



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“Desarrollo de Mapas Digitales de los parámetros Típicos
del Suelo caso de Estudio Ciudad de Guayaquil”**

TESIS DE GRADO

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentada por:

Esthela Adelaida Criollo Pallazhco

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2004

AGRADECIMIENTO

A Dios por el regalo de la vida, a mis hermanos Elías y Azucena por su apoyo incondicional y a todas las personas que de uno u otro modo contribuyeron con la elaboración de este trabajo y especialmente al Ing. David Matamoros Director de Tesis, Ing. Raul Maruri, Ing. Victor Moreno, Ing. Eduardo Pesantes por su colaboración en los datos.

A mi familia por su apoyo incondicional.

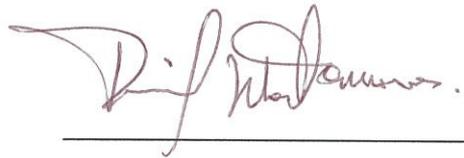
DEDICATORIA

A mis padres Manuel y Maria,
a mis hermanos Elías,
Azucena, Alejandro y Modesto
forjadores de mi vida, a mis
amigos.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



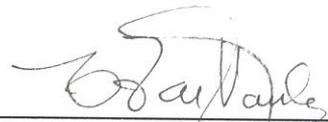
Ing. Julio Rodríguez Ríos
SUBDECANO FICT
PRESIDENTE



Dr. David Matamoros C.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Jorge Calle
VOCAL



Ing. Carmen Terreros.
VOCAL

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”



Esthela Criollo Pallazhco.

RESUMEN

Se han realizado estudios para zonificar el subsuelo de la ciudad de Guayaquil pero simplemente de una forma general. En Ingeniería Civil, los perfiles estratigráficos y la clasificación geotécnica del suelo son muy importantes en la toma de decisiones del profesional.

El uso de nuevas técnicas y tecnología en el área de Mecánica de Suelos ha ido incrementando, una de estas herramientas son los Sistemas de Información Geográfica que ayuda a la elaboración de mapas geotécnicos.

La presente tesis presenta la generación de mapas geotécnicos basados en datos disponibles en los laboratorios de suelo de la ciudad de Guayaquil, utilizando los Sistemas de Información Geográfica. Los datos obtenidos en los laboratorios son parámetros básicos como granulometría, límites de Atterberg, clasificación de suelos SUCS, contenido de humedad y resistencia a la compresión simple.

El propósito inicial fue realizar mapas geotécnicos de toda la ciudad de Guayaquil, pero la falta de información de datos influyó en reducir el área de estudio basándose únicamente en la información colectada que está delimitada por las siguientes coordenadas:

UTM Coordenadas	
Norte	9761700
Este	625500
Sur	9754600
Oeste	620000

Esta área representa el 11.5% del área urbana de la ciudad de Guayaquil.

Se estructuró una base de datos que presenta la ubicación de las perforaciones y los parámetros geomecánicos obtenidos.

Los mapas generados son de tipo raster, Para producir estos mapas se probaron varios métodos de interpolación. La elección de mejor método de interpolación dependió de que tan buen ajustado estén entre los datos observado con los estimados.

La generación de los mapas temáticos para cada parámetro geomecánico obtenido se realizó a diferentes profundidades establecidos por medios de rangos. Los mapas representan la variabilidad espacial tanto superficialmente como en profundidad dentro del área seleccionada.

Finalmente el desarrollo de esta tesis permitirá usar su resultados de una manera directa (interactuando con los mapas), en futuros proyectos de aspecto geotécnico del suelo.

El uso de estos mapas geotécnicos puede ayudar a optimizar futuras exploración de suelos en la ciudad con detalles como el tipo de suelo que se espera encontrar. Por lo tanto, la planificación podría optimizar la profundidad del muestreo, número de muestras por sondeo, número de sondeos, etc

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	I
INDICE GENERAL	IV
ABREVIATURAS	VII
INDICE DE FIGURAS	VIII
INDICE DE TABLAS	X
CAPITULO 1	
1 INTRODUCCION.	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Objetivos	3
1.3 Justificación	4
1.4 Selección del área de estudio	5
 CAPÍTULO 2	
2 GENERALIDADES TEORICAS	8
2.1 Sistema de Información Geográfico	10
2.1.1 ¿Qué es un SIG?	11
2.1.2 ¿Qué se necesita para utilizar un SIG?	11
2.1.3 Estructura típica de un SIG	13
2.1.4 ¿Qué se puede hacer en un SIG	22
2.2 Tipos de Mapas de Suelo	23
2.2.1 Por su escala	23
2.2.2 Por su objetivo	24
2.3 Proceso de Elaboración de los Mapas	26
2.3.1 Fase de campo	26
2.3.2 Fase de interpretación de datos de campo	28
2.4 Otras consideraciones en la Elaboración de Mapas	37
2.4.1 Uso final de los mapas	37

	Pág.
2.4.2 Clasificación de Suelos	39
2.5 Comentario final acerca de la revisión bibliográfica	50
CAPÍTULO 3	
3 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	52
3.1 Introducción	52
3.2 Definición del problema	55
3.3 Información de Laboratorios de Mecánica de Suelos	57
3.4 Procesamiento de datos	61
3.4.1 Metodología en la Información recopilada	61
3.4.2 Asignación de valores en casos especiales	67
3.4.3 Metodología en la generación del mapa de la ciudad de Guayaquil	68
CAPÍTULO 4	
4 ELABORACION DE MAPAS DIGITALES	75
4.1 Selección del área de Interpolación	76
4.1.1 Densidad de datos	77
4.2 Proceso de Interpolación	84
4.2.1 Errores	87
4.2.2 Método de Interpolación usado	92
4.3 Resultados	95
CAPÍTULO 5	
5 POTENCIALES APLICACIONES	
5.1 Interacción directa con los Mapas Digitales	104
5.2 Zonificación Geotécnica	106
5.3 Perfiles de suelo	

	Pág.
CAPITULO 6	
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	118
6.1 Conclusiones	118
6.2 Recomendaciones	120
BIBLIOGRAFÍA	121
ANEXOS	
ANEXO A: Gráfica de densidad de datos de cada parámetro geomecánico	
ANEXO B : Resumen de los métodos de interpolación realizado para cada parámetro geomecánico	
ANEXO C : Mapas de propiedades generados a partir de la interpolación de datos de cada parámetro geomecánico	

ABREVIATURAS

AASHTO	American Association of State Highway Officials
IDW	Inversa Distan SEIT
Kg/cm ²	Kilogramos sobre centímetros cuadrados
N	Número total de sondeos
NP	Materiales no plásticos
Oi	Valor Observado
Pi	Valor estimado
Qu	Resistencia a la Compresión Simple
SIG	Sistema de información Geográfica (GIS por las siglas en inglés)
SUCS	Sistema Unificado de Suelos
Ton/m ³	Toneladas sobre metros cúbicos
USDA	Clasificación de suelos U.S. Department of Agriculture

INDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Pág.
1.1	Perforaciones realizadas en la Ciudad de Guayaquil	6
2.1	Componentes del SIG	12
2.2	Representación de atributos gráficos y no gráficos	17
2.3	Procedimiento General para la elaboración de un mapa usando SIG	29
2.4	Gráfica de la teoría de la variable regionalizada	32
2.5	Gráfica típica de un semi-variograma	34
2.6	Triángulo de clasificación del suelo según su granulometría de acuerdo USDA	41
2.7	Carta de Plasticidad	45
3.1	Metodología usada en la presente tesis para la elaboración de Mapas geotécnicos. (Criollo, 2002)	54
3.2	Localización General de la Ciudad de Guayaquil (Matamoras et al, 2004)	56
3.3	Ventana de extensiones del Software ArcView	69
3.4	Ventana warp seleccionando las vista inicial y final y la tabla de relación	70
3.5	Ventana de propiedades para determinar las unidades del proyecto	70
3.6	La imagen con sus respectivas coordenadas	71
3.7	Imagen totalmente georeferenciada	72
4.1	Determinación del área de interpolación basada en la información superficie de densidad	78
4.2	Ventana para realizar consultas y discriminación	80
4.3	Separación de datos válidos de no válidos	80
4.4	Ventana de propiedades del análisis	81
4.5	Ventana de cálculo de la densidad de datos	82
4.6	Densidad de datos para el contenido de humedad	83

Figura	Descripción	Pág.
4.7	Criterio usado para seleccionar el mejor método de Interpolación	86
4.8	Ventana de interactiva del interpolador IDW	94
4.9	Mapa raster generado del parámetro Humedad de 0 a 2	94
4.10	Mapa raster del contenido de humedad entre 0 y 2m	96
4.11	Mapa raster del Límite Líquido entre 0 y 2m	97
4.12	Mapa raster del Índice Plástico entre 0 y 2 m	98
4.13	Mapa raster del contenido de grava entre 0 y 2 m	99
4.14	Mapa raster del contenido de Arena entre 0 y 2m	100
4.15	Mapa raster del % contenido de material fino (Arcilla + Limo) entre 0 y 2 m	101
4.16	Mapa raster de la densidad entre 0 y 2 m	102
4.17	Mapa raster de la Resistencia a la Compresión Simple entre 0 y 2 m	103
5.1	Interacción directa con los mapas temáticos	105
5.2	Ecuación usada para la clasificación SUCS	107
5.3	Vista mostrando la activación mapas temáticos	109
5.4	Ventana Map Calculator para introducir la ecuación de la clasificación SUCS	110
5.5	Clasificación SUCS entre 0 y 2m	111
5.6	Clasificación SUCS entre 2 y 4m	112
5.7	Clasificación SUCS entre 4 y 6m	113
5.8	Clasificación SUCS entre 6 y 8m	114
5.9	Clasificación SUCS entre 8 y 10m	115
5.10	Perfil estratigráfico de Sur a Norte a lo largo de la coordenada 623000	117
5.11	Perfil estratigráfico de Oeste a Este a lo largo de la coordenada 9759000	117

INDICE DE TABLAS

Tabla	Descripción	Pág.
2.1	Ejemplo de una red de servicios	16
2.2	Sistema de Clasificación SUCS (suelos finos)	47
2.3	Sistema de Clasificación SUCS (suelos gruesos)	48
3.1	Base de datos de los laboratorios existentes en la ciudad	58
3.2	Total de Perforaciones por empresa	60
3.3	Total de perforaciones georeferenciadas	60
3.4	Total de muestras a diferentes profundidades. (Información cada metro)	62
3.5	Total de muestras en el rango establecido para la base de datos	64
3.6	Descripción de la base de datos	65
3.7	Códigos asignados a los parámetros geomecánicos evaluados y utilizados en la base de datos digital	66
3.8	Porcentajes de datos encontrados por cada parámetro geomecánico de los 585 perforaciones	74
4.1	Coordenadas iniciales donde están todas las perforaciones recopiladas por esta tesis	77
4.2	El limite de coordenadas recomendado para el área de interpolación	79
4.3	Resumen del proceso de interpolación para el contenido de humedad	88
4.4	Resumen del proceso de interpolación para el Límite líquido	89
4.5	Resumen del proceso de interpolación para el Índice plástico	89
4.6	Resumen del proceso de interpolación para el % de finos	90
4.7	Resumen del proceso de interpolación para el Peso unitario	90
4.8	Resumen del proceso de interpolación para la Resistencia a la compresión simple	91
4.9	Resumen del proceso de interpolación para la fracción grueso o Arena	92

Tabla	Descripción	Pág.
4.10	Lista de mapas de propiedades generados a partir del método de interpolación IDW	95
5.1	Codificación usada en la clasificación SUCS	108
5.2	Lista de mapas temáticos de la clasificación SUCS generados a partir de los mapas interpolados	110

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES.

