0,00 m – 1,35 m)**

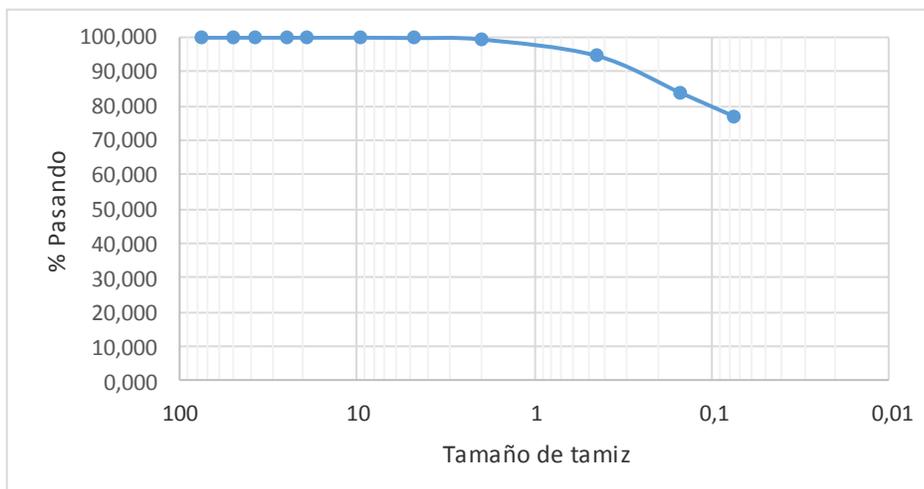


Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

| <b>Apéndice 36. Granulometría, sondeo 144, clasificación 2 (1,35 m – 2,25 m)</b> |                 |
|--|-----------------|
| <b>Malla (mm)</b>  | <b>%Pasando</b> |
| <b>3" (75mm)</b>   | 100,00          |
| <b>2" (50mm)</b>   | 100,00          |
| <b>1 1/2" (37,5mm)</b>   | 100,00          |
| <b>1" (25mm)</b>   | 100,00          |
| <b>3"/4</b>  | 100,00          |
| <b>3"/8</b>  | 100,00          |
| <b>#4</b>  | 99,87           |
| <b>#10</b>   | 99,48           |
| <b>#40</b>   | 94,79           |
| <b>#100</b>  | 83,91           |
| <b>#200</b>  | 77,06           |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

**Apéndice 37. Curva granulométrica, sondeo 144, clasificación 2 (1,35 m – 2,25 m)**

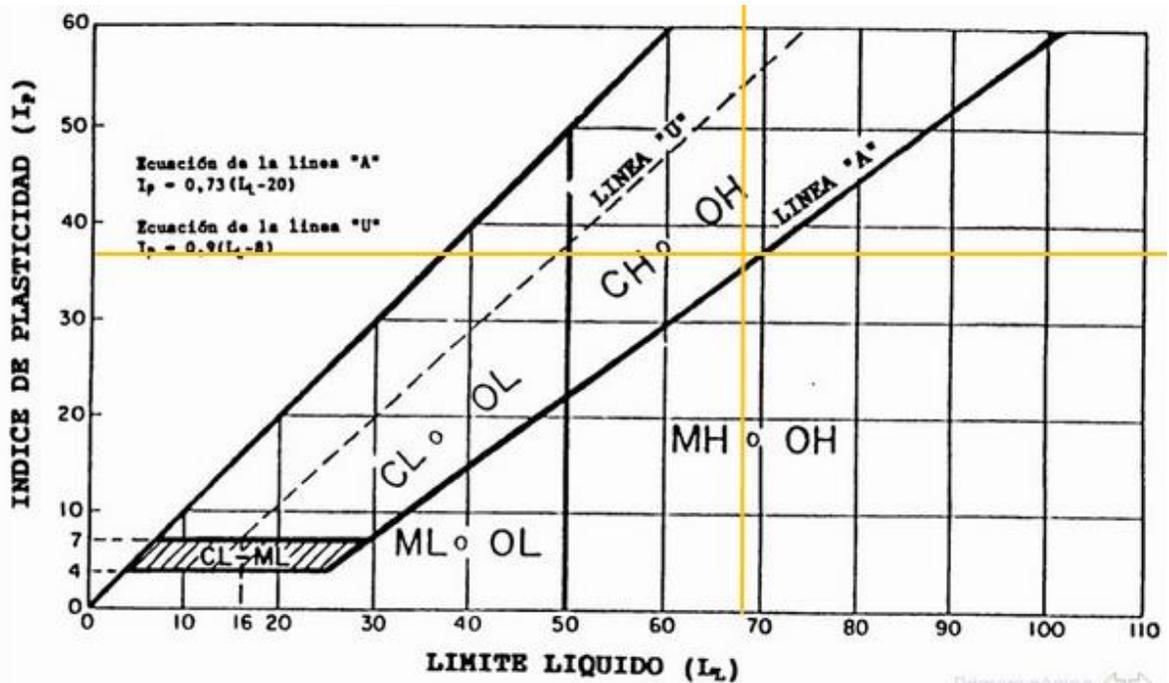


Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

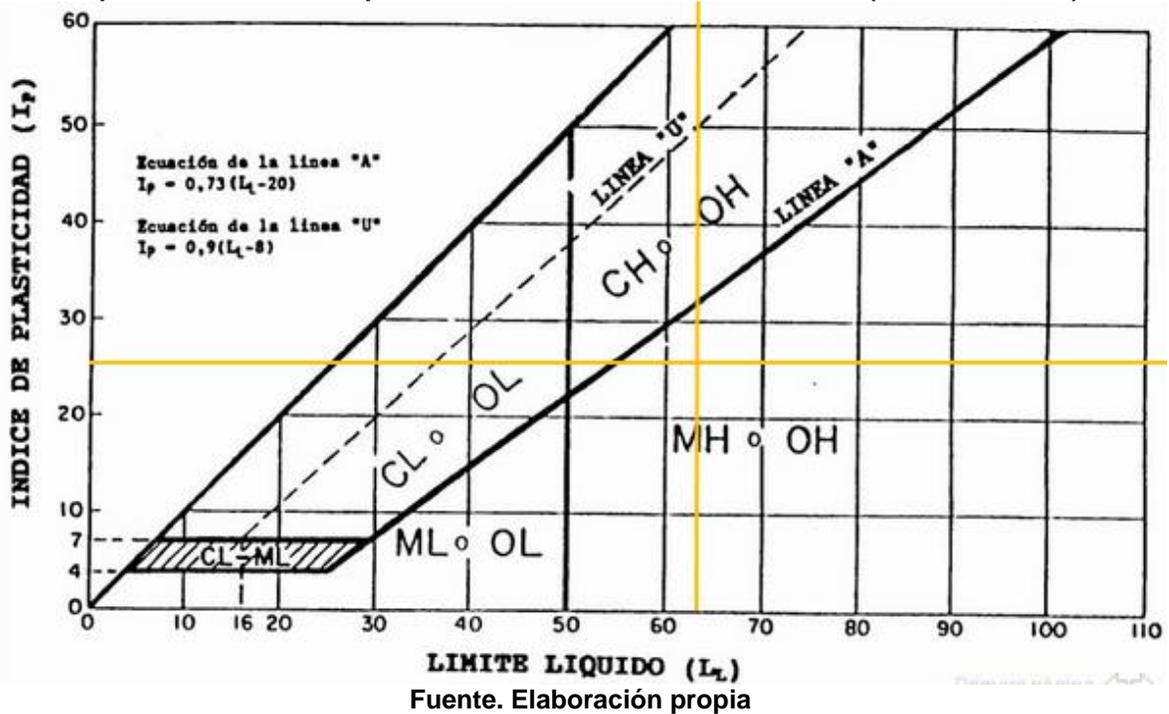
| <b>Apéndice 38. Límites de Atterberg, sondeo 144</b> |           |           |           |                      |
|--|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| <b>Profundidad (m)</b>                               | <b>LL</b> | <b>LP</b> | <b>IP</b> | <b>Clasificación</b> |
| 0,00 – 0,45  | 69        | 31        | 38        | CH                   |
| 0,45 – 0,90  |           |           |           |                      |
| 0,90 – 1,35  |           |           |           |                      |
| 1,35 – 1,80  | 63        | 37        | 26        | MH                   |
| 1,80 – 2,25  |           |           |           |                      |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

**Apéndice 39. Carta de plasticidad, sondeo 144, clasificación 1 (0,00 m – 1,35 m)**



Apéndice 40. Carta de plasticidad, sondeo 144, clasificación 2 (1,35 m – 2,25 m)



Apéndice 41. Capacidad soportante del suelo, sondeo 145

| <b>Profundidad (m)</b> | <b>30 cm</b> | <b>45 cm</b> | <b>N<sub>TOTAL</sub></b> | <b>N<sub>CORREGIDO</sub></b> | <b>q<sub>u</sub>(T/m<sup>2</sup>)</b> |
|------------------------|--------------|--------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| 0,00 – 0,45            | 4            | 7            | 11                       | 20                           | 20                                    |
| 0,45 – 0,90            | 5            | 5            | 10                       | 18                           | 18                                    |
| 0,90 – 1,35            | 5            | 11           | 16                       | 28                           | 28                                    |
| 1,35 – 1,80            | 27           | 53           | 80                       | 142                          | > 50                                  |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

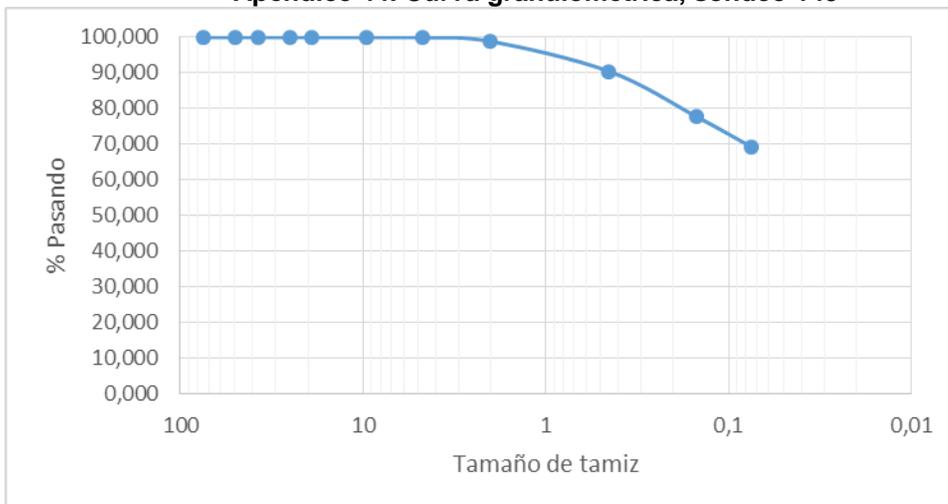
| <b>Apéndice 42. Contenido de humedad, sondeo 145</b> |                 |
|--|-----------------|
| <b>Profundidad (m)</b>                               | <b>%Humedad</b> |
| 0,00 – 0,45  | 51              |
| 0,45 – 0,90  | 41              |
| 0,90 – 1,35  | 48              |
| 1,35 – 1,80  | 39              |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

| <b>Apéndice 43. Granulometría, sondeo 145</b> |                 |
|---|-----------------|
| <b>Malla (mm)</b>                             | <b>%Pasando</b> |
| <b>3" (75mm)</b>                              | 100,00          |
| <b>2" (50mm)</b>                              | 100,00          |
| <b>1 1/2" (37,5mm)</b>                        | 100,00          |
| <b>1" (25mm)</b>                              | 100,00          |
| <b>3"/4</b>                                   | 100,00          |
| <b>3"/8</b>                                   | 100,00          |
| <b>#4</b>                                     | 99,96           |
| <b>#10</b>                                    | 98,86           |
| <b>#40</b>                                    | 90,49           |
| <b>#100</b>                                   | 77,82           |
| <b>#200</b>                                   | 69,33           |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

Apéndice 44. Curva granulométrica, sondeo 145

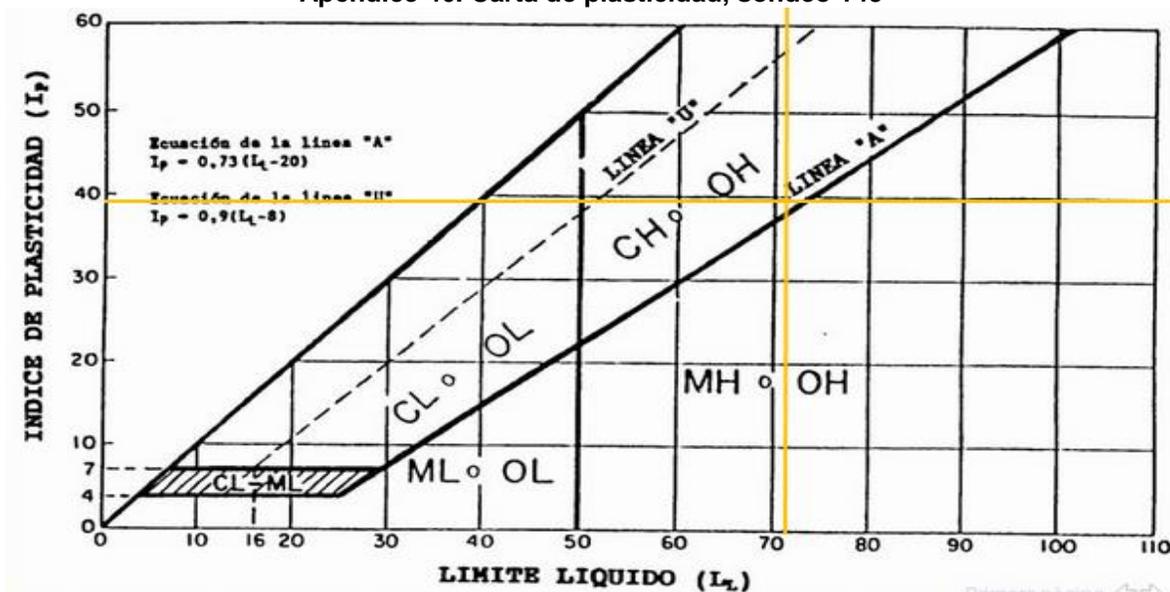


Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

| Profundidad (m) | LL | LP | IP | Clasificación |
|-----------------|----|----|----|---------------|
| 0,00 - 0,45     | 71 | 32 | 39 | CH            |
| 0,45 - 0,90     |    |    |    |               |
| 0,90 - 1,35     |    |    |    |               |
| 1,35 - 1,80     |    |    |    |               |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

Apéndice 46. Carta de plasticidad, sondeo 145



Fuente. Elaboración propia

| <b>Apéndice 47. Capacidad soportante del suelo, sondeo 146</b> |              |              |                          |                              |                                       |
|--|--------------|--------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Profundidad (m)</b>   | <b>30 cm</b> | <b>45 cm</b> | <b>N<sub>TOTAL</sub></b> | <b>N<sub>CORREGIDO</sub></b> | <b>q<sub>u</sub>(T/m<sup>2</sup>)</b> |
| 0,00 – 0,45  | 17           | 16           | 33                       | 59                           | > 50                                  |
| 0,45 – 0,90  | 12           | 11           | 23                       | 41                           | 41                                    |
| 0,90 – 1,35  | 10           | 7            | 17                       | 30                           | 30                                    |
| 1,35 – 1,80  | 6            | 6            | 12                       | 22                           | 22                                    |
| 1,80 – 2,25  | 6            | 6            | 12                       | 22                           | 22                                    |
| 2,25 – 2,70  | 10           | 11           | 21                       | 37                           | 37                                    |
| 2,70 -3,15   | 9            | 9            | 18                       | 32                           | 32                                    |
| 3,15 – 3,60  | 10           | 10           | 20                       | 35                           | 35                                    |
| 3,60 -4,05   | 12           | 14           | 26                       | 46                           | 46                                    |

**Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel**

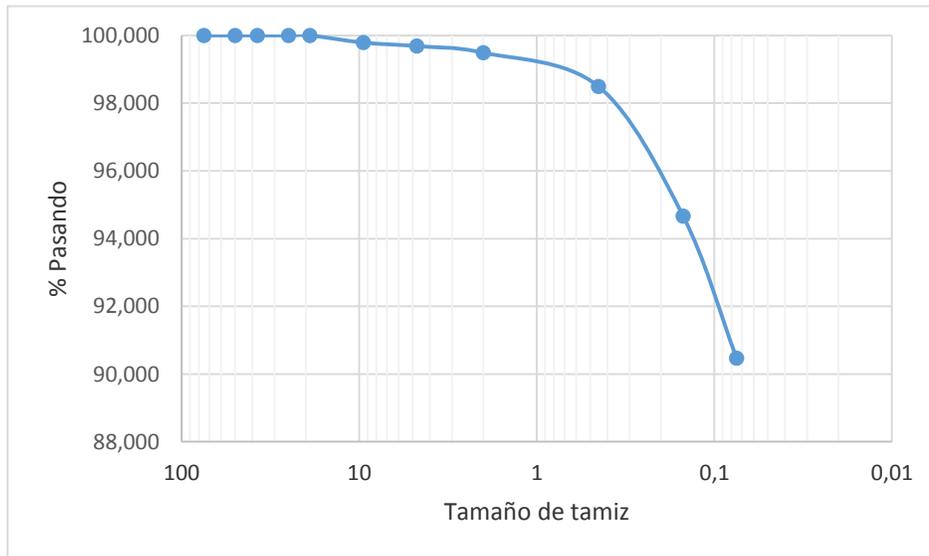
| <b>Apéndice 48. Contenido de humedad, sondeo 146</b> |                 |
|--|-----------------|
| <b>Profundidad (m)</b>                               | <b>%Humedad</b> |
| 0,00 – 0,45  | 33              |
| 0,45 – 0,90  | 39              |
| 0,90 – 1,35  | 33              |
| 1,35 – 1,80  | 45              |
| 1,80 – 2,25  | 40              |
| 2,25 – 2,70  | 42              |
| 2,70 -3,15   | 45              |
| 3,15 – 3,60  | 49              |
| 3,60 -4,05   | 43              |

**Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel**

| <b>Apéndice 49. Granulometría, sondeo 146</b> |                 |
|---|-----------------|
| <b>Malla (mm)</b>                             | <b>%Pasando</b> |
| <b>3'' (75mm)</b>                             | 100,00          |
| <b>2''(50mm)</b>                              | 100,00          |
| <b>1 1/2''(37,5mm)</b>                        | 100,00          |
| <b>1''(25mm)</b>                              | 100,00          |
| <b>3''/4</b>                                  | 100,00          |
| <b>3''/8</b>                                  | 99,78           |
| <b>#4</b>                                     | 99,68           |
| <b>#10</b>                                    | 99,48           |
| <b>#40</b>                                    | 98,49           |
| <b>#100</b>                                   | 94,66           |
| <b>#200</b>                                   | 90,46           |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

**Apéndice 50. Curva granulométrica, sondeo 146**

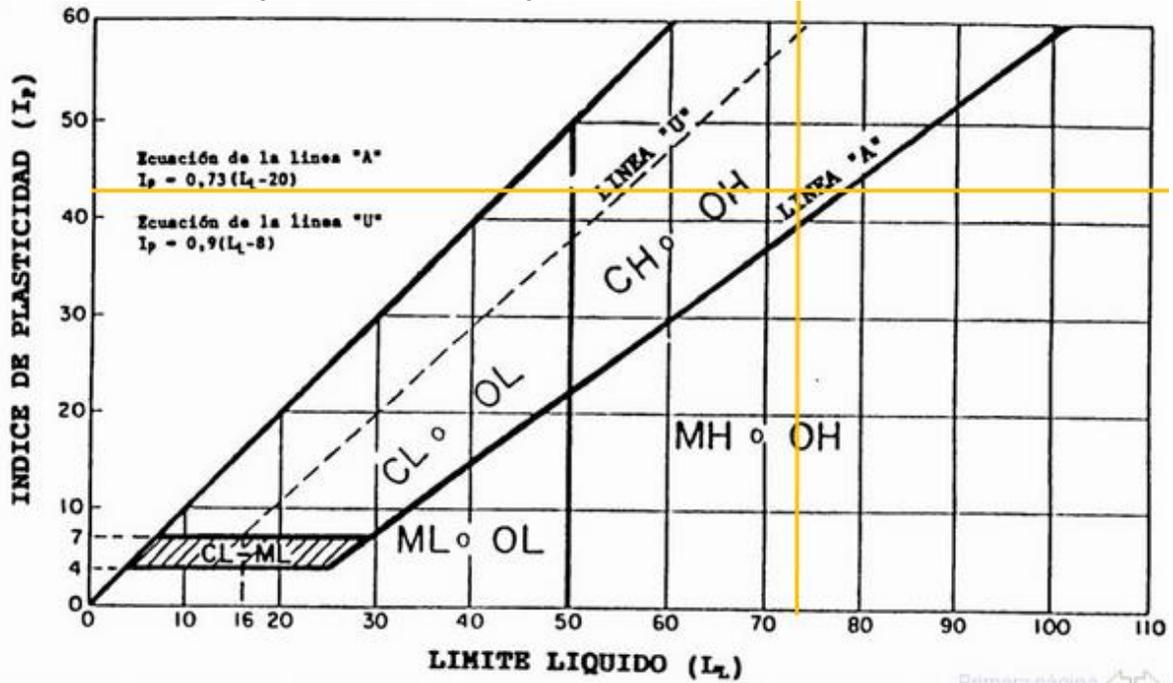


Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

| <b>Apéndice 51. Límites de Atterberg, sondeo 146</b> |           |           |           |                      |
|--|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| <b>Profundidad (m)</b>                               | <b>LL</b> | <b>LP</b> | <b>IP</b> | <b>Clasificación</b> |
| 0,00 – 0,45  | 74        | 31        | 43        | CH                   |
| 0,45 – 0,90  |           |           |           |                      |
| 0,90 – 1,35  |           |           |           |                      |
| 1,35 – 1,80  |           |           |           |                      |
| 1,80 – 2,25  |           |           |           |                      |
| 2,25 – 2,70  |           |           |           |                      |
| 2,70 -3,15   |           |           |           |                      |
| 3,15 – 3,60  |           |           |           |                      |
| 3,60 -4,05   |           |           |           |                      |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

Apéndice 52. Carta de plasticidad, sondeo146



Apéndice 53. Capacidad soportante del suelo, sondeo 147

| Profundidad (m) | 30 cm | 45 cm | N <sub>TOTAL</sub> | N <sub>CORREGIDO</sub> | q <sub>u</sub> (T/m <sup>2</sup> ) |
|-----------------|-------|-------|--------------------|------------------------|------------------------------------|
| 0,00 – 0,45     | 2     | 3     | 5                  | 9                      | 9                                  |
| 0,45 – 0,90     | 4     | 6     | 10                 | 18                     | 18                                 |
| 0,90 – 1,35     | 12    | 19    | 31                 | 55                     | > 50                               |
| 1,35 – 1,80     | 19    | 45    | 64                 | 113                    | > 50                               |
| 1,80 – 2,25     | 47    | 50    | 97                 | 172                    | > 50                               |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

Apéndice 54. Contenido de humedad, sondeo 147

| Profundidad (m) | %Humedad |
|-----------------|----------|
| 0,00 – 0,45     | 48       |
| 0,45 – 0,90     | 51       |
| 0,90 – 1,35     | 46       |
| 1,35 – 1,80     | 50       |
| 1,80 – 2,25     | 30       |

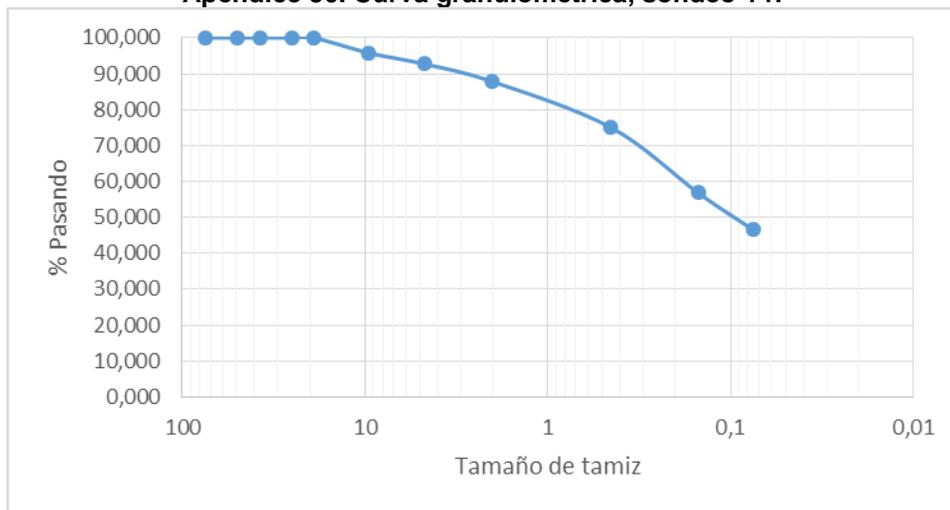
Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

**Apéndice 55. Granulometría, sondeo 147**

| Malla (mm)     | %Pasando |
|----------------|----------|
| 3" (75mm)      | 100,00   |
| 2"(50mm)       | 100,00   |
| 1 1/2"(37,5mm) | 100,00   |
| 1"(25mm)       | 100,00   |
| 3"/4           | 100,00   |
| 3"/8           | 95,78    |
| #4             | 92,75    |
| #10            | 87,79    |
| #40            | 75,02    |
| #100           | 56,81    |
| #200           | 46,52    |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

**Apéndice 56. Curva granulométrica, sondeo 147**



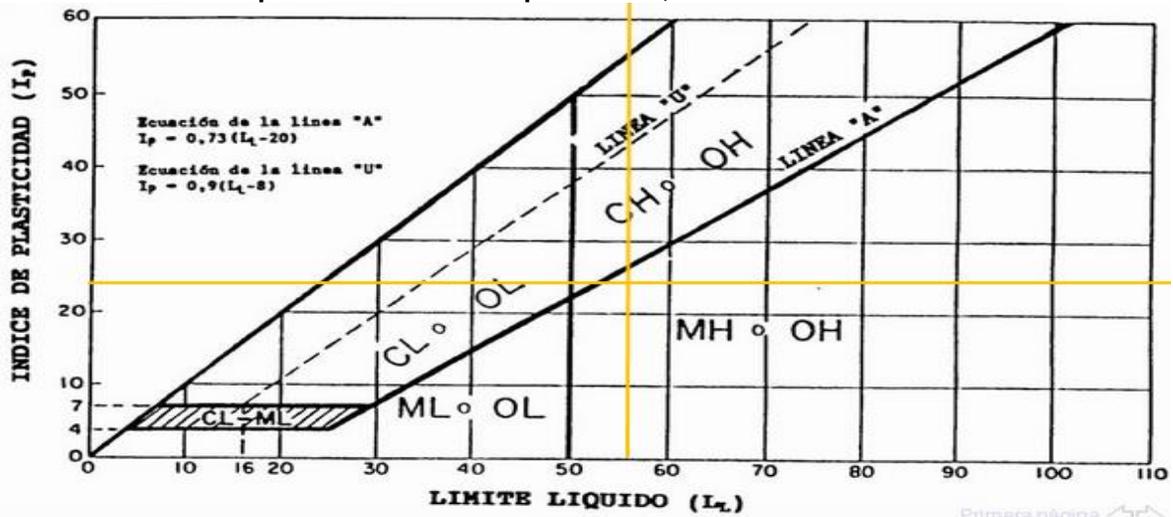
Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

**Apéndice 57. Límites de Atterberg, sondeo 147**

| Profundidad (m) | LL | LP | IP | Clasificación |
|-----------------|----|----|----|---------------|
| 0,00 – 0,45     | 56 | 32 | 24 | MH            |
| 0,45 – 0,90     |    |    |    |               |
| 0,90 – 1,35     |    |    |    |               |
| 1,35 – 1,80     |    |    |    |               |
| 1,80 – 2,25     |    |    |    |               |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

Apéndice 58. Carta de plasticidad, sondeo 147



Apéndice 59. Capacidad soportante del suelo, sondeo 148

| Profundidad (m) | 30 cm | 45 cm | N TOTAL | N CORREGIDO | $q_u$ (T/m <sup>2</sup> ) |
|-----------------|-------|-------|---------|-------------|---------------------------|
| 0,00 – 0,45     | 4     | 7     | 11      | 20          | 20                        |
| 0,45 – 0,90     | 8     | 9     | 17      | 30          | 30                        |
| 0,90 – 1,35     | 8     | 6     | 14      | 25          | 25                        |
| 1,35 – 1,80     | 4     | 3     | 7       | 13          | 13                        |
| 1,80 – 2,25     | 6     | 7     | 13      | 23          | 23                        |
| 2,25 – 2,70     | 10    | 12    | 22      | 39          | 39                        |
| 2,70 -3,15      | 9     | 9     | 18      | 32          | 32                        |
| 3,15 – 3,60     | 14    | 30    | 44      | 78          | > 50                      |
| 3,60 -4,05      | 32    | 80    | 112     | 198         | > 50                      |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

Apéndice 60. Contenido de humedad, sondeo 148

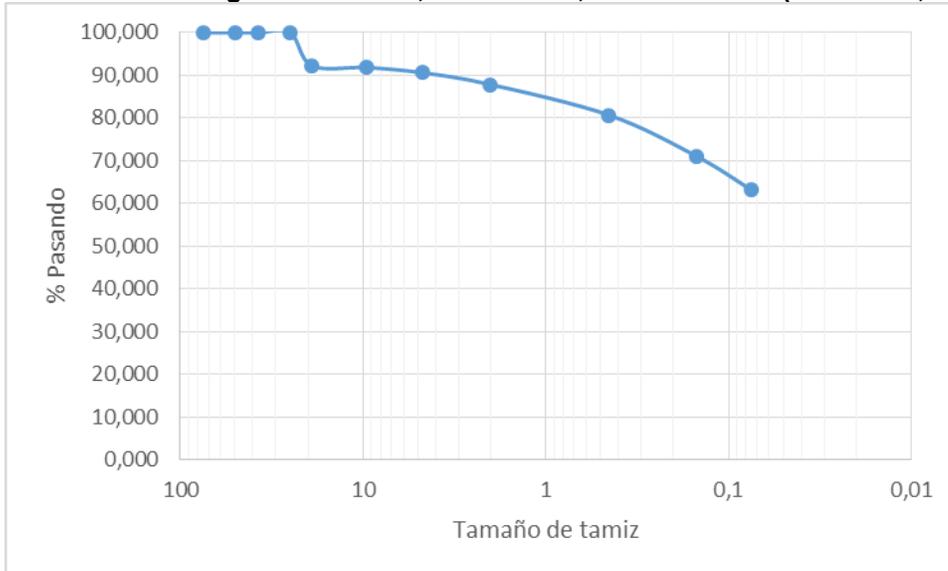
| Profundidad (m) | %Humedad |
|-----------------|----------|
| 0,00 – 0,45     | 41       |
| 0,45 – 0,90     | 43       |
| 0,90 – 1,35     | 32       |
| 1,35 – 1,80     | 29       |
| 1,80 – 2,25     | 35       |
| 2,25 – 2,70     | 35       |
| 2,70 -3,15      | 58       |
| 3,15 – 3,60     | 54       |
| 3,60 -4,05      | 44       |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

| <b>Apéndice 61. Granulometría, sondeo 148, clasificación 1 (0,00 m – 3,15 m)</b> |                 |
|--|-----------------|
| <b>Malla (mm)</b>  | <b>%Pasando</b> |
| <b>3" (75mm)</b>   | 100,00          |
| <b>2"(50mm)</b>  | 100,00          |
| <b>1 1/2"(37,5mm)</b>  | 100,00          |
| <b>1"(25mm)</b>  | 100,00          |
| <b>3"/4</b>  | 92,23           |
| <b>3"/8</b>  | 91,83           |
| <b>#4</b>  | 90,61           |
| <b>#10</b>   | 87,84           |
| <b>#40</b>   | 80,67           |
| <b>#100</b>  | 71,09           |
| <b>#200</b>  | 63,20           |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

**Apéndice 62. Curva granulométrica, sondeo 148, clasificación 1 (0.00 m – 3,15 m)**

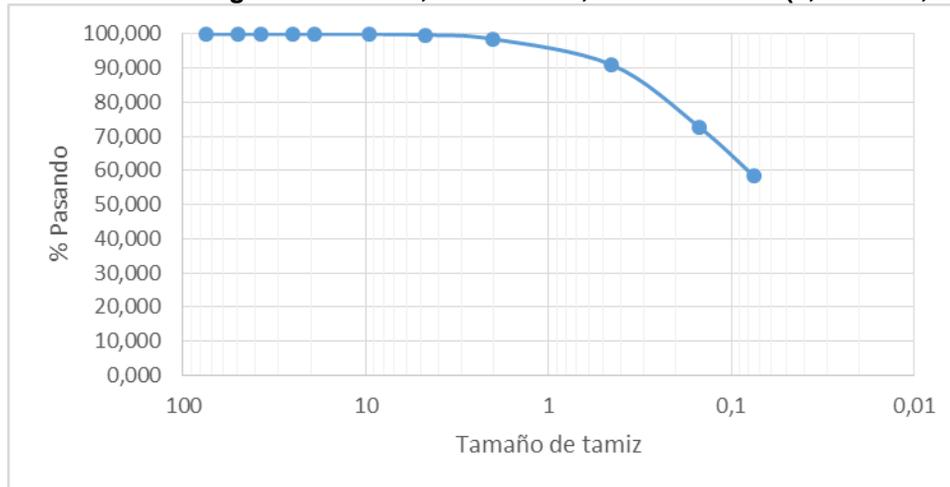


Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

| <b>Apéndice 63. Granulometría, sondeo 148, clasificación 2 (3,15 m – 4,05 m)</b> |                 |
|--|-----------------|
| <b>Malla (mm)</b>  | <b>%Pasando</b> |
| 3" (75mm)  | 100,00          |
| 2"(50mm)   | 100,00          |
| 1 1/2"(37,5mm)   | 100,00          |
| 1"(25mm)   | 100,00          |
| 3"/4   | 100,00          |
| 3"/8   | 100,00          |
| #4   | 99,76           |
| #10  | 98,53           |
| #40  | 90,98           |
| #100   | 72,79           |
| #200   | 58,37           |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

**Apéndice 64. Curva granulométrica, sondeo 148, clasificación 2 (3,15 m – 4,05 m)**

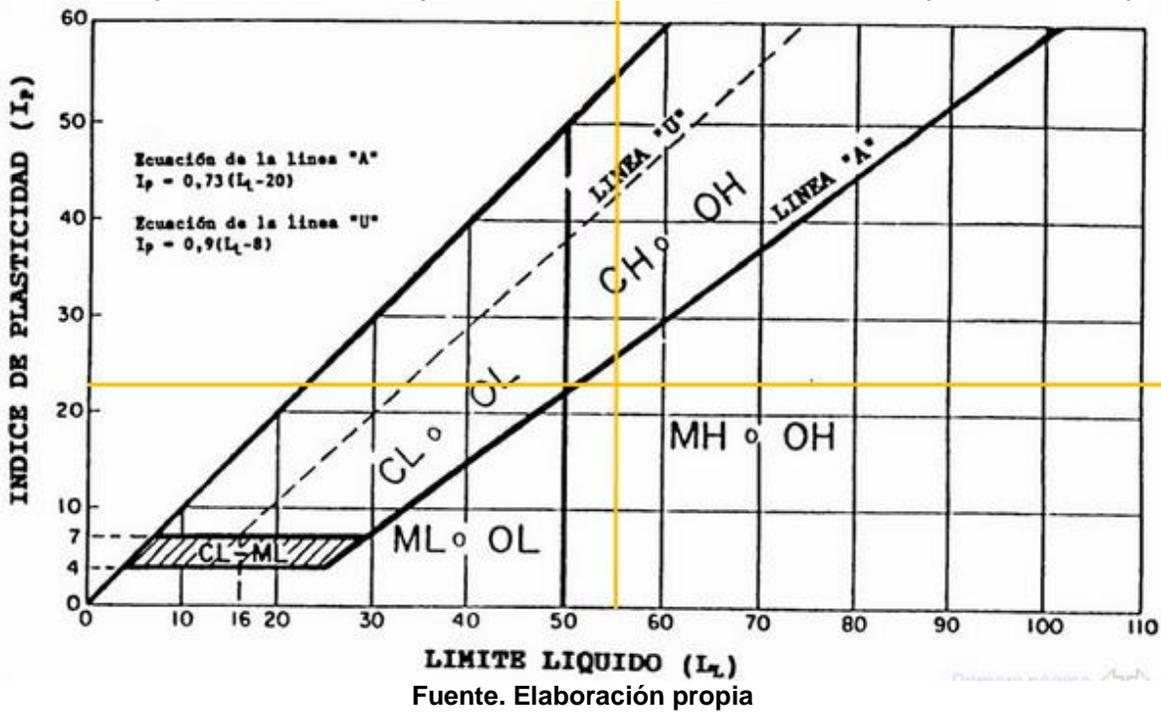


Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

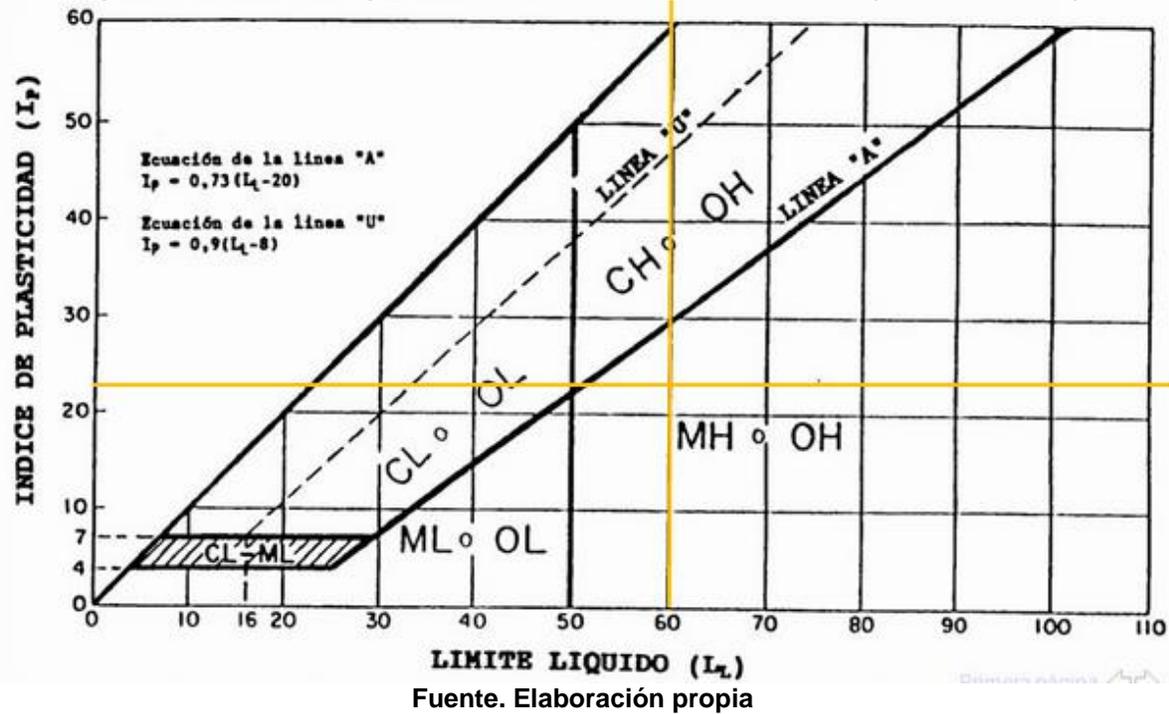
| <b>Apéndice 65. Límites de Atterberg, sondeo 148</b> |           |           |           |                      |
|--|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| <b>Profundidad (m)</b>                               | <b>LL</b> | <b>LP</b> | <b>IP</b> | <b>Clasificación</b> |
| 0,00 – 0,45  | 55        | 32        | 23        | MH                   |
| 0,45 – 0,90  |           |           |           |                      |
| 0,90 – 1,35  |           |           |           |                      |
| 1,35 – 1,80  |           |           |           |                      |
| 1,80 – 2,25  |           |           |           |                      |
| 2,25 – 2,70  |           |           |           |                      |
| 2,70 -3,15   |           |           |           |                      |
| 3,15 – 3,60  | 60        | 37        | 23        | MH                   |
| 3,60 -4,05   |           |           |           |                      |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