En agosto de 1974, el Departamento de Ingeniería de Geología, Minas y Petróleos del Litoral (ESPOL) realizó estudios estratigráficos, del subsuelo de Guayaquil. El objetivo de dicho estudio fue impulsar programas de investigación aplicada relacionada a aspectos geotécnicos, lo que constituyó la primera parte del proyecto de investigación del subsuelo de la Ciudad de Guayaquil. El estudio comprende la investigación de los siguientes perfiles estratigráficos:

- Perfil Norte-Sur a lo largo de las avenidas Eloy Alfaro – Pedro Carbo– Rocafuerte y Chimborazo;
- Perfil Este – Oeste a lo largo de las Calles Clemente Ballén, y Nicolás Augusto Gonzáles – Vaca Galindo

Ambos perfiles fueron representados en un plano con curvas isópacas de diferenciación de los diferentes estratos existentes.

A partir de esa fecha, se han realizado esfuerzos similares para caracterizar y zonificar el subsuelo de la ciudad de Guayaquil. En el I Simposio Ecuatoriano de Geotecnia, se presentó una zonificación de los Suelos de la Ciudad de Guayaquil (Nieto, 1974). Moreno y Terreros (1988) analizaron la influencia geotécnica de los Esteros y los problemas de asentamiento en la Ciudad de Guayaquil. El enfoque de dicho estudio se basó en la problemática de los asentamientos de edificaciones y la influencia de la expansión del área urbana de la ciudad. Un aspecto importante mencionado en dicho estudio trata sobre el impacto del relleno de esteros existentes y la generación de consecuentes asentamientos en las viviendas construidas en dichas áreas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

La presente tesis tiene por objetivo principal el incentivar a los estudiantes de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra en el uso de nuevas técnicas y tecnologías de investigación en el área de la Mecánica de Suelos. Esta tesis cubre un campo todavía no desarrollado dentro del pensum académico respecto a la utilización de Sistemas de Información Geográfica en la elaboración de mapas geotécnicos.

1.2.2. Objetivos Específicos

Varios objetivos específicos han sido cubiertos por la presente tesis:

- Se establecieron una serie de procedimientos para desarrollar mapas geotécnicos de suelo mediante la utilización de los Sistemas de Información Geográficos.
- Se ha estructurado una base de datos piloto que contiene información de sondeos geotécnicos realizados en la Ciudad de Guayaquil. Debido a un convenio de confidencialidad, se presenta, en dicha base de datos, solamente la ubicación de las perforaciones y los parámetros obtenidos.

- Se elaboraron mapas geotécnicos a nivel piloto de un área específica de la ciudad de Guayaquil. Debido a la falta de información disponible, dichos mapas presentan solamente los parámetros básicos necesarios para una clasificación geotécnica del suelo. Los mapas presentan la variabilidad espacial de dichos parámetros tanto superficialmente como en profundidad del área a ser seleccionada.
- Finalmente, los resultados mostrados por esta tesis servirán a los diferentes laboratorios de mecánica de suelos de la ciudad, así como a consultores y reguladores, en la optimización de sitios de perforación a realizarse en el futuro.

1.3 JUSTIFICACIÓN

En Ingeniería Civil, los perfiles estratigráficos y la zonificación geotécnica representan herramientas críticas para la toma de decisiones del profesional. Dichas herramientas han ido evolucionando desde simples bocetos elaborados por inspecciones de campo hasta visualizaciones tridimensionales realizadas con software de computadora.

Los avances tecnológicos representan un desafío a las nuevas generaciones de ingenieros civiles, los cuales deben estar preparados para enfrentar un mundo cada vez más competitivo. Por dicho motivo, esta tesis representa una contribución a la formación de los futuros ingenieros civiles en el uso de nuevas tecnologías.

Finalmente, el desarrollo de este tema de tesis permitirá usar sus resultados de una manera directa y eficiente en futuros proyectos relacionados al aspecto geotécnico del suelo tales como el estudio de la dinámica estructural del suelo en aspectos de sismo resistencia.

1.4 SELECCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

De acuerdo a estudios anteriores, se ha determinado que el subsuelo de la ciudad de Guayaquil está formado por la sedimentación de los materiales erosionados de la cordillera Occidental de los Andes (principalmente areniscas de edad Cretácica). Dichos sedimentos presentan una resistencia y granulometría variable desde arcillas altamente plastificadas hasta arenas muy finas.

Basándose en lo anteriormente mencionado, el propósito inicial de la investigación fue realizar una zonificación general de suelos de la

ciudad de Guayaquil. Sin embargo, la falta de colaboración de algunas potenciales fuentes de datos (laboratorios de mecánica de suelos) influyó en reducir el área de estudio basándose únicamente en la información colectada.

En la presente tesis, el área de estudio fue delimitada principalmente de acuerdo a la información obtenida de algunos laboratorios de mecánica de suelos. Se observa que la mayoría de las perforaciones han sido realizadas en la parte céntrica de Guayaquil, como se muestra en la figura 1.1.

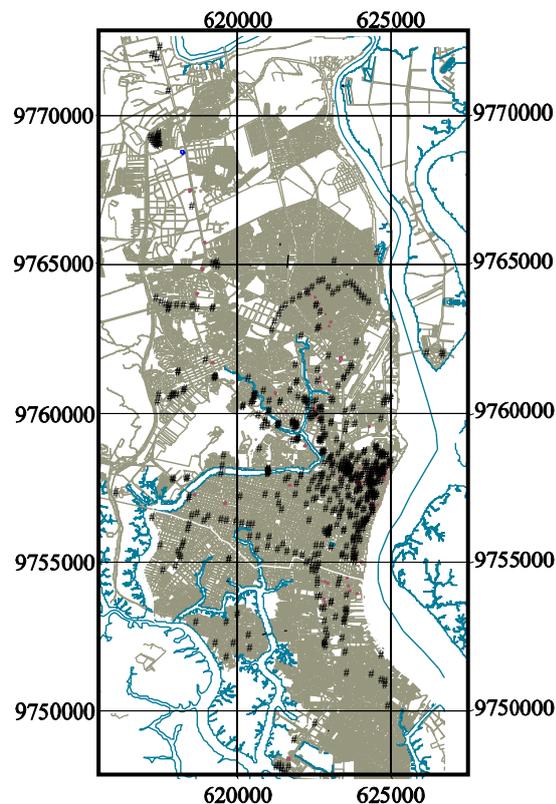


Figura1.1.- Perforaciones realizadas en la Ciudad de Guayaquil

Con la finalidad de disminuir el error de interpolación al momento de elaborar los mapas, se decidió finalmente estudiar un área limitada de la Ciudad de Guayaquil definida por las siguientes coordenadas:

UTM Coordenadas	
Norte	9761700
Este	625500
Sur	9754600
Oeste	620000

Esta área de estudio podría considerarse un área piloto en donde se probará el beneficio del uso de la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica. Los mapas podrían ser actualizados en el futuro en la medida que nueva información pudiera estar disponible.

CAPITULO 2

GENERALIDADES TEÓRICAS

El desarrollo de la informática hace que en la actualidad se cuente con la posibilidad de procesar rápidamente un gran volumen de información a través de software específicos, que permiten entre otros la generación de mapas automatizados empleando Sistemas de Información Geográfica. Asimismo la disponibilidad de la información proporcionada por las imágenes satelitales, hace posible nuevos estudios basados en la técnica del procesamiento digital, como el seguimiento de fenómenos secuenciales que afectan el uso del territorio, la evolución de procesos de degradación o

contaminación, las condiciones de los suelos bajo distintos sistemas de producción, los efectos de eventos climáticos, etc. (Sobra et al, 2000)

Los suelos son depósitos naturales de materiales cuyas propiedades varían en el tiempo (comportamiento dinámico) pero también en el espacio. Es decir, que desde un lugar a otro los tipos y las propiedades de los suelos pueden variar, a veces notablemente. Siendo así, los suelos pueden representarse mediante mapas; y de hecho, la elaboración de mapas es uno de los campos de trabajo más importantes en cualquier actividad. (Dorronsoro et al, 1998).

Aunque los mapas hechos en papel aportan información visual que puede ser muy útil, la generación de estos es difícil y se necesita realizar análisis y cálculos que afectan a los suelos como unidades cartográficas. En otras palabras, resulta muy complejo contestar las siguientes preguntas solamente usando mapas impresos en papel:

- ¿Cómo varían las propiedades de los suelos pertenecientes a un mismo orden a lo largo del año en distintas zonas?
- ¿Dónde es mayor el riesgo de derrumbes en función de la permeabilidad del suelo?
- ¿Cómo han cambiado las propiedades de los suelos debido a contaminaciones desde tal o cuál tratamiento?

- ¿En qué lugar es mayor el peligro de contaminación del suelo o el agua si se aplica el producto X?

Preguntas como éstas requieren el uso de modelos matemáticos para poder realizar predicciones, que determina la variabilidad espacial de los suelos. Por lo tanto, es necesario de una herramienta de análisis que nos permita visualizar los resultados en forma de mapas, y adicionalmente interactuar con la variabilidad espacial de los parámetros del suelo. Una de dichas herramientas son Sistemas de Información Geográfica (SIG ó GIS por las siglas en inglés).

2.1 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO.

Los Sistema de Información Geográfica (SIG) son usados en investigación científica, gerencia de recursos, y planificación del desarrollo.

La implementación de un SIG es muy costosa. El proceso entero, de que una organización se de cuenta primero de la tecnología a través un sistema, es finalmente operacional y normalmente toma varios años.

El SIG combina capas de información sobre un lugar para hacer más comprensible esa información. El tipo de información a combinarse depende del propósito por ejemplo:

- La mejor ubicación para un almacén nuevo.
- Análisis del daño ambiental
- Investigación de crímenes similares en una ciudad para detectar un patrón, etc.

2.1.1 ¿Qué es un SIG?

En un sentido más amplio, un SIG es un sistema informático capaz de montar, almacenar, manipular, y exhibir la información geográficamente referida. Es decir datos identificados de acuerdo a un sistema geográfico de referencia. (Antenucci et al, 1991). Básicamente es la interacción de mapas con bases de datos dentro de un ambiente informático.

2.1.2 ¿Qué se necesita para utilizar un SIG?

El sistema de información geográfico requiere para una correcta implementación lo siguiente:

- Hardware (computadoras y periférico)
- Software

- Datos
- Recursos Humanos
- Entrenamiento

Todos los componentes pueden ser esquematizados en la figura 2.1

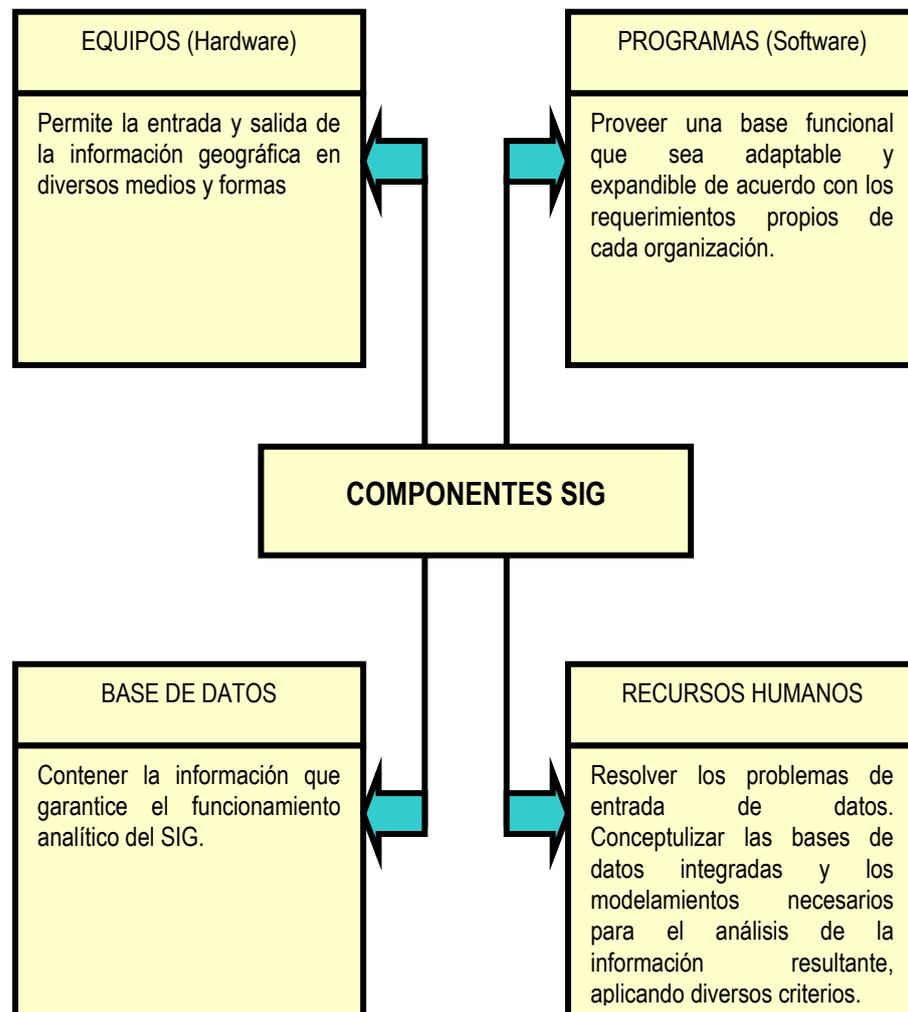


Figura 2.1.- Componentes del SIG

(Fuente: Environmental Sciences Research Institute)

2.1.3 Estructura típica de un SIG

Una de las funciones básicas de un sistema de información gráfica es la captura de la información. Esta se logra mediante procesos de digitalización, procesamiento de imágenes de satélite, fotografías, videos, procesos aerofotogramétricos, entre otros. Otra función básica de procesamiento de un SIG hace referencia a la parte del análisis que se puede realizar con los datos gráficos y no gráficos. Se puede especificar la función de contigüidad de objetos sobre un área determinada, del mismo modo, se puede especificar la función de coincidencia que se refiere a la superposición de objetos dispuestos sobre un mapa.

La manera como se agrupan los diversos elementos constitutivos de un SIG quedan determinados por una serie de características comunes a varios tipos de objetos en el modelo, estas agrupaciones son dinámicas y generalmente obedecen a condiciones y necesidades bien específicas de los usuarios.

La definición formal del concepto categoría o cobertura, queda determinado como una unidad básica de agrupación de varios

mapas que comparten algunas características comunes en forma de temas relacionados con los objetos contenidos en los mapas. Sobre un mapa se definen objetos (tienen una dimensión y localización respecto a la superficie de la tierra), estos poseen atributos, y éstos últimos pueden ser de tipo gráfico o de tipo alfanumérico.

A un conjunto de mapas relacionados se le denomina entonces categoría, a un conjunto de categorías se les denomina un tema y al conjunto de temas dispuesto sobre un área específica de estudio se agrupa en forma de índices temáticos o geoindice del proyecto SIG. De tal suerte que la arquitectura jerárquica de un proyecto queda expuesta por el concepto de índice, categoría, objetos y atributos.

A continuación se describen algunas características del SIG:

1) Representación de la información.

La representación primaria de los datos en un SIG está basada en algunos tipos de objetos universales que se refieren al punto, línea y área. Los elementos puntuales son todos aquellos objetos relativamente pequeños respecto a su entorno

más próximo, y se representan mediante líneas de longitud cero. Por ejemplo, elementos puntuales pueden ser un poste de la red de energía o un sumidero de la red de alcantarillado. Sin embargo, los objetos podrían ser representados como puntos en unas situaciones y como áreas en otras dependiendo del nivel de detalle requerido.

Los objetos lineales se representan por una sucesión de puntos donde el ancho del elemento lineal es despreciable respecto a la magnitud de su longitud, con este tipo de objetos se modelan y definen las carreteras, las líneas de transmisión de energía, los ríos, las tuberías del acueducto entre otros.

Los objetos de tipo área se representan en un SIG de acuerdo con un conjunto de líneas y puntos cerrados para formar una zona perfectamente definida a la que se le puede aplicar el concepto de perímetro y longitud. Con este tipo se modelan las superficies tales como: mapas de bosques, sectores socioeconómicos de una población, un embalse de generación, entre otros.

2) Atributos gráficos

Son las representaciones de los objetos geográficos asociados con ubicaciones específicas en el mundo real. La representación de los objetos se hace por medio de puntos, líneas o áreas. Un ejemplo de una red de servicios se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1.- Ejemplo de una red de servicios

Representación Gráfica	Atributos
Punto	Un poste de energía
Línea	Una tubería
Área	Un embalse

3) Atributos no gráficos

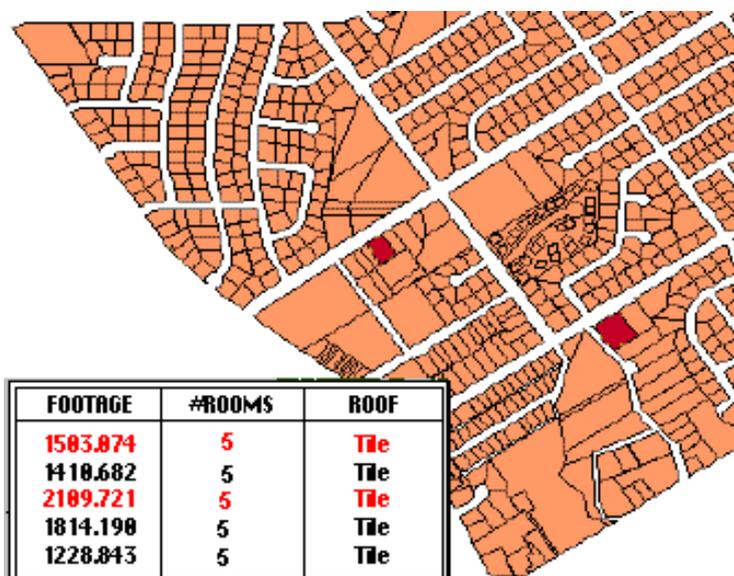


Figura 2.2.- Representación de atributos gráficos y no gráficos

(Fuente: Environmental Sciences Research Institute)

También llamados atributos alfanuméricos. Corresponden a las descripciones, calificaciones o características que nombran y determinan los objetos o elementos geográficos. En el siguiente gráfico se observan los atributos gráficos y no gráficos que se encuentran asociados a los objetos representados.

En un SIG los atributos gráficos y no gráficos se tienen que relacionar y esto se logra mediante un atributo de unión.

4) Sistema de coordenadas.

Un sistema de coordenadas geográficas es un sistema de referencia usado para localizar y medir elementos geográficos. Para representar el mundo real, se utiliza un sistema de coordenadas en el cual la localización de un elemento está dado por las magnitudes de latitud y longitud en unidades de grados, minutos y segundos.

Las coordenadas cartesianas son generalmente usadas para representar una superficie plana. Los puntos se representan en términos de las distancias que separan a dicho punto de los ejes de coordenadas.

5) Proyecciones.

La superficie de referencia más comúnmente usada para la descripción de localizaciones geográficas es una superficie esférica. Esto es válido aún sabiendo que la figura de la tierra se puede modelar más como un elipsoide que como una esfera. Sin embargo la georeferenciación de datos generalmente se la representa de forma plana, en unidades de metros o kilómetros.

Toda proyección lleva consigo la distorsión de una o varias de las propiedades espaciales ya mencionadas. El método usado para la proyección será el que en definitiva nos permita decidir cuales propiedades espaciales sean conservadas y cuales distorsionadas. Proyecciones específicas eliminan o minimizan la distorsión de propiedades espaciales particulares. Las superficies de proyección más comunes son los planos, los cilindros y los conos, según el caso se exige la proyección azimutal, cilíndrica y cónica respectivamente.

Las propiedades especiales de forma, área, distancia y dirección son conservadas o distorsionadas dependiendo no solo de la superficie de proyección, sino también de otros parámetros. Puesto que cada tipo de proyección requiere de una forma diferente de transformación matemática para la conversión geométrica, cada método debe producir distintas coordenadas para un punto dado. Por ejemplo: Transformación de Mercator, transformación estereográfica, etc.

6) Base de datos geográfica

La esencia de un SIG está constituida por una base de datos referenciados geográficamente, la cual es una colección de

datos acerca de objetos localizados en una determinada área de interés en la superficie de la tierra, organizados en una forma tal que puede servir eficientemente a una o varias aplicaciones. Una base de datos geográfica requiere de un conjunto de procedimientos que permitan hacer un mantenimiento de ella tanto desde el punto de vista de su documentación como de su administración. La eficiencia está determinada por los diferentes tipos de datos almacenados en diferentes estructuras. El vínculo entre las diferentes estructuras se obtiene mediante el campo clave que contiene el número identificador de los elementos. Tal número identificador aparece tanto en los atributos gráficos como en los no gráficos. Los atributos no gráficos son guardados en tablas y manipulados por medio de un sistema manejador de bases de datos.

Los atributos gráficos son guardados en archivos y manejados por el software de un sistema SIG. Los objetos geográficos son organizados por temas de información, o capas de información, llamadas también niveles. Aunque los puntos, líneas y polígonos pueden ser almacenados en niveles separados, lo que permite la agrupación de la información en temas son los

atributos no gráficos. Los elementos simplemente son agrupados por lo que ellos representan. Así por ejemplo, en una categoría dada, ríos y carreteras aun siendo ambos objetos línea están almacenadas en distintos niveles por cuanto sus atributos son diferentes.

Los formatos estándar para un archivo de diseño son el formato de celdas o RASTER y el formato tipo VECTOR. En el primero de ellos se define una grilla o una malla de rectángulos o cuadrados a los que se les denomina celdas o retículas. Cada retícula posee información alfanumérica ó numérica asociada que representa las características de la zona o superficie geográfica que cubre, como ejemplos de este formato se pueden citar la salida de un proceso de imagen satelital.

De otro lado, el formato vectorial representa la información por medio de pares ordenados de coordenadas, este ordenamiento da lugar a las entidades universales con las que se representan los objetos gráficos. Así, un punto se representa mediante un par de coordenadas; una línea con dos pares de coordenadas; un polígono como una serie de líneas y una área como un polígono cerrado. A las diversas entidades universales, se les

puede asignar atributos que son almacenados en una base de datos descriptiva o alfanumérica para tales propósitos.

2.1.4 ¿Que se puede hacer en un SIG?

Un SIG permite resolver una variedad de problemas del mundo real. El SIG puede manipularse para resolver los problemas usando varias técnicas de entrada de datos, análisis y resultados.

1) Entrada de datos:

- Digitalizar o escanear.
- Convertir datos digitales a otros formatos.
- Adquirir otros datos disponibles.

2) Manipulación y análisis

- Solucionar problemas particulares.

3) Salida de datos:

- Despliegue en pantalla de los datos.
- Copias duras (planos y mapas) usando una impresora.
- Listados.

- Reportes.

2.2 TIPOS DE MAPAS DE SUELOS

Los mapas de suelos se pueden clasificar de acuerdo a sus objetivos y a la escala de trabajo.