Apéndice 66. Carta de plasticidad, sondeo 148, clasificación 1 (0,00 m – 3,15 m)



Apéndice 67. Carta de plasticidad, sondeo 148, clasificación 2 (3,15 m – 4,05 m)



| <b>Apéndice 68. Capacidad soportante del suelo, sondeo 149</b> |              |              |                          |                              |                                       |
|--|--------------|--------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Profundidad (m)</b>   | <b>30 cm</b> | <b>45 cm</b> | <b>N<sub>TOTAL</sub></b> | <b>N<sub>CORREGIDO</sub></b> | <b>q<sub>u</sub>(T/m<sup>2</sup>)</b> |
| 0,00 – 0,45  | 3            | 3            | 6                        | 11                           | 11                                    |
| 0,45 – 0,90  | 6            | 9            | 15                       | 27                           | 27                                    |
| 0,90 – 1,35  | 9            | 11           | 20                       | 35                           | 35                                    |
| 1,35 – 1,80  | 10           | 37           | 47                       | 83                           | > 50                                  |
| 1,80 – 2,25  | 30           | 34           | 64                       | 113                          | > 50                                  |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

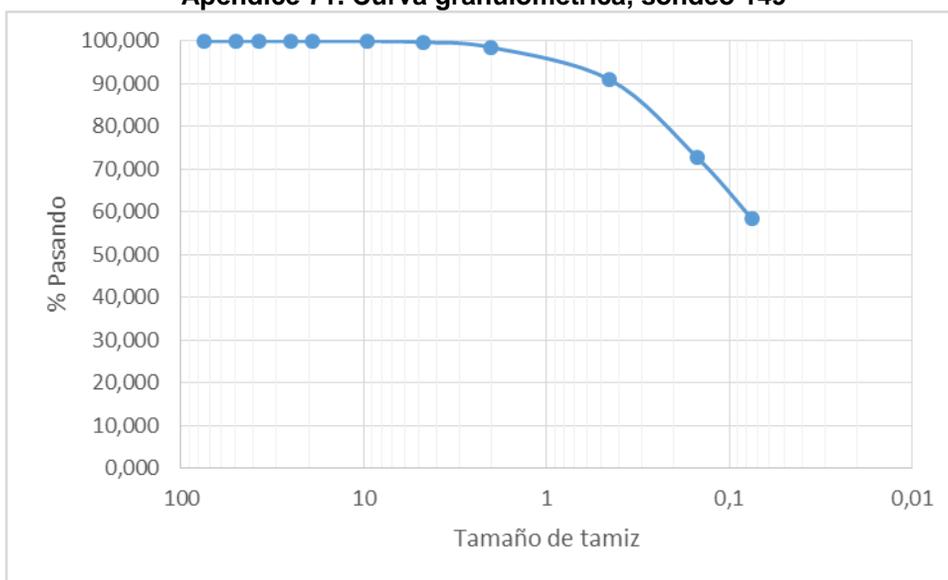
| <b>Apéndice 69. Contenido de humedad, sondeo 149</b> |                 |
|--|-----------------|
| <b>Profundidad (m)</b>                               | <b>%Humedad</b> |
| 0,00 - 0,45  | 43              |
| 0,45 - 0,90  | 45              |
| 0,90 - 1,35  | 54              |
| 1,35 - 1,80  | 45              |
| 1,80 - 2,25  | 47              |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

| <b>Apéndice 70. Granulometría, sondeo 149</b> |                 |
|---|-----------------|
| <b>Malla (mm)</b>                             | <b>%Pasando</b> |
| <b>3'' (75mm)</b>                             | 100,00          |
| <b>2''(50mm)</b>                              | 100,00          |
| <b>1 1/2''(37,5mm)</b>                        | 100,00          |
| <b>1''(25mm)</b>                              | 100,00          |
| <b>3''/4</b>                                  | 100,00          |
| <b>3''/8</b>                                  | 100,00          |
| <b>#4</b>                                     | 99,76           |
| <b>#10</b>                                    | 98,53           |
| <b>#40</b>                                    | 90,98           |
| <b>#100</b>                                   | 72,79           |
| <b>#200</b>                                   | 58,37           |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

Apéndice 71. Curva granulométrica, sondeo 149

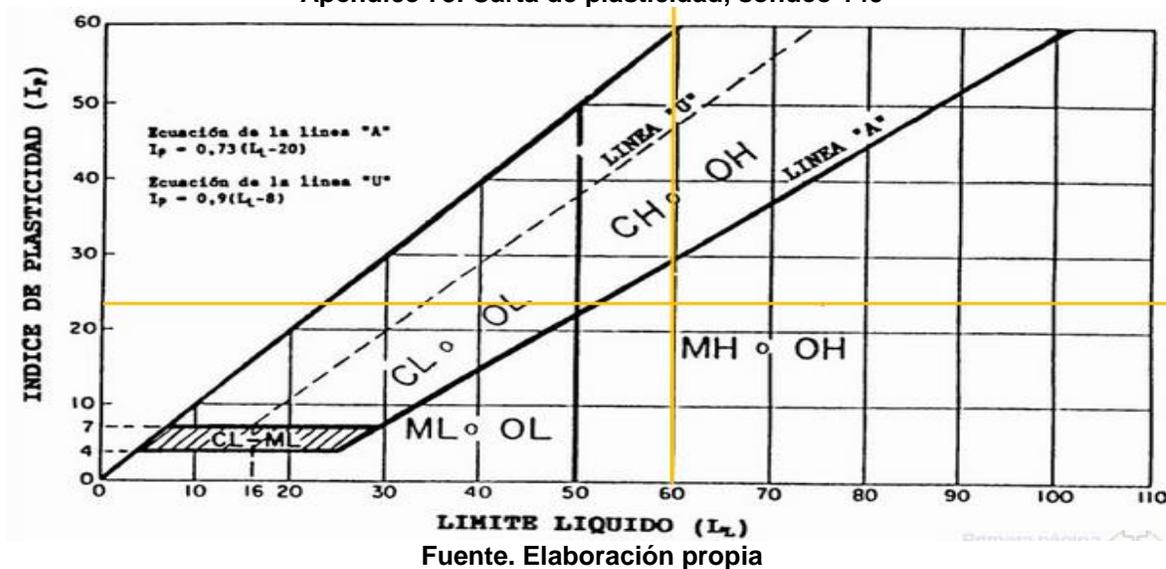


Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

| Apéndice 72. Límites de Atterberg, sondeo 149 |    |    |    |               |
|---|----|----|----|---------------|
| Profundidad (m)                               | LL | LP | IP | Clasificación |
| 0,00 – 0,45                                   | 65 | 45 | 20 | MH            |
| 0,45 – 0,90                                   |    |    |    |               |
| 0,90 – 1,35                                   |    |    |    |               |
| 1,35 – 1,80                                   |    |    |    |               |
| 1,80 – 2,25                                   |    |    |    |               |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

Apéndice 73. Carta de plasticidad, sondeo 149



Fuente. Elaboración propia

| <b>Apéndice 74. Capacidad soportante del suelo, sondeo 150</b> |              |              |                          |                              |                                       |
|--|--------------|--------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Profundidad (m)</b>   | <b>30 cm</b> | <b>45 cm</b> | <b>N<sub>TOTAL</sub></b> | <b>N<sub>CORREGIDO</sub></b> | <b>q<sub>u</sub>(T/m<sup>2</sup>)</b> |
| 0,00 – 0,45  | 6            | 11           | 17                       | 30                           | 30                                    |
| 0,45 – 0,90  | 22           | 27           | 49                       | 87                           | > 50                                  |
| 0,90 – 1,35  | 40           | 53           | 93                       | 165                          | > 50                                  |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

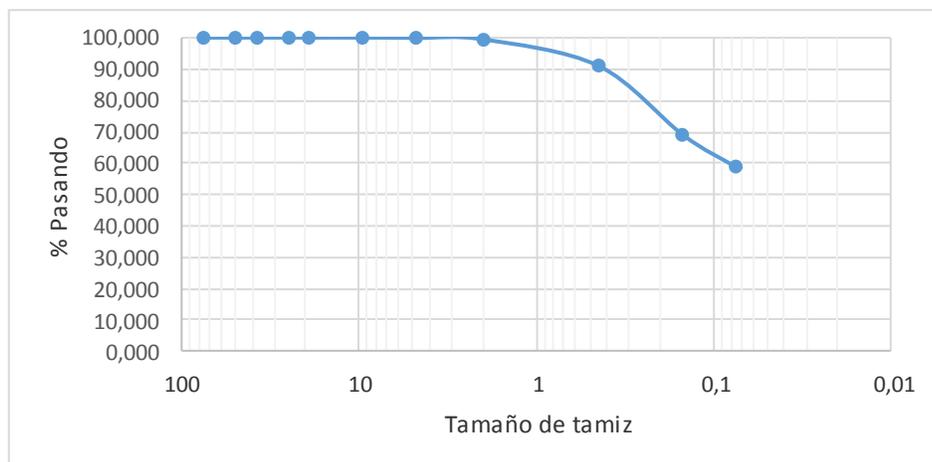
| <b>Apéndice 75. Contenido de humedad, sondeo 150</b> |                 |
|--|-----------------|
| <b>Profundidad (m)</b>                               | <b>%Humedad</b> |
| 0,00 - 0,45  | 40              |
| 0,45 - 0,90  | 40              |
| 0,90 - 1,35  | 43              |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

| <b>Apéndice 76. Granulometría, sondeo 150</b> |                 |
|---|-----------------|
| <b>Malla (mm)</b>                             | <b>%Pasando</b> |
| <b>3'' (75mm)</b>                             | 100,00          |
| <b>2''(50mm)</b>                              | 100,00          |
| <b>1 1/2''(37,5mm)</b>                        | 100,00          |
| <b>1''(25mm)</b>                              | 100,00          |
| <b>3''/4</b>                                  | 100,00          |
| <b>3''/8</b>                                  | 100,00          |
| <b>#4</b>                                     | 99,88           |
| <b>#10</b>                                    | 99,41           |
| <b>#40</b>                                    | 91,05           |
| <b>#100</b>                                   | 69,15           |
| <b>#200</b>                                   | 58,96           |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

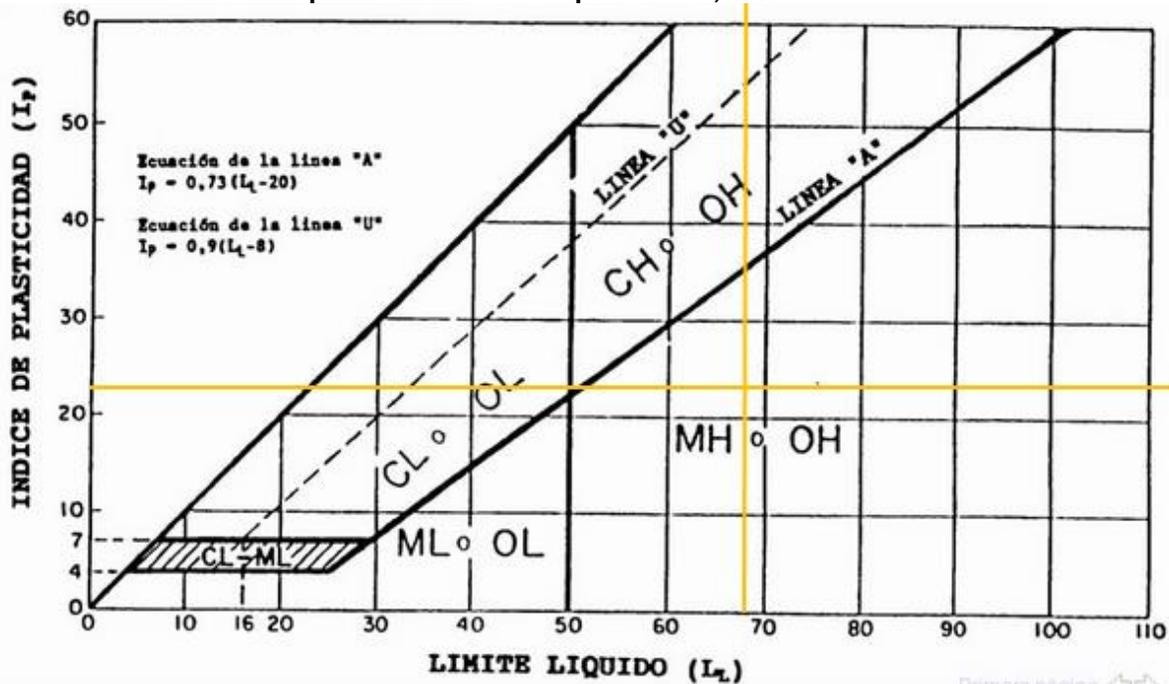
**Apéndice 77. Curva granulométrica, sondeo 150**



| Apéndice 78. Límites de Atterberg, sondeo 150 |    |    |    |               |
|---|----|----|----|---------------|
| Profundidad (m)                               | LL | LP | IP | Clasificación |
| 0,00 – 0,45                                   | 68 | 45 | 23 | MH            |
| 0,45 – 0,90                                   |    |    |    |               |
| 0,90 – 1,35                                   |    |    |    |               |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

Apéndice 79. Carta de plasticidad, sondeo 150



Fuente. Elaboración propia

| Apéndice 80. Capacidad soportante del suelo, sondeo 151 |       |       |                    |                        |                                    |
|---|-------|-------|--------------------|------------------------|------------------------------------|
| Profundidad (m)   | 30 cm | 45 cm | N <sub>TOTAL</sub> | N <sub>CORREGIDO</sub> | q <sub>u</sub> (T/m <sup>2</sup> ) |
| 0,00 – 0,45   | 6     | 5     | 11                 | 20                     | 20                                 |
| 0,45 – 0,90   | 5     | 7     | 12                 | 22                     | 22                                 |
| 0,90 – 1,35   | 7     | 9     | 16                 | 28                     | 28                                 |
| 1,35 – 1,80   | 12    | 21    | 33                 | 59                     | > 50                               |
| 1,80 – 2,25   | 50    | 54    | 104                | 184                    | > 50                               |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

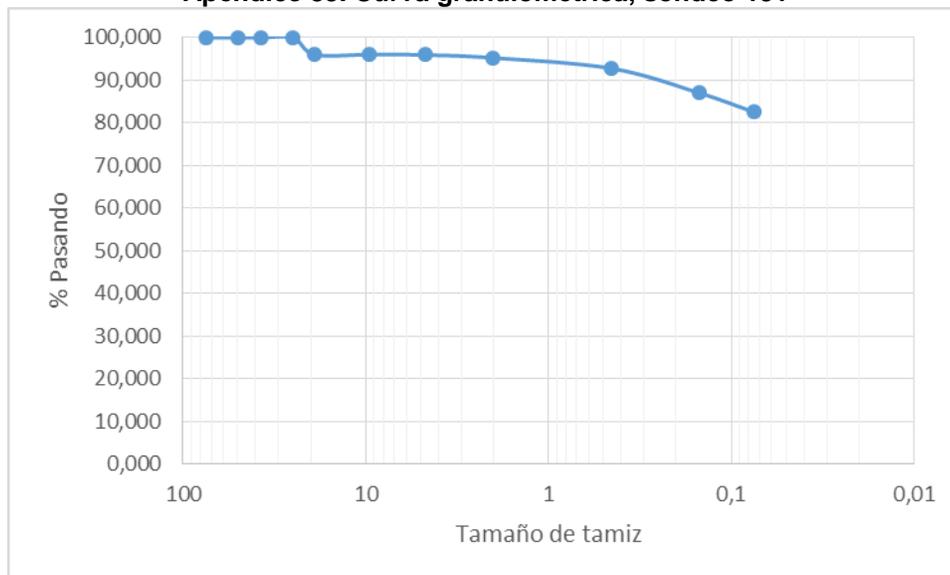
| <b>Apéndice 81. Contenido de humedad, sondeo 151</b> |                 |
|--|-----------------|
| <b>Profundidad (m)</b>                               | <b>%Humedad</b> |
| 0,00 – 0,45  | 42              |
| 0,45 – 0,90  | 52              |
| 0,90 – 1,35  | 53              |
| 1,35 – 1,80  | 49              |
| 1,80 – 2,25  | 46              |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

| <b>Apéndice 82. Granulometría, sondeo 151</b> |                 |
|---|-----------------|
| <b>Malla (mm)</b>                             | <b>%Pasando</b> |
| <b>3'' (75mm)</b>                             | 100,00          |
| <b>2''(50mm)</b>                              | 100,00          |
| <b>1 1/2''(37,5mm)</b>                        | 100,00          |
| <b>1''(25mm)</b>                              | 100,00          |
| <b>3''/4</b>                                  | 96,04           |
| <b>3''/8</b>                                  | 96,04           |
| <b>#4</b>                                     | 95,95           |
| <b>#10</b>                                    | 95,26           |
| <b>#40</b>                                    | 92,77           |
| <b>#100</b>                                   | 87,05           |
| <b>#200</b>                                   | 82,55           |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

**Apéndice 83. Curva granulométrica, sondeo 151**

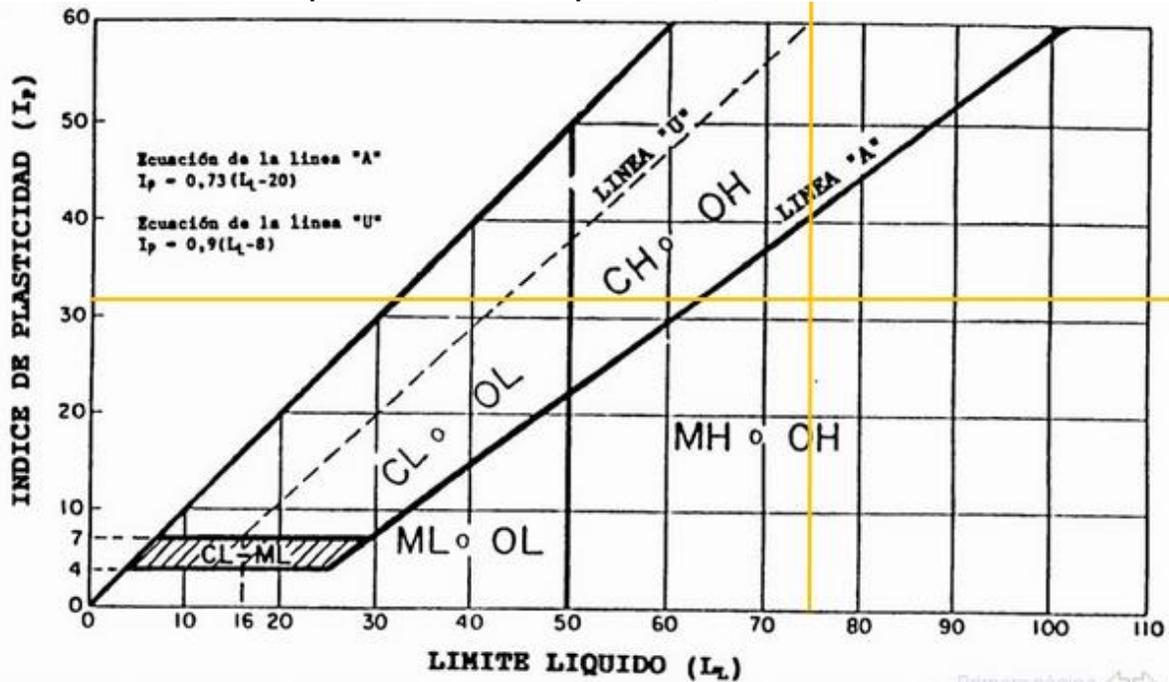


Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

| Apéndice 84. Límites de Atterberg, sondeo 151 |    |    |    |               |
|---|----|----|----|---------------|
| Profundidad (m)                               | LL | LP | IP | Clasificación |
| 0,00 – 0,45                                   | 75 | 44 | 31 | MH            |
| 0,45 – 0,90                                   |    |    |    |               |
| 0,90 – 1,35                                   |    |    |    |               |
| 1,35 – 1,80                                   |    |    |    |               |
| 1,80 – 2,25                                   |    |    |    |               |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

Apéndice 85. Carta de plasticidad, sondeo 151



Fuente. Elaboración propia

| Apéndice 86. Capacidad soportante del suelo, sondeo 152 |       |       |         |             |                           |
|---|-------|-------|---------|-------------|---------------------------|
| Profundidad (m)   | 30 cm | 45 cm | N TOTAL | N CORREGIDO | $q_u$ (T/m <sup>2</sup> ) |
| 0,00 - 0,45   | 4     | 10    | 14      | 25          | 25                        |
| 0,45 - 0,90   | 17    | 19    | 36      | 64          | > 50                      |
| 0,90 - 1,35   | 22    | 22    | 44      | 78          | > 50                      |
| 1,35 - 1,80   | 20    | 19    | 39      | 69          | > 50                      |
| 1,80 - 2,25   | 11    | 10    | 21      | 37          | 37                        |
| 2,25 - 2,70   | 12    | 13    | 25      | 44          | 44                        |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

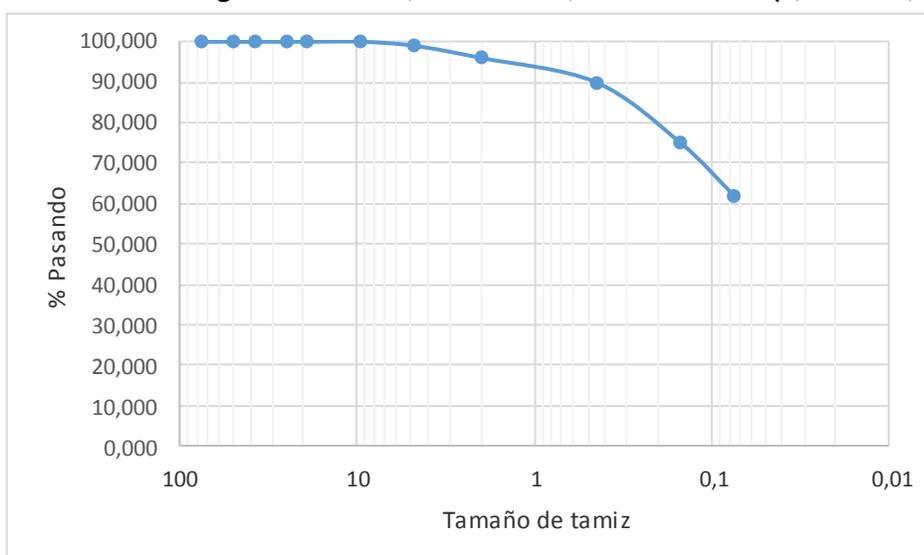
| <b>Apéndice 87. Contenido de humedad, sondeo 152</b> |                 |
|--|-----------------|
| <b>Profundidad (m)</b>                               | <b>%Humedad</b> |
| 0,00 - 0,45  | 48              |
| 0,45 - 0,90  | 49              |
| 0,90 - 1,35  | 48              |
| 1,35 - 1,80  | 39              |
| 1,80 - 2,25  | 47              |
| 2,25 - 2,70  | 56              |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

| <b>Apéndice 88. Granulometría, sondeo 152, clasificación 1 (0,00 m – 1,35 m)</b> |                 |
|--|-----------------|
| <b>Malla (mm)</b>  | <b>%Pasando</b> |
| <b>3" (75mm)</b>   | 100,00          |
| <b>2" (50mm)</b>   | 100,00          |
| <b>1 1/2" (37,5mm)</b>   | 100,00          |
| <b>1" (25mm)</b>   | 100,00          |
| <b>3"/4</b>  | 100,00          |
| <b>3"/8</b>  | 100,00          |
| <b>#4</b>  | 99,00           |
| <b>#10</b>   | 96,00           |
| <b>#40</b>   | 90,00           |
| <b>#100</b>  | 75,00           |
| <b>#200</b>  | 62,00           |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

**Apéndice 89. Curva granulométrica, sondeo 152, clasificación 1 (0,00 m – 1,35 m)**

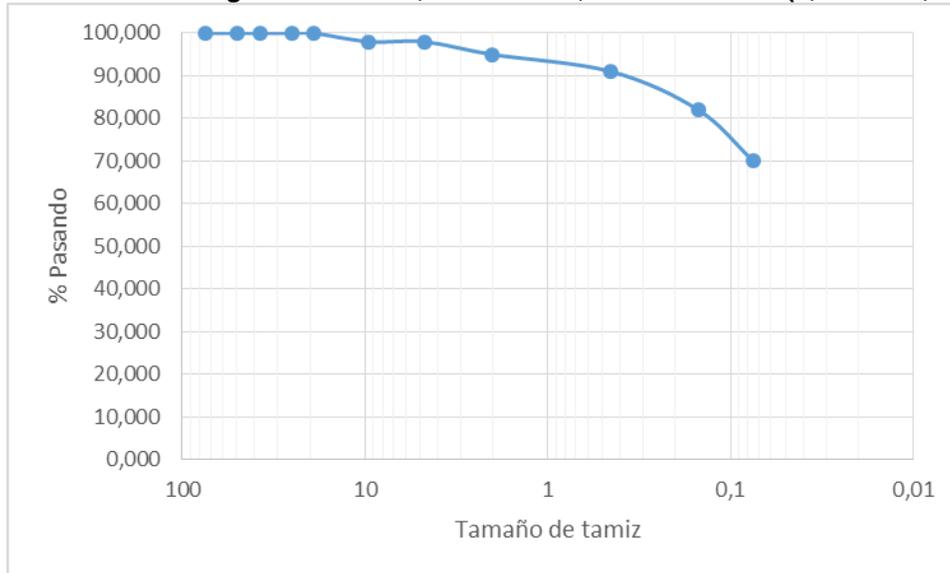


Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

| <b>Apéndice 90. Granulometría, sondeo 152, clasificación 2 (1,35 m – 2,70 m)</b> |                 |
|--|-----------------|
| <b>Malla (mm)</b>  | <b>%Pasando</b> |
| <b>3" (75mm)</b>   | 100,00          |
| <b>2" (50mm)</b>   | 100,00          |
| <b>1 1/2" (37,5mm)</b>   | 100,00          |
| <b>1" (25mm)</b>   | 100,00          |
| <b>3"/4</b>  | 100,00          |
| <b>3"/8</b>  | 98,00           |
| <b>#4</b>  | 98,00           |
| <b>#10</b>   | 95,00           |
| <b>#40</b>   | 91,00           |
| <b>#100</b>  | 82,00           |
| <b>#200</b>  | 70,00           |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

**Apéndice 91. Curva granulométrica, sondeo 152, Clasificación 2 (1,35 m – 2,70 m)**

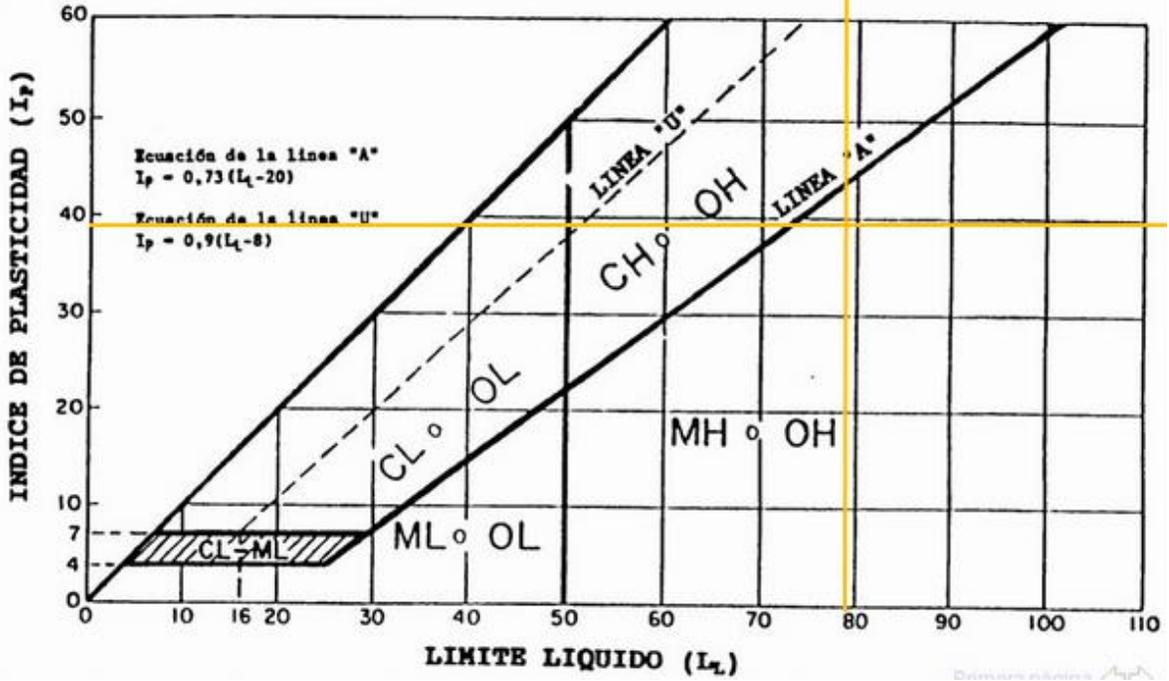


Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

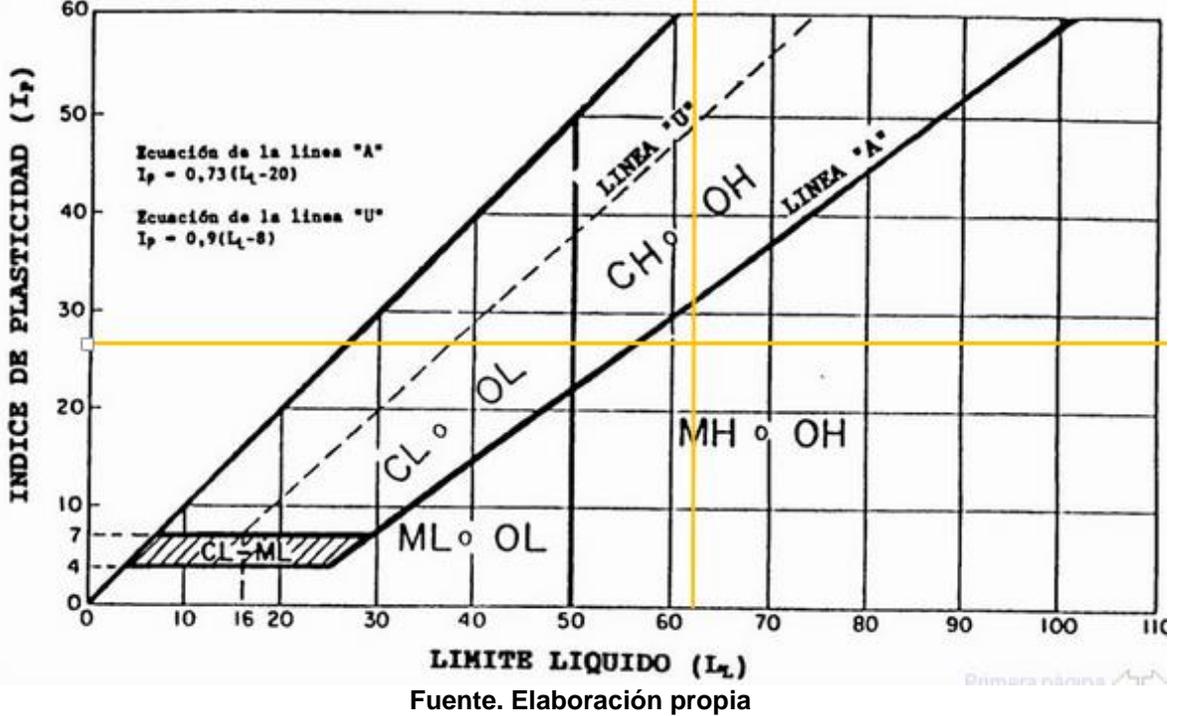
| <b>Apéndice 92. Límites de Atterberg, sondeo 152</b> |           |           |           |                      |
|--|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| <b>Profundidad (m)</b>                               | <b>LL</b> | <b>LP</b> | <b>IP</b> | <b>Clasificación</b> |
| 0,00 – 0,45  | 79        | 40        | 39        | MH                   |
| 0,45 – 0,90  |           |           |           |                      |
| 0,90 – 1,35  |           |           |           |                      |
| 1,35 – 1,80  | 62        | 35        | 27        | MH                   |
| 1,80 – 2,25  |           |           |           |                      |
| 2,25 – 2,70  |           |           |           |                      |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

Apéndice 93. Carta de plasticidad, sondeo 152, clasificación 1 (0,00 m – 1,35 m)



Apéndice 94. Carta de plasticidad, sondeo 152, clasificación 2 (1,35 m – 2,70 m)



| <b>Apéndice 95. Capacidad soportante del suelo, sondeo 153</b> |              |              |                          |                              |                                       |
|--|--------------|--------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Profundidad (m)</b>   | <b>30 cm</b> | <b>45 cm</b> | <b>N<sub>TOTAL</sub></b> | <b>N<sub>CORREGIDO</sub></b> | <b>q<sub>u</sub>(T/m<sup>2</sup>)</b> |
| 0,00 – 0,45  | 6            | 12           | 18                       | 32                           | 32                                    |
| 0,45 – 0,90  | 12           | 17           | 29                       | 51                           | > 50                                  |
| 0,90 – 1,35  | 12           | 19           | 31                       | 55                           | > 50                                  |
| 1,35 – 1,80  | 19           | 27           | 46                       | 82                           | > 50                                  |
| 1,80 – 2,25  | 31           | 39           | 70                       | 124                          | > 50                                  |
| 2,25 – 2,70  | 41           | 34           | 75                       | 133                          | > 50                                  |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

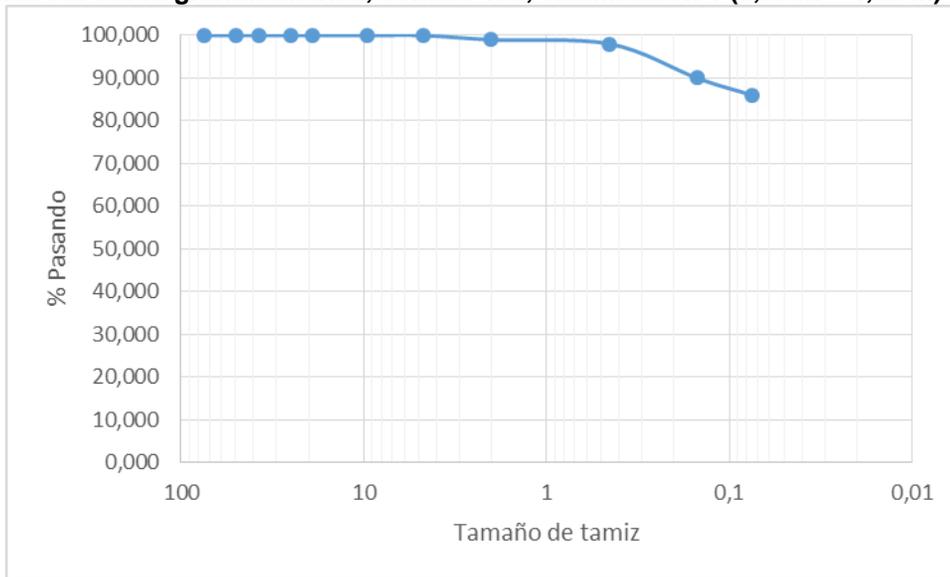
| <b>Apéndice 96. Contenido de humedad, sondeo 153</b> |                 |
|--|-----------------|
| <b>Profundidad (m)</b>                               | <b>%Humedad</b> |
| 0,00 – 0,45  | 55              |
| 0,45 – 0,90  | 43              |
| 0,90 – 1,35  | 58              |
| 1,35 – 1,80  | 45              |
| 1,80 – 2,25  | 50              |
| 2,25 – 2,70  | 51              |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

| <b>Apéndice 97. Granulometría, sondeo 153, clasificación 1 (0,00 m – 1,35 m)</b> |                 |
|--|-----------------|
| <b>Malla (mm)</b>  | <b>%Pasando</b> |
| <b>3" (75mm)</b>   | 100,00          |
| <b>2" (50mm)</b>   | 100,00          |
| <b>1 1/2" (37,5mm)</b>   | 100,00          |
| <b>1" (25mm)</b>   | 100,00          |
| <b>3"/4</b>  | 100,00          |
| <b>3"/8</b>  | 100,00          |
| <b>#4</b>  | 100,00          |
| <b>#10</b>   | 99,00           |
| <b>#40</b>   | 98,00           |
| <b>#100</b>  | 90,00           |
| <b>#200</b>  | 86,00           |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

**Apéndice 98. Curva granulométrica, sondeo 153, clasificación 1 (0,00 m – 1,35 m)**



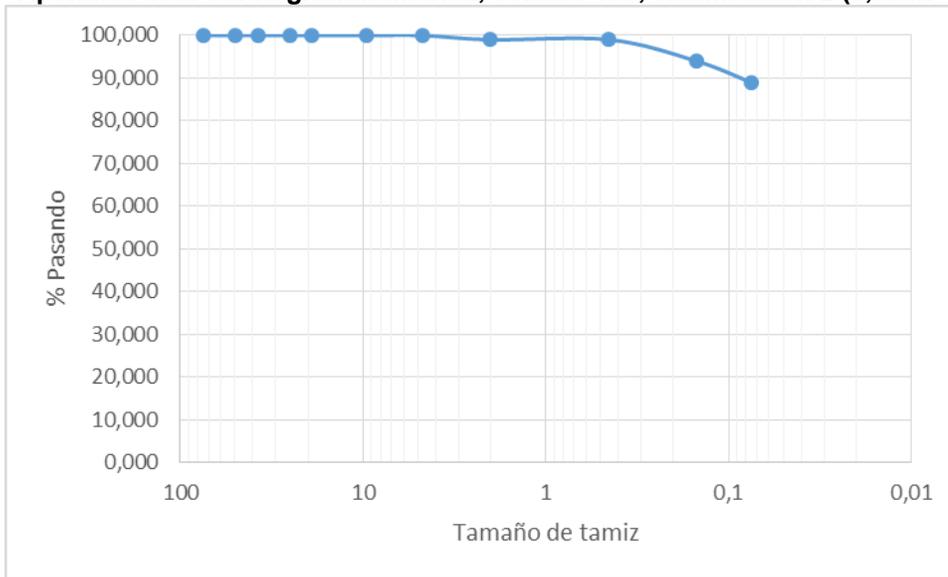
**Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel**