2.2.1 Por su escala.

De acuerdo a la escala utilizada los mapas dependen de los objetivos perseguidos, del presupuesto, del tiempo disponible, de la complejidad de la zona y de los antecedentes cartográficos previos. Las escalas más comúnmente usadas son:

Escalas pequeñas. (1:5.000.000 a 1:250.000) Estos mapas tienen fines de reconocimiento, información preliminar, para estudios generales o didácticos, o para seleccionar áreas de interés. Son mapas de síntesis con muy baja densidad de observaciones. Las unidades cartográficas empleadas son complejas.

Escalas medias. (1:100.000 a 1:50.000) Son mapas semidetallados con baja o media densidad de observaciones. Aportan importantes datos sobre los suelos y sus relaciones. Pueden servir de base para elaborar otros mapas interpretativos (de propiedades y temáticos).

Escalas grandes. (1:25.000 a 1:10.000) Son mapas detallados con alta resolución. Necesitan de una muy alta densidad de observaciones, con constantes controles de campo (itinerarios muy próximos). Aportan mucha información sobre los suelos de la zona. Son mapas elaborados con fines prácticos, para evaluaciones de capacidades de uso y para ordenamiento territorial.

Las unidades cartográficas serán cada vez más homogéneas conforme las escalas de los mapas sean mayores.

2.2.2 Por su objetivo.

De acuerdo a su objetivo, los mapas pueden ser agrupados en tres tipos.

Básico. Son mapas elaborados con fines exclusivamente científicos, no buscan aplicaciones. Para establecer las unidades cartográficas se utiliza una de las muchas clasificaciones de suelos aceptadas por la comunidad científica. En general, se usan muchas propiedades y características de los suelos, en especial aquellas que están directamente relacionadas con la génesis del suelo.

De propiedades. Representaciones de cualquier propiedad del suelo: mapa de textura, de nitrógeno, de pH, de contenido en carbonatos, de materia orgánica, profundidad del suelo, etc. Se representan áreas en las que la propiedad elegida está dentro de un margen establecido. En ocasiones estos mapas pueden estar conformados por un conjunto de isolíneas (agrupación de puntos con igual valor para una determinada propiedad).

Temáticos. Mapas aplicados, frecuentemente extraídos a partir de un mapa básico. Del mapa básico se seleccionan aquellas propiedades que sean relevantes para un fin determinado y se definen unas clases en función del grado de idoneidad para ese fin (por ejemplo: "sin limitaciones", "limitaciones moderadas", "severas limitaciones", "no apto"). A partir de un mismo mapa

básico se pueden confeccionar numerosos mapas aplicados. Mapas de este tipo son los mapas de evaluación de capacidades de uso, mapas de aptitudes para fines específicos, mapas de erosión, de contaminación, niveles de salinidad, de riesgos, de vertidos, etc.

2.3 PROCESOS DE LA ELABORACIÓN DE LOS MAPAS

El proceso de elaboración de un mapa de suelos involucra dos fases: fase de campo y la fase de oficina o interpolación.

2.3.1 Fase de Campo

Esta fase comprende la recopilación de información necesaria para la elaboración de información del mapa. Los métodos de obtención de la información pueden ser:

1) Métodos exploratorios de carácter preliminar

- a. Pozos a cielo abierto, con muestreo alterado.
- b. Perforaciones con posteadoras, barrenos helicoidales o métodos similares.

- c. Método del lavado.
- d. Método de penetración standard.
- e. Método de penetración cónica.
- f. Perforaciones en boleos y gravas (con barretones).

2) Método de sondeo definitivo.

- a. Pozo a cielo abierto con muestreo inalterado.
- b. Tubo de pared delgada.
- c. Métodos rotatorios para rocas.

3) Métodos geofísicos.

- a. Sísmico
- b. De resistividad eléctrica.
- c. Magnético
- d. Gravimétrico.

El numero de sondeos y la profundidad de los mismos, dependen del tipo del subsuelo y del proyecto. Es aconsejable partir de la experiencia previa, decidir sobre la planificación de la exploración.

Si se trata de cimentaciones superficiales, donde asentamiento y resistencia son factores determinantes, las dimensiones de la cimentación nos indicaran la profundidad de la perforación. En términos generales es aconsejable llegar hasta unos 10 o 15 metros de profundidad y que se haga un mínimo de 2 perforaciones según sea el área del terreno. (Terreros et al, 2000).

En cimentaciones profundas, hechas en suelos muy blandos es conveniente llegar hasta un estrato más resistente. En Guayaquil encontramos arena entre los 14 y 25 metros en unos sectores, pero en otros puede ser 30 o 35 metros.

El número de perforaciones serán tantas como sean suficientes para tener un completo conocimiento del subsuelo.

2.3.2 Fase de Interpretación de datos de campo

Esta fase comprende todos los procedimientos para convertir los datos de campo en mapas de suelos específicos para los propósitos de cada proyecto. El proceso involucra una serie de pasos como los mostrados en la figura 2.3.

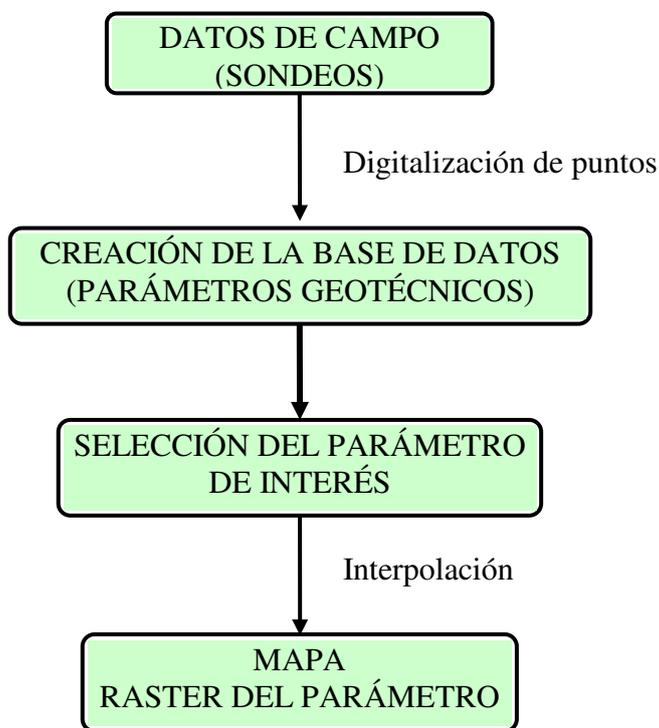


Figura 2.3.- Procedimiento General para la elaboración de un mapa usando SIG.

Tal como se observa en el diagrama, los sondeos son georeferenciados para poder ubicarlos y digitalizarlos dentro del SIG.

Posteriormente, será necesario crear la base de datos respectiva que incluye los parámetros geotécnicos obtenidos de los sondeos.

El mapa de suelo se realizará a partir del parámetro de interés seleccionado (por ejemplo contenido de humedad). Una vez seleccionado el parámetro de interés, el mapa es creado mediante el uso de técnicas de interpolación tales como:

- Kriging Interpolation
- IDW (Inverse Distance Weight)
- Spline
- Nearest Neighbors

Adicionalmente, es necesario seleccionar el mejor método de interpolación (aquel que produzca el menor error entre los datos observados y los estimados).

La selección de un procedimiento de interpolación adecuada dependerá que tan bien ajustados estén los datos observados con los datos interpolados.

1) Kriging Interpolation

Este método de interpolación fue desarrollado por el geomatématico francés Georges Matherno basado en la Teoría regionalizada desarrollada por Krige. Este ingeniero minero

sudafricano propuso conceptos innovadores para la estimación de vetas mineras. Matheron estructuró los conceptos propuesto por Krige en un método de interpolación al que llamó Kriging.

El método Kriging emplea un procedimiento de interpolación avanzado que genera una superficie, utilizando un grupo de puntos esparcidos en un eje de coordenadas X-Y con valores de interpolación Z.

La teoría de la variable regionalizada que asume que la variación espacial del fenómeno representado por los valores de z es estadísticamente homogénea a lo largo de la superficie, es decir, la misma variación se observa en todas las posiciones de la superficie analizada. Esta hipótesis de homogeneidad espacial es fundamental para la teoría de la Variable Regionalizada.

La teoría de la Variable Regionalizada asume que la variación espacial de cualquier variable puede ser expresada como la suma de tres componentes principales (Figura 2.4). Esto es (a) un componente estructural, teniendo como constante la mediana de los datos interpolados; (b) un componente

aleatorio, pero que correlaciona espacialmente los datos interpolados y (c) un componente aleatorio no correlacionado espacialmente o error residual. Siendo x la posición de un punto en 1, 2 o 3 dimensiones. Entonces el valor de una variable aleatoria Z dada por un punto x es la siguiente:

$$Z(x) = m(x) + \varepsilon'(x) + \varepsilon'' \quad (\text{ecuación 2.1})$$

Donde $m(x)$ es una función determinada describiendo el componente “estructural” de Z en la posición (x,y,z) , $\varepsilon'(x)$ es el término denotado como estocástico, que varía localmente pero espacialmente dependiente residual de $m(x)$ – la variable regionalizada –, y ε'' es un error residual.

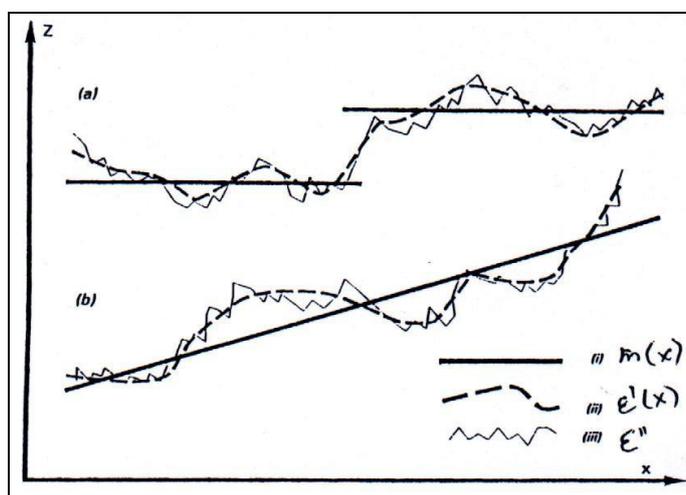


Figura 2.4. Gráfica de la teoría de la Variable Regionalizada

Fuente: Apuntes de clase, Land Information systems, Dr. ir M. Van

Meirvenne (2000)

El primer paso es definir la función para $m(x)$. En el caso más simple, donde no existe una tendencia en el grupo de datos, $m(x)$ es igual al valor medio en el área muestreada y el promedio o la diferencia de error existente entre dos lugares x y $x+h$ separados por una distancia vectorial h , será igual a cero:

$$E[Z(x) - Z(x+h)] = 0 \quad (\text{ecuación 2.2})$$

donde $Z(x)$, $Z(x+h)$ son valores de la variable aleatoria Z en la posición x y $x+h$. Así, se asume que la varianza de los datos a ser interpolados depende sólo de la distancia entre dichos lugares, entonces:

$$E\left[\{Z(x) - Z(x+h)\}^2\right] = E\left[\{\varepsilon'(x) - \varepsilon''(x+h)\}^2\right] = 2\gamma(h) \quad (\text{ecuación 2.3})$$

Donde $\gamma(h)$ es conocida como la varianza. Estas dos condiciones, la diferencia de la posición y la diferencia de la varianza, definen la *hipótesis intrínseca* de la teoría de la variable regionalizada.

Si las condiciones específicas de la hipótesis intrínseca son satisfechas, la semivarianza para toda la muestra de datos será:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \{Z(x_i) - Z(x_i + h)\}^2 \quad (\text{ecuación 2.4})$$

En donde el valor de n es el número de pares de una muestra de puntos de observación con valores de atributo Z separados por una distancia h .

En la figura 2.4 se puede observar un semi-variograma típico, en donde se muestra como varía la semivarianza de un grupo de datos con respecto a una distancia h , también llamada RETRASO (“LAG” en inglés)

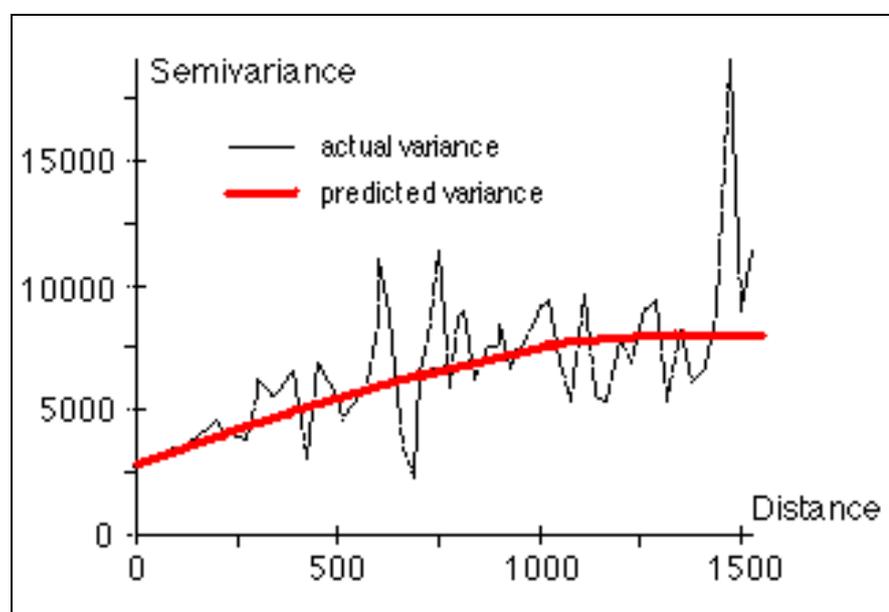


Figura 2.5. Gráfica típica de un semi-variograma.

En distancias relativamente cortas de h , la semivariación es pequeña, pero aumenta a medida que h también aumenta. En el semivariograma, el eje de las abscisas corresponde a la distancia entre los pares de puntos de datos.

Existen dos tipos de análisis de interpolación Kriging que se puede realizar dentro de una extensión disponible para ArcView®: el ordinario y el universal. Para el tipo de análisis de interpolación ordinario se presentan 5 métodos los cuales son: esférico, circular, exponencial, gaussiano y lineal. Mientras que para el análisis universal solo se presentan dos opciones, cuadrático y lineal.

2) IDW (Inverse Distance Weight)

Este método asume que cada punto de entrada tiene una influencia local que disminuye con la distancia. Los puntos más cercanos al punto interpolado reciben un peso mayor en el procedimiento de interpolación. Un número especificado de puntos, u opcionalmente todos los puntos dentro de un radio especificado, puede ser usado para determinar el valor del rendimiento para cada situación. El parámetro de potencia en la

interpolación de IDW controla la importancia de los puntos circundantes en el valor interpolado.

3) Spline

El interpolador Spline es un método de interpolación que traza la mejor superficie que pase por los puntos interpolados usando una mínima curvatura. Conceptualmente el método se asemeja a doblar una hoja de papel de tal modo que se ajuste a los puntos de interpolación. Esto se realiza mediante una función matemática para un número específico de datos de entrada.

Este método es apropiado para suavizar superficies tales como elevaciones, niveles de agua, o concentración de contaminación. No es apropiado en sitios donde hay grandes cambios dentro de una distancia corta horizontal.

Este método posee dos variantes: Regularizado y Tensión.

El método Regularizado rinde una superficie lisa. El método Tensión afina la textura de la superficie según el carácter del fenómeno planteado.

2) Nearest Neighbors (Vecinos más cercanos)

Como su nombre lo indica, este método interpola en función de los valores observados más cercanos a la celda de interpolación. Incluye seis grupos diferentes de métodos estadísticos. Todos tienen en común el hecho de que se puede usar similitud entre un punto y su vecino más cercano para inferir el valor interpolado. Este método es más usado en parámetros de contaminación y medio ambiente.

2.4 OTRAS CONSIDERACIONES EN LA ELABORACIÓN DE MAPAS

Para realizar mapas de suelo es importante tener en cuenta otros aspectos tales como: el uso final de los mapas, clasificación de los suelos, presentación entre otros.

2.4.1 Uso final de los Mapas

Los mapas de suelo pueden ser usados generalmente para dos fines: agrícolas e ingeniérriles.

1) Mapas Agrícolas

Este tipo de mapas se conocen también como mapas edafológicos los que pueden ser clasificados como mapas básicos y mapas interpretativos. Los mapas básicos, referentes a la clasificación de unidades de suelo, muestran las unidades para la cartografía de suelos, generalmente tipos de suelos y fases. Proporcionan información sobre cada unidad que usualmente incluye el material parental, la composición química, la textura, la capacidad para retener humedad, la pendiente, el drenaje, y las limitaciones para fines agrícolas a niveles específicos de manejo. Los mapas interpretativos se preparan a partir de los mapas de clasificación de suelos (básicos), sobre temas que incluyen la clasificación del terreno, su disposición para irrigación, proclividad a la erosión y resistencia al tráfico.

2) Mapas Ingenieriales

También conocidos como mapas geotécnicos. Muestran la capacidad de sustentación de los suelos. También muestran la cohesión y resistencia de las unidades de suelos que pueden

afectar la gradiente de la pendiente, la estabilidad y la licuefacción. Los mapas de suelos para ingeniería puede reflejar el impacto de cambios sobre la conformación del suelo.

2.4.2 Clasificación de Suelos

Los suelos pueden ser clasificados de diversos modos dependiendo del tipo de análisis hecho:

- 1) Método USDA
- 2) Clasificación SUCS
- 3) Clasificación AASHTO, entre otros.

Clasificar un suelo significa agruparlos, en función de su granulometría y su plasticidad. Sin embargo, dicha clasificación no es suficiente para determinar su comportamiento porque hay factores que no se consideran en los sistemas de clasificación y que tienen que ser analizados por separado según el problema que se evalué.

Cabe señalar que los rangos de clasificación por lo general son demasiado grandes, ya que cada grupo de clasificación posee un rango amplio entre el valor máximo y mínimo de cada grupo.

1) Método USDA

Este método fue presentado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, en el cual solo se especifican tres ordenes de tamaño de las partículas y se excluye el tamaño mayor a 2.0mm. Por tanto, los porcentajes de arena, limo y arcilla pueden presentarse en un diagrama triangular como se muestra en la Figura 2.6.

En dicha figura también se muestra el siguiente ejemplo: una muestra tomada con un % de arena del 26%, limo 52 % y arcilla del 22%. Se traza una línea en el valor de la arena moviéndose hacia arriba a la izquierda de forma diagonal, luego otra con el valor de la arcilla de forma horizontal y la intersección de estas determinará el tipo de suelo. En este ejemplo se trata de un suelo franco limoso, el valor del % de limo se utilizará como confirmación de que el procedimiento que se siguió fue el correcto dibujando la línea hacia abajo y en diagonal.

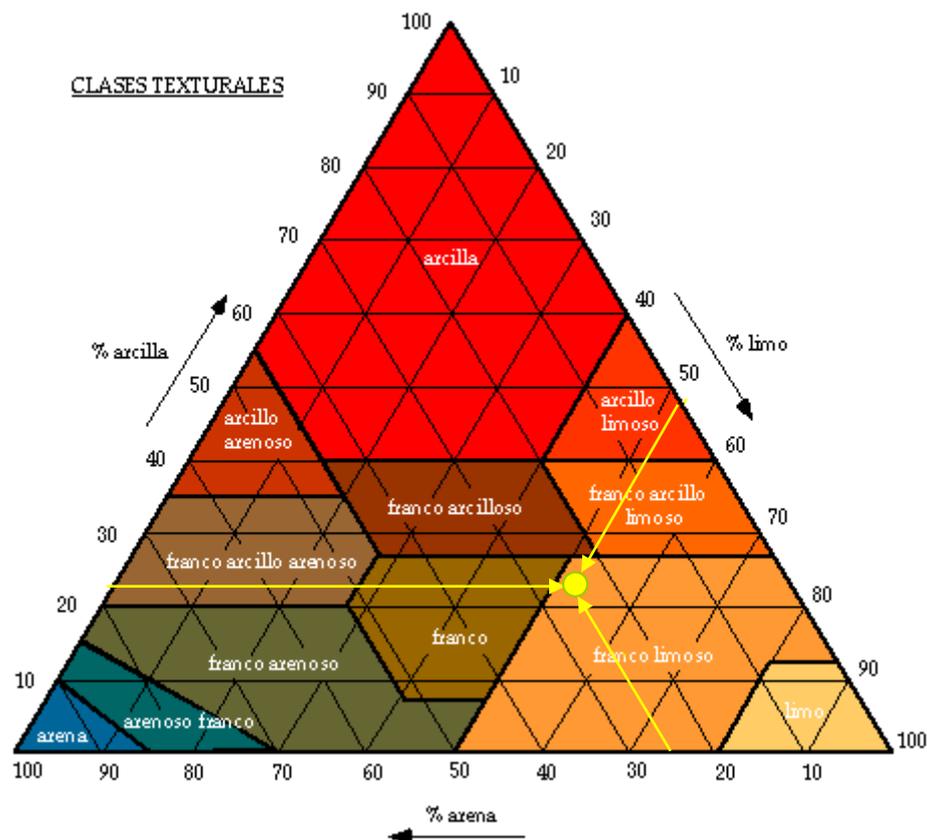


Figura 2.6. Triángulo de clasificación del suelo según su granulometría de acuerdo USDA

2) Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS) deriva de un sistema desarrollado por A. Casagrande en 1952 y que está descrito en la Norma ASTM D2487 para identificar y agrupar suelo. Este sistema separa los suelos gruesos de los

finos por medio de la malla 200. Se llaman gruesos a los que tienen mas del 50% retenido en esa malla, así también llaman finos a los que tienen mas del 50% pasante la malla 200. Los suelos gruesos se representan por el símbolo G si más de la mitad, en peso, de las partículas gruesas son retenidas en tamiz # 4, y por el símbolo S, si más de la mitad pasa por tamiz # 4.

A la G o a la S se les agrega una segunda letra que describe la graduación: W, buena graduación con poco o ningún fino; P, graduación pobre, uniforme o discontinua con poco o ningún fino; M, que contiene limo o limo y arena; C, que contiene arcilla o arena y arcilla.

Los suelos finos, se dividen en tres grupos, las arcillas (C), los limos (M) y limos o arcillas orgánicos (O). Estos símbolos están seguidos por una segunda letra que depende de la magnitud del límite líquido e indica la compresibilidad relativa: L, si el límite líquido es menor a 50 y H, si es mayor.

Clasificación de Suelos de granos gruesos

Determinar la distribución acumulativa de los tamaños de las partículas y clasifique la muestra como grava (G), si el 50%, o más de la fracción gruesa (> 0,08 mm) es retenida en tamiz # 4, y clasifíquela como arena (S), si más del 50% de la fracción gruesa (> 0,08 mm) pasa por tamiz # 4.