**Apéndice 99. Granulometría, sondeo 153, clasificación 2 (1,35 m – 2,70 m)**

| Malla (mm)      | %Pasando |
|-----------------|----------|
| 3'' (75mm)      | 100,00   |
| 2''(50mm)       | 100,00   |
| 1 1/2''(37,5mm) | 100,00   |
| 1''(25mm)       | 100,00   |
| 3''/4           | 100,00   |
| 3''/8           | 100,00   |
| #4              | 100,00   |
| #10             | 99,00    |
| #40             | 99,00    |
| #100            | 94,00    |
| #200            | 89,00    |

**Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel**

**Apéndice 100. Curva granulométrica, sondeo 153, clasificación 2 (1,35 m – 2,70 m)**

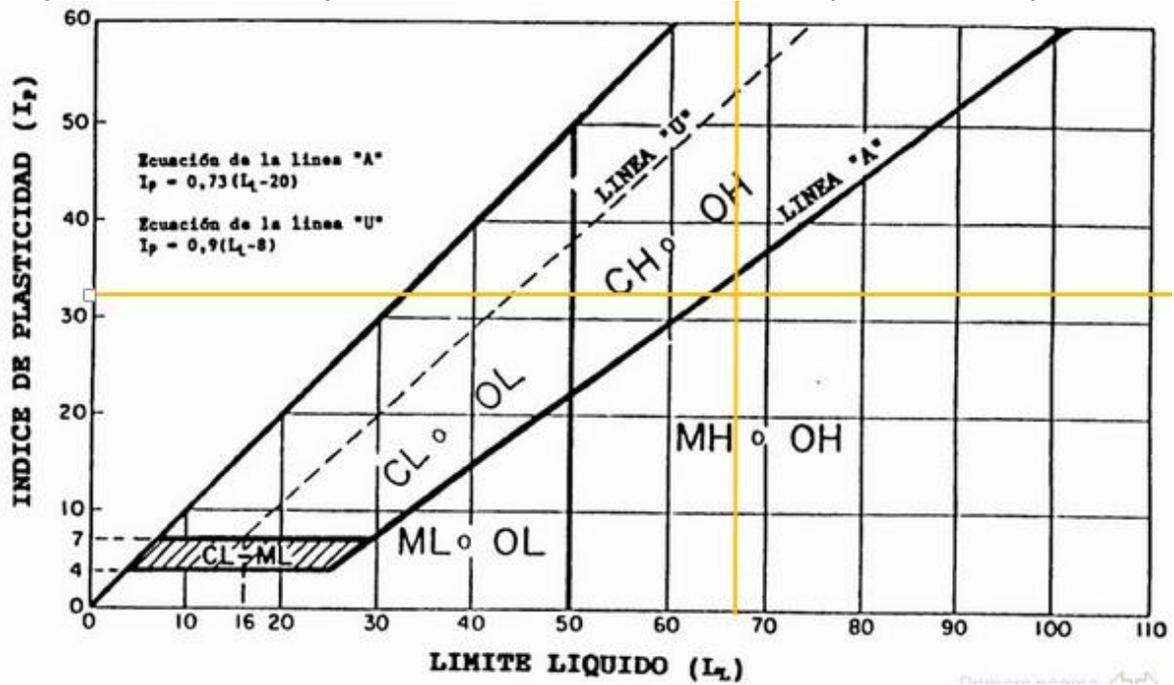


Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

| <b>Apéndice 101. Límites de Atterberg, sondeo 153</b> |           |           |           |                      |
|---|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| <b>Profundidad (m)</b>                                | <b>LL</b> | <b>LP</b> | <b>IP</b> | <b>Clasificación</b> |
| 0,00 - 0,45   | 67        | 35        | 32        | MH                   |
| 0,45 - 0,90   |           |           |           |                      |
| 0,90 - 1,35   |           |           |           |                      |
| 1,35 - 1,80   | 68        | 34        | 34        | MH                   |
| 1,80 - 2,25   |           |           |           |                      |
| 2,25 - 2,70   |           |           |           |                      |

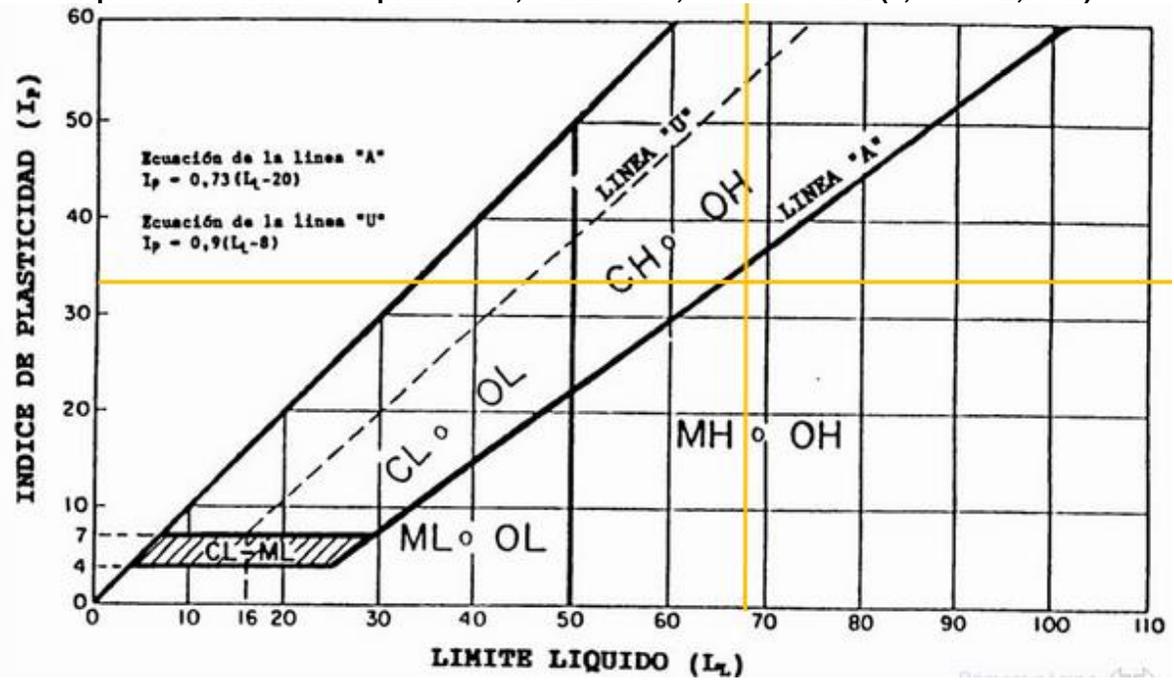
Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

Apéndice 102. Carta de plasticidad, sondeo 153, clasificación 1 (0,00 m – 1,35 m)



Fuente. Elaboración propia

Apéndice 103. Carta de plasticidad, sondeo 153, clasificación 2 (1,35 m – 2,70 m)



Fuente. Elaboración propia

**Apéndice 104. Variables y coordenadas para interpolación a 0,5m de profundidad a partir de nivel de terreno**

| Perforación | Clasificación SUCS | Capacidad soportante (t/m <sup>2</sup> ) | Longitud oeste | Latitud norte | Elevación |
|-------------|--------------------|--|----------------|---------------|-----------|
| 1           | OH                 | 7  | 509683,107     | 1089600,696   | 1409,726  |
| 2           | OH                 | 7  | 509661,743     | 1089606,807   | 1410,422  |
| 3           | OH                 | 7  | 509641,089     | 1089612,019   | 1411,801  |
| 4           | OH                 | 8  | 509613,249     | 1089579,798   | 1411,859  |
| 5           | OH                 | 8  | 509611,306     | 1089562,826   | 1411,862  |
| 6           | OH                 | 8  | 509608,546     | 1089546,306   | 1413,984  |
| 7           | MH-CH              | 8  | 509700,33      | 1089552,996   | 1413,963  |
| 8           | MH-CH              | 8  | 509701,672     | 1089570,825   | 1413,928  |
| 9           | MH-CH              | 8  | 509703,025     | 1089587,315   | 1413,786  |
| 10          | CH                 | 7  | 509666,317     | 1089616,272   | 1413,923  |
| 11          | CH                 | 7  | 509694,526     | 1089607,982   | 1413,901  |
| 12          | OH                 | 7  | 509755,271     | 1089573,344   | 1414,038  |
| 13          | OH                 | 7  | 509751,651     | 1089561,838   | 1414,298  |
| 14          | CH                 | 10                                       | 509640,012     | 1089593,83    | 1414,784  |
| 15          | CH                 | 10                                       | 509669,042     | 1089589,502   | 1414,553  |
| 16          | CH                 | 10                                       | 509634,895     | 1089536,976   | 1414,097  |
| 17          | CH                 | 10                                       | 509651,602     | 1089535,808   | 1414,306  |
| 18          | CH-MH              | 10                                       | 509664,685     | 1089533,999   | 1412,995  |
| 19          | CH-MH              | 10                                       | 509630,36      | 1089551,648   | 1415,308  |
| 20          | OH                 | 10                                       | 509646,72      | 1089549,298   | 1415,285  |
| 21          | CH-MH              | 10                                       | 509663,718     | 1089547,109   | 1414,118  |
| 22          | CH-MH              | 10                                       | 509609,866     | 1089685,686   | 1420,592  |
| 23          | CH-MH              | 10                                       | 509614,014     | 1089722,599   | 1420,637  |
| 24          | OH                 | 10                                       | 509568,181     | 1089727,985   | 1420,197  |
| 25          | OH                 | 10                                       | 509563,888     | 1089690,89    | 1420,469  |
| 26          | OL                 | 6  | 510239,572     | 1089628,675   | 1390,62   |
| 27          | MH-SM              | 5  | 510275,093     | 1089619,885   | 1387,886  |
| 28          | OL                 | 12                                       | 510254,483     | 1089536,842   | 1388,021  |
| 29          | MH                 | 7  | 510241,208     | 1089491,924   | 1389,895  |
| 30          | MH                 | 10                                       | 510209,373     | 1089477,059   | 1391,423  |
| 31          | OL                 | 5  | 510088,355     | 1089679,298   | 1401,362  |
| 32          | OH                 | 5  | 510095,069     | 1089671,501   | 1401,076  |
| 33          | OL                 | 5  | 510107,975     | 1089676,941   | 1401,627  |
| 34          | OH                 | 5  | 510115,612     | 1089668,663   | 1401,673  |
| 35          | CH                 | 8  | 510272,878     | 1089277,527   | 1375,879  |
| 36          | CH                 | 6  | 510267,741     | 1089258,135   | 1374,124  |

|    |       |    |            |             |          |
|----|-------|----|------------|-------------|----------|
| 37 | OL    | 5  | 510213,561 | 1089291,278 | 1376,276 |
| 38 | OL    | 5  | 510209,017 | 1089270,526 | 1377,577 |
| 39 | OL    | 8  | 510128,265 | 1089470,695 | 1393,348 |
| 40 | OL    | 10 | 510125,439 | 1089452,793 | 1392,31  |
| 41 | OL    | 10 | 510123,871 | 1089434,081 | 1392,227 |
| 42 | OH    | 10 | 510091,049 | 1089431,949 | 1392,189 |
| 43 | OL    | 10 | 510081,193 | 1089439,16  | 1392,314 |
| 44 | OL    | 10 | 510083,581 | 1089468,947 | 1396,682 |
| 45 | OL    | 8  | 509711,345 | 1089986,484 | 1403,951 |
| 46 | OL    | 10 | 509725,451 | 1089985,31  | 1406,556 |
| 47 | OL    | 10 | 509743,182 | 1089983,94  | 1409,225 |
| 48 | OL    | 5  | 510162,905 | 1089527,185 | 1394,961 |
| 49 | MH-CH | 10 | 510179,52  | 1089525,343 | 1396,9   |
| 50 | MH    | 10 | 510193,6   | 1089523,433 | 1394,667 |
| 51 | OL    | 7  | 510178,057 | 1089513,615 | 1392,699 |
| 52 | MH-CH | 10 | 510193,084 | 1089511,967 | 1392,007 |
| 53 | CH    | 12 | 510175,8   | 1089499,564 | 1391,96  |
| 54 | CH    | 12 | 510191,828 | 1089498,115 | 1388,716 |
| 55 | MH    | 12 | 510207,224 | 1089495,96  | 1390,989 |
| 56 | OL    | 10 | 510228,042 | 1089529,53  | 1392,227 |
| 57 | OL    | 10 | 510257,362 | 1089512,218 | 1387,458 |
| 58 | CH    | 6  | 509617,72  | 1089900,988 | 1418,754 |
| 59 | CH    | 8  | 509629,134 | 1089889,31  | 1418,616 |
| 60 | CH    | 10 | 509616,26  | 1089887,616 | 1418,565 |
| 61 | CH    | 8  | 509633,19  | 1089879,734 | 1418,686 |
| 62 | CH    | 5  | 509634,082 | 1089889,815 | 1418,556 |
| 63 | CH    | 4  | 509626,056 | 1089910,807 | 1418,298 |
| 64 | CH    | 5  | 509840,168 | 1089582,659 | 1406,642 |
| 65 | CH    | 20 | 509883,165 | 1089573,048 | 1406,683 |
| 66 | CH    | 5  | 509884,171 | 1089558,982 | 1406,611 |
| 67 | MH    | 12 | 509545,874 | 1089730,275 | 1421,405 |
| 68 | CH-MH | 12 | 509544,403 | 1089717,118 | 1422,15  |
| 69 | MH-CH | 12 | 509505,734 | 1089721,635 | 1422,461 |
| 70 | CH-MH | 12 | 509507,289 | 1089734,662 | 1422,325 |
| 71 | MH    | 12 | 509527,041 | 1089725,745 | 1422,331 |
| 72 | CH    | 9  | 509685,084 | 1089574,505 | 1414,69  |
| 73 | OL    | 10 | 509682,762 | 1089555,015 | 1413,953 |
| 74 | MH    | 9  | 509638,043 | 1089559,925 | 1413,741 |
| 75 | OL    | 10 | 509640,46  | 1089578,209 | 1412,764 |

|     |          |    |            |             |          |
|-----|----------|----|------------|-------------|----------|
| 76  | CH       | 10 | 509889,477 | 1089503,717 | 1402,59  |
| 77  | MH-CH    | 10 | 509905,666 | 1089495,157 | 1400,109 |
| 78  | MH-CH    | 7  | 509894,048 | 1089479,369 | 1400,436 |
| 79  | CH-MH    | 11 | 509818,507 | 1089910,975 | 1402,266 |
| 80  | CH-MH    | 11 | 509787,827 | 1089915,095 | 1402,026 |
| 81  | CH-MH    | 11 | 509791,077 | 1089942,685 | 1402,09  |
| 82  | CH-MH    | 11 | 509805,02  | 1089927,651 | 1401,893 |
| 83  | CH-MH    | 11 | 509820,376 | 1089941,54  | 1402,307 |
| 84  | OL       | 11 | 509810,906 | 1089877,442 | 1402,023 |
| 85  | CL-ML    | 11 | 509798,627 | 1089882,089 | 1401,749 |
| 86  | CL-ML    | 11 | 509800,695 | 1089864,017 | 1402,036 |
| 87  | CH       | 11 | 510116,575 | 1089594,707 | 1399,659 |
| 88  | CH       | 7  | 510114,923 | 1089580,833 | 1399,619 |
| 89  | CH       | 7  | 510078,636 | 1089588,217 | 1399,58  |
| 90  | CH       | 7  | 510079,585 | 1089600,556 | 1399,852 |
| 91  | OL       | 5  | 509806,612 | 1089969,348 | 1400,515 |
| 92  | OL       | 4  | 509787,488 | 1089959,69  | 1400,659 |
| 93  | OL       | 6  | 510071,643 | 1089551,073 | 1401,349 |
| 94  | ML       | 5  | 510084,518 | 1089576,791 | 1401,713 |
| 95  | CL-SM    | 10 | 509768,782 | 1089941,983 | 1401,918 |
| 96  | CL-SM    | 15 | 509771,382 | 1089969,156 | 1401,83  |
| 97  | CL-SM    | 5  | 509799,276 | 1089959,234 | 1401,935 |
| 98  | CL-SM    | 7  | 509815,641 | 1089957,336 | 1402,068 |
| 99  | CL-SM    | 10 | 509765,076 | 1089918,046 | 1402,034 |
| 100 | CH-MH    | 9  | 509542,719 | 1090063,922 | 1413,521 |
| 101 | CH-MH    | 9  | 509585,03  | 1090027,981 | 1412,652 |
| 102 | CH-MH    | 9  | 509616,994 | 1089989,614 | 1411,691 |
| 103 | MH-SM-OH | 8  | 509867,155 | 1090003,403 | 1396,317 |
| 104 | MH-SM-OH | 5  | 509929,501 | 1090056,942 | 1396,282 |
| 105 | ML       | 9  | 509748,068 | 1090146,552 | 1402,304 |
| 106 | ML       | 9  | 509739,93  | 1090120,182 | 1402,611 |
| 107 | ML       | 10 | 509754,634 | 1090090,266 | 1402,598 |
| 108 | ML       | 10 | 509764,146 | 1090074,269 | 1401,819 |
| 109 | ML       | 15 | 509803,412 | 1090086,234 | 1401,232 |
| 110 | OL       | 15 | 509816,799 | 1090071,106 | 1402,436 |
| 111 | CH-MH    | 3  | 509776,179 | 1089108,139 | 1372,645 |
| 112 | CH       | 3  | 509778,295 | 1089126,44  | 1368,137 |
| 113 | CH       | 8  | 509734,161 | 1089112,995 | 1370,994 |
| 114 | CH       | 7  | 509736,277 | 1089131,296 | 1369,652 |

|     |       |    |            |             |          |
|-----|-------|----|------------|-------------|----------|
| 115 | CH    | 9  | 509747,332 | 1089145,871 | 1368,912 |
| 116 | CH    | 5  | 509749,213 | 1089163,365 | 1369,878 |
| 117 | CH    | 5  | 509782,218 | 1089159,947 | 1370,067 |
| 118 | CH    | 7  | 509780,176 | 1089142,47  | 1370,68  |
| 119 | CH    | 11 | 509812,562 | 1089152,803 | 1372,232 |
| 120 | CH    | 11 | 509811,452 | 1089142,258 | 1371,07  |
| 121 | CH    | 11 | 509833,363 | 1089150,47  | 1371,018 |
| 122 | CH    | 11 | 509831,731 | 1089139,361 | 1371,072 |
| 123 | CH    | 10 | 509735,563 | 1089154,621 | 1370,972 |
| 124 | CH    | 10 | 509731,819 | 1089141,339 | 1370,248 |
| 125 | CH    | 10 | 509710,612 | 1089141,539 | 1370,974 |
| 126 | CH    | 10 | 509690,01  | 1089157,83  | 1370,852 |
| 127 | ML    | 12 | 509994,086 | 1089539,701 | 1408,582 |
| 128 | ML    | 12 | 510002,721 | 1089526,932 | 1408,847 |
| 129 | MH-SM | 12 | 509662,912 | 1089747,866 | 1418,163 |
| 130 | OL    | 12 | 509651,512 | 1089749,106 | 1418,203 |
| 131 | MH-SM | 12 | 509654,541 | 1089739,359 | 1417,866 |
| 132 | OL    | 7  | 510187,817 | 1089668,055 | 1397,949 |
| 133 | MH    | 8  | 510222,85  | 1089602,497 | 1394,812 |
| 134 | MH    | 8  | 510234,098 | 1089612,85  | 1392,164 |
| 135 | OL    | 10 | 510243,248 | 1089591,585 | 1392,177 |
| 136 | MH    | 8  | 510256,404 | 1089604,742 | 1392,209 |
| 137 | OL    | 12 | 510272,166 | 1089521,856 | 1386,354 |
| 138 | MH-CH | 8  | 510297,398 | 1089522,954 | 1386,253 |
| 139 | MH-CH | 10 | 510322,842 | 1089510,632 | 1386,264 |
| 140 | MH-CH | 10 | 510301,16  | 1089480,726 | 1385,657 |
| 141 | MH    | 10 | 510309,663 | 1089496,942 | 1385,945 |
| 142 | MH-CH | 10 | 510289,558 | 1089502,084 | 1385,089 |
| 143 | CH    | 16 | 510072,964 | 1089859,396 | 1402,778 |
| 144 | CH    | 14 | 509954,554 | 1089885,757 | 1400,312 |
| 145 | CH    | 18 | 510029,836 | 1089767,273 | 1400,684 |
| 146 | CH    | 59 | 509849,281 | 1089783,965 | 1402,716 |
| 147 | MH    | 18 | 509740,084 | 1089452,802 | 1401,914 |
| 148 | MH    | 30 | 509756,289 | 1089312,799 | 1400,337 |
| 149 | MH    | 27 | 509847,682 | 1089227,503 | 1400,404 |
| 150 | MH    | 87 | 509958,93  | 1089079,013 | 1398,014 |
| 151 | MH    | 22 | 509928,415 | 1089355,149 | 1380,075 |
| 152 | MH    | 64 | 509580,091 | 1089448,089 | 1380,072 |
| 153 | MH    | 51 | 509578,689 | 1089248,554 | 1371,18  |

**Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel**

**Apéndice 105. Variables y coordenadas para interpolación a 1,0m de profundidad a partir de nivel de terreno**

| Perforación | Clasificación SUCS | Capacidad soportante(ton/m <sup>2</sup> ) | Longitud oeste | Latitud norte | Elevación |
|-------------|--------------------|---|----------------|---------------|-----------|
| 1           | CH                 | 7   | 509683,107     | 1089600,696   | 1409,726  |
| 2           | CH                 | 7   | 509661,743     | 1089606,807   | 1410,422  |
| 3           | CH                 | 7   | 509641,089     | 1089612,019   | 1411,801  |
| 4           | CH-MH              | 15  | 509613,249     | 1089579,798   | 1411,859  |
| 5           | CH-MH              | 15  | 509611,306     | 1089562,826   | 1411,862  |
| 6           | CH-MH              | 15  | 509608,546     | 1089546,306   | 1413,984  |
| 7           | CH-MH              | 13  | 509700,33      | 1089552,996   | 1413,963  |
| 8           | CH-MH              | 13  | 509701,672     | 1089570,825   | 1413,928  |
| 9           | CH-MH              | 13  | 509703,025     | 1089587,315   | 1413,786  |
| 10          | CH                 | 12  | 509666,317     | 1089616,272   | 1413,923  |
| 11          | CH                 | 12  | 509694,526     | 1089607,982   | 1413,901  |
| 12          | CH-MH              | 6   | 509755,271     | 1089573,344   | 1414,038  |
| 13          | CH-MH              | 6   | 509751,651     | 1089561,838   | 1414,298  |
| 14          | CH                 | 15  | 509640,012     | 1089593,83    | 1414,784  |
| 15          | CH                 | 15  | 509669,042     | 1089589,502   | 1414,553  |
| 16          | CH                 | 15  | 509634,895     | 1089536,976   | 1414,097  |
| 17          | CH                 | 15  | 509651,602     | 1089535,808   | 1414,306  |
| 18          | CH                 | 15  | 509664,685     | 1089533,999   | 1412,995  |
| 19          | CH-MH              | 15  | 509630,36      | 1089551,648   | 1415,308  |
| 20          | CH                 | 15  | 509646,72      | 1089549,298   | 1415,285  |
| 21          | CH-MH              | 15  | 509663,718     | 1089547,109   | 1414,118  |
| 22          | MH-CH              | 15  | 509609,866     | 1089685,686   | 1420,592  |
| 23          | MH-CH              | 15  | 509614,014     | 1089722,599   | 1420,637  |
| 24          | OH                 | 15  | 509568,181     | 1089727,985   | 1420,197  |
| 25          | OH                 | 15  | 509563,888     | 1089690,89    | 1420,469  |
| 26          | CH                 | 10  | 510239,572     | 1089628,675   | 1390,62   |
| 27          | CH                 | 7   | 510275,093     | 1089619,885   | 1387,886  |
| 28          | MH-SM              | 20  | 510254,483     | 1089536,842   | 1388,021  |
| 29          | CH                 | 10  | 510241,208     | 1089491,924   | 1389,895  |
| 30          | MH                 | 15  | 510209,373     | 1089477,059   | 1391,423  |
| 31          | ML                 | 5   | 510088,355     | 1089679,298   | 1401,362  |
| 32          | OH                 | 5   | 510095,069     | 1089671,501   | 1401,076  |
| 33          | OL                 | 5   | 510107,975     | 1089676,941   | 1401,627  |
| 34          | OH                 | 5   | 510115,612     | 1089668,663   | 1401,673  |
| 35          | CH                 | 8   | 510272,878     | 1089277,527   | 1375,879  |

|    |       |    |            |             |          |
|----|-------|----|------------|-------------|----------|
| 36 | CH    | 6  | 510267,741 | 1089258,135 | 1374,124 |
| 37 | CH    | 5  | 510213,561 | 1089291,278 | 1376,276 |
| 38 | OL    | 5  | 510209,017 | 1089270,526 | 1377,577 |
| 39 | CH    | 12 | 510128,265 | 1089470,695 | 1393,348 |
| 40 | CH    | 18 | 510125,439 | 1089452,793 | 1392,31  |
| 41 | CH    | 18 | 510123,871 | 1089434,081 | 1392,227 |
| 42 | CH    | 18 | 510091,049 | 1089431,949 | 1392,189 |
| 43 | MH    | 18 | 510081,193 | 1089439,16  | 1392,314 |
| 44 | MH    | 18 | 510083,581 | 1089468,947 | 1396,682 |
| 45 | MH    | 14 | 509711,345 | 1089986,484 | 1403,951 |
| 46 | MH    | 18 | 509725,451 | 1089985,31  | 1406,556 |
| 47 | ML    | 18 | 509743,182 | 1089983,94  | 1409,225 |
| 48 | CH    | 5  | 510162,905 | 1089527,185 | 1394,961 |
| 49 | CH    | 10 | 510179,52  | 1089525,343 | 1396,9   |
| 50 | CH    | 15 | 510193,6   | 1089523,433 | 1394,667 |
| 51 | CH    | 7  | 510178,057 | 1089513,615 | 1392,699 |
| 52 | CH    | 10 | 510193,084 | 1089511,967 | 1392,007 |
| 53 | ML-SM | 30 | 510175,8   | 1089499,564 | 1391,96  |
| 54 | CH    | 15 | 510191,828 | 1089498,115 | 1388,716 |
| 55 | MH-CH | 15 | 510207,224 | 1089495,96  | 1390,989 |
| 56 | MH-CH | 10 | 510228,042 | 1089529,53  | 1392,227 |
| 57 | CH    | 15 | 510257,362 | 1089512,218 | 1387,458 |
| 58 | CH    | 6  | 509617,72  | 1089900,988 | 1418,754 |
| 59 | CH    | 8  | 509629,134 | 1089889,31  | 1418,616 |
| 60 | CH    | 10 | 509616,26  | 1089887,616 | 1418,565 |
| 61 | CH    | 8  | 509633,19  | 1089879,734 | 1418,686 |
| 62 | CH    | 5  | 509634,082 | 1089889,815 | 1418,556 |
| 63 | CH    | 4  | 509626,056 | 1089910,807 | 1418,298 |
| 64 | CH    | 10 | 509840,168 | 1089582,659 | 1406,642 |
| 65 | ML-SM | 20 | 509883,165 | 1089573,048 | 1406,683 |
| 66 | CH    | 10 | 509884,171 | 1089558,982 | 1406,611 |
| 67 | CH-MH | 18 | 509545,874 | 1089730,275 | 1421,405 |
| 68 | MH    | 18 | 509544,403 | 1089717,118 | 1422,15  |
| 69 | MH-CH | 18 | 509505,734 | 1089721,635 | 1422,461 |
| 70 | CH-MH | 18 | 509507,289 | 1089734,662 | 1422,325 |
| 71 | MH    | 18 | 509527,041 | 1089725,745 | 1422,331 |
| 72 | MH-CH | 9  | 509685,084 | 1089574,505 | 1414,69  |
| 73 | CH-MH | 14 | 509682,762 | 1089555,015 | 1413,953 |
| 74 | MH-CH | 9  | 509638,043 | 1089559,925 | 1413,741 |

|     |          |    |            |             |          |
|-----|----------|----|------------|-------------|----------|
| 75  | CHMH     | 14 | 509640,46  | 1089578,209 | 1412,764 |
| 76  | CH       | 10 | 509889,477 | 1089503,717 | 1402,59  |
| 77  | MH-CH    | 10 | 509905,666 | 1089495,157 | 1400,109 |
| 78  | CH       | 7  | 509894,048 | 1089479,369 | 1400,436 |
| 79  | CH-MH    | 11 | 509818,507 | 1089910,975 | 1402,266 |
| 80  | CH-MH    | 11 | 509787,827 | 1089915,095 | 1402,026 |
| 81  | CH-MH    | 11 | 509791,077 | 1089942,685 | 1402,09  |
| 82  | CH       | 11 | 509805,02  | 1089927,651 | 1401,893 |
| 83  | CH-MH    | 11 | 509820,376 | 1089941,54  | 1402,307 |
| 84  | CL-ML    | 11 | 509810,906 | 1089877,442 | 1402,023 |
| 85  | CL-ML    | 11 | 509798,627 | 1089882,089 | 1401,749 |
| 86  | CL-ML    | 11 | 509800,695 | 1089864,017 | 1402,036 |
| 87  | CH       | 11 | 510116,575 | 1089594,707 | 1399,659 |
| 88  | CH       | 7  | 510114,923 | 1089580,833 | 1399,619 |
| 89  | CH       | 7  | 510078,636 | 1089588,217 | 1399,58  |
| 90  | CH       | 7  | 510079,585 | 1089600,556 | 1399,852 |
| 91  | CH       | 5  | 509806,612 | 1089969,348 | 1400,515 |
| 92  | CH       | 4  | 509787,488 | 1089959,69  | 1400,659 |
| 93  | CH       | 6  | 510071,643 | 1089551,073 | 1401,349 |
| 94  | CH       | 10 | 510084,518 | 1089576,791 | 1401,713 |
| 95  | CL-SM    | 10 | 509768,782 | 1089941,983 | 1401,918 |
| 96  | CL-SM    | 15 | 509771,382 | 1089969,156 | 1401,83  |
| 97  | CL-SM    | 5  | 509799,276 | 1089959,234 | 1401,935 |
| 98  | CL-SM    | 7  | 509815,641 | 1089957,336 | 1402,068 |
| 99  | CL-SM    | 10 | 509765,076 | 1089918,046 | 1402,034 |
| 100 | CH-MH    | 20 | 509542,719 | 1090063,922 | 1413,521 |
| 101 | MH-CH    | 20 | 509585,03  | 1090027,981 | 1412,652 |
| 102 | CH-MH    | 20 | 509616,994 | 1089989,614 | 1411,691 |
| 103 | MH-CH    | 15 | 509867,155 | 1090003,403 | 1396,317 |
| 104 | MH-SM-OH | 10 | 509929,501 | 1090056,942 | 1396,282 |
| 105 | ML-SM    | 16 | 509748,068 | 1090146,552 | 1402,304 |
| 106 | ML       | 16 | 509739,93  | 1090120,182 | 1402,611 |
| 107 | ML-SM    | 10 | 509754,634 | 1090090,266 | 1402,598 |
| 108 | CH       | 10 | 509764,146 | 1090074,269 | 1401,819 |
| 109 | ML       | 15 | 509803,412 | 1090086,234 | 1401,232 |
| 110 | ML       | 15 | 509816,799 | 1090071,106 | 1402,436 |
| 111 | CH       | 3  | 509776,179 | 1089108,139 | 1372,645 |
| 112 | CH       | 3  | 509778,295 | 1089126,44  | 1368,137 |
| 113 | CH       | 9  | 509734,161 | 1089112,995 | 1370,994 |

|     |       |     |            |             |          |
|-----|-------|-----|------------|-------------|----------|
| 114 | CH    | 7   | 509736,277 | 1089131,296 | 1369,652 |
| 115 | CH    | 10  | 509747,332 | 1089145,871 | 1368,912 |
| 116 | CH    | 6   | 509749,213 | 1089163,365 | 1369,878 |
| 117 | CH    | 6   | 509782,218 | 1089159,947 | 1370,067 |
| 118 | CH    | 9   | 509780,176 | 1089142,47  | 1370,68  |
| 119 | MH    | 14  | 509812,562 | 1089152,803 | 1372,232 |
| 120 | MH    | 14  | 509811,452 | 1089142,258 | 1371,07  |
| 121 | MH    | 14  | 509833,363 | 1089150,47  | 1371,018 |
| 122 | MH-CH | 14  | 509831,731 | 1089139,361 | 1371,072 |
| 123 | CH    | 13  | 509735,563 | 1089154,621 | 1370,972 |
| 124 | CH    | 13  | 509731,819 | 1089141,339 | 1370,248 |
| 125 | CH    | 13  | 509710,612 | 1089141,539 | 1370,974 |
| 126 | CH    | 13  | 509690,01  | 1089157,83  | 1370,852 |
| 127 | MH    | 20  | 509994,086 | 1089539,701 | 1408,582 |
| 128 | MH    | 20  | 510002,721 | 1089526,932 | 1408,847 |
| 129 | MH-CH | 20  | 509662,912 | 1089747,866 | 1418,163 |
| 130 | MH-CH | 20  | 509651,512 | 1089749,106 | 1418,203 |
| 131 | MH-CH | 20  | 509654,541 | 1089739,359 | 1417,866 |
| 132 | CH    | 7   | 510187,817 | 1089668,055 | 1397,949 |
| 133 | MH    | 15  | 510222,85  | 1089602,497 | 1394,812 |
| 134 | MH-SM | 15  | 510234,098 | 1089612,85  | 1392,164 |
| 135 | MH    | 20  | 510243,248 | 1089591,585 | 1392,177 |
| 136 | MH    | 15  | 510256,404 | 1089604,742 | 1392,209 |
| 137 | MH-CH | 12  | 510272,166 | 1089521,856 | 1386,354 |
| 138 | MH-CH | 8   | 510297,398 | 1089522,954 | 1386,253 |
| 139 | MH-CH | 20  | 510322,842 | 1089510,632 | 1386,264 |
| 140 | MH-CH | 20  | 510301,16  | 1089480,726 | 1385,657 |
| 141 | MH-CH | 20  | 510309,663 | 1089496,942 | 1385,945 |
| 142 | MH-CH | 20  | 510289,558 | 1089502,084 | 1385,089 |
| 143 | CH    | 34  | 510072,964 | 1089859,396 | 1402,778 |
| 144 | CH    | 32  | 509954,554 | 1089885,757 | 1400,312 |
| 145 | CH    | 28  | 510029,836 | 1089767,273 | 1400,684 |
| 146 | CH    | 30  | 509849,281 | 1089783,965 | 1402,716 |
| 147 | MH    | 55  | 509740,084 | 1089452,802 | 1401,914 |
| 148 | MH    | 25  | 509756,289 | 1089312,799 | 1400,337 |
| 149 | MH    | 35  | 509847,682 | 1089227,503 | 1400,404 |
| 150 | MH    | 165 | 509958,93  | 1089079,013 | 1398,014 |
| 151 | MH    | 28  | 509928,415 | 1089355,149 | 1380,075 |
| 152 | MH    | 78  | 509580,091 | 1089448,089 | 1380,072 |

|     |    |    |            |             |         |
|-----|----|----|------------|-------------|---------|
| 153 | MH | 55 | 509578,689 | 1089248,554 | 1371,18 |
|-----|----|----|------------|-------------|---------|