Si menos del 5% en peso de la muestra pasa por tamiz 0,08 mm, calcule:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{y} \quad Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}}$$

Clasifique la muestra como grava bien graduada (GW), o arena bien graduada (SW), si Cu es mayor que 4 para las gravas y mayor que 6 para las arenas, y Cc está comprendido entre 1 y 3. Clasifique la muestra como grava pobremente graduada (GP), o arena pobremente graduada (SP), si no se satisfacen simultáneamente los criterios de Cu y Cc para bien graduada.

Si más que el 12%, en peso, de la muestra de ensaye pasa por 0,08 mm, analice los valores del límite líquido (wL) e índice de plasticidad (IP) mediante la línea "A" de la carta de plasticidad).

Clasifique la muestra como grava limosa (GM), o arena limosa (SM), si los resultados de los límites de consistencia muestran que los finos son limosos, es decir, si al dibujar w_L versus IP, este punto cae bajo la línea "A" o el IP es menor que 4.

Clasifique la muestra como grava arcillosa (GC), o arena arcillosa (SC), si los finos son arcillosos, es decir, si al dibujar el w_L , versus IP, cae sobre la línea "A" y el IP es mayor que 7.

Si el punto del límite líquido versus índice de plasticidad cae prácticamente en la línea "A" o está sobre esta línea, pero el índice de plasticidad está comprendido entre 4 y 7, dé clasificación doble tal como GM-GC o SM-SC.

Si pasa por tamiz 0,08 mm del 5 al 12% de la muestra, el suelo llevará clasificación doble, basada en los criterios de graduación y límites de consistencia, tales como GW-GC o SP-SM. En casos dudosos, la regla es favorecer a la clasificación de menos plasticidad.

Clasificación de suelos de granos finos

Clasifique el suelo como una arcilla inorgánica (C), si al dibujar el punto del límite líquido versus índice de plasticidad, éste cae

sobre la línea "A" y el índice de plasticidad es mayor que 7. Si el límite líquido es menor que 50 y el punto w_L versus IP cae sobre la línea "A" y el IP es mayor que 7, clasifíquela como arcilla inorgánica de baja a media plasticidad (CL), y como arcilla de alta plasticidad (CH) si el Límite Líquido es mayor que 50 y el punto w_L versus IP cae sobre la línea A (Carta de plasticidad figura. 2.7). En caso que el límite líquido exceda a 100 o el IP exceda a 60, expanda la carta de plasticidad manteniendo las mismas escalas y pendiente de la línea "A".

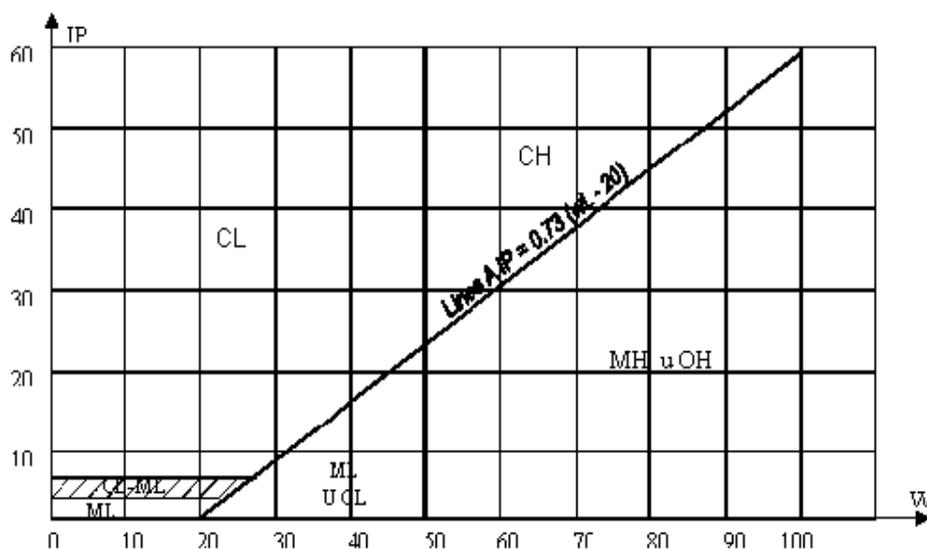


Figura 2.7.- Carta de Plasticidad

Clasifique el suelo como limo inorgánico (M), si al dibujar el punto w_L versus IP cae bajo la línea "A" o el IP es menor que 4, a menos que se sospeche que hay materia orgánica presente

en cantidades suficientes como para influir en las propiedades del suelo, en cuyo caso se debe efectuar un segundo límite líquido con la muestra de ensaye secada al horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas. Se clasifica como limo o arcilla orgánicos (O), si el límite líquido después del secado al horno, es menor que 75% del límite líquido de la muestra original determinado antes del secado.

Clasifique el suelo como limo inorgánico de baja plasticidad (ML), o como limo o limo arcilla orgánicos de baja plasticidad (OL), si el límite líquido es menor que 50 y al dibujar wL versus IP cae bajo la línea "A" o el IP es menor a 4.

Clasifique el suelo como limo inorgánico de media a alta plasticidad (MH), o como una arcilla u limo arcilla orgánico de media a alta plasticidad (OH), si el wL. Es mayor que 50 y el punto dibujado de wL versus IP cae bajo la línea "A" o el IP es menor a 4.

Con el fin de indicar sus características de borde, algunos suelos de grano fino deben clasificarse mediante simbología doble. Si el punto dibujado del wL versus IP cae prácticamente

en la línea "A" o sobre la línea "A" donde el Índice de Plasticidad tiene un rango de 4 a 7, el suelo debe tener clasificación doble tales como CL-ML o CH-OH. Si el punto dibujado de wL versus IP cae prácticamente en la línea del límite líquido igual a 50, el suelo deberá tener clasificación doble tales como CL-CH o ML-MH. En casos dudosos la regla de clasificación favorece al más plástico.

Tabla 2.2 .- Sistema de Clasificación SUCS (suelos finos)

SISTEMA CLASIFICACION USCS			
FINOS (≥ 50 % pasa 0.08 mm)			
Tipo de Suelo	Símbolo	Lim. Liq. wl	Indice de Plasticidad * IP
Limos Inorgánicos	ML	< 50	< 0.73 (wl - 20) ó < 4
	MH	> 50	< 0.73 (wl - 20)
Arcillas Inorgánicas	CL	< 50	> 0.73 (wl - 20) y > 7
	CH	> 50	> 0.73 (wl - 20)
Limos o Arcillas Orgánicos	OL	< 50	** wl seco al horno ≤ 75 % del wl seco al aire
	OH	> 50	
Altamente Orgánicos	P ₁	Materia orgánica fibrosa se carboniza, se quema o se pone incandescente.	
Si IP $\cong 0.73$ (wl - 20) ó si IP entre 4 y 7 E IP > 0.73 (wl - 20), usar símbolo doble: CL-ML, CH-OH			
** Si tiene olor orgánico debe determinarse adicionalmente wl seco al horno			
En casos dudosos favorecer clasificación más plástica Ej: CH-MH en vez de CL-ML.			
Si wl = 50; CL-CH ó ML-MH			

Tabla 2.3 .- Sistema de Clasificación SUCS (suelos gruesos)

SISTEMA CLASIFICACION USCS							
GRUESOS (< 50 % pasa 0.08 mm)							
Tipo de Suelo	Símbolo	% RET 5 mm.	% Pasa 0.08 mm.	CU	CC	** IP	
Gravas	GW	? 50% de lo Ret. En 0.08mm	< 5	> 4	1 a 3		
	GP			≤ 6	<1 ó >3		
	GM		> 12				< 0.73 (wl-20) ó <4
	GC						> 0.73 (wl-20) ó >7
Arenas	SW	< 50% de lo Ret. En 0.08 mm	< 5	> 6	1 a 3		
	SP			≤ 6	<1 ó >3		
	SM		> 12				< 0.73 (wl-20) ó <4
	SC						> 0.73 (wl-20) y >7
* Entre 5 y 12% usar símbolo doble como GW-GC, GP-GM, SW-SM, SP-SC.							
** Si $IP \geq 0.73$ (wl-20) ó si IP entre 4 y 7 e $IP > 0.73$ (wl-20), usar símbolo doble: GM-GC, SM-SC.							
En casos dudosos favorecer clasificación menos plástica Ej: GW-GM en vez de GW-GC.							
			$CU = \frac{\phi 60}{\phi 10}$		$CC = \frac{\phi 30^2}{\phi 60 * \phi 10}$		

Esta clasificación es usada para la realización de cimentaciones en los proyectos o pilotajes en grandes profundidades. La figura 2.7 muestra la clasificación unificada de los suelos (SUCS).

3) Clasificación De Suelos AASHTO

Esta clasificación ha sido adoptada por la asociación Americana para la construcción de carreteras en los Estados Unidos. Igual que en el S.U.C.S. Separa primero los suelos gruesos de los finos por la malla 200 y se llama FINO cuando el pasante del tamiz 200 es mayor a 34%. Es decir, un suelo que tenga un 36% pasante la malla 200 y 64% de material granular, se llama fino.

CLASIFICACION AASHTO

GRUPO		PREDOMINA	% FINOS	IP	PASANTE ACUMULADO N° 10 N° 40	
GRUESOS (≥ 65 %)	A - 1	A - 1a A - 1b	Grava Arena	≤ 15 ≤ 25	≤ 6 ≤ 6	≤ 50 ≤ 30 ≤ 50
	A - 2	A - 2 - 4	Gravas y arenas	≤ 35	≤ 10	
		A - 2 - 5	Con limo		≤ 11	
		A - 2 - 6	Gravas y arenas			
A - 2 - 7	Con arcilla					
A - 3		Arena fina	≤ 10	NP	≥ 51	
Malla N° 200						
FINOS (>35%)	A - 4	Limos		> 35	≤ 10	
	A - 5					
	A - 6	Arcillas			≥ 11	
	A - 7	A - 7 - 5	IP ≤ WL - 30			
	A - 7 - 6	IP > WL - 30				
La identificación de los finos se hace en la Carta de Plasticidad AASHTO						

Esta clasificación es usada generalmente para el diseño de carreteras terrestres y de aviación.

2.5 COMENTARIO FINAL ACERCA DE LA REVISIÓN BIBLIOGRAFICA.

En la actualidad un ingeniero cuenta con muchas herramientas para su desarrollo y aplicación, si un ingeniero tiene la capacidad de poder manipular e interactuar con los mapas es de gran ayuda dentro de su campo laboral como científico. Uno de los trabajos más importantes es la elaboración de mapas.

La importancia de los mapas de suelo es que se puede indicar para un área determinada, que tipos de suelos están presente (Clasificación SUCS), como y donde se distribuyen (Cartografía) y cuanta superficie abarca (Planimetría e Inventario). Además presenta otras informaciones como: clima, hidrología, geología, relieve, flora, entre otros.

Los mapas son de soporte técnico en la toma de decisiones para un ingeniero civil en un determinado proyecto. Viendo esta necesidad la presente tesis elabora una investigación piloto para generar mapas

basados en datos disponibles que podrían ayudar a optimizar la localización de futuras perforaciones de suelos y tener una base de que clase de material se encontrará, cual es su contenido de humedad, su densidad y la resistencia a la compresión simple.

Para la realización de estos mapas se utilizará los SIG que es una herramienta de visualización además nos permite interactuar con la variabilidad espacial de los mapas.

CAPITULO 3

METODOLOGIA DE INVESTIGACION ¹

3.1 INTRODUCCIÓN.

Un mapa de suelo es un modelo gráfico que representa una región, territorio o espacio de terreno. La realidad de campo de un mapa de suelo es el grado de certeza con el cual el mapa predice los resultados en el campo.

Desde el punto de vista geotécnico, un mapa de suelo es un elemento importante en varios problemas que un ingeniero civil debe enfrentar.

Cuando no esta disponible esta información, la exploración es crítica para superar la falta de la misma. Sin embargo, los estudios de suelos

¹ Parte de este capítulo fue enviado al Journal of Applied GIS para su publicación.

representan costos que los países en vías de desarrollo, tal como Ecuador, generalmente no pueden afrontar. El SIG puede ayudar en optimizar este problema usando mapas de suelo generados a partir de datos existentes.

Para la elaboración de la tesis, se procedió a la recopilación de datos con sus respectivas posiciones geográficas, en diferentes laboratorios de la ciudad de Guayaquil y mapas existentes. Dichos datos representan parámetros geomecánicos obtenidos de perforaciones y calicatas a diferentes profundidades.

Con la ayuda de una herramienta de manejo de datos, se procedió a elaborar la base de datos respectiva, la cual sirvió para crear los atributos de los puntos geográficos digitalizados en el SIG. Posteriormente, se realiza un proceso de interpolación de cada característica geotécnica para así obtener los respectivos mapas geotécnicos a diferentes profundidades.

Estos mapas representan información digital tipo raster de los parámetros interpolados. La información digital así como los mapas coloreados servirán como referencia de trabajo para diversas consultoras en la ciudad de Guayaquil. De este modo se podrían

optimizar recursos en la exploración geotécnica a ser realizadas en diversas obras en la ciudad. La figura 3.1 esquematiza la metodología usada.



Figura 3.1.- Metodología usada en la presente tesis para la elaboración de Mapas geotécnicos. (Criollo, 2002)

La presente tesis representa una investigación piloto para generar mapas basado en datos disponibles que pueden ayudar a optimizar estudios de suelos, localización, número y profundidad de perforaciones de suelos para proyectos específicos.

3.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Guayaquil está ubicado en el margen del Río Guayas y limita al norte con el cantón Nobol, al este con los cantones Samborondón y Durán, al oeste con el Estero Salado y los cerros Azul y Blanco, y por el sur con el estuario de la Puntilla de Guayaquil que llega hasta la isla Puná.

La ciudad está atravesada por una sección del sistema montañoso Chongón-Colonche, Cerro San Eduardo, El Colorado, Chanduy, Estancia, Sayá, Santa Ana y del Carmen, son algunas de las elevaciones que conforman el relieve del área de Guayaquil.

Sus coordenadas geográficas son 2.18°S y 79.92°W en la boca del Golfo de Guayaquil, Ecuador, Sur América (Figura 3.2).

Es el puerto principal del país, y el último sitio poblado importante establecido al final del Río Guayas que descarga hacia el Golfo de Guayaquil. A causa de esta localización, los estratos de suelos están principalmente compuestos de limo, arcilla.

No obstante, también se puede encontrar lentes de arena a varias profundidades.

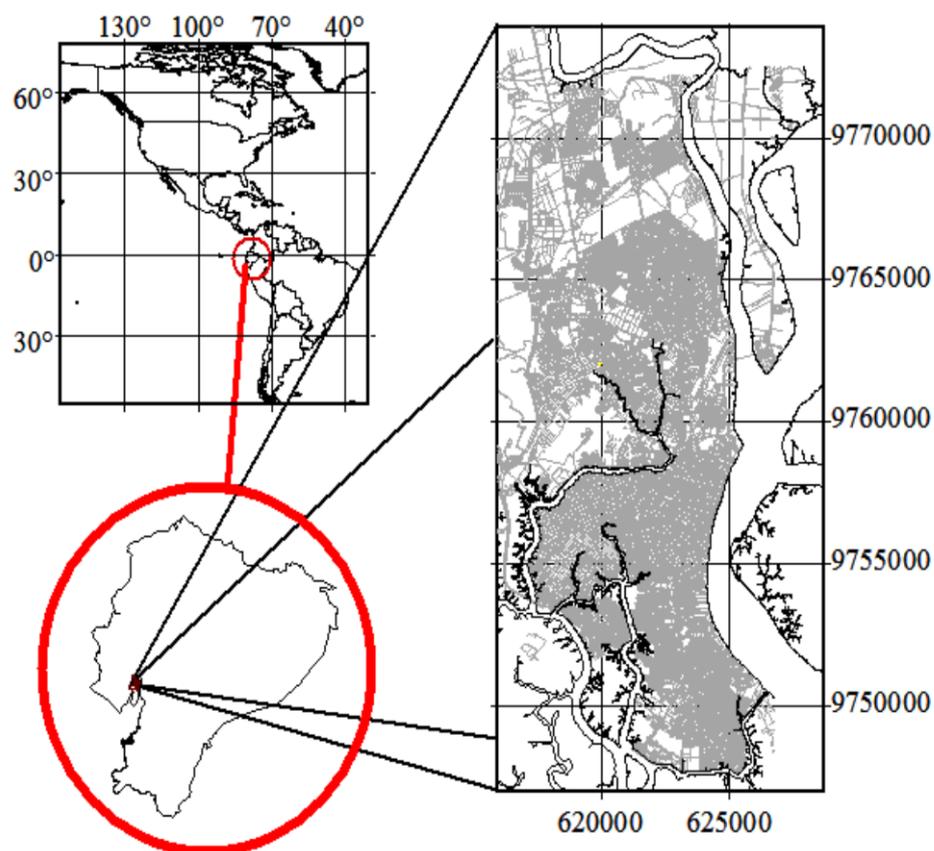


Figura 3.2.- Localización General de la Ciudad de Guayaquil

(Matamoros et al, 2004)

Existen varias compañías de estudio geotécnico en la ciudad, las cuales han generado información de suelos por más de 30 años. Sin embargo, no ha habido ningún esfuerzo exitoso para producir mapas geotécnicos que pueden ser usados en el proceso de optimizar futuros estudios de suelos.

3.3 INFORMACIÓN DE LABORATORIOS DE MECÁNICA DE SUELOS

Todos los mapas se construyeron basados en información existente de compañías de exploración de suelos de la ciudad de Guayaquil. Existen más de 20 compañías aproximadamente de suelos entre privadas y públicas. En la tabla 3.1 se muestra una base de datos de las compañías existentes en la ciudad con sus respectivos años de labor. Cabe indicar que no hay una institución donde se indique cuantas compañías existen. Aunque, existe la Sociedad Ecuatoriana de Mecánica de Suelos y Rocas (SEMSIR), los datos existentes en dicho organismo no son tan específicos.

La presente tesis recogió datos solo de tres compañías, que están prestando sus servicios por más de 30 años en la ciudad, y que tienen un largo historial y representan una fuente de información confiable.

Tabla 3.1 Base de datos de los laboratorios existentes en la ciudad.

NOMBRE DE LABORATORIO	RESPONSABLE TECNICO	AÑOS DE OPERACIÓN
GEOCON S.A	Ing. Silvia Vásquez	9 años
Laboratorio de Materiales de construcción y suelos Cia. Ltda.	Ing. Antonio Córdova	43 años
Consultoría Técnica Cia. Ltda.	Ing. Carlos Cruz	33 años
Nuques & Luque Ingenieros Consultores	Ing. Claudio Luques	15 años
	Ing. Jorge Nuques	
Estudios Especializados	Ing. Víctor M. Llanga C.	1 año
CONSEES Cia. Ltda. Consultores Espín Esparza	Ing. Guillermo Espín (Gerente General)	2 años
Universidad de Guayaquil Laboratorio Arnaldo Ruffilli	Ing. Víctor Moreno Lituma	44 años
CIMENTACIONES Cia. Ltda. Ingenieros Consultores	Ing. Francisco Grau	43 años
Asesoría y Estudios Técnicos Cia. Ltda.	Ing. Jaime Pesantez	31 años
Ing. Vicente León Toledo	Ing. Vicente León Toledo	1 año
Consulnac Geotécnica y Materiales Cia. Ltda.	Ing. Julián Coronel Ramírez	24 años
Universidad Católica Santiago de Guayaquil Laboratorio de Suelos	Ing. Carlos Chong Díaz (Decano de la Facultad)	34 años
Universidad Laica Vicente Rocafuerte Laboratorio de Suelos	Ing. Francisco Córdova Jaime	37 años
Laboratorio Mecánica de Suelos Ing. Raúl Maruri Díaz (ESPOL)	Ing. Carmen Terreros	33 años
Borleti S.A.	Ing. Ricardo Tituana Torres	8 años
Suelos y Concreto Cia. Ltda.	Ing. Tomas Castro	44 años
Consultoría Técnica Cia. Ltda.	Ing. Carlos Cruz	33 años

Las empresas que cedieron información propia fueron:

- Asesoría y Estudios Técnicos Cía. Ltda. (Ing. Eduardo Pesantez)
- Cimentaciones Cía. Ltda. (Ing. Raúl Maruri)
- Universidad de Guayaquil Laboratorio Arnaldo Ruffilli. (Ing. Víctor Moreno Lituma)

De los datos recogidos de las tres compañías, no se pudo ubicar a toda la información con respecto a sus ubicaciones.

En la tabla 3.2 se presenta el total de datos obtenidos por cada compañía. En la tabla 3.3 se encuentra los datos que fueron finalmente georeferenciados en el mapa de la ciudad de Guayaquil.

Debido a la diferencia entre las dos tablas, se puede ver que una parte significativa de la información (32%), no pudo ser usada debido principalmente a la falta de previsión en la ubicación de los sondeos. Esto se debe solucionar en el futuro para aprovechar al máximo la información generada.

Tabla 3.2 Total de Perforaciones por empresa

Empresas	Período	Perforaciones
Asesoría y Estudios Técnicos Cía. Ltda.	1975 – 1993	445
CIMENTACIONES Cía. Ltda. Ingenieros Consultores	1967 – 2002	345
Universidad de Guayaquil Laboratorio Arnaldo Ruffilli	1972 - 1999	71
Total de Perforaciones		861

Tabla 3.3 Total de perforaciones Georeferenciadas

EMPRESAS	PERFORACIONES
Asesoría y Estudios Técnicos Cía. Ltda.	290
CIMENTACIONES Cía. Ltda. Ingenieros Consultores	244
Universidad de Guayaquil Laboratorio Arnaldo Ruffilli	51
Total de Perforaciones	585

Los datos recogidos tienen información geomecánica, como contenido de humedad, límites de Atterberg, granulometría, resistencia a la

compresión y densidad de los suelos, también datos de su ubicación, fecha de toma de la muestra, nivel freático, entre otros.

3.4 PROCESAMIENTO DE DATOS

Para la elaboración de los mapas se realizó varios procedimientos en la información recopilada y en la generación del mapa de la ciudad de Guayaquil. A continuación se detalla la metodología seguida.

3.4.1 Metodología en la Información recopilada.

- a) **Contabilizar las muestras a diferentes profundidades (tabla 3.4):** Su finalidad establecer los rangos de profundidad en los mapas. Inicialmente el propósito era realizar mapas a cada metro, pero existía mucha información en profundidades menores y poca a profundidades mayores, se optó por agruparlos (tabla 3.5).

- b) **Selección de rango de profundidad:** Generalmente, las cimentaciones poco profundas se asientan a 2m y las cimentaciones profundas a 10m o más. Por tal motivo, se decidió agrupar los datos cada 2m hasta llegar a 10m y luego cada 5m

hasta llegar a los 30m. Por la falta de información en profundidades mayores a 30m, se agrupó en un solo rango de 30 a 50m, mostrados en la tabla 3.5.

Tabla 3.4 Total de muestras a diferentes profundidades.

(Información cada metro).