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

**Apéndice 106. Variables y coordenadas para interpolación a 1,5m de profundidad a partir de nivel de terreno**

| Perforación | Clasificación SUCS | Capacidad de soportante (t/m <sup>2</sup> ) | Longitud oeste | Latitud norte | Elevación |
|-------------|--------------------|---|----------------|---------------|-----------|
| 1           | OH                 | 18  | 509683,107     | 1089600,696   | 1409,726  |
| 2           | CH                 | 18  | 509661,743     | 1089606,807   | 1410,422  |
| 3           | CH                 | 18  | 509641,089     | 1089612,019   | 1411,801  |
| 4           | CH                 | 20  | 509613,249     | 1089579,798   | 1411,859  |
| 5           | CH                 | 20  | 509611,306     | 1089562,826   | 1411,862  |
| 6           | CH                 | 20  | 509608,546     | 1089546,306   | 1413,984  |
| 7           | CH-MH              | 20  | 509700,33      | 1089552,996   | 1413,963  |
| 8           | CH-MH              | 20  | 509701,672     | 1089570,825   | 1413,928  |
| 9           | CH-MH              | 20  | 509703,025     | 1089587,315   | 1413,786  |
| 10          | CH                 | 18  | 509666,317     | 1089616,272   | 1413,923  |
| 11          | CH                 | 18  | 509694,526     | 1089607,982   | 1413,901  |
| 12          | CH-MH              | 15  | 509755,271     | 1089573,344   | 1414,038  |
| 13          | CH-MH              | 15  | 509751,651     | 1089561,838   | 1414,298  |
| 14          | CH                 | 20  | 509640,012     | 1089593,83    | 1414,784  |
| 15          | CH                 | 20  | 509669,042     | 1089589,502   | 1414,553  |
| 16          | CH                 | 20  | 509634,895     | 1089536,976   | 1414,097  |
| 17          | CH                 | 20  | 509651,602     | 1089535,808   | 1414,306  |
| 18          | CH                 | 20  | 509664,685     | 1089533,999   | 1412,995  |
| 19          | CH-MH              | 20  | 509630,36      | 1089551,648   | 1415,308  |
| 20          | CH                 | 25  | 509646,72      | 1089549,298   | 1415,285  |
| 21          | CH                 | 20  | 509663,718     | 1089547,109   | 1414,118  |
| 22          | MH-CH              | 15  | 509609,866     | 1089685,686   | 1420,592  |
| 23          | MH-CH              | 15  | 509614,014     | 1089722,599   | 1420,637  |
| 24          | OH                 | 15  | 509568,181     | 1089727,985   | 1420,197  |
| 25          | ML-CL              | 15  | 509563,888     | 1089690,89    | 1420,469  |
| 26          | MH-SM              | 10  | 510239,572     | 1089628,675   | 1390,62   |
| 27          | MH-SM              | 20  | 510275,093     | 1089619,885   | 1387,886  |
| 28          | MH-SM              | 20  | 510254,483     | 1089536,842   | 1388,021  |
| 29          | MH                 | 10  | 510241,208     | 1089491,924   | 1389,895  |
| 30          | MH-SM              | 15  | 510209,373     | 1089477,059   | 1391,423  |
| 31          | ML                 | 15  | 510088,355     | 1089679,298   | 1401,362  |
| 32          | ML                 | 15  | 510095,069     | 1089671,501   | 1401,076  |
| 33          | MH                 | 15  | 510107,975     | 1089676,941   | 1401,627  |
| 34          | MH                 | 15  | 510115,612     | 1089668,663   | 1401,673  |

|    |       |    |            |             |          |
|----|-------|----|------------|-------------|----------|
| 35 | CH    | 8  | 510272,878 | 1089277,527 | 1375,879 |
| 36 | CH    | 12 | 510267,741 | 1089258,135 | 1374,124 |
| 37 | CH    | 10 | 510213,561 | 1089291,278 | 1376,276 |
| 38 | CH    | 12 | 510209,017 | 1089270,526 | 1377,577 |
| 39 | CH    | 5  | 510128,265 | 1089470,695 | 1393,348 |
| 40 | CH    | 18 | 510125,439 | 1089452,793 | 1392,31  |
| 41 | CH    | 18 | 510123,871 | 1089434,081 | 1392,227 |
| 42 | CH    | 18 | 510091,049 | 1089431,949 | 1392,189 |
| 43 | MH    | 18 | 510081,193 | 1089439,16  | 1392,314 |
| 44 | MH    | 18 | 510083,581 | 1089468,947 | 1396,682 |
| 45 | MH    | 18 | 509711,345 | 1089986,484 | 1403,951 |
| 46 | MH    | 18 | 509725,451 | 1089985,31  | 1406,556 |
| 48 | ML-SM | 18 | 510162,905 | 1089527,185 | 1394,961 |
| 49 | ML-SM | 30 | 510179,52  | 1089525,343 | 1396,9   |
| 50 | ML-SM | 30 | 510193,6   | 1089523,433 | 1394,667 |
| 51 | ML-SM | 30 | 510178,057 | 1089513,615 | 1392,699 |
| 52 | ML-SM | 30 | 510193,084 | 1089511,967 | 1392,007 |
| 53 | ML-SM | 30 | 510175,8   | 1089499,564 | 1391,96  |
| 54 | ML-SM | 30 | 510191,828 | 1089498,115 | 1388,716 |
| 55 | ML-SM | 30 | 510207,224 | 1089495,96  | 1390,989 |
| 56 | ML-SM | 30 | 510228,042 | 1089529,53  | 1392,227 |
| 57 | CH    | 10 | 510257,362 | 1089512,218 | 1387,458 |
| 58 | CH    | 6  | 509617,72  | 1089900,988 | 1418,754 |
| 59 | CH    | 10 | 509629,134 | 1089889,31  | 1418,616 |
| 60 | CH    | 12 | 509616,26  | 1089887,616 | 1418,565 |
| 61 | CH    | 8  | 509633,19  | 1089879,734 | 1418,686 |
| 62 | CH    | 6  | 509634,082 | 1089889,815 | 1418,556 |
| 63 | CH    | 4  | 509626,056 | 1089910,807 | 1418,298 |
| 64 | ML-SM | 20 | 509840,168 | 1089582,659 | 1406,642 |
| 65 | ML-SM | 20 | 509883,165 | 1089573,048 | 1406,683 |
| 66 | ML-SM | 20 | 509884,171 | 1089558,982 | 1406,611 |
| 67 | CH-MH | 20 | 509545,874 | 1089730,275 | 1421,405 |
| 68 | MH    | 20 | 509544,403 | 1089717,118 | 1422,15  |
| 69 | MH-CH | 20 | 509505,734 | 1089721,635 | 1422,461 |
| 70 | CH-MH | 20 | 509507,289 | 1089734,662 | 1422,325 |
| 71 | MH    | 20 | 509527,041 | 1089725,745 | 1422,331 |
| 72 | MH-CH | 40 | 509685,084 | 1089574,505 | 1414,69  |
| 73 | CH-MH | 18 | 509682,762 | 1089555,015 | 1413,953 |
| 74 | MH-CH | 15 | 509638,043 | 1089559,925 | 1413,741 |

|     |          |    |            |             |          |
|-----|----------|----|------------|-------------|----------|
| 75  | MH-CH    | 18 | 509640,46  | 1089578,209 | 1412,764 |
| 76  | MH-SM    | 20 | 509889,477 | 1089503,717 | 1402,59  |
| 77  | CH       | 10 | 509905,666 | 1089495,157 | 1400,109 |
| 78  | CH       | 20 | 509894,048 | 1089479,369 | 1400,436 |
| 79  | CH       | 11 | 509818,507 | 1089910,975 | 1402,266 |
| 80  | CH       | 11 | 509787,827 | 1089915,095 | 1402,026 |
| 81  | CH-MH    | 11 | 509791,077 | 1089942,685 | 1402,09  |
| 82  | CH       | 11 | 509805,02  | 1089927,651 | 1401,893 |
| 83  | CH       | 11 | 509820,376 | 1089941,54  | 1402,307 |
| 84  | CL-ML    | 11 | 509810,906 | 1089877,442 | 1402,023 |
| 85  | CL-ML    | 11 | 509798,627 | 1089882,089 | 1401,749 |
| 86  | CL-ML    | 11 | 509800,695 | 1089864,017 | 1402,036 |
| 87  | MH-CH    | 17 | 510116,575 | 1089594,707 | 1399,659 |
| 88  | SM       | 15 | 510114,923 | 1089580,833 | 1399,619 |
| 89  | CH-MH    | 16 | 510078,636 | 1089588,217 | 1399,58  |
| 90  | MH-CH    | 15 | 510079,585 | 1089600,556 | 1399,852 |
| 91  | CH       | 22 | 509806,612 | 1089969,348 | 1400,515 |
| 92  | CH       | 18 | 509787,488 | 1089959,69  | 1400,659 |
| 93  | CH       | 18 | 510071,643 | 1089551,073 | 1401,349 |
| 94  | CH       | 8  | 510084,518 | 1089576,791 | 1401,713 |
| 95  | CL-SM    | 5  | 509768,782 | 1089941,983 | 1401,918 |
| 96  | CH       | 5  | 509771,382 | 1089969,156 | 1401,83  |
| 97  | CL-SM    | 10 | 509799,276 | 1089959,234 | 1401,935 |
| 98  | CL-SM    | 7  | 509815,641 | 1089957,336 | 1402,068 |
| 99  | CL-SM    | 5  | 509765,076 | 1089918,046 | 1402,034 |
| 100 | MH-CH    | 20 | 509542,719 | 1090063,922 | 1413,521 |
| 101 | MH-CH    | 20 | 509585,03  | 1090027,981 | 1412,652 |
| 102 | MH-CH    | 20 | 509616,994 | 1089989,614 | 1411,691 |
| 103 | MH-CH    | 20 | 509867,155 | 1090003,403 | 1396,317 |
| 104 | MH-CH-OH | 15 | 509929,501 | 1090056,942 | 1396,282 |
| 105 | ML       | 16 | 509748,068 | 1090146,552 | 1402,304 |
| 106 | ML       | 16 | 509739,93  | 1090120,182 | 1402,611 |
| 107 | ML-SM    | 10 | 509754,634 | 1090090,266 | 1402,598 |
| 108 | CH       | 10 | 509764,146 | 1090074,269 | 1401,819 |
| 109 | ML       | 15 | 509803,412 | 1090086,234 | 1401,232 |
| 110 | ML       | 15 | 509816,799 | 1090071,106 | 1402,436 |
| 111 | MH       | 18 | 509776,179 | 1089108,139 | 1372,645 |
| 112 | CH       | 18 | 509778,295 | 1089126,44  | 1368,137 |
| 113 | CH       | 13 | 509734,161 | 1089112,995 | 1370,994 |

|     |          |     |            |             |          |
|-----|----------|-----|------------|-------------|----------|
| 114 | CH       | 20  | 509736,277 | 1089131,296 | 1369,652 |
| 115 | CH       | 20  | 509747,332 | 1089145,871 | 1368,912 |
| 116 | CH       | 32  | 509749,213 | 1089163,365 | 1369,878 |
| 117 | CH       | 20  | 509782,218 | 1089159,947 | 1370,067 |
| 118 | CL       | 20  | 509780,176 | 1089142,47  | 1370,68  |
| 119 | MH       | 14  | 509812,562 | 1089152,803 | 1372,232 |
| 120 | MH       | 14  | 509811,452 | 1089142,258 | 1371,07  |
| 121 | MH       | 14  | 509833,363 | 1089150,47  | 1371,018 |
| 122 | MH       | 14  | 509831,731 | 1089139,361 | 1371,072 |
| 123 | CH       | 13  | 509735,563 | 1089154,621 | 1370,972 |
| 124 | MH       | 13  | 509731,819 | 1089141,339 | 1370,248 |
| 125 | MH-CH    | 13  | 509710,612 | 1089141,539 | 1370,974 |
| 126 | MH       | 13  | 509690,01  | 1089157,83  | 1370,852 |
| 127 | MH       | 20  | 509994,086 | 1089539,701 | 1408,582 |
| 128 | MH       | 20  | 510002,721 | 1089526,932 | 1408,847 |
| 129 | MH-CH    | 20  | 509662,912 | 1089747,866 | 1418,163 |
| 131 | MH-CH    | 20  | 509654,541 | 1089739,359 | 1417,866 |
| 132 | CH       | 7   | 510187,817 | 1089668,055 | 1397,949 |
| 133 | MH       | 20  | 510222,85  | 1089602,497 | 1394,812 |
| 134 | MH-SM    | 15  | 510234,098 | 1089612,85  | 1392,164 |
| 135 | MH       | 15  | 510243,248 | 1089591,585 | 1392,177 |
| 136 | MH-SM    | 20  | 510256,404 | 1089604,742 | 1392,209 |
| 137 | MH-CH    | 20  | 510272,166 | 1089521,856 | 1386,354 |
| 138 | CH       | 20  | 510297,398 | 1089522,954 | 1386,253 |
| 139 | MH-CH    | 20  | 510322,842 | 1089510,632 | 1386,264 |
| 140 | MH-CH-SM | 20  | 510301,16  | 1089480,726 | 1385,657 |
| 142 | MH-CH    | 20  | 510289,558 | 1089502,084 | 1385,089 |
| 143 | CH       | 16  | 510072,964 | 1089859,396 | 1402,778 |
| 144 | MH       | 55  | 509954,554 | 1089885,757 | 1400,312 |
| 145 | CH       | 142 | 510029,836 | 1089767,273 | 1400,684 |
| 146 | CH       | 22  | 509849,281 | 1089783,965 | 1402,716 |
| 147 | MH       | 113 | 509740,084 | 1089452,802 | 1401,914 |
| 148 | MH       | 13  | 509756,289 | 1089312,799 | 1400,337 |
| 149 | MH       | 83  | 509847,682 | 1089227,503 | 1400,404 |
| 151 | MH       | 59  | 509928,415 | 1089355,149 | 1380,075 |
| 152 | MH       | 69  | 509580,091 | 1089448,089 | 1380,072 |
| 153 | MH       | 82  | 509578,689 | 1089248,554 | 1371,18  |

**Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel**

**Apéndice 107. Variables y coordenadas para interpolación a 2,0m de profundidad a partir de nivel de terreno**

| Perforación | Clasificación SUCS | Capacidad de soportante (t/m <sup>2</sup> ) | Longitud oeste | Latitud norte | Elevación |
|-------------|--------------------|---|----------------|---------------|-----------|
| 1           | OH                 | 18  | 509683,107     | 1089600,696   | 1409,726  |
| 2           | CH                 | 18  | 509661,743     | 1089606,807   | 1410,422  |
| 3           | CH                 | 18  | 509641,089     | 1089612,019   | 1411,801  |
| 4           | CH                 | 20  | 509613,249     | 1089579,798   | 1411,859  |
| 5           | CH                 | 20  | 509611,306     | 1089562,826   | 1411,862  |
| 6           | CH                 | 20  | 509608,546     | 1089546,306   | 1413,984  |
| 7           | CH-MH              | 20  | 509700,33      | 1089552,996   | 1413,963  |
| 8           | CH                 | 20  | 509701,672     | 1089570,825   | 1413,928  |
| 9           | CH                 | 20  | 509703,025     | 1089587,315   | 1413,786  |
| 10          | CH                 | 18  | 509666,317     | 1089616,272   | 1413,923  |
| 11          | CH                 | 18  | 509694,526     | 1089607,982   | 1413,901  |
| 12          | CH                 | 15  | 509755,271     | 1089573,344   | 1414,038  |
| 13          | CH                 | 15  | 509751,651     | 1089561,838   | 1414,298  |
| 14          | CH                 | 20  | 509640,012     | 1089593,83    | 1414,784  |
| 15          | CL                 | 20  | 509669,042     | 1089589,502   | 1414,553  |
| 16          | CH                 | 20  | 509634,895     | 1089536,976   | 1414,097  |
| 17          | CH                 | 20  | 509651,602     | 1089535,808   | 1414,306  |
| 18          | CH                 | 20  | 509664,685     | 1089533,999   | 1412,995  |
| 19          | CH                 | 20  | 509630,36      | 1089551,648   | 1415,308  |
| 20          | CH                 | 25  | 509646,72      | 1089549,298   | 1415,285  |
| 21          | CH                 | 20  | 509663,718     | 1089547,109   | 1414,118  |
| 22          | MH-CH              | 15  | 509609,866     | 1089685,686   | 1420,592  |
| 23          | MH-CH              | 15  | 509614,014     | 1089722,599   | 1420,637  |
| 24          | CH-MH              | 15  | 509568,181     | 1089727,985   | 1420,197  |
| 25          | CH-MH              | 15  | 509563,888     | 1089690,89    | 1420,469  |
| 27          | MH-SM              | 20  | 510275,093     | 1089619,885   | 1387,886  |
| 28          | MH-SM              | 20  | 510254,483     | 1089536,842   | 1388,021  |
| 30          | MH-SM              | 15  | 510209,373     | 1089477,059   | 1391,423  |
| 31          | ML                 | 15  | 510088,355     | 1089679,298   | 1401,362  |
| 32          | ML                 | 15  | 510095,069     | 1089671,501   | 1401,076  |
| 33          | MH                 | 15  | 510107,975     | 1089676,941   | 1401,627  |
| 34          | MH                 | 15  | 510115,612     | 1089668,663   | 1401,673  |
| 35          | CH                 | 8   | 510272,878     | 1089277,527   | 1375,879  |
| 36          | CH                 | 12  | 510267,741     | 1089258,135   | 1374,124  |
| 37          | CH                 | 10  | 510213,561     | 1089291,278   | 1376,276  |
| 38          | SC                 | 12  | 510209,017     | 1089270,526   | 1377,577  |

|    |       |    |            |             |          |
|----|-------|----|------------|-------------|----------|
| 39 | CH    | 5  | 510128,265 | 1089470,695 | 1393,348 |
| 44 | MH    | 18 | 510083,581 | 1089468,947 | 1396,682 |
| 45 | MH    | 18 | 509711,345 | 1089986,484 | 1403,951 |
| 48 | ML-SM | 30 | 510162,905 | 1089527,185 | 1394,961 |
| 49 | ML-SM | 30 | 510179,52  | 1089525,343 | 1396,9   |
| 50 | ML-SM | 30 | 510193,6   | 1089523,433 | 1394,667 |
| 51 | ML-SM | 30 | 510178,057 | 1089513,615 | 1392,699 |
| 52 | ML-SM | 30 | 510193,084 | 1089511,967 | 1392,007 |
| 53 | ML-SM | 30 | 510175,8   | 1089499,564 | 1391,96  |
| 54 | ML-SM | 30 | 510191,828 | 1089498,115 | 1388,716 |
| 55 | ML-SM | 30 | 510207,224 | 1089495,96  | 1390,989 |
| 56 | ML-SM | 30 | 510228,042 | 1089529,53  | 1392,227 |
| 57 | CH    | 10 | 510257,362 | 1089512,218 | 1387,458 |
| 58 | CH    | 6  | 509617,72  | 1089900,988 | 1418,754 |
| 59 | CH    | 10 | 509629,134 | 1089889,31  | 1418,616 |
| 60 | CH    | 12 | 509616,26  | 1089887,616 | 1418,565 |
| 61 | CH    | 8  | 509633,19  | 1089879,734 | 1418,686 |
| 62 | CH    | 6  | 509634,082 | 1089889,815 | 1418,556 |
| 63 | CH    | 4  | 509626,056 | 1089910,807 | 1418,298 |
| 66 | ML-SM | 20 | 509884,171 | 1089558,982 | 1406,611 |
| 67 | CH-MH | 20 | 509545,874 | 1089730,275 | 1421,405 |
| 68 | MH    | 20 | 509544,403 | 1089717,118 | 1422,15  |
| 69 | MH-CH | 20 | 509505,734 | 1089721,635 | 1422,461 |
| 70 | CH-MH | 20 | 509507,289 | 1089734,662 | 1422,325 |
| 71 | MH    | 20 | 509527,041 | 1089725,745 | 1422,331 |
| 72 | MH-CH | 40 | 509685,084 | 1089574,505 | 1414,69  |
| 73 | CH-MH | 18 | 509682,762 | 1089555,015 | 1413,953 |
| 75 | MH    | 18 | 509640,46  | 1089578,209 | 1412,764 |
| 76 | MH-SM | 20 | 509889,477 | 1089503,717 | 1402,59  |
| 77 | CH    | 10 | 509905,666 | 1089495,157 | 1400,109 |
| 78 | MH-SM | 20 | 509894,048 | 1089479,369 | 1400,436 |
| 79 | CH    | 11 | 509818,507 | 1089910,975 | 1402,266 |
| 80 | CH    | 11 | 509787,827 | 1089915,095 | 1402,026 |
| 81 | CH-MH | 11 | 509791,077 | 1089942,685 | 1402,09  |
| 82 | CH    | 11 | 509805,02  | 1089927,651 | 1401,893 |
| 83 | CH    | 11 | 509820,376 | 1089941,54  | 1402,307 |
| 84 | CL-ML | 11 | 509810,906 | 1089877,442 | 1402,023 |
| 85 | CL-ML | 11 | 509798,627 | 1089882,089 | 1401,749 |
| 86 | CL-ML | 11 | 509800,695 | 1089864,017 | 1402,036 |

|     |       |    |            |             |          |
|-----|-------|----|------------|-------------|----------|
| 87  | MH-CH | 17 | 510116,575 | 1089594,707 | 1399,659 |
| 89  | CH-MH | 16 | 510078,636 | 1089588,217 | 1399,58  |
| 91  | CH    | 22 | 509806,612 | 1089969,348 | 1400,515 |
| 92  | CH    | 18 | 509787,488 | 1089959,69  | 1400,659 |
| 93  | CH    | 18 | 510071,643 | 1089551,073 | 1401,349 |
| 94  | CH    | 8  | 510084,518 | 1089576,791 | 1401,713 |
| 95  | CL-SM | 5  | 509768,782 | 1089941,983 | 1401,918 |
| 96  | CH    | 5  | 509771,382 | 1089969,156 | 1401,83  |
| 97  | CL-SM | 10 | 509799,276 | 1089959,234 | 1401,935 |
| 98  | CL-SM | 7  | 509815,641 | 1089957,336 | 1402,068 |
| 99  | MH    | 5  | 509765,076 | 1089918,046 | 1402,034 |
| 100 | MH-CH | 20 | 509542,719 | 1090063,922 | 1413,521 |
| 104 | MH-CH | 15 | 509929,501 | 1090056,942 | 1396,282 |
| 105 | ML    | 16 | 509748,068 | 1090146,552 | 1402,304 |
| 106 | ROCA  | 16 | 509739,93  | 1090120,182 | 1402,611 |
| 107 | ML    | 10 | 509754,634 | 1090090,266 | 1402,598 |
| 108 | CH    | 10 | 509764,146 | 1090074,269 | 1401,819 |
| 109 | ROCA  | 15 | 509803,412 | 1090086,234 | 1401,232 |
| 110 | ML    | 15 | 509816,799 | 1090071,106 | 1402,436 |
| 113 | CH    | 13 | 509734,161 | 1089112,995 | 1370,994 |
| 114 | CH    | 20 | 509736,277 | 1089131,296 | 1369,652 |
| 115 | CL    | 20 | 509747,332 | 1089145,871 | 1368,912 |
| 116 | CH    | 32 | 509749,213 | 1089163,365 | 1369,878 |
| 117 | CH    | 20 | 509782,218 | 1089159,947 | 1370,067 |
| 118 | SM    | 20 | 509780,176 | 1089142,47  | 1370,68  |
| 119 | MH    | 14 | 509812,562 | 1089152,803 | 1372,232 |
| 120 | MH    | 14 | 509811,452 | 1089142,258 | 1371,07  |
| 121 | MH    | 14 | 509833,363 | 1089150,47  | 1371,018 |
| 122 | MH    | 14 | 509831,731 | 1089139,361 | 1371,072 |
| 123 | CH    | 13 | 509735,563 | 1089154,621 | 1370,972 |
| 124 | MH    | 13 | 509731,819 | 1089141,339 | 1370,248 |
| 125 | MH-CH | 13 | 509710,612 | 1089141,539 | 1370,974 |
| 126 | MH    | 13 | 509690,01  | 1089157,83  | 1370,852 |
| 127 | MH    | 20 | 509994,086 | 1089539,701 | 1408,582 |
| 128 | MH    | 20 | 510002,721 | 1089526,932 | 1408,847 |
| 129 | MH-CH | 20 | 509662,912 | 1089747,866 | 1418,163 |
| 132 | CH    | 7  | 510187,817 | 1089668,055 | 1397,949 |
| 133 | ML-SM | 20 | 510222,85  | 1089602,497 | 1394,812 |
| 134 | MH-SM | 15 | 510234,098 | 1089612,85  | 1392,164 |

|     |          |     |            |             |          |
|-----|----------|-----|------------|-------------|----------|
| 135 | MH-SM    | 15  | 510243,248 | 1089591,585 | 1392,177 |
| 136 | ML-SM    | 20  | 510256,404 | 1089604,742 | 1392,209 |
| 137 | MH-CH-SM | 20  | 510272,166 | 1089521,856 | 1386,354 |
| 138 | MH-CH-SM | 20  | 510297,398 | 1089522,954 | 1386,253 |
| 139 | MH-CH    | 20  | 510322,842 | 1089510,632 | 1386,264 |
| 140 | MH-CH-SM | 20  | 510301,16  | 1089480,726 | 1385,657 |
| 143 | CH       | 30  | 510072,964 | 1089859,396 | 1402,778 |
| 144 | MH       | 174 | 509954,554 | 1089885,757 | 1400,312 |
| 146 | CH       | 22  | 509849,281 | 1089783,965 | 1402,716 |
| 147 | MH       | 172 | 509740,084 | 1089452,802 | 1401,914 |
| 148 | MH       | 23  | 509756,289 | 1089312,799 | 1400,337 |
| 149 | MH       | 113 | 509847,682 | 1089227,503 | 1400,404 |
| 151 | MH       | 184 | 509928,415 | 1089355,149 | 1380,075 |
| 152 | MH       | 37  | 509580,091 | 1089448,089 | 1380,072 |
| 153 | MH       | 124 | 509578,689 | 1089248,554 | 1371,18  |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

**Apéndice 108. Variables y coordenadas para interpolación a 2,5m de profundidad a partir de nivel de terreno**

| Perforación | Clasificación SUCS | Capacidad de soportante (t/m <sup>2</sup> ) | Longitud oeste | Latitud norte | Elevación |
|-------------|--------------------|---|----------------|---------------|-----------|
| 1           | OH                 | 18  | 509683,107     | 1089600,696   | 1409,726  |
| 2           | CH                 | 18  | 509661,743     | 1089606,807   | 1410,422  |
| 3           | CH                 | 18  | 509641,089     | 1089612,019   | 1411,801  |
| 4           | CH                 | 20  | 509613,249     | 1089579,798   | 1411,859  |
| 5           | CH                 | 20  | 509611,306     | 1089562,826   | 1411,862  |
| 6           | CH                 | 20  | 509608,546     | 1089546,306   | 1413,984  |
| 8           | CH                 | 20  | 509701,672     | 1089570,825   | 1413,928  |
| 9           | CH                 | 20  | 509703,025     | 1089587,315   | 1413,786  |
| 10          | CH                 | 20  | 509666,317     | 1089616,272   | 1413,923  |
| 12          | CH                 | 20  | 509755,271     | 1089573,344   | 1414,038  |
| 13          | CH                 | 20  | 509751,651     | 1089561,838   | 1414,298  |
| 14          | CH                 | 20  | 509640,012     | 1089593,83    | 1414,784  |
| 15          | CL                 | 20  | 509669,042     | 1089589,502   | 1414,553  |
| 19          | CH                 | 20  | 509630,36      | 1089551,648   | 1415,308  |
| 20          | CH                 | 20  | 509646,72      | 1089549,298   | 1415,285  |
| 21          | CH                 | 20  | 509663,718     | 1089547,109   | 1414,118  |
| 22          | CH-MH              | 15  | 509609,866     | 1089685,686   | 1420,592  |
| 23          | MH-CH              | 15  | 509614,014     | 1089722,599   | 1420,637  |
| 24          | CH-MH              | 15  | 509568,181     | 1089727,985   | 1420,197  |
| 25          | CH-MH              | 15  | 509563,888     | 1089690,89    | 1420,469  |

|    |       |    |            |             |          |
|----|-------|----|------------|-------------|----------|
| 34 | MH-CH | 10 | 510115,612 | 1089668,663 | 1401,673 |
| 35 | CH    | 15 | 510272,878 | 1089277,527 | 1375,879 |
| 36 | CH    | 12 | 510267,741 | 1089258,135 | 1374,124 |
| 37 | CH    | 15 | 510213,561 | 1089291,278 | 1376,276 |
| 38 | SC    | 20 | 510209,017 | 1089270,526 | 1377,577 |
| 39 | CH    | 15 | 510128,265 | 1089470,695 | 1393,348 |
| 48 | ML-SM | 30 | 510162,905 | 1089527,185 | 1394,961 |
| 49 | ML-SM | 30 | 510179,52  | 1089525,343 | 1396,9   |
| 50 | ML-SM | 30 | 510193,6   | 1089523,433 | 1394,667 |
| 51 | ML-SM | 30 | 510178,057 | 1089513,615 | 1392,699 |
| 52 | ML-SM | 30 | 510193,084 | 1089511,967 | 1392,007 |
| 53 | ML-SM | 30 | 510175,8   | 1089499,564 | 1391,96  |
| 54 | ML-SM | 30 | 510191,828 | 1089498,115 | 1388,716 |
| 55 | ML-SM | 30 | 510207,224 | 1089495,96  | 1390,989 |
| 56 | ML-SM | 30 | 510228,042 | 1089529,53  | 1392,227 |
| 57 | ML-SM | 18 | 510257,362 | 1089512,218 | 1387,458 |
| 58 | CH    | 8  | 509617,72  | 1089900,988 | 1418,754 |
| 59 | CH    | 15 | 509629,134 | 1089889,31  | 1418,616 |
| 60 | CH    | 15 | 509616,26  | 1089887,616 | 1418,565 |
| 61 | CH    | 15 | 509633,19  | 1089879,734 | 1418,686 |
| 62 | CH    | 15 | 509634,082 | 1089889,815 | 1418,556 |
| 63 | CH    | 8  | 509626,056 | 1089910,807 | 1418,298 |
| 66 | ML-SM | 20 | 509884,171 | 1089558,982 | 1406,611 |
| 67 | MH    | 19 | 509545,874 | 1089730,275 | 1421,405 |
| 68 | MH    | 19 | 509544,403 | 1089717,118 | 1422,15  |
| 69 | MH-CH | 19 | 509505,734 | 1089721,635 | 1422,461 |
| 70 | CL    | 19 | 509507,289 | 1089734,662 | 1422,325 |
| 71 | MH    | 19 | 509527,041 | 1089725,745 | 1422,331 |
| 72 | CH    | 40 | 509685,084 | 1089574,505 | 1414,69  |
| 75 | MH    | 61 | 509640,46  | 1089578,209 | 1412,764 |
| 76 | MH-SM | 20 | 509889,477 | 1089503,717 | 1402,59  |
| 77 | MH-SM | 20 | 509905,666 | 1089495,157 | 1400,109 |
| 78 | MH-SM | 20 | 509894,048 | 1089479,369 | 1400,436 |
| 79 | CH    | 18 | 509818,507 | 1089910,975 | 1402,266 |
| 80 | CH    | 11 | 509787,827 | 1089915,095 | 1402,026 |
| 81 | CH    | 11 | 509791,077 | 1089942,685 | 1402,09  |
| 84 | CL-ML | 11 | 509810,906 | 1089877,442 | 1402,023 |
| 85 | CL-ML | 11 | 509798,627 | 1089882,089 | 1401,749 |
| 86 | CL-ML | 11 | 509800,695 | 1089864,017 | 1402,036 |

|     |          |     |            |             |          |
|-----|----------|-----|------------|-------------|----------|
| 87  | MH-CH    | 18  | 510116,575 | 1089594,707 | 1399,659 |
| 89  | ML-CL    | 24  | 510078,636 | 1089588,217 | 1399,58  |
| 92  | CH       | 20  | 509787,488 | 1089959,69  | 1400,659 |
| 93  | CH       | 20  | 510071,643 | 1089551,073 | 1401,349 |
| 94  | CH       | 22  | 510084,518 | 1089576,791 | 1401,713 |
| 95  | MH       | 20  | 509768,782 | 1089941,983 | 1401,918 |
| 96  | CH       | 20  | 509771,382 | 1089969,156 | 1401,83  |
| 97  | CH       | 20  | 509799,276 | 1089959,234 | 1401,935 |
| 98  | CL-SM    | 10  | 509815,641 | 1089957,336 | 1402,068 |
| 99  | CH       | 15  | 509765,076 | 1089918,046 | 1402,034 |
| 104 | MH-CH    | 15  | 509929,501 | 1090056,942 | 1396,282 |
| 105 | ROCA     | 177 | 509748,068 | 1090146,552 | 1402,304 |
| 106 | ROCA     | 177 | 509739,93  | 1090120,182 | 1402,611 |
| 107 | ROCA     | 177 | 509754,634 | 1090090,266 | 1402,598 |
| 108 | ML-SM    | 10  | 509764,146 | 1090074,269 | 1401,819 |
| 109 | ROCA     | 177 | 509803,412 | 1090086,234 | 1401,232 |
| 110 | ML       | 15  | 509816,799 | 1090071,106 | 1402,436 |
| 113 | SM       | 15  | 509734,161 | 1089112,995 | 1370,994 |
| 114 | MH       | 20  | 509736,277 | 1089131,296 | 1369,652 |
| 115 | ML       | 21  | 509747,332 | 1089145,871 | 1368,912 |
| 117 | ML       | 20  | 509782,218 | 1089159,947 | 1370,067 |
| 119 | MH       | 40  | 509812,562 | 1089152,803 | 1372,232 |
| 120 | MH       | 40  | 509811,452 | 1089142,258 | 1371,07  |
| 121 | MH       | 40  | 509833,363 | 1089150,47  | 1371,018 |
| 122 | MH       | 14  | 509831,731 | 1089139,361 | 1371,072 |
| 123 | MH-CH    | 13  | 509735,563 | 1089154,621 | 1370,972 |
| 124 | MH       | 13  | 509731,819 | 1089141,339 | 1370,248 |
| 125 | MH-CH    | 15  | 509710,612 | 1089141,539 | 1370,974 |
| 126 | MH       | 15  | 509690,01  | 1089157,83  | 1370,852 |
| 127 | MH       | 20  | 509994,086 | 1089539,701 | 1408,582 |
| 128 | MH       | 20  | 510002,721 | 1089526,932 | 1408,847 |
| 129 | MH-CH    | 20  | 509662,912 | 1089747,866 | 1418,163 |
| 132 | ROCA     | 30  | 510187,817 | 1089668,055 | 1397,949 |
| 134 | ML-SM    | 20  | 510234,098 | 1089612,85  | 1392,164 |
| 135 | ML-SM    | 18  | 510243,248 | 1089591,585 | 1392,177 |
| 136 | ML-SM    | 20  | 510256,404 | 1089604,742 | 1392,209 |
| 137 | MH-CH-SM | 20  | 510272,166 | 1089521,856 | 1386,354 |
| 138 | MH-CH-SM | 20  | 510297,398 | 1089522,954 | 1386,253 |
| 140 | MH-CH-SM | 20  | 510301,16  | 1089480,726 | 1385,657 |

|     |    |     |            |             |          |
|-----|----|-----|------------|-------------|----------|
| 143 | CH | 18  | 510072,964 | 1089859,396 | 1402,778 |
| 146 | CH | 37  | 509849,281 | 1089783,965 | 1402,716 |
| 148 | MH | 39  | 509756,289 | 1089312,799 | 1400,337 |
| 152 | MH | 44  | 509580,091 | 1089448,089 | 1380,072 |
| 153 | MH | 133 | 509578,689 | 1089248,554 | 1371,18  |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

**Apéndice 109. Variables y coordenadas para interpolación a 3,0m de profundidad a partir de nivel de terreno**

| Perforación | Clasificación SUCS | Capacidad de soportante (t/m <sup>2</sup> ) | Longitud oeste | Latitud norte | Elevación |
|-------------|--------------------|---|----------------|---------------|-----------|
| 2           | CH                 | 18  | 509661,743     | 1089606,807   | 1410,422  |
| 3           | CH                 | 18  | 509641,089     | 1089612,019   | 1411,801  |
| 4           | CH                 | 20  | 509613,249     | 1089579,798   | 1411,859  |
| 5           | CH                 | 20  | 509611,306     | 1089562,826   | 1411,862  |
| 6           | CH                 | 20  | 509608,546     | 1089546,306   | 1413,984  |
| 9           | CH                 | 20  | 509703,025     | 1089587,315   | 1413,786  |
| 10          | CH                 | 20  | 509666,317     | 1089616,272   | 1413,923  |
| 12          | CH                 | 20  | 509755,271     | 1089573,344   | 1414,038  |
| 13          | CH                 | 20  | 509751,651     | 1089561,838   | 1414,298  |
| 14          | CH                 | 20  | 509640,012     | 1089593,83    | 1414,784  |
| 21          | CH                 | 20  | 509663,718     | 1089547,109   | 1414,118  |
| 22          | CH-MH              | 15  | 509609,866     | 1089685,686   | 1420,592  |
| 23          | MH-CH              | 15  | 509614,014     | 1089722,599   | 1420,637  |
| 24          | CH-MH              | 15  | 509568,181     | 1089727,985   | 1420,197  |
| 25          | CH-MH              | 15  | 509563,888     | 1089690,89    | 1420,469  |
| 34          | MH                 | 15  | 510115,612     | 1089668,663   | 1401,673  |
| 35          | CH                 | 15  | 510272,878     | 1089277,527   | 1375,879  |
| 36          | CH                 | 12  | 510267,741     | 1089258,135   | 1374,124  |
| 37          | CH                 | 15  | 510213,561     | 1089291,278   | 1376,276  |
| 38          | SC                 | 20  | 510209,017     | 1089270,526   | 1377,577  |
| 48          | ML-SM              | 30  | 510162,905     | 1089527,185   | 1394,961  |
| 49          | ML-SM              | 30  | 510179,52      | 1089525,343   | 1396,9    |
| 50          | ML-SM              | 30  | 510193,6       | 1089523,433   | 1394,667  |
| 51          | ML-SM              | 30  | 510178,057     | 1089513,615   | 1392,699  |
| 52          | ML-SM              | 30  | 510193,084     | 1089511,967   | 1392,007  |
| 53          | ML-SM              | 30  | 510175,8       | 1089499,564   | 1391,96   |
| 54          | ML-SM              | 30  | 510191,828     | 1089498,115   | 1388,716  |
| 55          | ML-SM              | 30  | 510207,224     | 1089495,96    | 1390,989  |
| 56          | ML-SM              | 30  | 510228,042     | 1089529,53    | 1392,227  |
| 58          | CH                 | 8   | 509617,72      | 1089900,988   | 1418,754  |

|     |       |     |            |             |          |
|-----|-------|-----|------------|-------------|----------|
| 59  | CH    | 15  | 509629,134 | 1089889,31  | 1418,616 |
| 60  | CH    | 15  | 509616,26  | 1089887,616 | 1418,565 |
| 61  | CH    | 15  | 509633,19  | 1089879,734 | 1418,686 |
| 62  | CH    | 15  | 509634,082 | 1089889,815 | 1418,556 |
| 63  | CH    | 8   | 509626,056 | 1089910,807 | 1418,298 |
| 66  | ML-SM | 20  | 509884,171 | 1089558,982 | 1406,611 |
| 67  | MH    | 19  | 509545,874 | 1089730,275 | 1421,405 |
| 68  | MH    | 19  | 509544,403 | 1089717,118 | 1422,15  |
| 69  | MH-CH | 19  | 509505,734 | 1089721,635 | 1422,461 |
| 70  | CL    | 19  | 509507,289 | 1089734,662 | 1422,325 |
| 71  | MH    | 19  | 509527,041 | 1089725,745 | 1422,331 |
| 72  | CH    | 40  | 509685,084 | 1089574,505 | 1414,69  |
| 75  | MH    | 61  | 509640,46  | 1089578,209 | 1412,764 |
| 76  | MH-SM | 20  | 509889,477 | 1089503,717 | 1402,59  |
| 77  | ML-SM | 20  | 509905,666 | 1089495,157 | 1400,109 |
| 78  | MH-SM | 20  | 509894,048 | 1089479,369 | 1400,436 |
| 80  | CH    | 11  | 509787,827 | 1089915,095 | 1402,026 |
| 81  | CH    | 11  | 509791,077 | 1089942,685 | 1402,09  |
| 84  | CL-ML | 11  | 509810,906 | 1089877,442 | 1402,023 |
| 85  | CL-ML | 11  | 509798,627 | 1089882,089 | 1401,749 |
| 86  | CL-ML | 11  | 509800,695 | 1089864,017 | 1402,036 |
| 89  | ML-CL | 24  | 510078,636 | 1089588,217 | 1399,58  |
| 94  | CH    | 22  | 510084,518 | 1089576,791 | 1401,713 |
| 95  | CL-SM | 20  | 509768,782 | 1089941,983 | 1401,918 |
| 96  | CL-SM | 20  | 509771,382 | 1089969,156 | 1401,83  |
| 97  | CL-SM | 20  | 509799,276 | 1089959,234 | 1401,935 |
| 99  | CH    | 10  | 509765,076 | 1089918,046 | 1402,034 |
| 105 | ROCA  | 177 | 509748,068 | 1090146,552 | 1402,304 |
| 106 | ROCA  | 177 | 509739,93  | 1090120,182 | 1402,611 |
| 107 | ROCA  | 177 | 509754,634 | 1090090,266 | 1402,598 |
| 108 | CL    | 10  | 509764,146 | 1090074,269 | 1401,819 |
| 109 | ROCA  | 177 | 509803,412 | 1090086,234 | 1401,232 |
| 110 | ML    | 15  | 509816,799 | 1090071,106 | 1402,436 |
| 117 | ML    | 20  | 509782,218 | 1089159,947 | 1370,067 |
| 119 | ROCA  | 177 | 509812,562 | 1089152,803 | 1372,232 |
| 120 | ROCA  | 177 | 509811,452 | 1089142,258 | 1371,07  |
| 121 | ROCA  | 177 | 509833,363 | 1089150,47  | 1371,018 |
| 122 | MH    | 14  | 509831,731 | 1089139,361 | 1371,072 |
| 123 | MH-CH | 13  | 509735,563 | 1089154,621 | 1370,972 |

|     |          |    |            |             |          |
|-----|----------|----|------------|-------------|----------|
| 124 | MH       | 13 | 509731,819 | 1089141,339 | 1370,248 |
| 127 | MH       | 20 | 509994,086 | 1089539,701 | 1408,582 |
| 128 | MH       | 20 | 510002,721 | 1089526,932 | 1408,847 |
| 132 | LAHAR    | 30 | 510187,817 | 1089668,055 | 1397,949 |
| 134 | ML-SM    | 20 | 510234,098 | 1089612,85  | 1392,164 |
| 138 | MH-CH-SM | 20 | 510297,398 | 1089522,954 | 1386,253 |
| 143 | CH       | 27 | 510072,964 | 1089859,396 | 1402,778 |
| 146 | CH       | 32 | 509849,281 | 1089783,965 | 1402,716 |
| 148 | MH       | 32 | 509756,289 | 1089312,799 | 1400,337 |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

| <b>Apéndice 110. Variables y coordenadas para interpolación a 3,5m de profundidad a partir de nivel de terreno</b> |                    |   |                |               |           |
|--|--------------------|---|----------------|---------------|-----------|
| Perforación  | Clasificación SUCS | Capacidad de soportante (t/m <sup>2</sup> ) | Longitud oeste | Latitud norte | Elevación |
| 2  | CH                 | 20  | 509661,743     | 1089606,807   | 1410,422  |
| 3  | CH                 | 20  | 509641,089     | 1089612,019   | 1411,801  |
| 4  | CH                 | 20  | 509613,249     | 1089579,798   | 1411,859  |
| 5  | CH                 | 20  | 509611,306     | 1089562,826   | 1411,862  |
| 6  | CH                 | 20  | 509608,546     | 1089546,306   | 1413,984  |
| 9  | CH                 | 20  | 509703,025     | 1089587,315   | 1413,786  |
| 12   | CH                 | 20  | 509755,271     | 1089573,344   | 1414,038  |
| 13   | CH                 | 20  | 509751,651     | 1089561,838   | 1414,298  |
| 22   | CH-MH              | 15  | 509609,866     | 1089685,686   | 1420,592  |
| 23   | MH-CH              | 15  | 509614,014     | 1089722,599   | 1420,637  |
| 24   | CH-MH              | 15  | 509568,181     | 1089727,985   | 1420,197  |
| 25   | CH-MH              | 15  | 509563,888     | 1089690,89    | 1420,469  |
| 35   | CH                 | 20  | 510272,878     | 1089277,527   | 1375,879  |
| 36   | CH                 | 15  | 510267,741     | 1089258,135   | 1374,124  |
| 37   | SC                 | 18  | 510213,561     | 1089291,278   | 1376,276  |
| 38   | SC                 | 25  | 510209,017     | 1089270,526   | 1377,577  |
| 48   | ML-SM              | 30  | 510162,905     | 1089527,185   | 1394,961  |
| 49   | ML-SM              | 30  | 510179,52      | 1089525,343   | 1396,9    |
| 52   | ML-SM              | 30  | 510193,084     | 1089511,967   | 1392,007  |
| 53   | ML-SM              | 30  | 510175,8       | 1089499,564   | 1391,96   |
| 54   | ML-SM              | 30  | 510191,828     | 1089498,115   | 1388,716  |
| 55   | ML-SM              | 30  | 510207,224     | 1089495,96    | 1390,989  |
| 56   | ML-SM              | 30  | 510228,042     | 1089529,53    | 1392,227  |
| 58   | CH                 | 12  | 509617,72      | 1089900,988   | 1418,754  |
| 59   | CH                 | 20  | 509629,134     | 1089889,31    | 1418,616  |
| 60   | CH                 | 20  | 509616,26      | 1089887,616   | 1418,565  |

|     |       |     |            |             |          |
|-----|-------|-----|------------|-------------|----------|
| 61  | CH    | 20  | 509633,19  | 1089879,734 | 1418,686 |
| 62  | CH    | 15  | 509634,082 | 1089889,815 | 1418,556 |
| 63  | CH    | 15  | 509626,056 | 1089910,807 | 1418,298 |
| 77  | ML-SM | 20  | 509905,666 | 1089495,157 | 1400,109 |
| 78  | MH-SM | 20  | 509894,048 | 1089479,369 | 1400,436 |
| 80  | CH    | 11  | 509787,827 | 1089915,095 | 1402,026 |
| 84  | CL-ML | 11  | 509810,906 | 1089877,442 | 1402,023 |
| 85  | CL-ML | 11  | 509798,627 | 1089882,089 | 1401,749 |
| 86  | CL-ML | 11  | 509800,695 | 1089864,017 | 1402,036 |
| 94  | CH    | 22  | 510084,518 | 1089576,791 | 1401,713 |
| 95  | CL-SM | 20  | 509768,782 | 1089941,983 | 1401,918 |
| 96  | CL-SM | 20  | 509771,382 | 1089969,156 | 1401,83  |
| 97  | CL-SM | 20  | 509799,276 | 1089959,234 | 1401,935 |
| 99  | CL-SM | 10  | 509765,076 | 1089918,046 | 1402,034 |
| 105 | ROCA  | 177 | 509748,068 | 1090146,552 | 1402,304 |
| 106 | ROCA  | 177 | 509739,93  | 1090120,182 | 1402,611 |
| 107 | ROCA  | 177 | 509754,634 | 1090090,266 | 1402,598 |
| 108 | ROCA  | 177 | 509764,146 | 1090074,269 | 1401,819 |
| 109 | ROCA  | 177 | 509803,412 | 1090086,234 | 1401,232 |
| 110 | ML    | 15  | 509816,799 | 1090071,106 | 1402,436 |
| 127 | MH    | 20  | 509994,086 | 1089539,701 | 1408,582 |
| 128 | MH    | 20  | 510002,721 | 1089526,932 | 1408,847 |
| 132 | LAHAR | 30  | 510187,817 | 1089668,055 | 1397,949 |
| 143 | CH    | 88  | 510072,964 | 1089859,396 | 1402,778 |
| 146 | CH    | 35  | 509849,281 | 1089783,965 | 1402,716 |
| 148 | MH    | 78  | 509756,289 | 1089312,799 | 1400,337 |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

| <b>Apéndice 111. Variables y coordenadas para interpolación a 4,0m de profundidad a partir de nivel de terreno</b> |                    |   |                |               |           |
|--|--------------------|---|----------------|---------------|-----------|
| Perforación  | Clasificación SUCS | Capacidad de soportante (t/m <sup>2</sup> ) | Longitud oeste | Latitud norte | Elevación |
| 2  | CH                 | 20  | 509661,743     | 1089606,807   | 1410,422  |
| 3  | CH                 | 20  | 509641,089     | 1089612,019   | 1411,801  |
| 4  | CH                 | 20  | 509613,249     | 1089579,798   | 1411,859  |
| 5  | CH                 | 20  | 509611,306     | 1089562,826   | 1411,862  |
| 6  | CH                 | 20  | 509608,546     | 1089546,306   | 1413,984  |
| 13   | CH                 | 20  | 509751,651     | 1089561,838   | 1414,298  |
| 22   | CH-MH              | 15  | 509609,866     | 1089685,686   | 1420,592  |
| 23   | CH-MH              | 15  | 509614,014     | 1089722,599   | 1420,637  |
| 24   | ML-CL              | 15  | 509568,181     | 1089727,985   | 1420,197  |

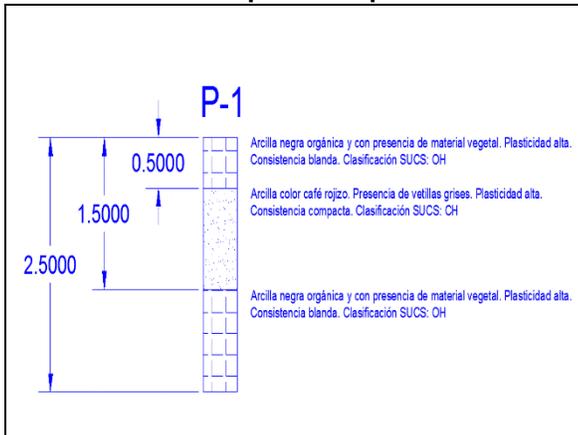
|     |       |     |            |             |          |
|-----|-------|-----|------------|-------------|----------|
| 25  | MH-CH | 15  | 509563,888 | 1089690,89  | 1420,469 |
| 35  | CH    | 20  | 510272,878 | 1089277,527 | 1375,879 |
| 36  | CH    | 15  | 510267,741 | 1089258,135 | 1374,124 |
| 37  | SC    | 18  | 510213,561 | 1089291,278 | 1376,276 |
| 38  | SC    | 25  | 510209,017 | 1089270,526 | 1377,577 |
| 48  | ML-SM | 30  | 510162,905 | 1089527,185 | 1394,961 |
| 49  | ML-SM | 30  | 510179,52  | 1089525,343 | 1396,9   |
| 52  | ML-SM | 30  | 510193,084 | 1089511,967 | 1392,007 |
| 53  | ML-SM | 30  | 510175,8   | 1089499,564 | 1391,96  |
| 54  | ML-SM | 30  | 510191,828 | 1089498,115 | 1388,716 |
| 55  | ML-SM | 30  | 510207,224 | 1089495,96  | 1390,989 |
| 56  | ML-SM | 30  | 510228,042 | 1089529,53  | 1392,227 |
| 58  | CH    | 12  | 509617,72  | 1089900,988 | 1418,754 |
| 59  | CH    | 20  | 509629,134 | 1089889,31  | 1418,616 |
| 60  | CH    | 20  | 509616,26  | 1089887,616 | 1418,565 |
| 61  | CH    | 20  | 509633,19  | 1089879,734 | 1418,686 |
| 63  | CH    | 15  | 509626,056 | 1089910,807 | 1418,298 |
| 77  | ML-SM | 20  | 509905,666 | 1089495,157 | 1400,109 |
| 78  | MH-SM | 20  | 509894,048 | 1089479,369 | 1400,436 |
| 80  | CH    | 11  | 509787,827 | 1089915,095 | 1402,026 |
| 84  | CL-ML | 11  | 509810,906 | 1089877,442 | 1402,023 |
| 85  | CL-ML | 11  | 509798,627 | 1089882,089 | 1401,749 |
| 86  | CL-ML | 11  | 509800,695 | 1089864,017 | 1402,036 |
| 96  | CL-SM | 20  | 509771,382 | 1089969,156 | 1401,83  |
| 99  | CH    | 10  | 509765,076 | 1089918,046 | 1402,034 |
| 106 | ROCA  | 177 | 509739,93  | 1090120,182 | 1402,611 |
| 108 | ROCA  | 177 | 509764,146 | 1090074,269 | 1401,819 |
| 109 | ROCA  | 177 | 509803,412 | 1090086,234 | 1401,232 |
| 110 | ML    | 15  | 509816,799 | 1090071,106 | 1402,436 |
| 127 | MH    | 20  | 509994,086 | 1089539,701 | 1408,582 |
| 128 | MH    | 20  | 510002,721 | 1089526,932 | 1408,847 |
| 132 | LAHAR | 30  | 510187,817 | 1089668,055 | 1397,949 |
| 143 | CH    | 189 | 510072,964 | 1089859,396 | 1402,778 |
| 146 | CH    | 46  | 509849,281 | 1089783,965 | 1402,716 |
| 148 | MH    | 198 | 509756,289 | 1089312,799 | 1400,337 |

Fuente. Elaboración propia en Microsoft Excel

# Anexos

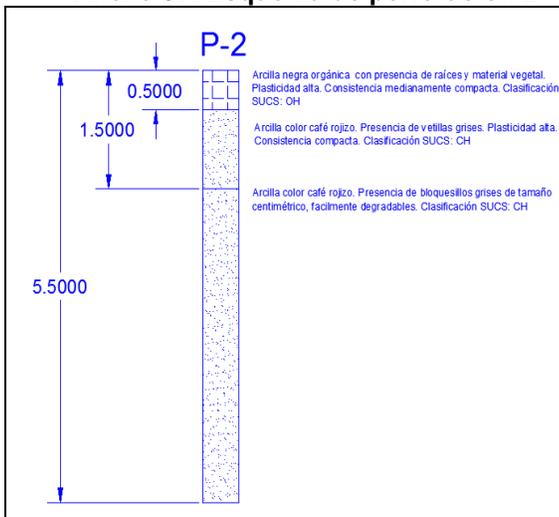
## PERFILES DE LAS PERFORACIONES

### Anexo 36. Esquema de perforación 1



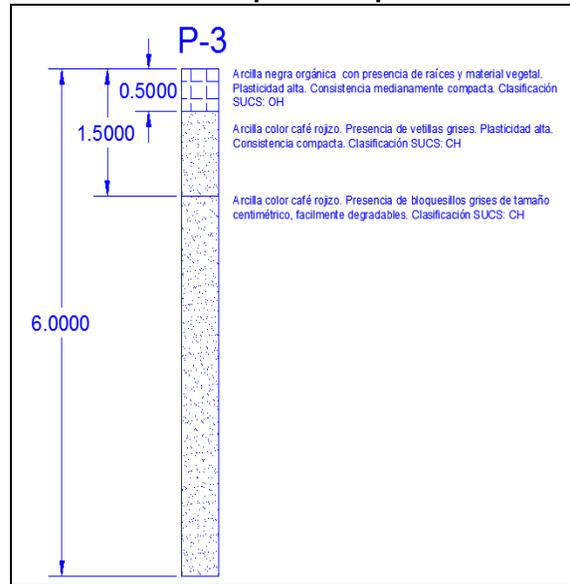
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 37. Esquema de perforación 2



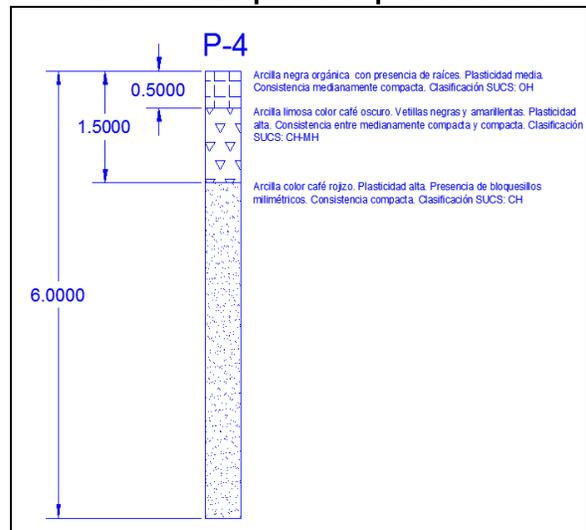
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 38. Esquema de perforación 3



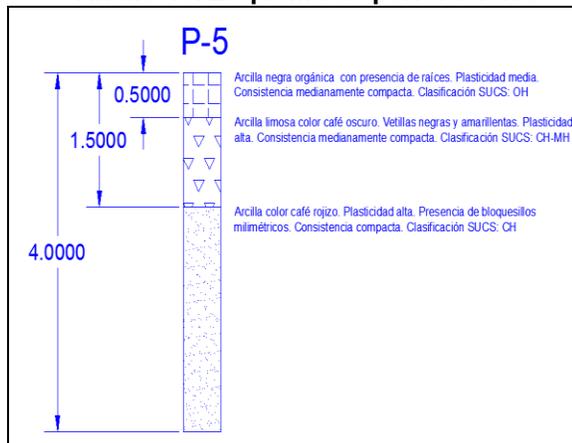
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 39. Esquema de perforación 4



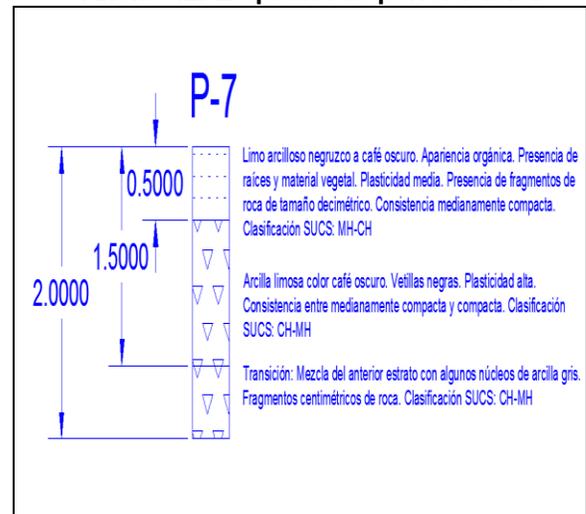
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 40. Esquema de perforación 5



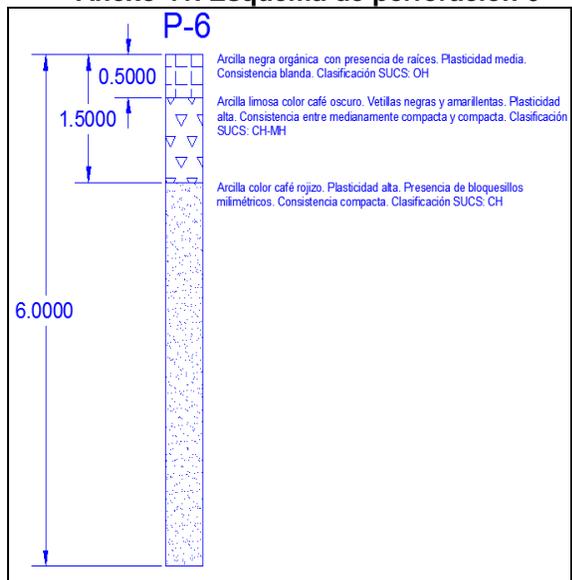
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 42. Esquema de perforación 7



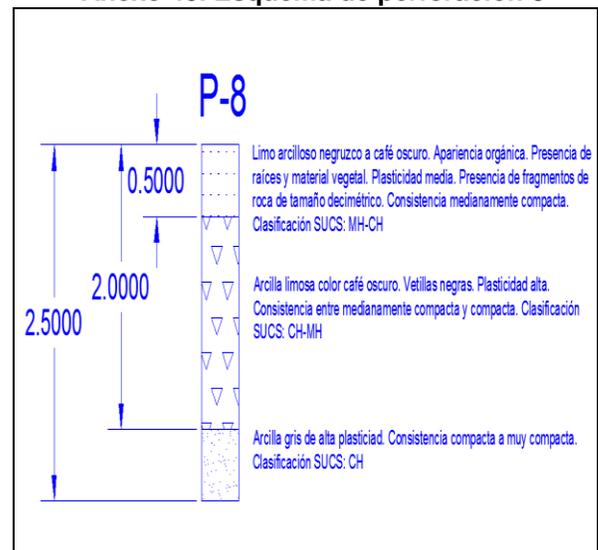
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 41. Esquema de perforación 6



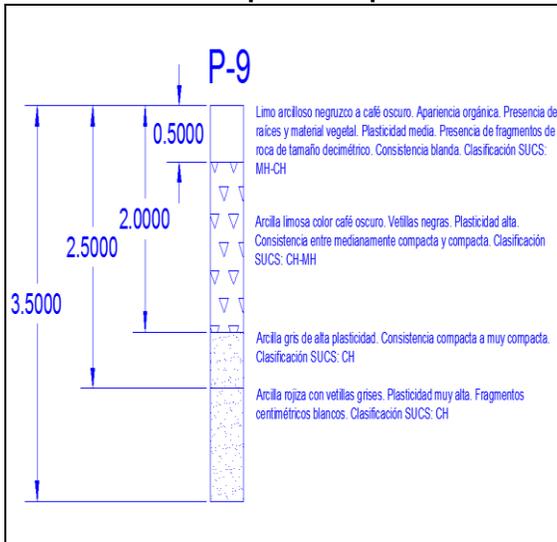
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 43. Esquema de perforación 8



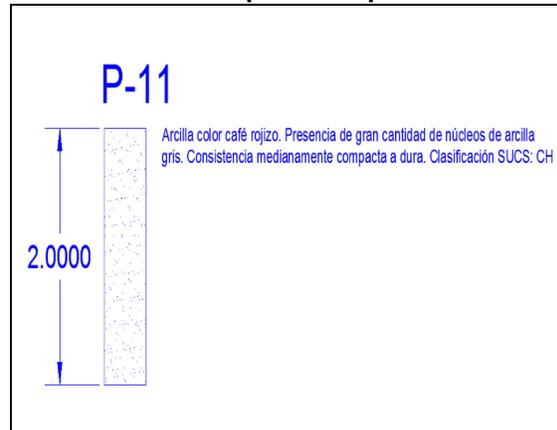
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 44. Esquema de perforación 9



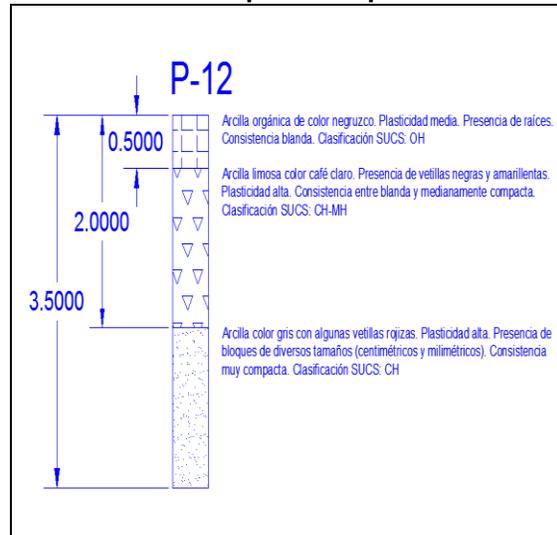
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 46. Esquema de perforación 11



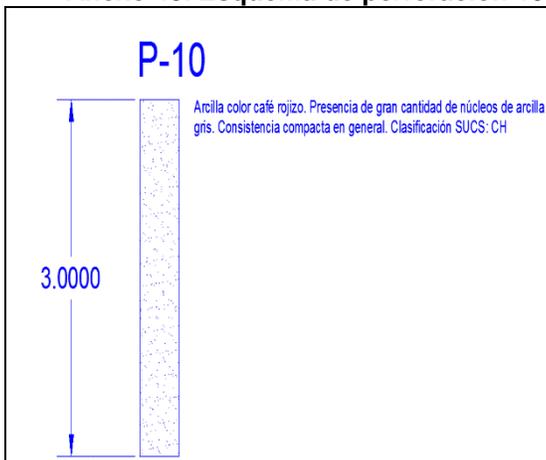
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 47. Esquema de perforación 12



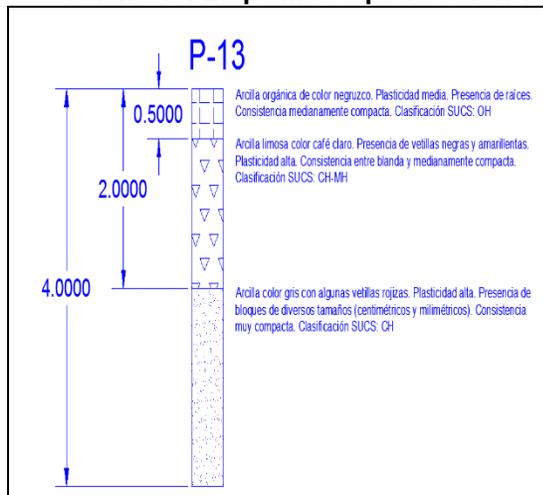
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 45. Esquema de perforación 10



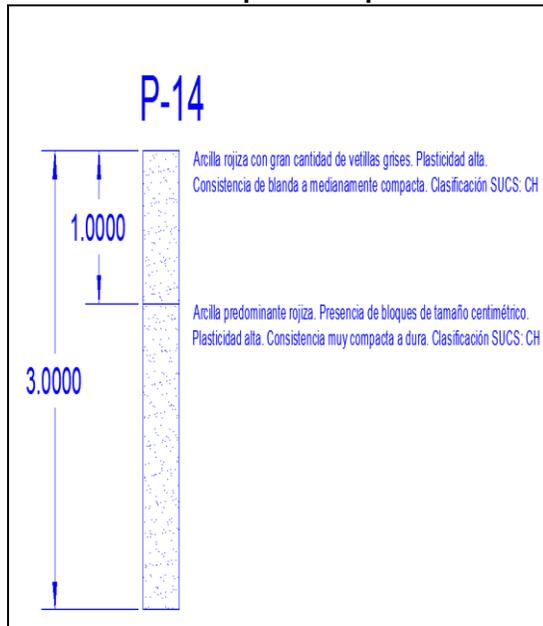
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 48. Esquema de perforación 13



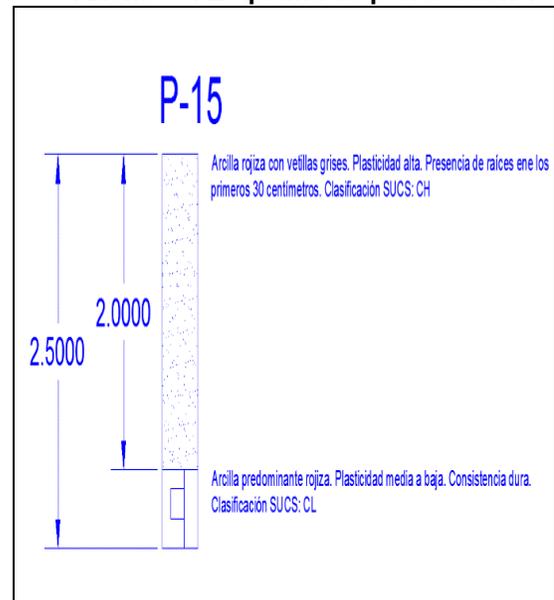
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 49. Esquema de perforación 14



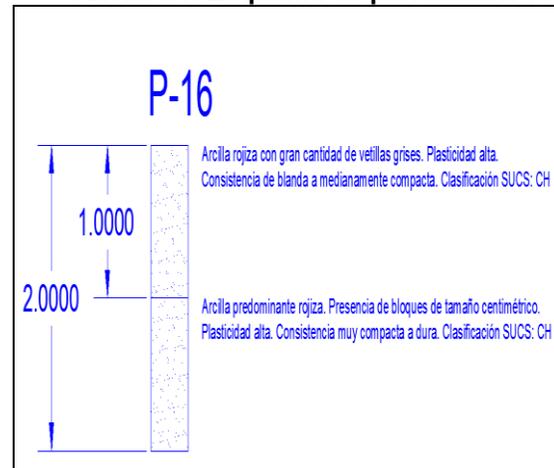
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 50. Esquema de perforación 15



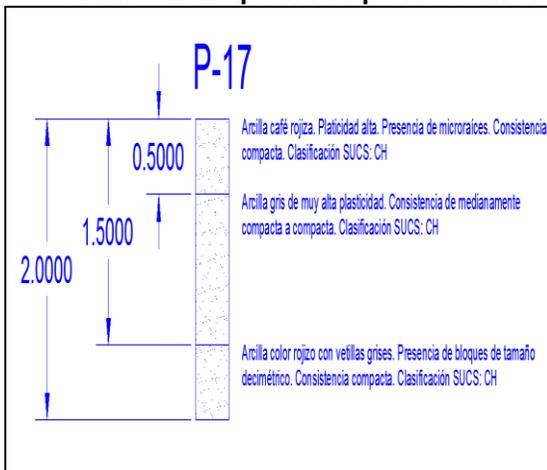
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 51. Esquema de perforación 16



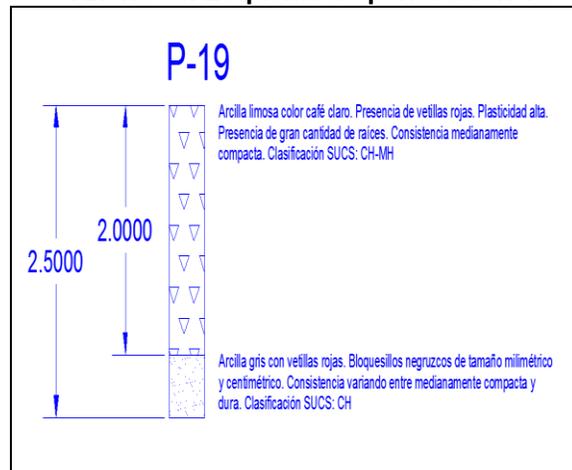
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 52. Esquema de perforación 17



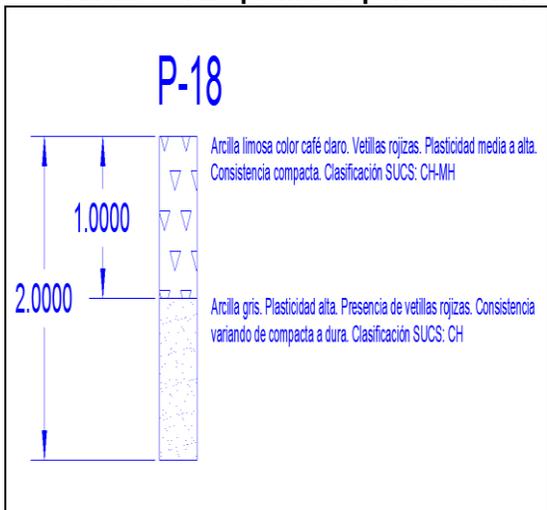
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 54. Esquema de perforación 19



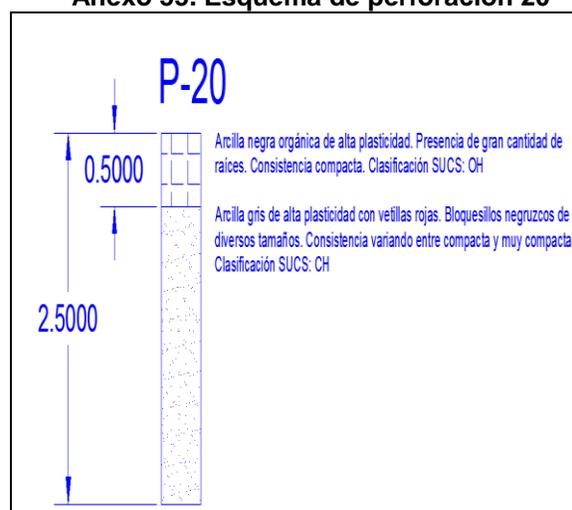
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 53. Esquema de perforación 18



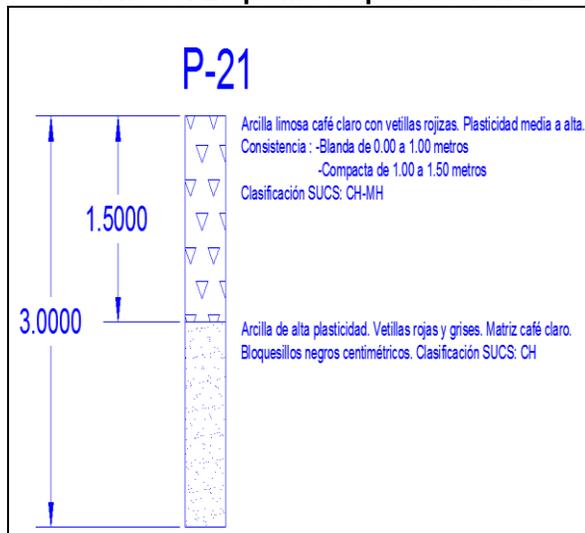
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 55. Esquema de perforación 20



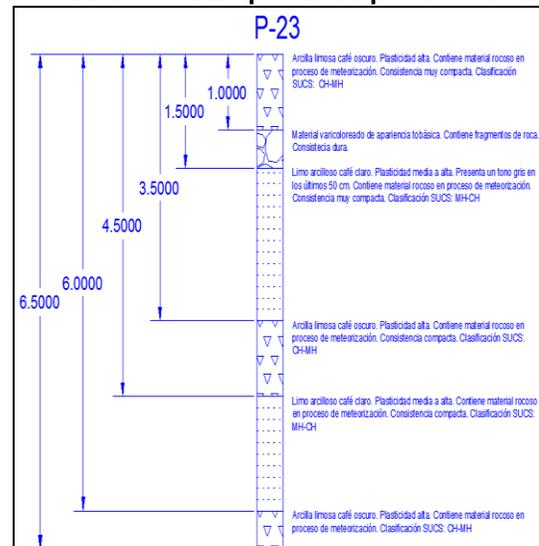
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 56. Esquema de perforación 21



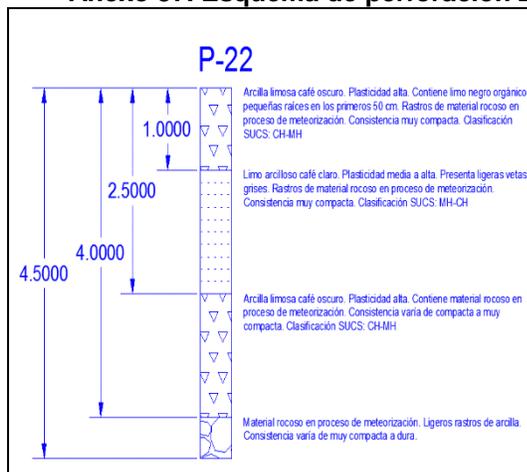
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 58. Esquema de perforación 23



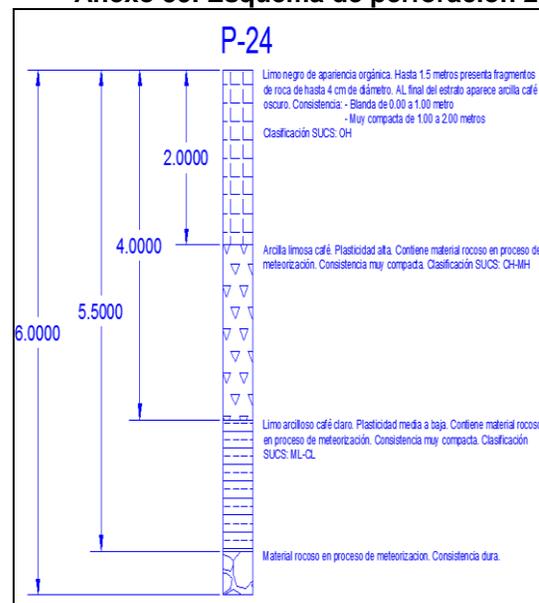
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 57. Esquema de perforación 22



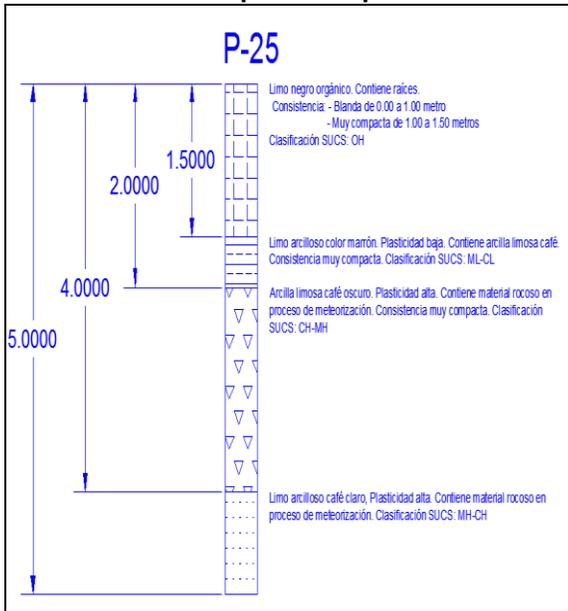
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 59. Esquema de perforación 24



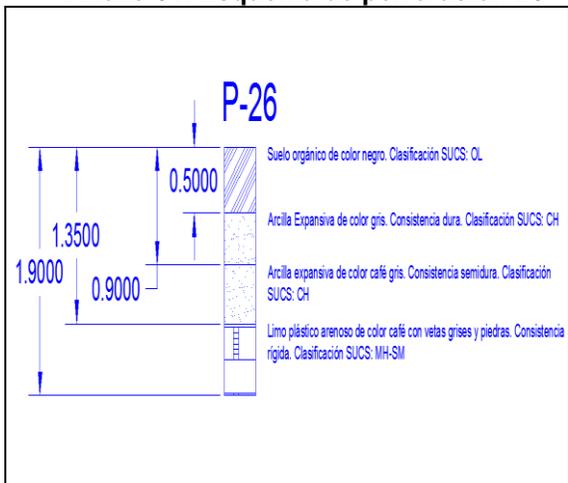
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 60. Esquema de perforación 25



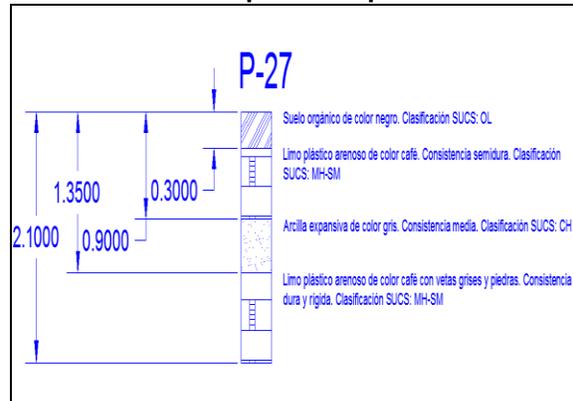
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 61. Esquema de perforación 26



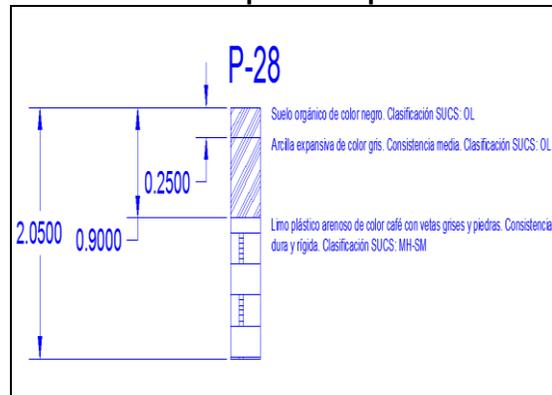
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 62. Esquema de perforación 27



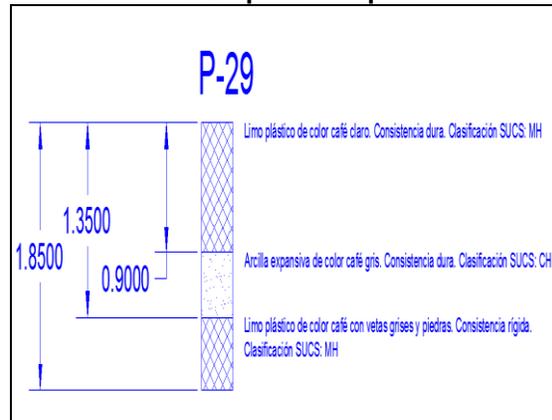
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 63. Esquema de perforación 28



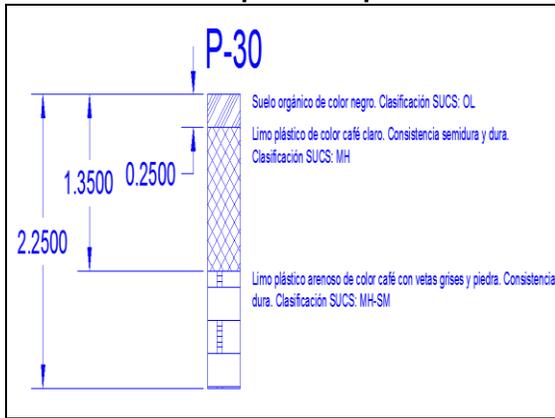
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 64. Esquema de perforación 29



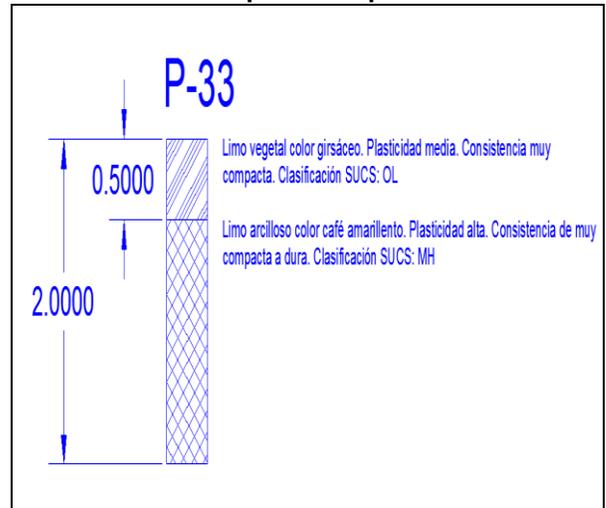
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 65. Esquema de perforación 30**



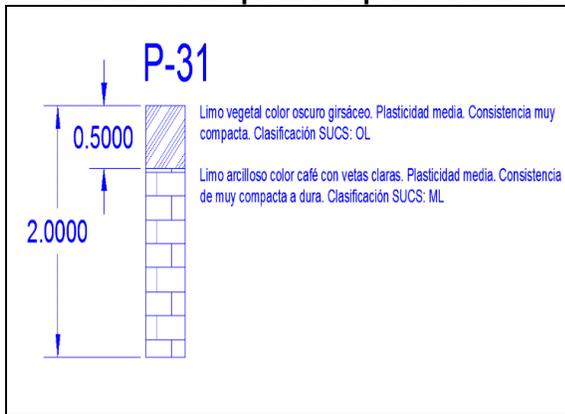
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 68. Esquema de perforación 33**



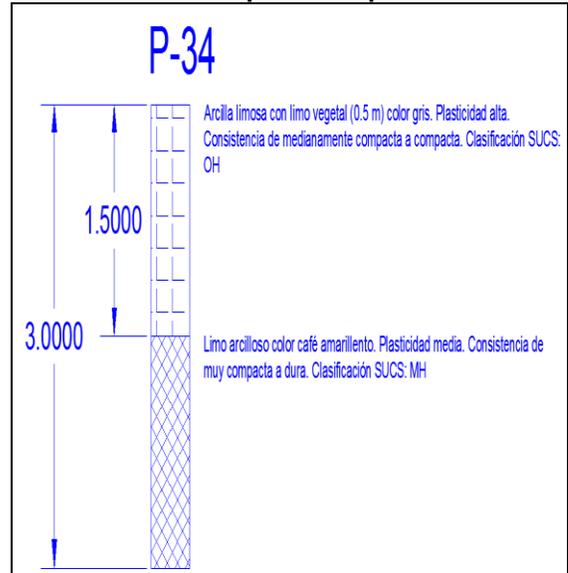
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 66. Esquema de perforación 31**



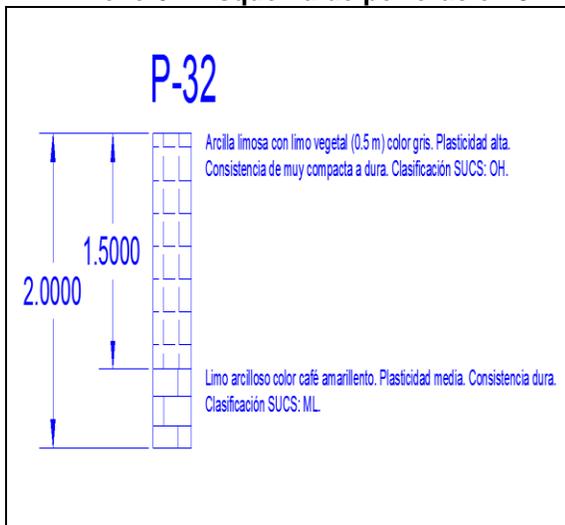
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 69. Esquema de perforación 34**



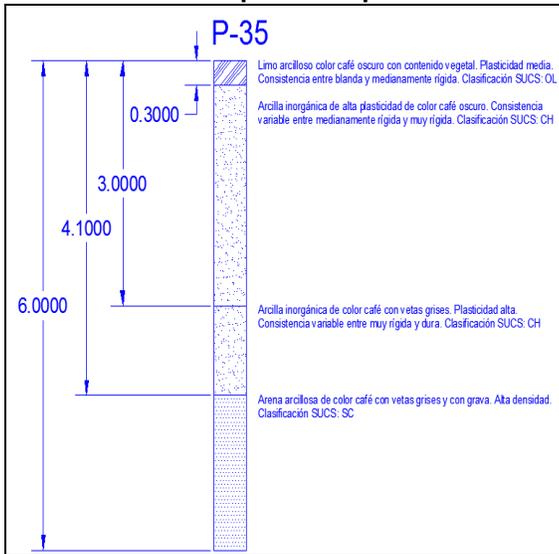
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 67. Esquema de perforación 32**



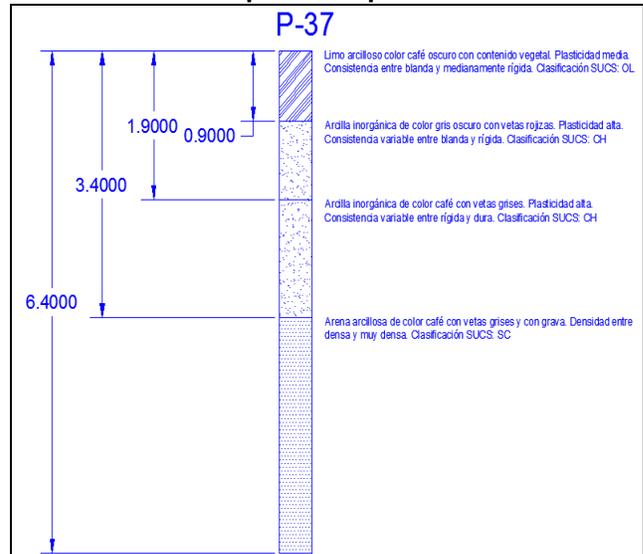
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 70. Esquema de perforación 35**



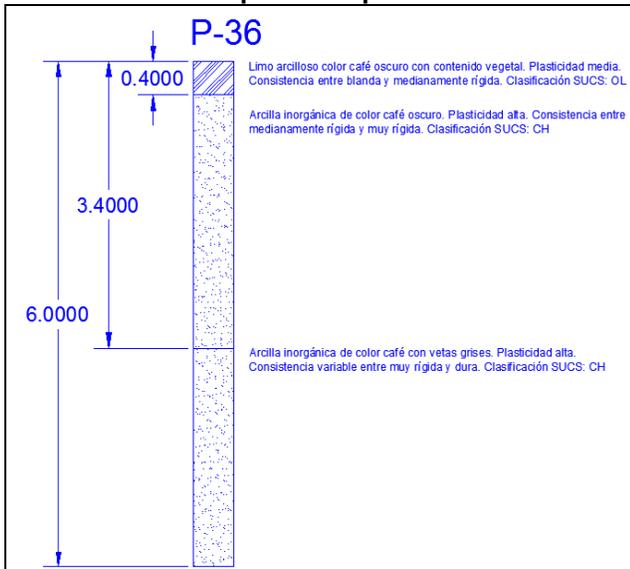
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 72. Esquema de perforación 37**



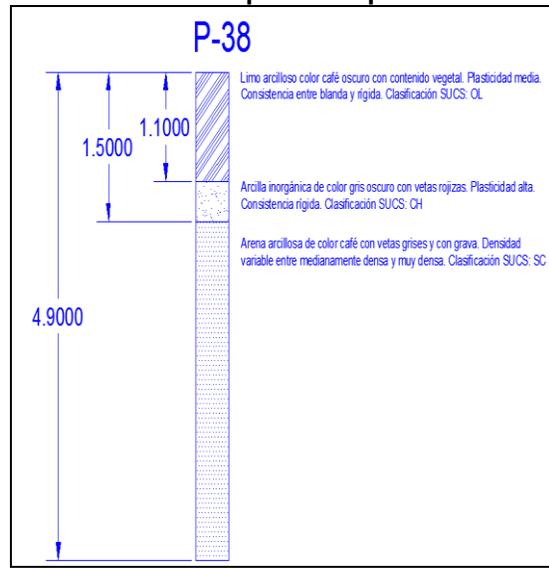
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 71. Esquema de perforación 36**



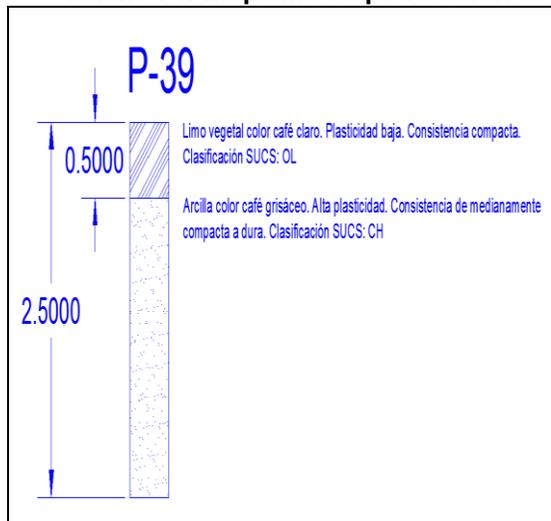
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 73. Esquema de perforación 38**



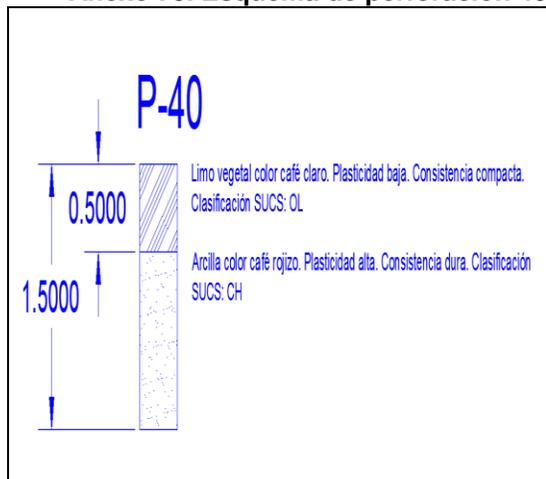
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 74. Esquema de perforación 39**



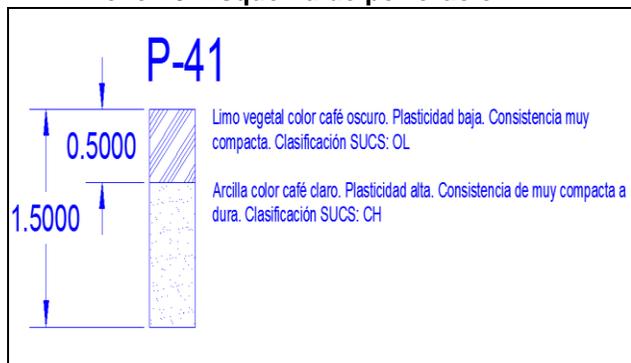
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 75. Esquema de perforación 40**



Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 76. Esquema de perforación 41**



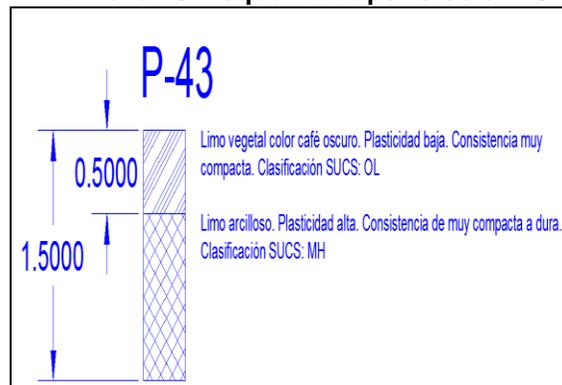
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 77. Esquema de perforación 42**



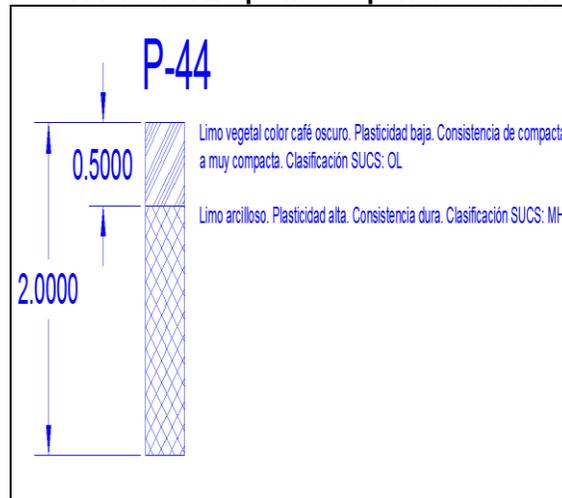
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 78. Esquema de perforación 43**



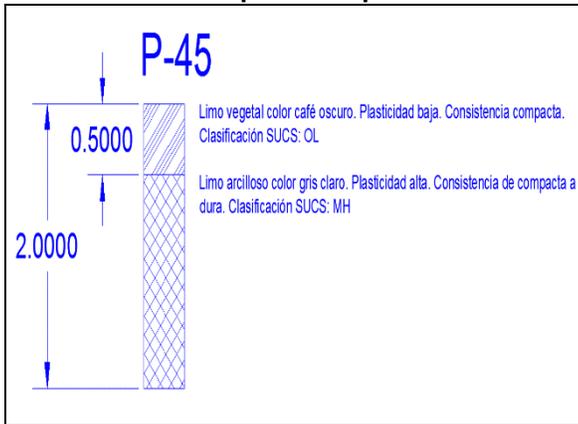
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 79. Esquema de perforación 44**



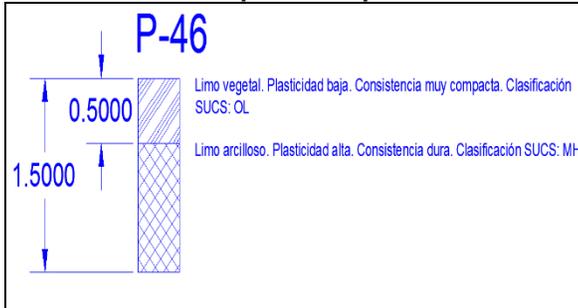
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 80. Esquema de perforación 45



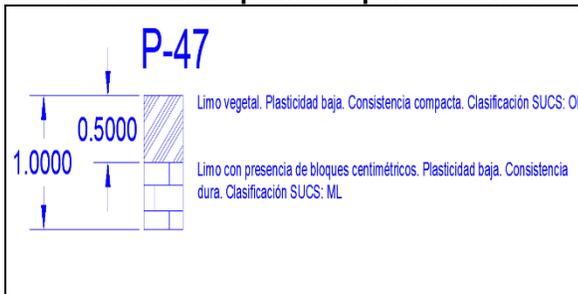
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 81. Esquema de perforación 46



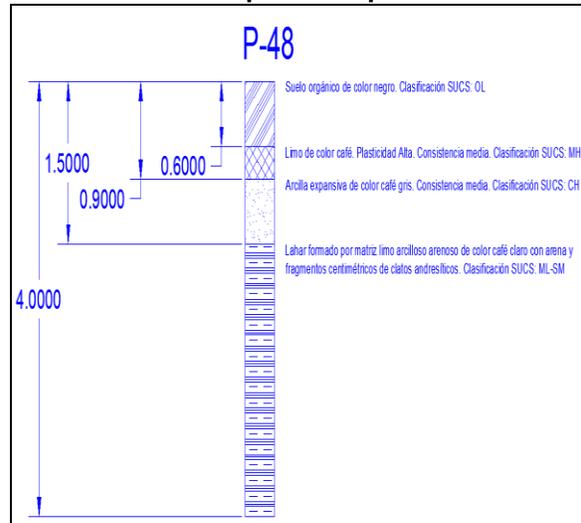
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 82. Esquema de perforación 47



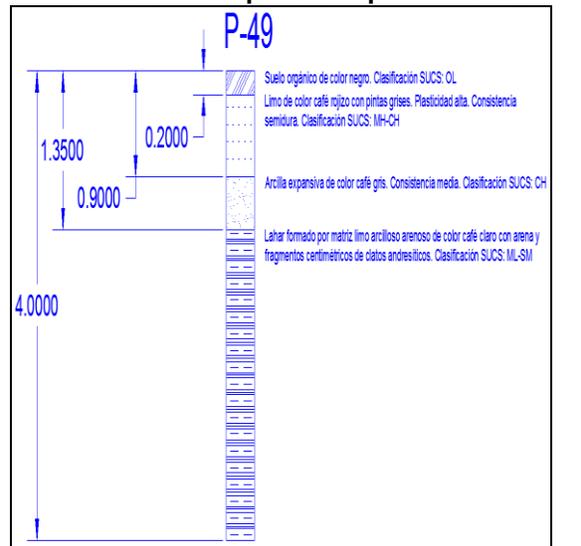
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 83. Esquema de perforación 48



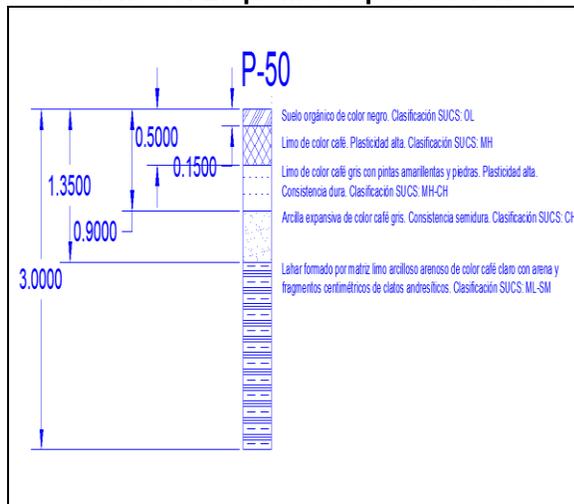
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 84. Esquema de perforación 49



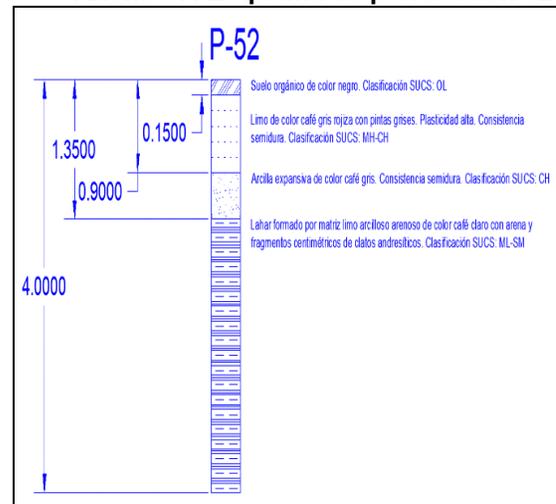
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 85. Esquema de perforación 50



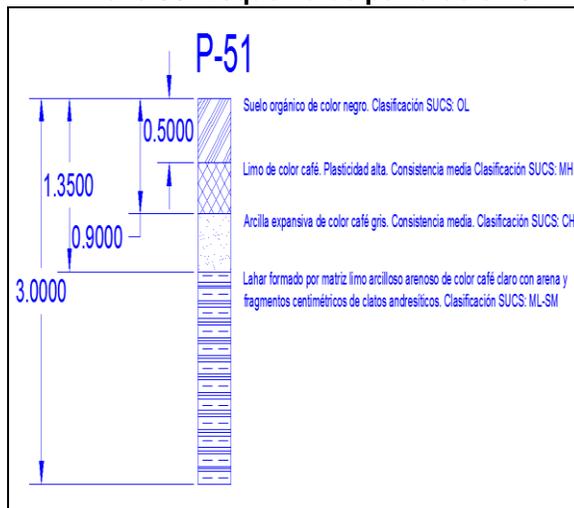
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 87. Esquema de perforación 52



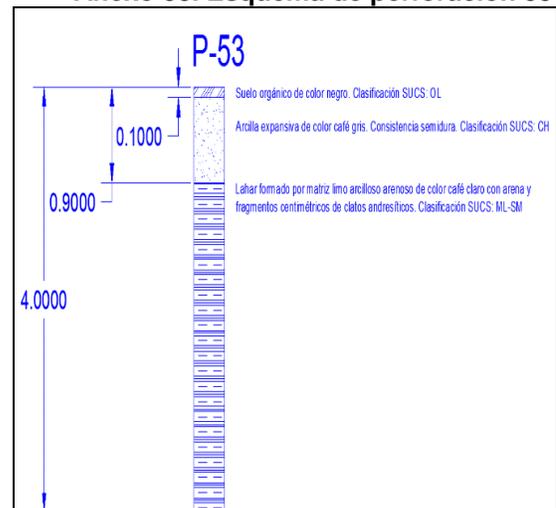
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 86. Esquema de perforación 51



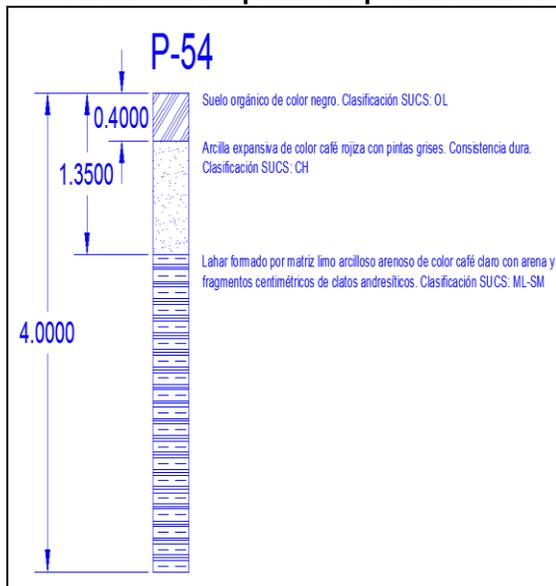
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 88. Esquema de perforación 53



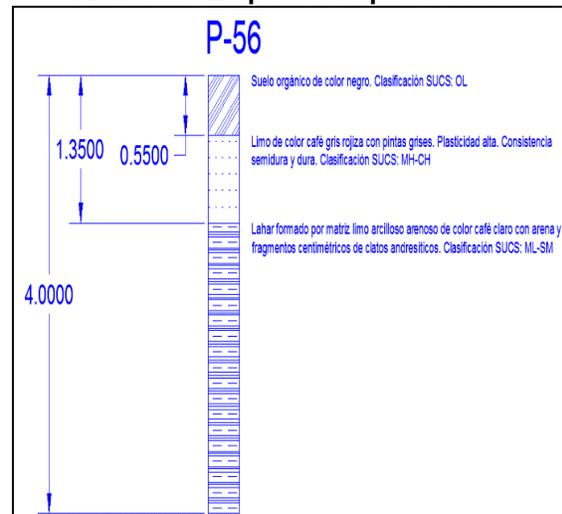
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 89. Esquema de perforación 54



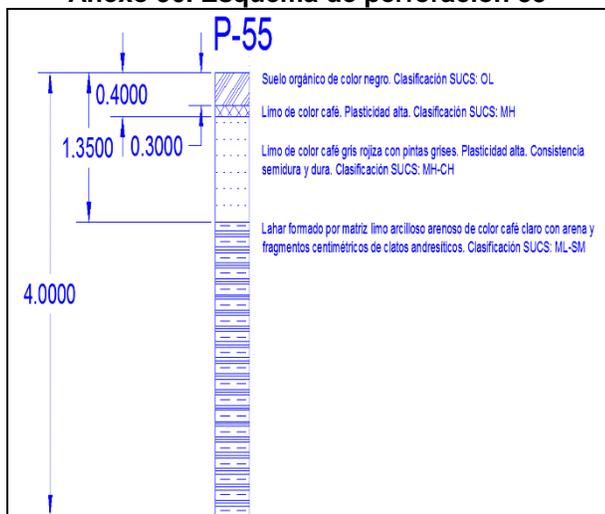
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 91. Esquema de perforación 56



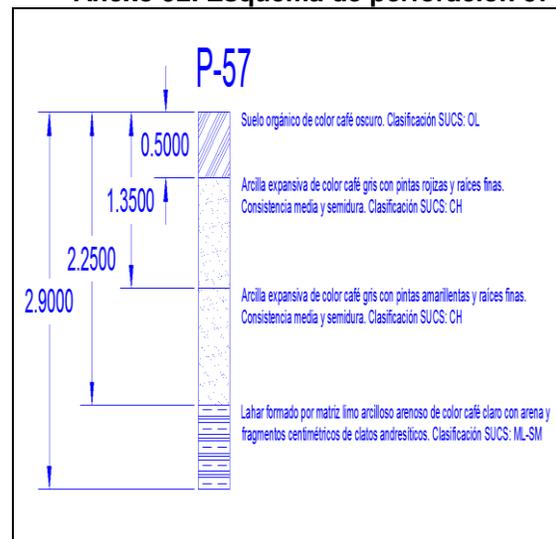
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 90. Esquema de perforación 55



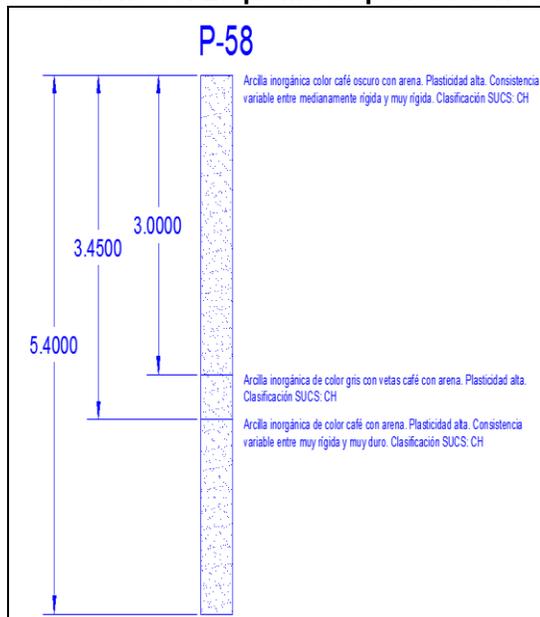
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 92. Esquema de perforación 57



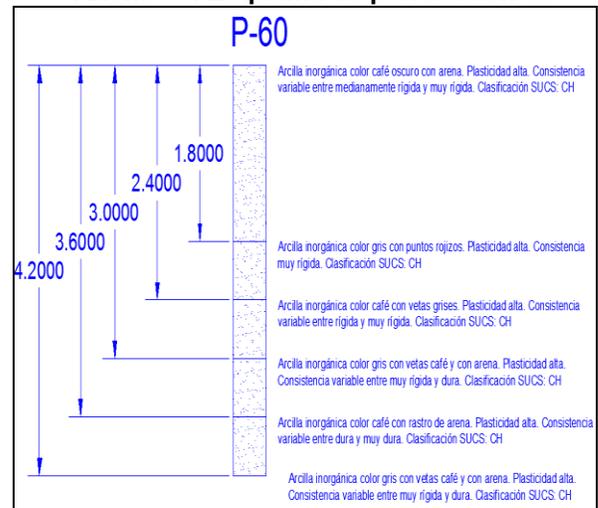
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 93. Esquema de perforación 58



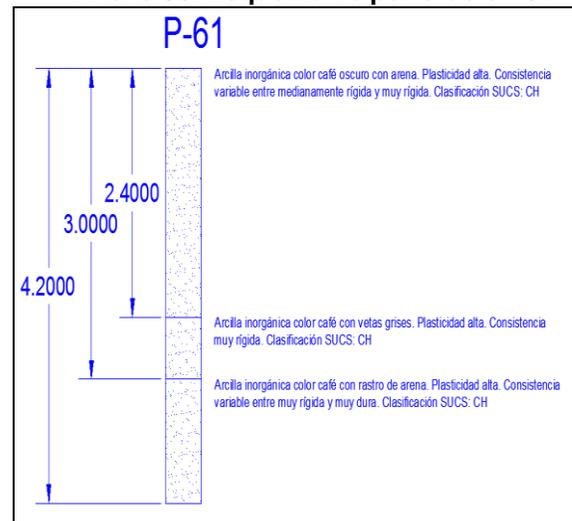
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 95. Esquema de perforación 60



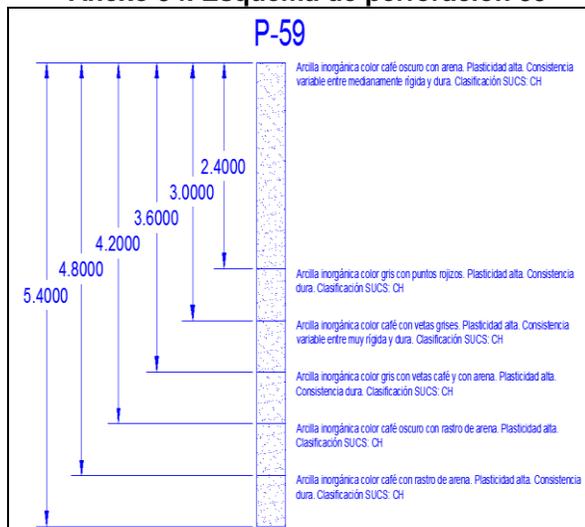
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 96. Esquema de perforación 61



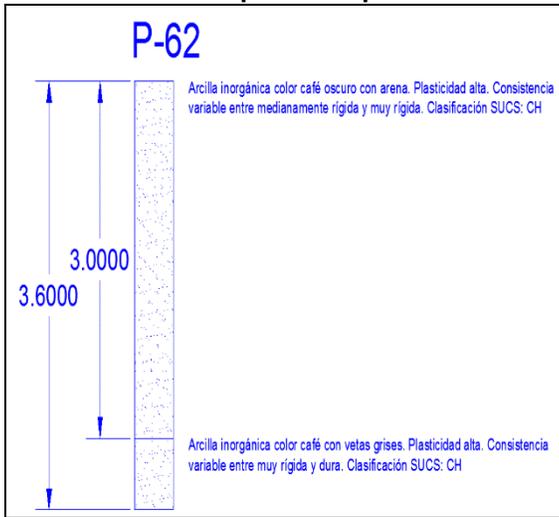
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 94. Esquema de perforación 59



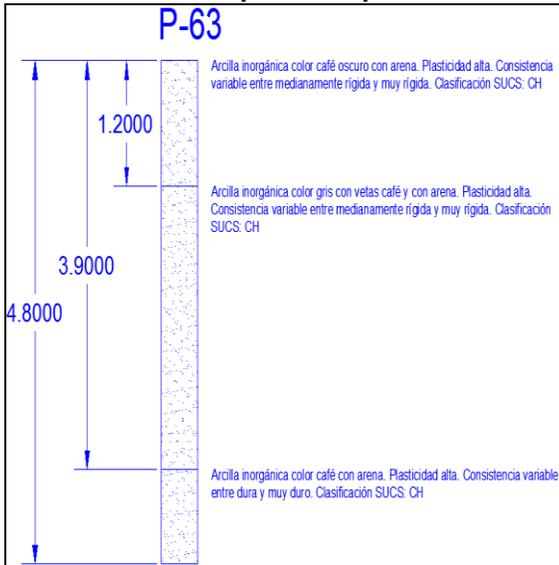
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 97. Esquema de perforación 62**



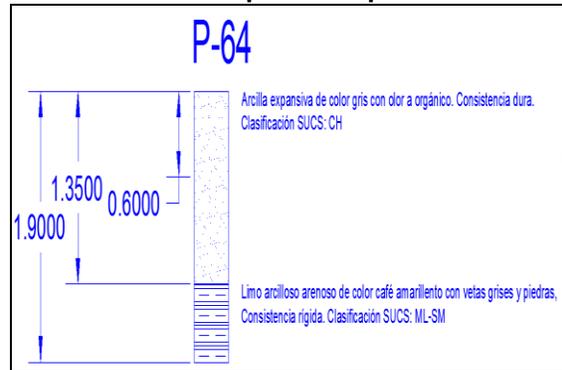
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 98. Esquema de perforación 63**



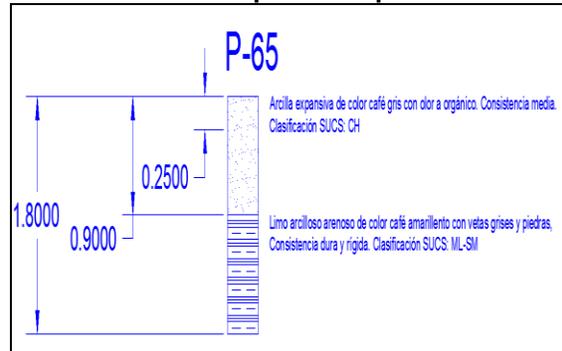
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 99. Esquema de perforación 64**



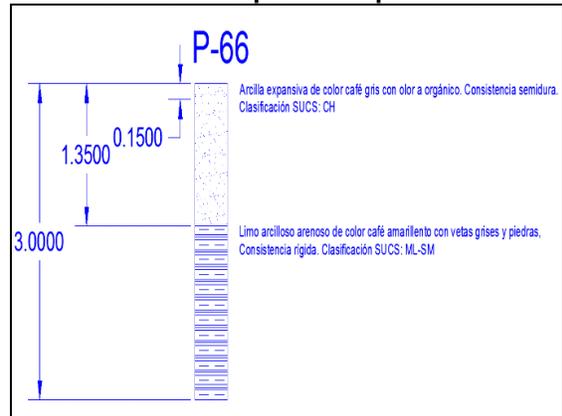
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 100. Esquema de perforación 65**



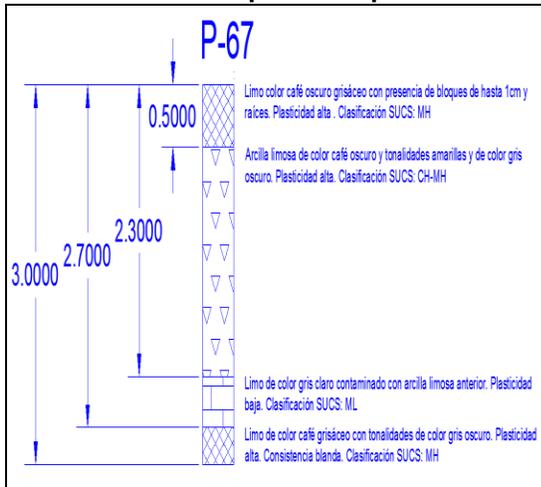
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 101. Esquema de perforación 66**



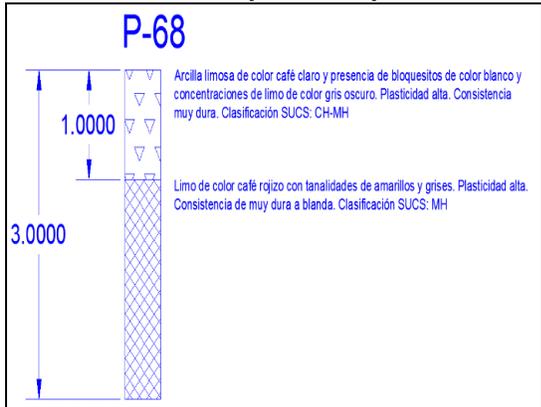
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 102. Esquema de perforación 67**



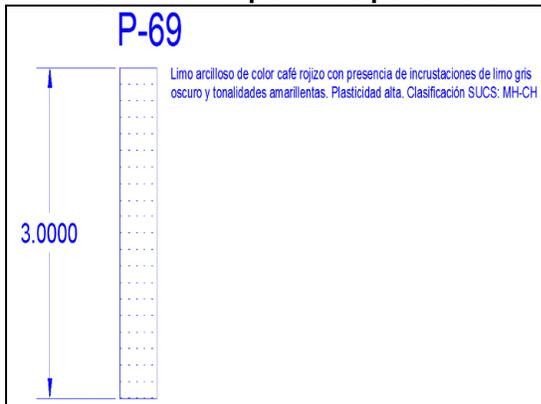
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 103. Esquema de perforación 68**



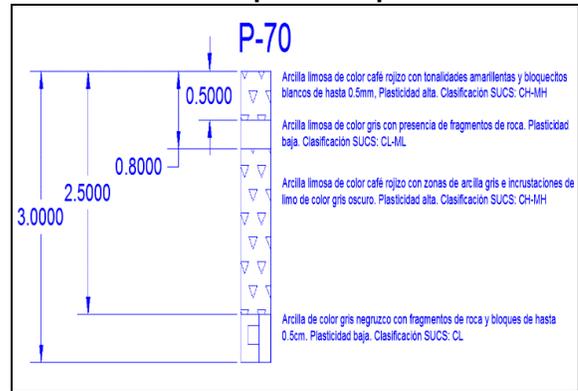
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 104. Esquema de perforación 69**



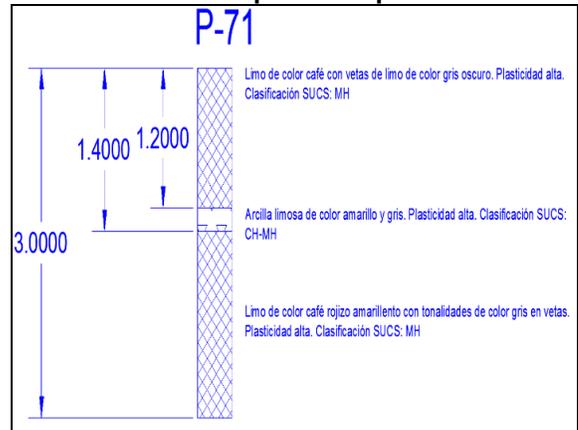
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 105. Esquema de perforación 70**



Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 106. Esquema de perforación 71**



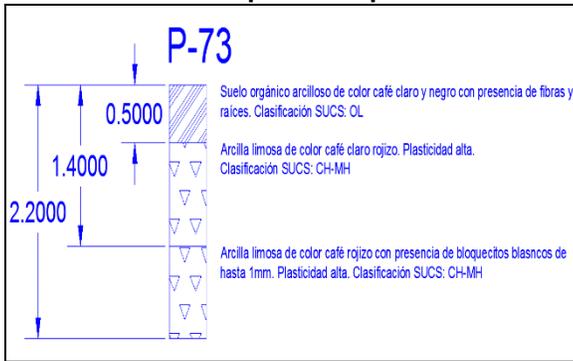
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 107. Esquema de perforación 72**



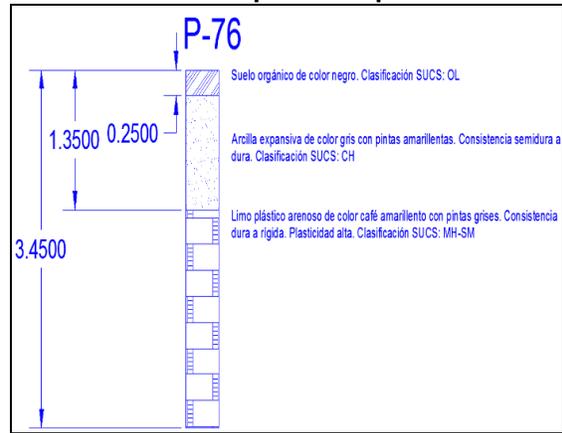
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 108. Esquema de perforación 73**



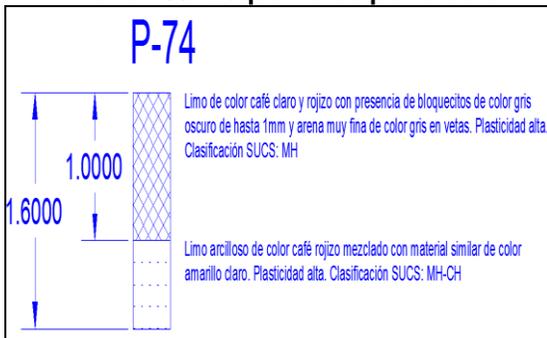
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 111. Esquema de perforación 76**



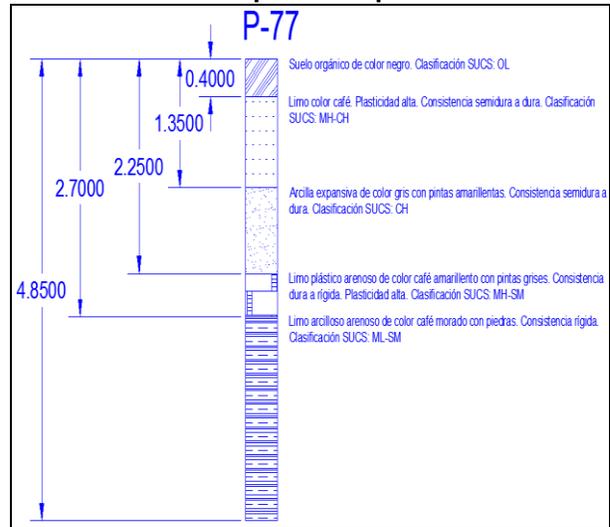
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 109. Esquema de perforación 74**



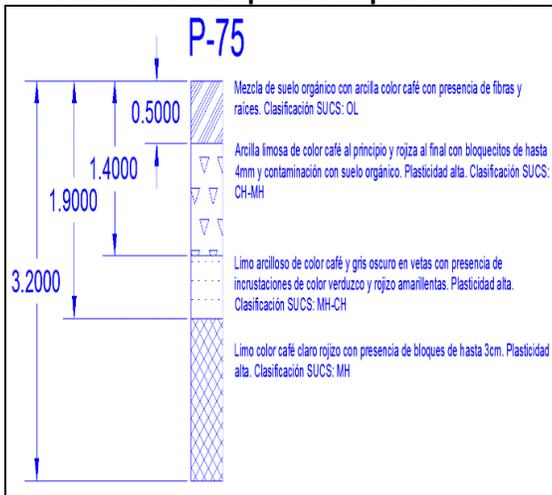
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 112. Esquema de perforación 77**



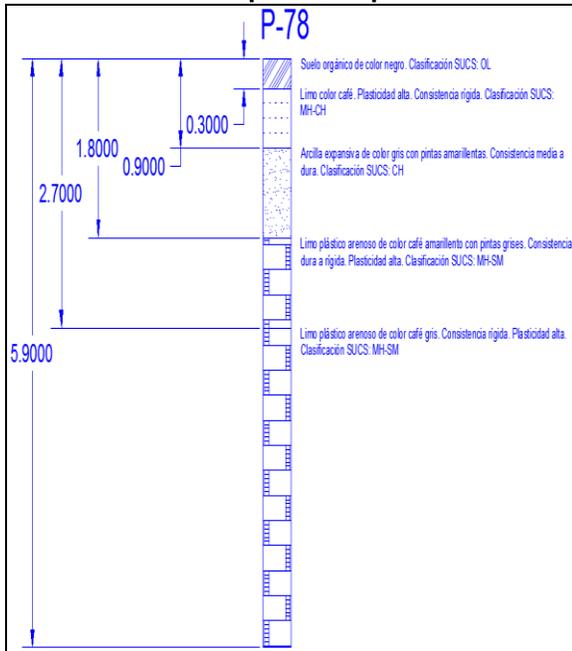
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 110. Esquema de perforación 75**



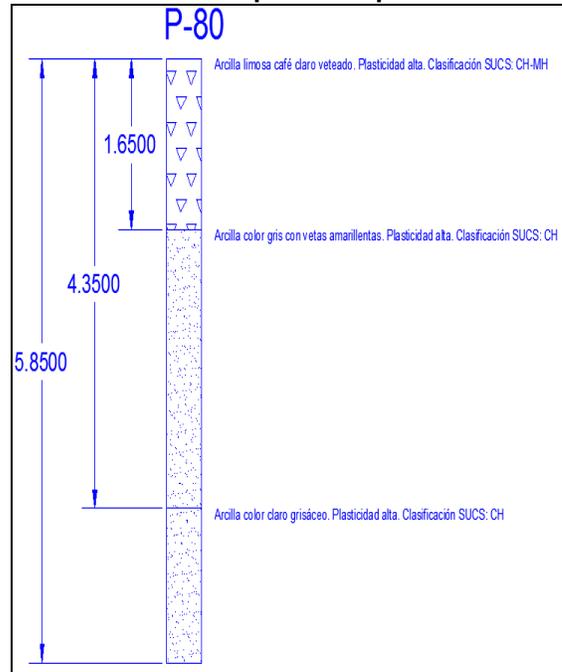
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 113. Esquema de perforación 78**



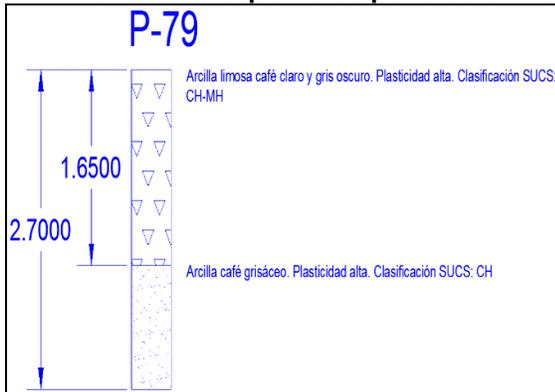
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 115. Esquema de perforación 80**



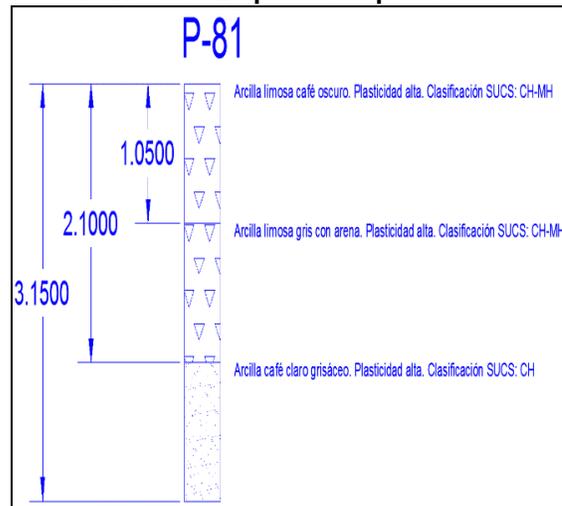
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 114. Esquema de perforación 79**



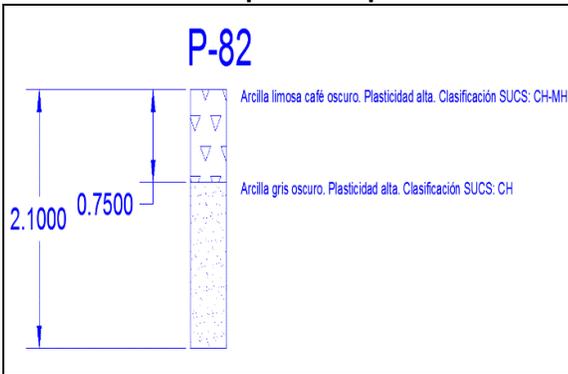
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 116. Esquema de perforación 81**



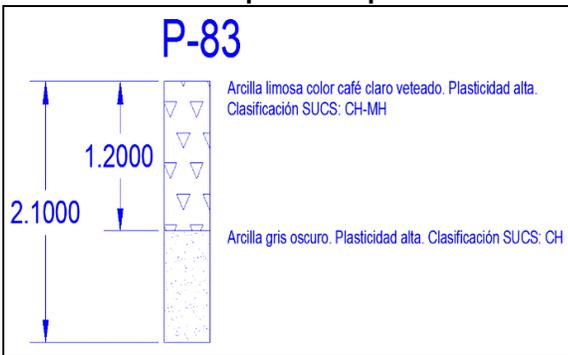
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 117. Esquema de perforación 82**



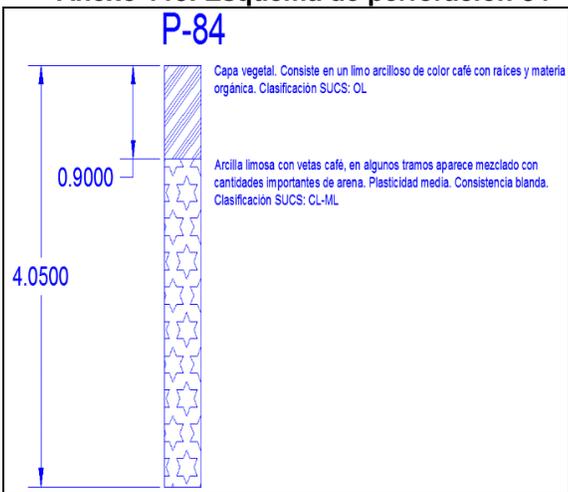
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 118. Esquema de perforación 83**



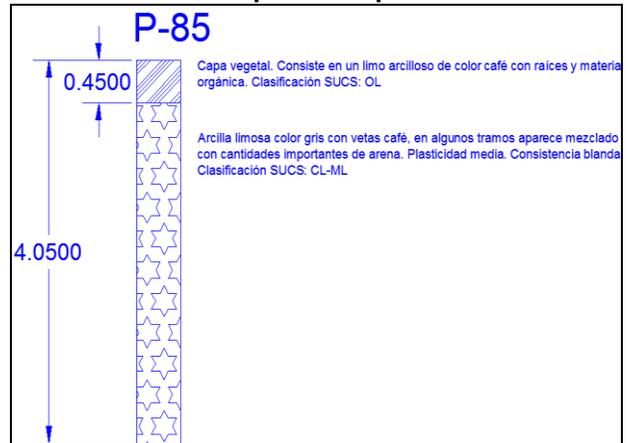
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 119. Esquema de perforación 84**



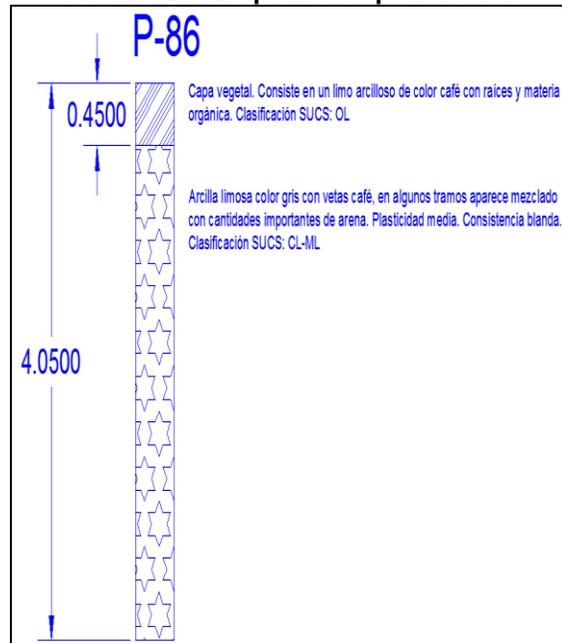
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 120. Esquema de perforación 85**



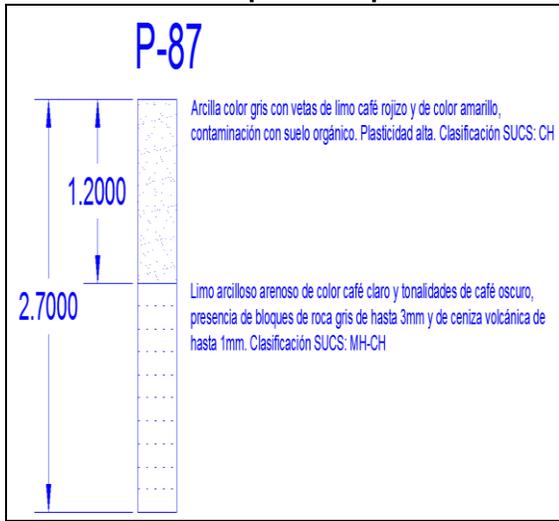
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 121. Esquema de perforación 86**



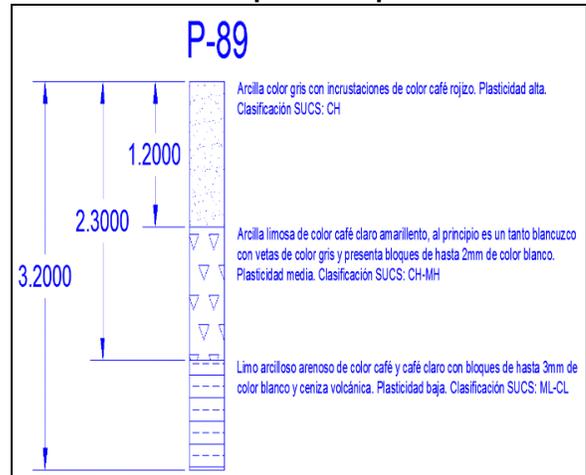
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 122. Esquema de perforación 87**



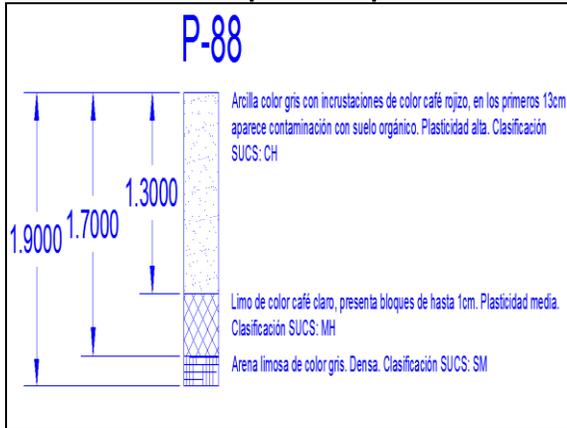
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 124. Esquema de perforación 89**



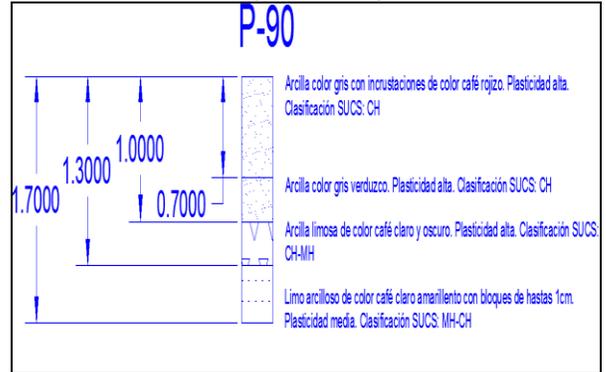
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 123. Esquema de perforación 88**



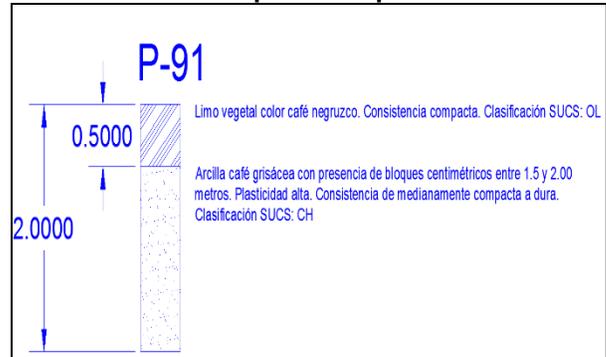
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 125. Esquema de perforación 90**



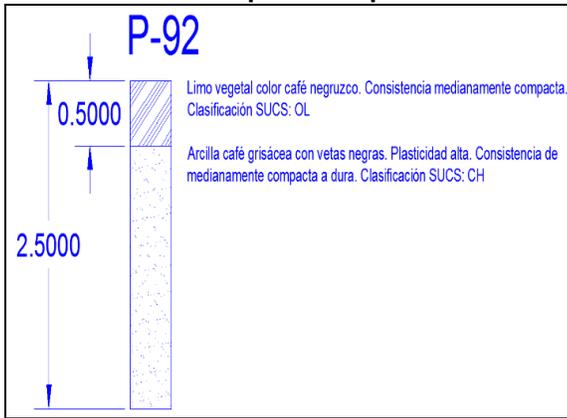
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 126. Esquema de perforación 91**



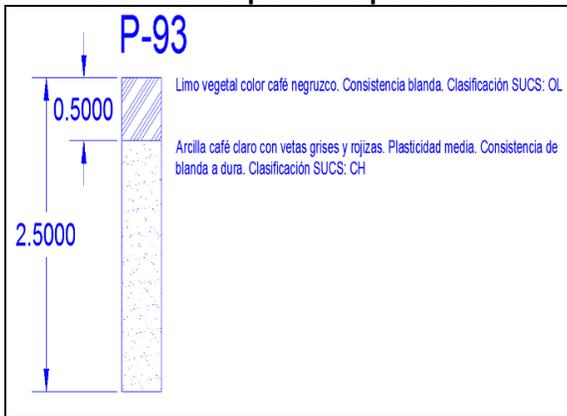
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 127. Esquema de perforación 92**



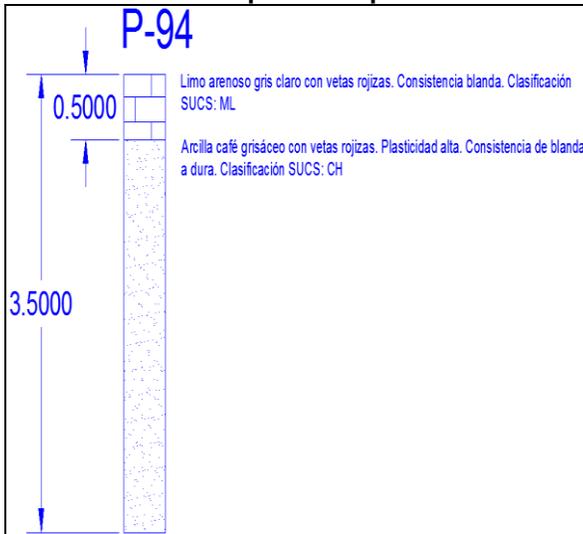
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 128. Esquema de perforación 93**



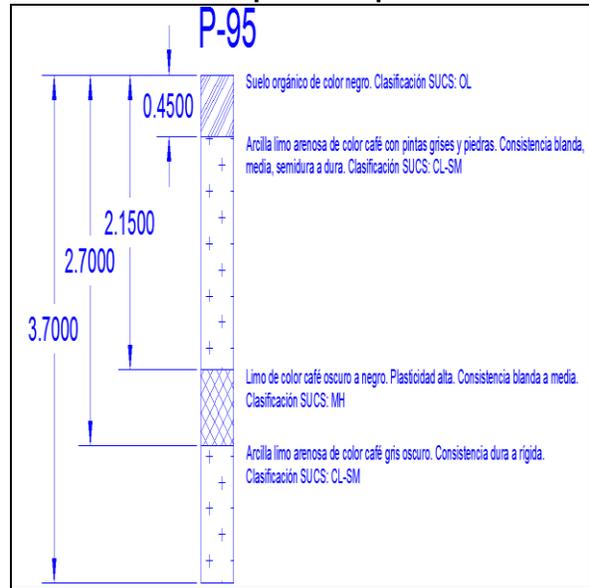
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 129. Esquema de perforación 94**



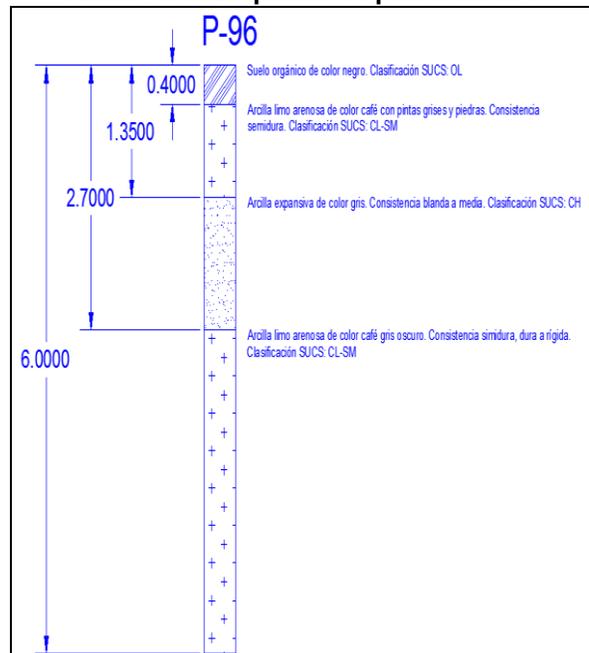
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 130. Esquema de perforación 95**



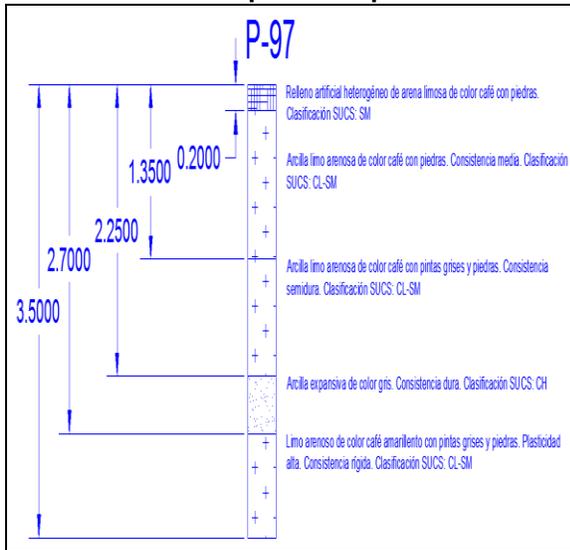
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 131. Esquema de perforación 96**



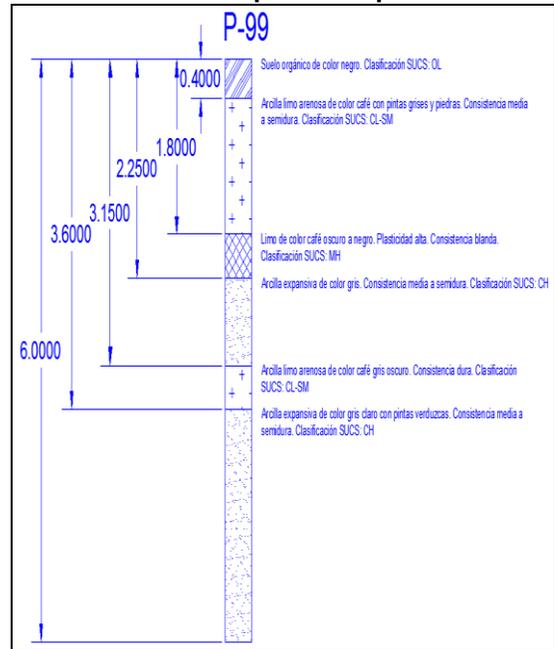
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 132. Esquema de perforación 97**



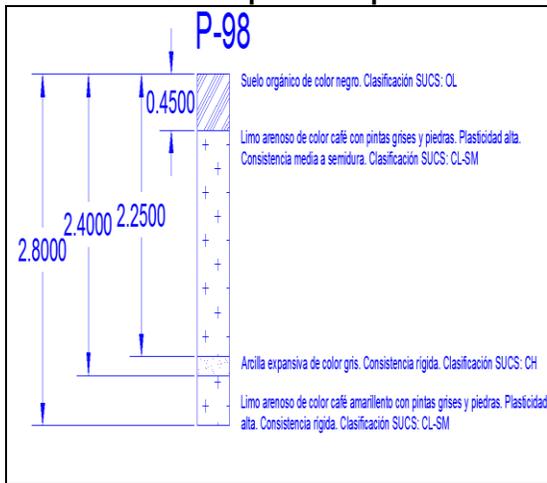
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 134. Esquema de perforación 99**



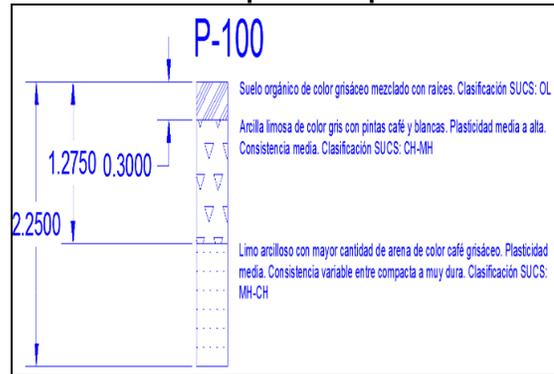
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 133. Esquema de perforación 98**



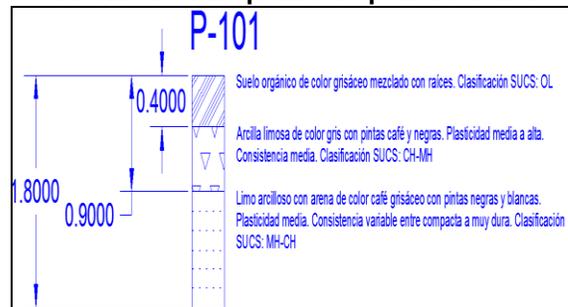
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 135. Esquema de perforación 100**



Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 136. Esquema de perforación 101**



Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 137. Esquema de perforación 102**



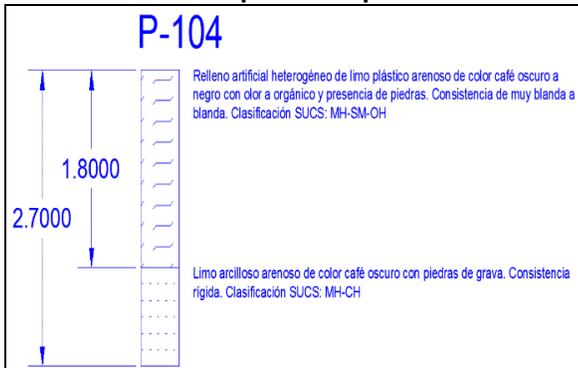
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 138. Esquema de perforación 103**



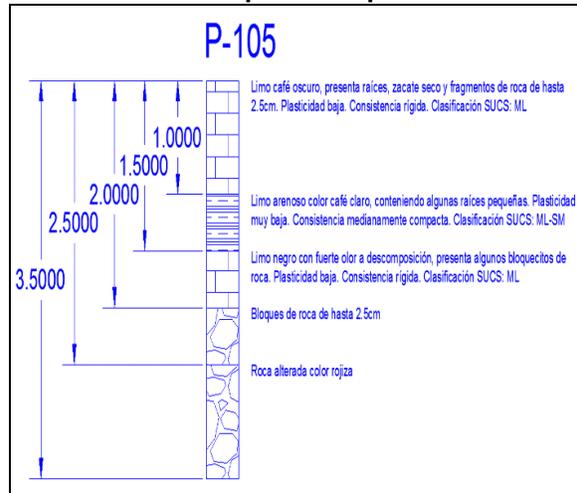
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 139. Esquema de perforación 104**



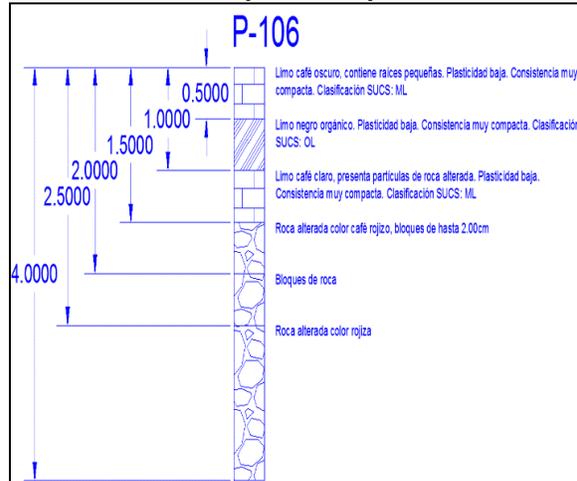
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 140. Esquema de perforación 105**



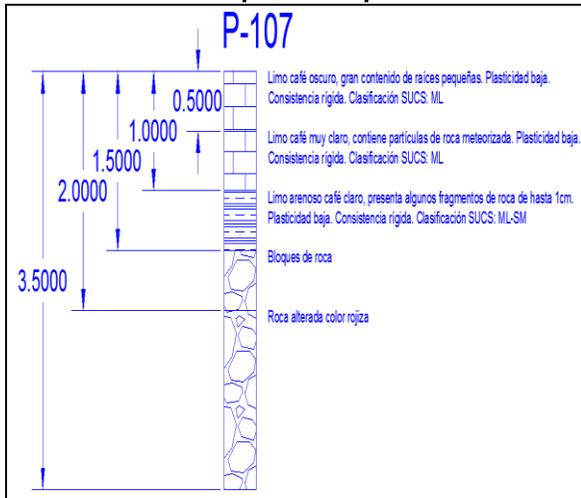
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 141. Esquema de perforación 106**



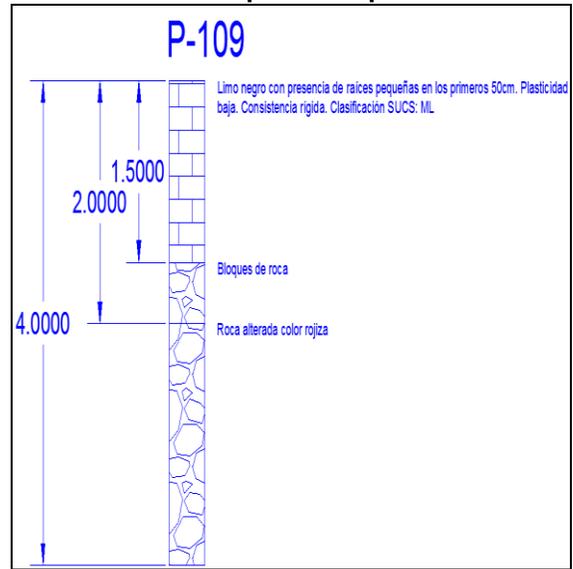
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 142. Esquema de perforación 107



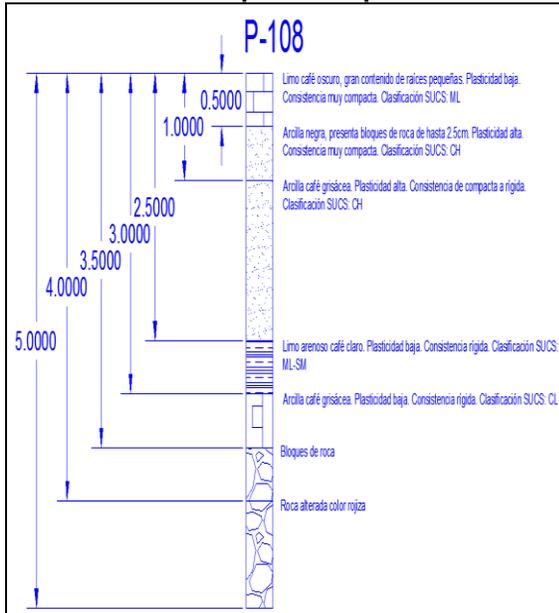
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 144. Esquema de perforación 109



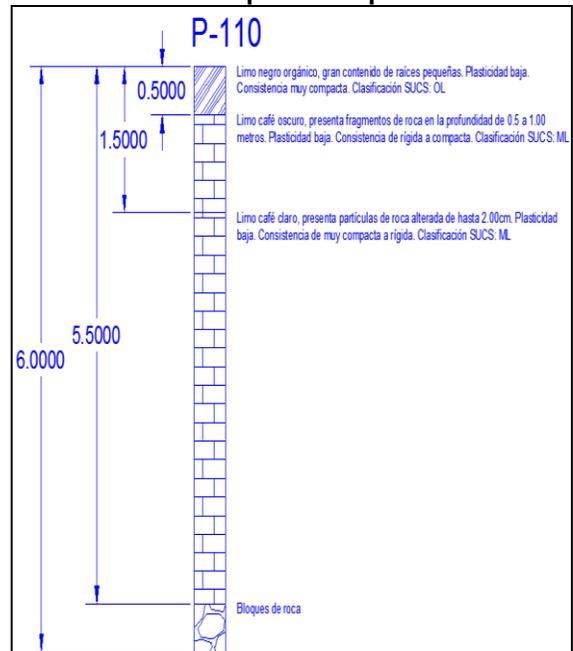
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 143. Esquema de perforación 108



Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

### Anexo 145. Esquema de perforación 110



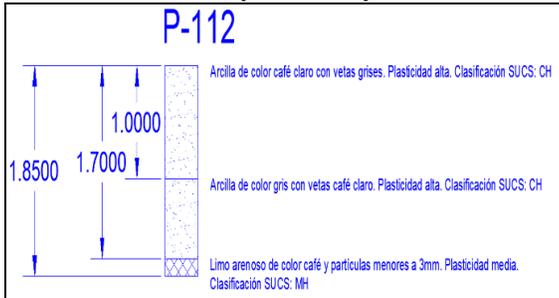
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 146. Esquema de perforación 111**



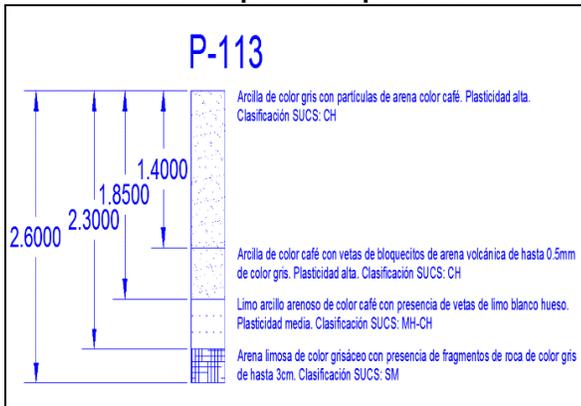
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 147. Esquema de perforación 112**



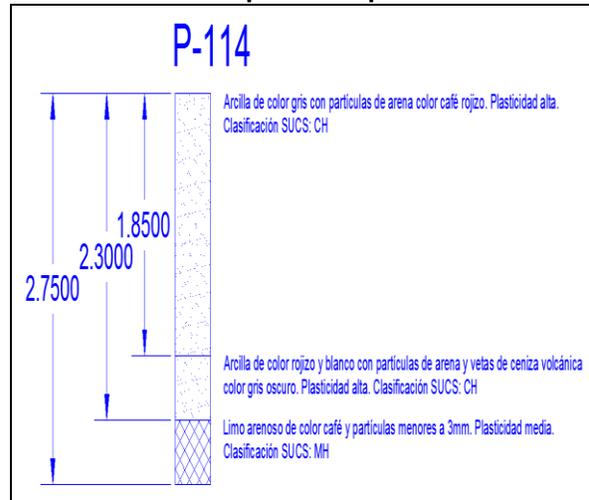
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 148. Esquema de perforación 113**



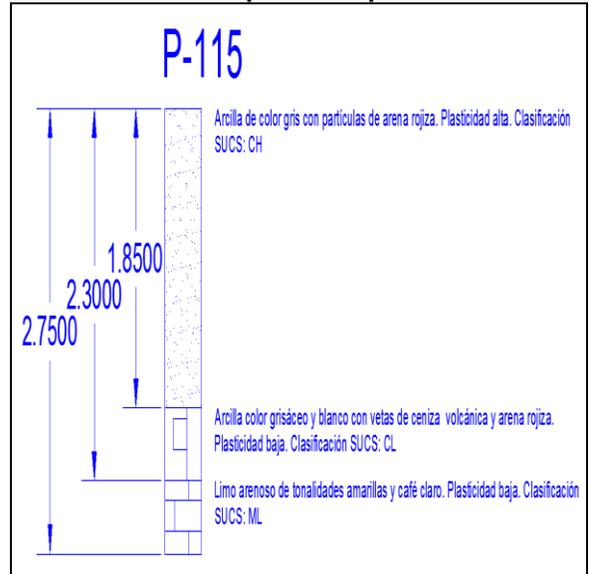
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 149. Esquema de perforación 114**



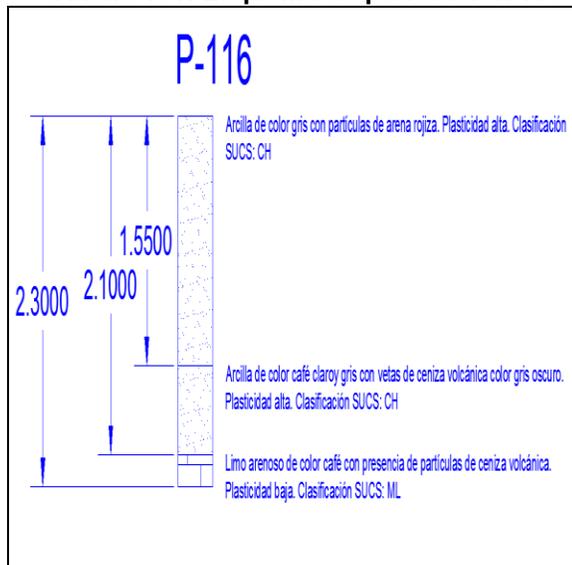
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 150. Esquema de perforación 115**



Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 151. Esquema de perforación 116**



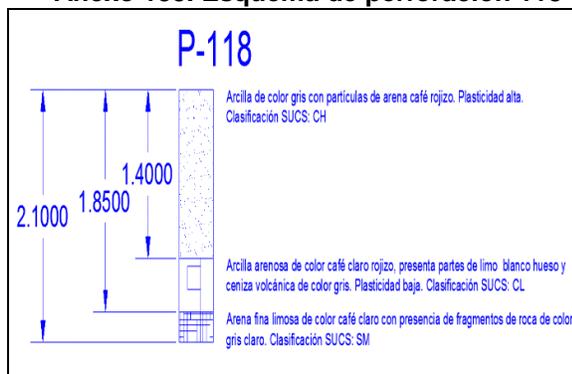
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 152. Esquema de perforación 117**



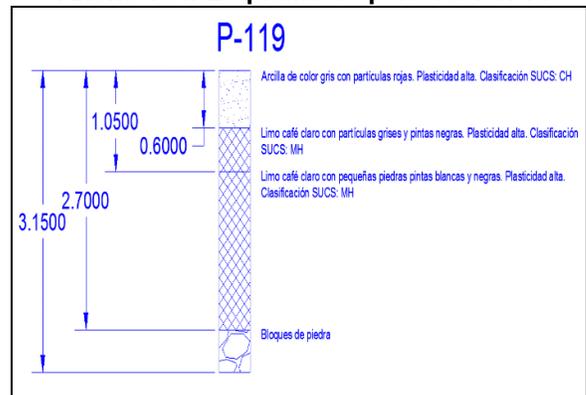
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 153. Esquema de perforación 118**



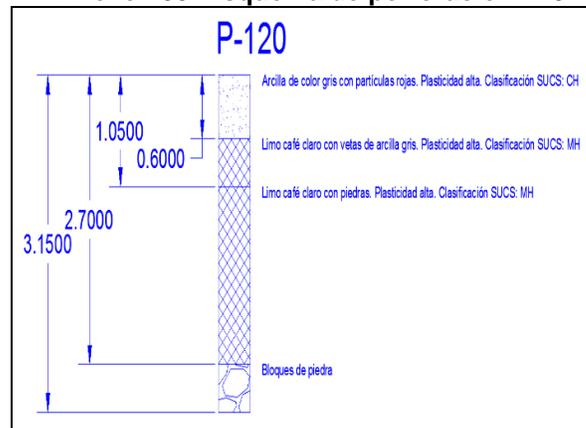
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 154. Esquema de perforación 119**



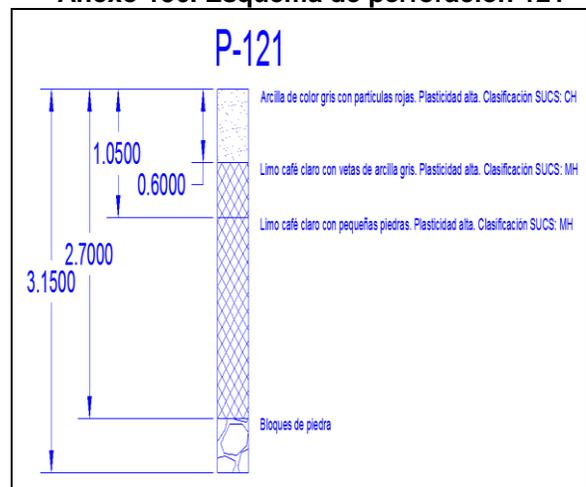
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 155. Esquema de perforación 120**



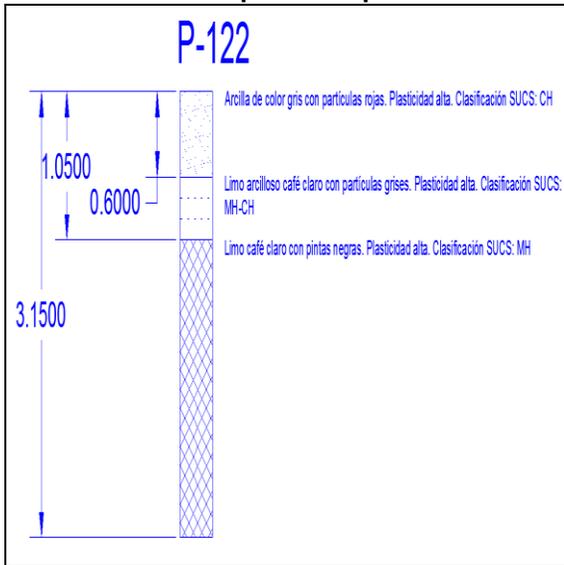
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 156. Esquema de perforación 121**



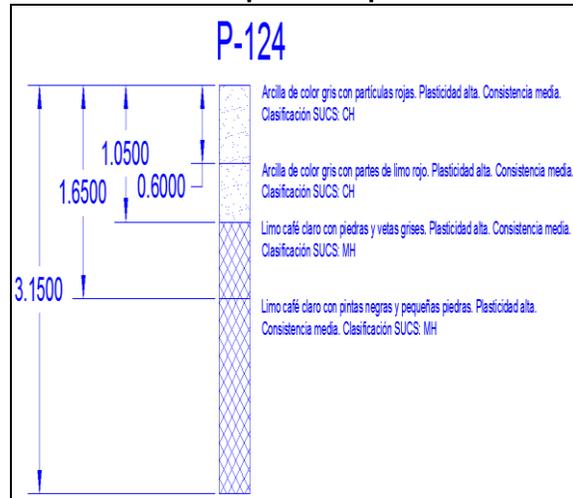
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 157. Esquema de perforación 122**



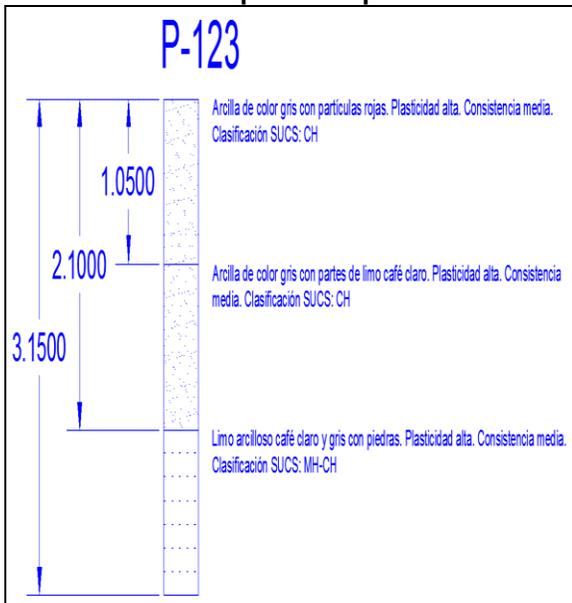
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 159. Esquema de perforación 124**



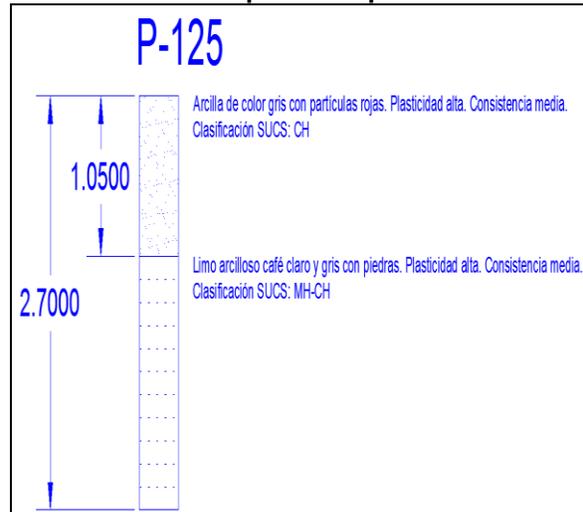
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 158. Esquema de perforación 123**



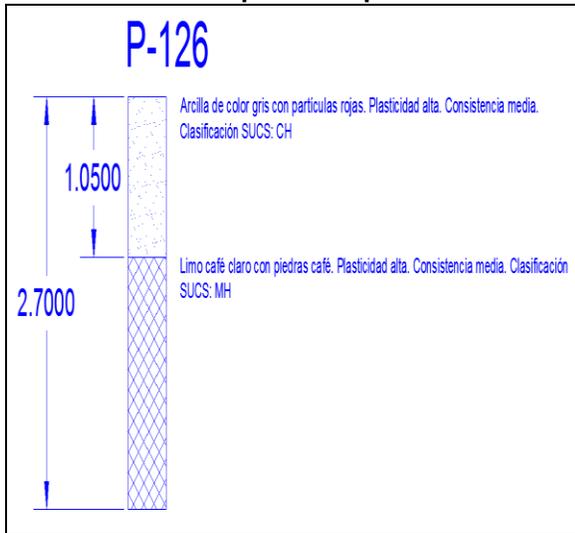
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 160. Esquema de perforación 125**



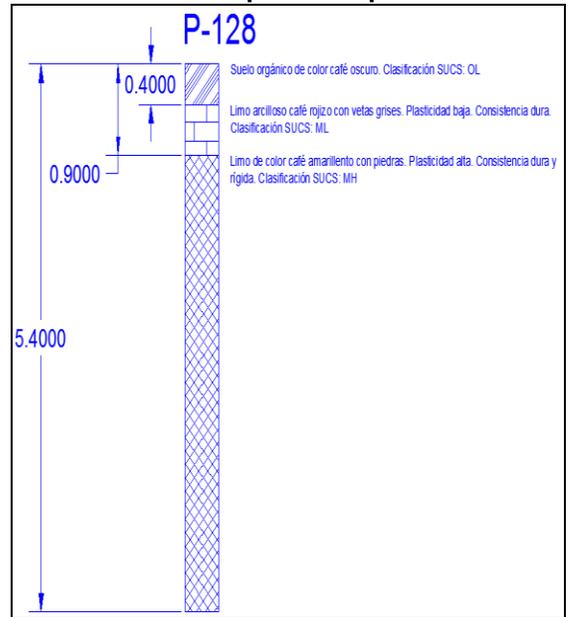
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 161. Esquema de perforación 126**



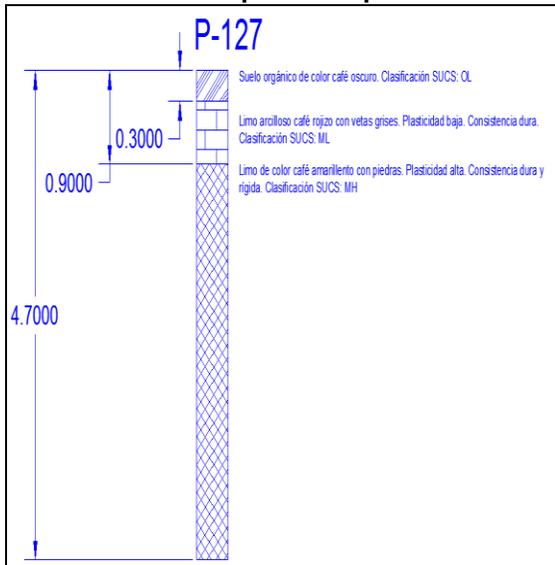
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 163. Esquema de perforación 128**



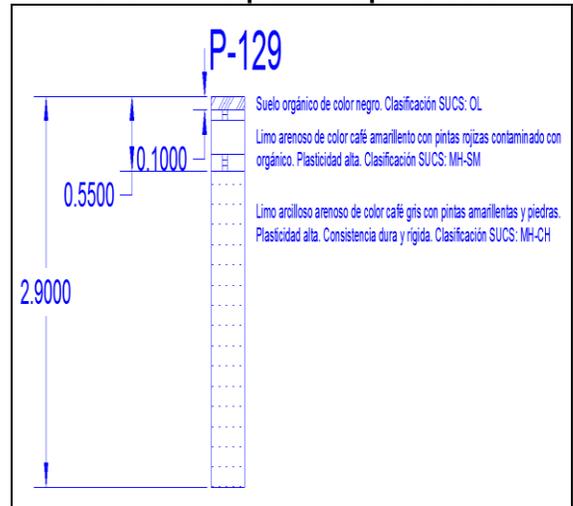
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 162. Esquema de perforación 127**



Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 164. Esquema de perforación 129**



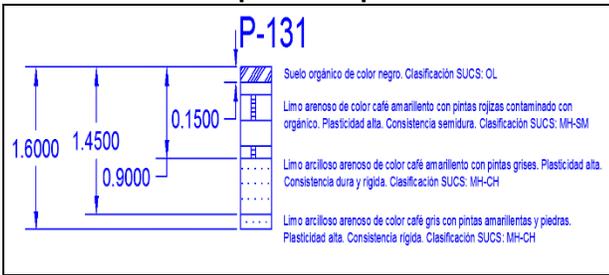
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 165. Esquema de perforación 130**



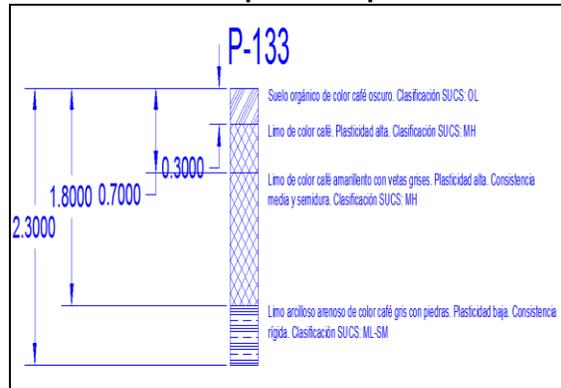
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 166. Esquema de perforación 131**



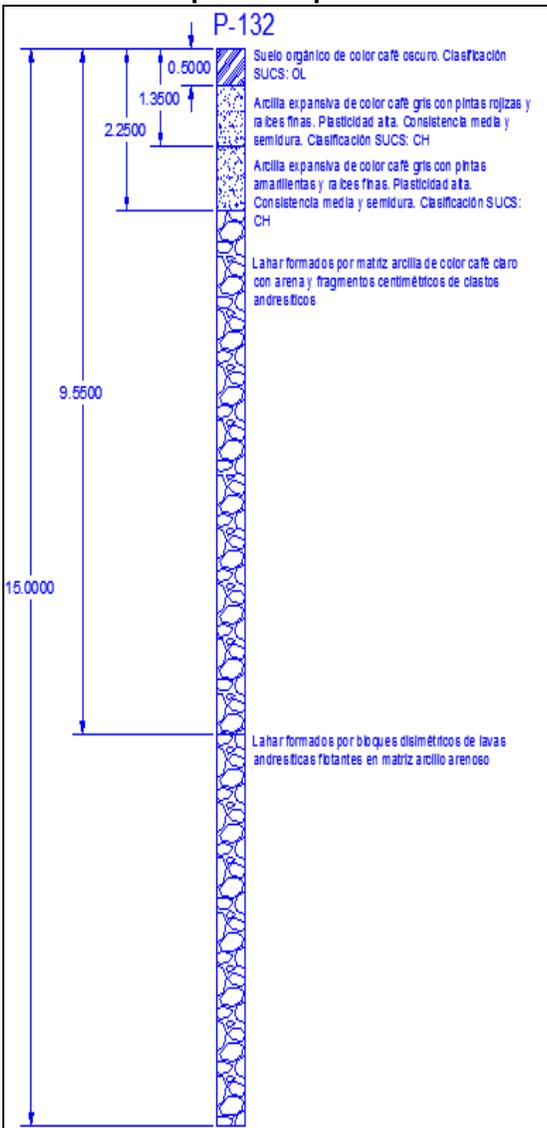
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 168. Esquema de perforación 133**



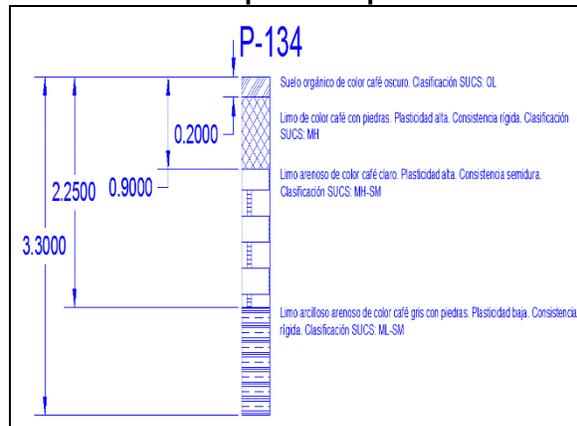
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 167. Esquema de perforación 132**



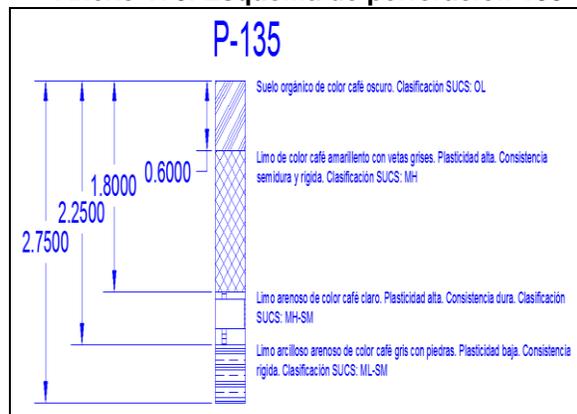
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 169. Esquema de perforación 134**



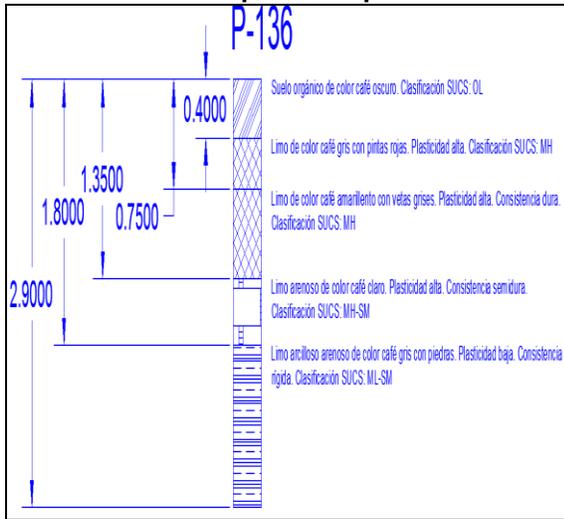
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 170. Esquema de perforación 135**



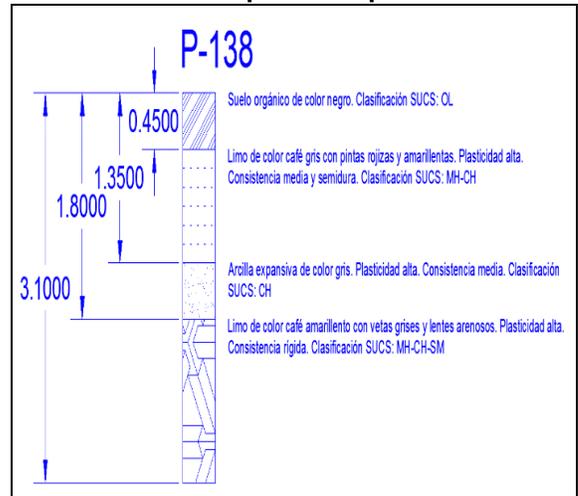
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 171. Esquema de perforación 136**



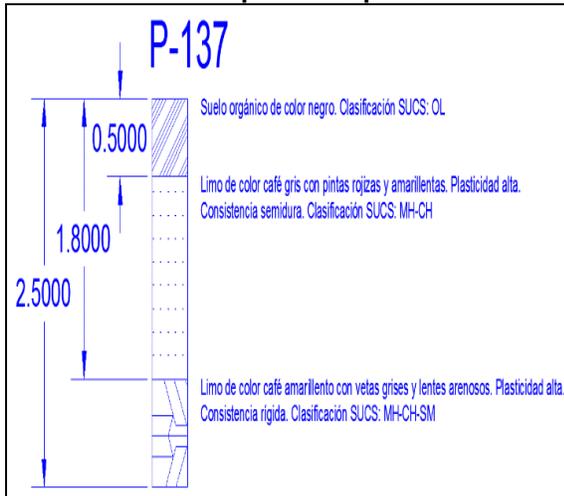
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 173. Esquema de perforación 138**



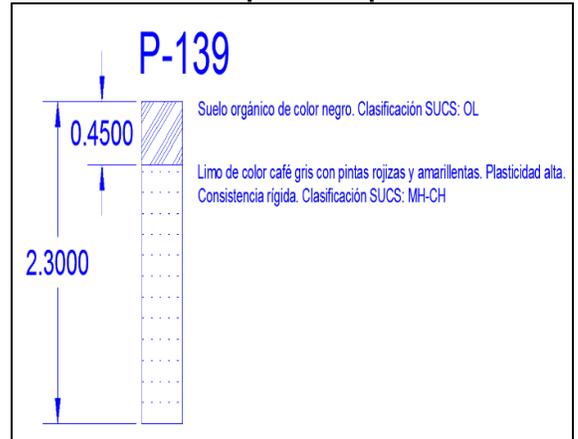
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 172. Esquema de perforación 137**



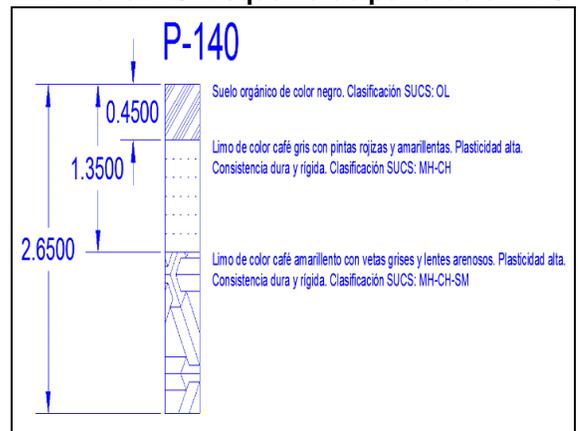
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 174. Esquema de perforación 139**



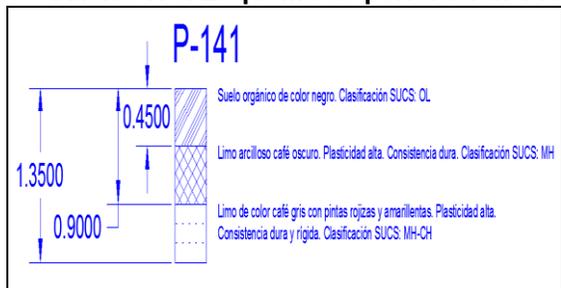
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 175. Esquema de perforación 140**



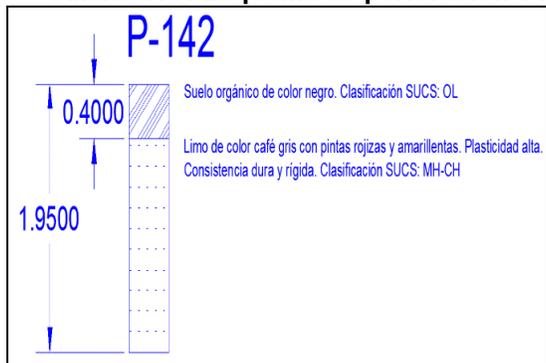
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 176. Esquema de perforación 141**



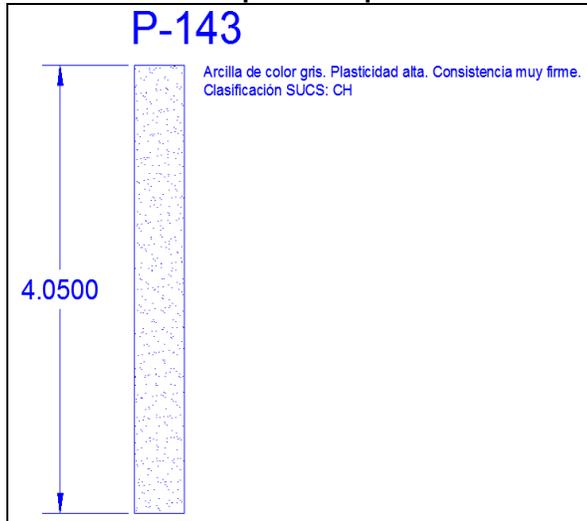
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 177. Esquema de perforación 142**



Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 178. Esquema de perforación 143**



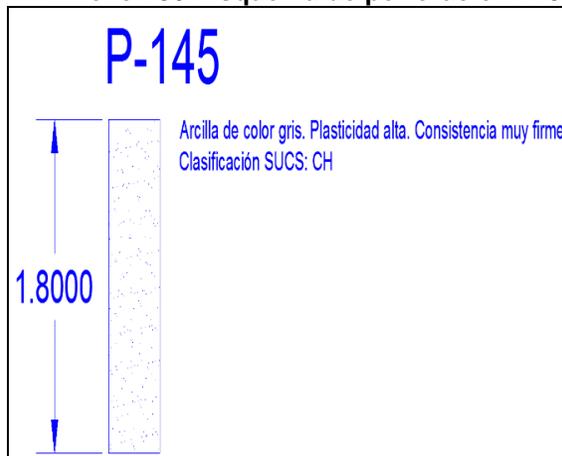
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 179. Esquema de perforación 144**



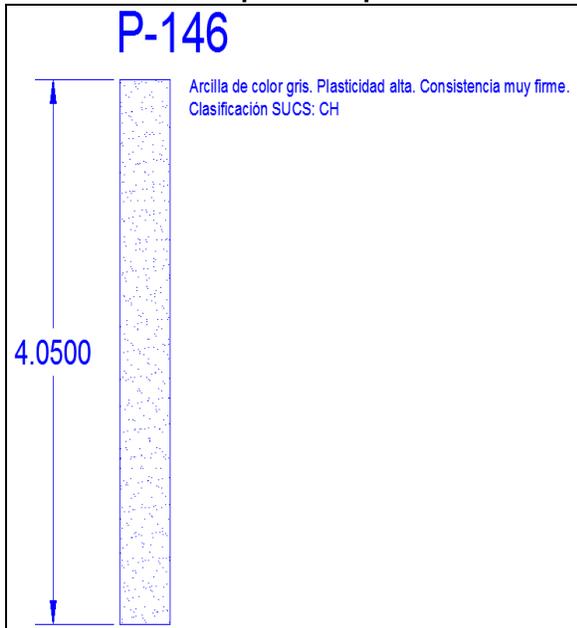
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 180. Esquema de perforación 145**



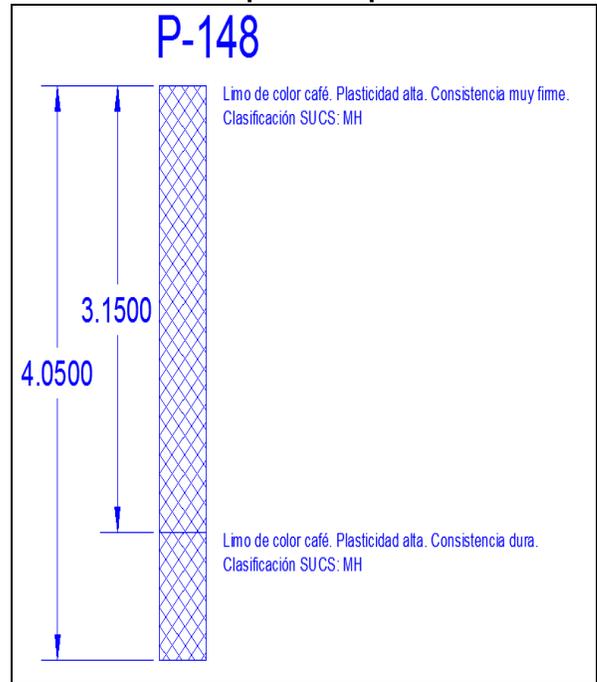
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 181. Esquema de perforación 146**



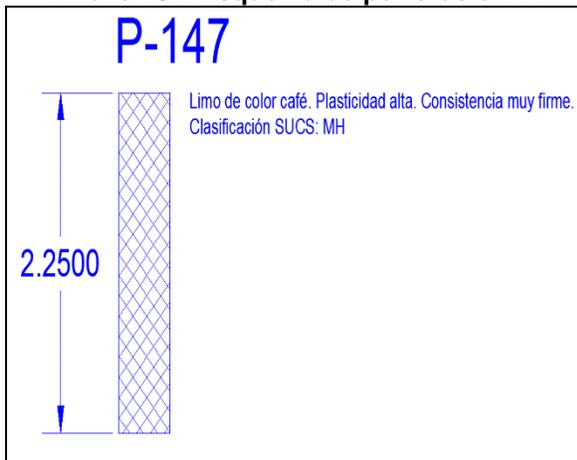
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 183. Esquema de perforación 148**



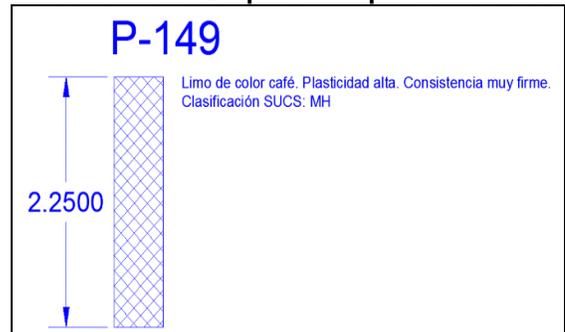
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 182. Esquema de perforación 147**



Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 184. Esquema de perforación 149**



Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 185. Esquema de perforación 150**



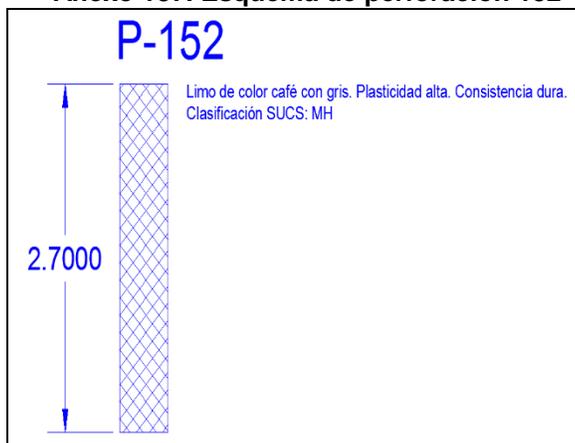
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 186. Esquema de perforación 151**



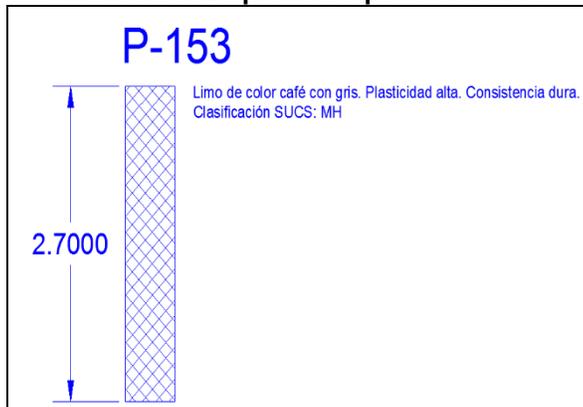
Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 187. Esquema de perforación 152**



Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**Anexo 188. Esquema de perforación 153**



Fuente. Elaboración propia en Autocad 2014

**SIMBOLOGIA**

- OH
- OL
- CH
- MH
- CL
- ML
- SC
- SM
- CH-MH
- MH-CH
- CL-ML
- ML-CL
- CL-SM
- MH-SM
- ML-SM
- MH-CH-SM
- MH-SM-OH
- MATERIAL ROCOSO

# Referencias

- Asociación Costarricense de Geotecnia. 2010. **CÓDIGO DE CIMENTACIONES DE COSTA RICA 2010**. Costa Rica: Editorial Tecnológico de Costa Rica, Cap 1 y 4.
- Villalaz, C. 2004. **MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES**. México: Editorial Limusa, Cap 2 al 6.
- Braja M, Das. 2001. **FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA**. Estados Unidos: Editorial Cengage Learning Latin Am, Cap 1, 2 y 11.
- Denyer, P, Kussmaul, S. 2000. **GEOLOGÍA DE COSTA RICA**. Costa Rica: Editorial Tecnológico de Costa Rica.
- Peck, R, Hanson, W, Thornburn, T. 2004. **INGENIERÍA DE CIMENTACIONES**. México: Editorial Limusa, Cap 1 y 4.
- Naranjo, H, Dranichnikov, T. 2012. **CÁLCULO DE CAPACIDAD PORTANTE BASADO EN GEOFÍSICA Y MÉTODO CONVENCIONAL**. Ecuador: Editorial Universidad Politécnica Salesiana, 72p y 73p.
- Pintos, S. 2012. **PREDICCIÓN GEOESTADÍSTICA: KRIGING SIMPLE, ORDINARIO Y CON TENDENCIA**. Venezuela: Editorial Universidad de Zulia, Cap1 al 3.
- Giraldo, R. 2002. **INTRODUCCIÓN A LA GEOESTADÍSTICA: TEORÍA Y APLICACIÓN**. Colombia: Editorial Universidad Nacional de Colombia, Cap 2 al 4.
- Badillo, J, Rodríguez, R. 2005. **MECÁNICA DE SUELOS: FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA DE SUELOS**. México: Editorial Limusa, Cap 3, 5, 6, 7 y 13.
- Villatorio, M, Henríquez, C, Sancho, F. 2008. **COMPARACIÓN DE LOS INTERPOLADORES IDW Y KRIGING EN LA VARIACIÓN ESPACIAL DE PH, CA, CICE Y P DEL SUELO**. Costa Rica: Universidad de Costa Rica, 96p y 97p.
- Rico, A, Del Castillo, H. 2005. **LA INGENIERÍA DE SUELOS EN LAS VÍAS TERRESTRES: CARRETERAS, FERROCARRILES Y AEROPISTAS**. México: Editorial Limusa, Cap 2.
- Instituto Tecnológico GeoMinero de España. 1994. **MANUAL DE PERFORACIÓN Y VOLADURA DE ROCAS**. España: Editorial Izquierdo S.A.
- American Society for Testing and Materials. 2011. **ASTM D- 1586: STANDARD PENETRATION TEST**. United States of America
- American Society for Testing and Materials. 2007. **ASTM D- 422: STANDARD TEST METHOD FOR PARTICLE SIZE ANALYSIS OF SOILS**. United States of America
- American Society for Testing and Materials. 2010. **ASTM D- 14318: STANDARD TEST METHODS FOR LIQUID LIMIT, PLASTIC LIMIT, AND PLASTICITY INDEX OF SOILS**. United States of America

- American Society for Testing and Materials. 2011. **ASTM D- 2487: STANDARD PRACTICE FOR CLASSIFICATION OF SOILS FOR ENGINEERING PURPOSES (UNIFIED SOIL CLASSIFICATION SYSTEM).** United States of America
- American Society for Testing and Materials. 2010. **ASTM D-2216 : STANDARD TEST METHODS FOR LABORATORY DETERMINATION OF WATER (MOISTURE) CONTENT OF SOIL AND ROCK BY MASS.** United States of America
- American Society for Testing and Materials. 1981. **ASTM D- 702: STANDARD PRACTICE FOR REDUCING SAMPLE OF AGGREGATE TO TEST SIZE QUIZ.** United States of America
- Hastie, T, Tibshirani, R, Friedman, J. 2008. **THE ELEMENTS OF STATISTICAL LEARNING: DATA MINING, INFERENCE, AND PREDICTION.** New York, USA: Editorial Springer.
- Hastie, T, Tibshirani, R, Janes, G, Witten, D. 2014. **AN INTRODUCTION TO STATISTICAL LEARNING WITH APPLICATION IN R.** New York, USA: Editorial Springer
- IMNSA. 1997. **AMPLIACIÓN DE INSTALACIONES (IM-239-97).** Costa Rica
- Castro Y DeLaTorre. 2015. **CALLE DE ACCESO NÚCLEO INTEGRADO DE QUÍMICA AMBIENTAL (15-0247).** Costa Rica.
- Vieto. 2013. **CONSTRUCCIÓN DE UNIDAD DE TRANSPORTE (13-OTS-0236-0140).** Costa Rica.
- IMNSA. 1990. **BIBLIOTECA (IM-298-90).** Costa Rica.
- IP. 2004. **CIENCIAS DEL LENGUAJE (IP-04-76).** Costa Rica.
- IMNSA. 2009. **CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA (IM-09-26).** Costa Rica.
- IMNSA. 2009. **EDIFICIO CENTRO DE LAS ARTES (IM-09-24).** Costa Rica.
- Castro y DeLaTorre. 2014. **EDIFICIO DE 4 PISOS, NÚCLEO INTEGRADO DE QUÍMICA (14-0773).** Costa Rica.
- Vieto. 2016. **EDIFICIO DE 4 NIVELES (16-OTS-0052-2140).** Costa Rica.
- Castro y DeLaTorre. 2014. **EDIFICIO DE 2 NIVELES PARA PARQUEOS Y OFICINAS DE LA UNIDAD DE TRANSPORTE (14-0732).** Costa Rica.
- CECO. 1983. **EDIFICIO DE 3 NIVELES, LABORATORIOS DE FÍSICA Y QUÍMICA.** Costa Rica.
- CECO. 1982. **EDIFICIO DE METALURGIA.** Costa Rica.
- Castro y DeLaTorre. 2013. **ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA (13-0325).** Costa Rica.
- Astel. 1975. **GIMNASIO (3500-75).** Costa Rica.
- Insuma. 2001. **GIMNASIO ASETEC (382-01).** Costa Rica.
- CECO. 1982. **LABORATORIO DE CONSTRUCCIÓN** Costa Rica.
- IMNSA. 2008. **NUEVO EDIFICIO DE ELECTRÓNICA (IM-08-06).** Costa Rica.
- Castro y DeLaTorre. 2012. **PARQUEO CENTRO DE LA ARTES, CAFETERÍA, ÁREA DEPORTIVA (12-0678).** Costa Rica.
- Insuma. 1995. **PAVIMENTO RÍGIDO, ENTRADA PRINCIPAL DEL TEC (465-95).** Costa Rica.
- Castro y DeLaTorre. 2012. **PUENTE DE ACCESO NORTE, ORIENTAL, DULCE NOMBRE (12-0677).** Costa Rica.

- IMNSA. 1993. **RESIDENCIAS ESTUDIANTILES.**  
Costa Rica.
- CECO. 1982. **TALLER DE ASERRÍO Y  
MADERAS.** Costa Rica.
- Astel. 1975. **TALLER DE LABORATORIO DE  
MADERA (0643-75).** Costa Rica.
- Astel. 1975. **TALLER DE INDUSTRIALIZACIÓN  
DE LA MADERA (0642-75)** Costa Rica.
- Castro y DeLaTorre. 2016. **TANQUE ELEVADO  
PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA  
POTABLE (16- 0115).** Costa Rica.
- Castro y DeLaTorre. 2014. **TANQUE  
ENTERRADO PARA  
ALMACENAMIENTO DE AGUA  
POTABLE 144 M<sup>3</sup>, CASETA DE  
VÁLVULAS (14-0405).** Costa Rica.
- Castro y DeLaTorre. 2014. **3 EDIFICIOS DE 5  
PISOS, NÚCLEO INTEGRADO DE  
TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y  
TELECOMUNICACIÓN (14-0538).**  
Costa Rica.
- Castro y DeLaTorre. 2015. **NUEVA BIBLIOTECA  
(15-0349).** Costa Rica.
- Castro y DeLaTorre. 2014. **EDIFICIO DE 3  
PISOS, NÚCLEO INTEGRADO DE  
DISEÑO INDUSTRIAL (14-0247).** Costa  
Rica.
- Bowles, J. 1997. **FUNDATION ANALYSIS AND  
DESIGN, FIFTH EDITION.** Singapore:  
Editorial McGraw-Hill