Profundidad		Total muestra	% con respecto al total sondeos disponibles ²
Inicial	Final		
0	1	328	38.10
1	2	646	75.03
2	3	623	72.36
3	4	559	64.92
4	5	550	63.88
5	6	513	59.58
6	7	421	48.90
7	8	436	50.64
8	9	356	41.35
9	10	364	42.28
10	11	310	36.00
11	12	297	34.50
12	13	157	18.23
13	14	280	32.52
14	15	244	28.34
15	16	215	24.97
16	17	193	22.42
17	18	107	12.43
18	19	156	18.12
19	20	118	13.70
20	21	140	16.26
21	22	118	13.70
22	23	2	0.23
23	24	93	10.80
24	25	108	12.54
25	26	89	10.34
26	27	68	7.90
27	28	39	4.53
28	29	0	0

² Se ha considerado para este porcentaje, el total de sondeos recopilados (861) independientemente de si son validos para el posterior análisis.

Profundidad		Total muestra	% con respecto al total sondeos disponibles ²
Inicial	Final		
29	30	77	8.94
30	31	36	4.18
31	32	37	4.29
32	33	34	3.95
33	34	22	2.55
34	35	24	2.79
35	36	23	2.67
36	37	5	0.58
37	38	3	0.35
38	39	0	0
39	40	8	0.93
40	41	1	0.12
41	42	1	0.12

Como podemos observar en la tabla 3.4 a partir de los 20m las muestras recuperadas son pocas. Esto se debe a la presencia de materiales blandos que imposibilitan realizar una recuperación exitosa del testigo.

Tabla 3.5 Total de muestras en el rango establecido para la base de datos.

Profundidad		Número de muestra usadas por nivel	% de total disponible
Inicial	Final		
0	2	646	75.02
2	4	623	72.36
4	6	550	63.88
6	8	436	50.64
8	10	364	42.28
10	15	317	36.82
15	20	217	25.20
20	25	140	16.26
25	30	97	11.26
30	50	47	5.46

- c) Establecidos los rangos de profundidad, se promedió los valores en la mayoría de las perforaciones y en muy pocos la mediana. Se obtenía la mediana en los valores donde existían materiales no plásticos, por que en estos casos la mediana es más representativa que el promedio. Además al establecer los rangos de profundidad, por ejemplo de 0 a 2m, tenemos que de 0 a 1m 328 muestras y de 1 a 2m 646, se elige 646 en total a pesar de que 318 datos no son compensados, pero estos datos están incluidos dentro de rango de 0 a 2m.
- d) Luego se procedió a la selección de sondeos que poseían una ubicación exacta para diferenciarlos de los que no la tenían.

- e) Se estructuró la base con los promedios de los datos de las perforaciones. A cada parámetro se le asignó un código de identificación en la base de datos. En la tabla 3.6 se presenta el código asignado al contenido de humedad con una descripción relativa a ese parámetro. En la tabla 3.7, se presenta el resumen de códigos usados para todos los parámetros evaluados.

Tabla 3.6.- Descripción de la base de datos

Codigo	Descripción
Hum0_2	% Contenido de humedad para alturas de 0 a 2m (promedio)
Hum2_4	% Contenido de humedad para alturas de 2 a 4m (promedio)
Hum4_6	% Contenido de humedad para alturas de 4 a 6m (promedio)
Hum6_8	% Contenido de humedad para alturas de 6 a 8m (promedio)
Hum8_10	% Contenido de humedad para alturas de 8 a 10m (promedio)
Hum10_15	% Contenido de humedad para alturas de 10 a 15m (promedio)
Hum15_20	% Contenido de humedad para alturas de 15 a 20m (promedio)
Hum20_25	% Contenido de humedad para alturas de 20 a 25m (promedio)
Hum25_30	% Contenido de humedad para alturas de 25 a 30m (promedio)
Hum30_50	% Contenido de humedad para alturas de 30 a 50m (promedio)

Tabla 3.7 Códigos asignados a los parámetros geomecánicos evaluados y utilizados en la base de datos digital.

% Humedad	Limite Líquido	Índice Plástico	% de Grava	% de Arena	% de Finos	Resistencia a la compresión simple	Densidad
Hum0_2	LL0_2	IP0_2	GRA0_2	ARE0_2	FIN0_2	QU0_2	DEN0_2
Hum2_4	LL2_4	IP2_4	GRA2_4	ARE2_4	FIN2_4	QU2_4	DEN2_4
Hum4_6	LL4_6	IP4_6	GRA4_6	ARE4_6	FIN4_6	QU4_6	DEN4_6
Hum6_8	LL6_8	IP6_8	GRA6_8	ARE6_8	FIN6_8	QU6_8	DEN6_8
Hum8_10	LL8_10	IP8_10	GRA8_10	ARE8_10	FIN8_10	QU8_10	DEN8_10
Hum10_15	LL10_15	IP10_15	GRA10_15	ARE10_15	FIN10_15	QU10_15	DEN10_15
Hum15_20	LL15_20	IP15_20	GRA15_20	ARE15_20	FIN15_20	QU15_20	DEN15_20
Hum20_25	LL20_25	IP20_25	GRA20_25	ARE20_25	FIN20_25	QU20_25	DEN20_25
Hum25_30	LL25_30	IP25_30	GRA25_30	ARE25_30	FIN25_30	QU25_30	DEN25_30
Hum30_50	LL30_50	IP30_50	GRA30_50	ARE30_50	FIN30_50	QU30_50	DEN30_50

3.4.2 Asignación de valores en casos especiales

En la base de datos se asignaron valores de cierta característica.

- Cuando no existía información de ciertos parámetros se asignaba el valor de 999.
- Cuando la información acerca del Límite Líquido y el Índice Plástico determinaba la presencia de materiales no plásticos se asigna el valor de 0. Esto se hace con la finalidad de facilitar el proceso matemático de los datos (NP- no plásticos no es un valor numérico).
- En el % grava el valor asignado es el % retenido en la malla del tamíz # 4, y % finos el valor asignado es % pasante del tamíz # 200.
- Los datos de resistencia a la compresión simple Q_u están dados en kg/cm^2 .
- El peso unitario o densidad de suelo se mide en Ton/m^3 .

3.4.3 Metodología en la generación del mapa de la ciudad de Guayaquil

Uno de los principales datos de entrada es el mapa de la ciudad de Guayaquil en formato digital. Dicha información se puede generar a partir de mapas escaneados, fotografías aéreas o digitalizadas. En la presente tesis el mapa de la ciudad de Guayaquil fue escaneado. Debido a limitaciones en el equipo, el mapa impreso tuvo que ser escaneado por partes. Para unir las diferentes partes del mapa se procedió a la siguiente metodología:

1. Crear un proyecto en ArcView con su respectivo directorio de trabajo y activar las extensiones³ que van a ser usadas (figura 3.3). Las extensiones usadas son:
 - Grid generalization
 - Grid transformation
 - Grid Analyst
 - Grid generalization
 - JPEG (JFIF) Image Support
 - Warp Environment

³ Estas extensiones pueden ser descargadas libremente por Internet.

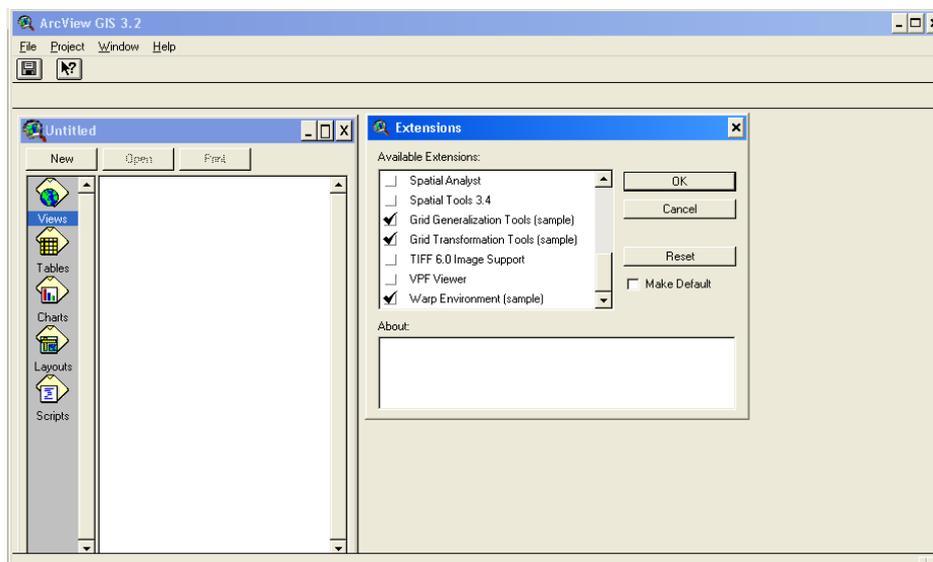


Figura 3.3.-Ventana de extensiones del Software ArcView.

2. A continuación, se crean dos vistas. En el menú herramientas **Warp** seleccionar la vista de inicio (Set from view), la vista final (Set to View) y crear la tabla de propiedades (Create Link Table) (figura 3.4), en la vista 1 y 2 se debe especificar las unidades que se va a trabajar. La presente tesis usó como unidad el metro (figura 3.5). Warp es una herramienta que aplica una transformación polinómica de Orden 1 a una grilla específica.

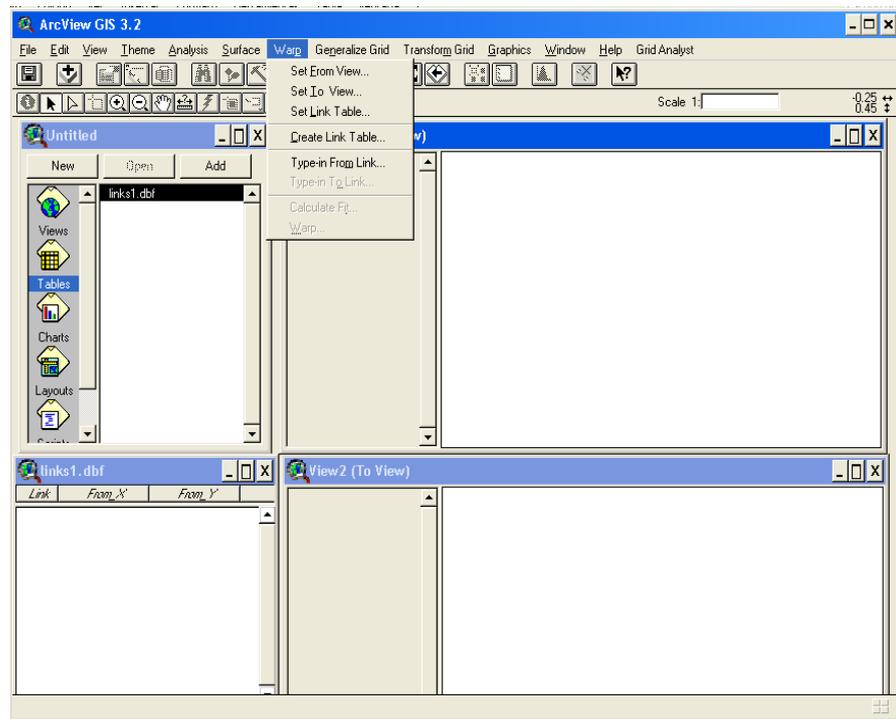


Figura 3.4.- Ventana warp seleccionando las vista inicial y final y la tabla de relación



Figura 3.5.- Ventana de propiedades para determinar las unidades del proyecto

3. En la vista *From View* se agrega el mapa escaneado, y con la ayuda de la herramienta Grid Analyst, convertimos la imagen en tres mapas de formato raster por cada banda de colore de la imagen. Sobre estos mapas generados se fijan las coordenadas de referencia mediante puntos digitalizados, a los que se le introduce la información respectiva (coordenadas), ver la figura 3.6.

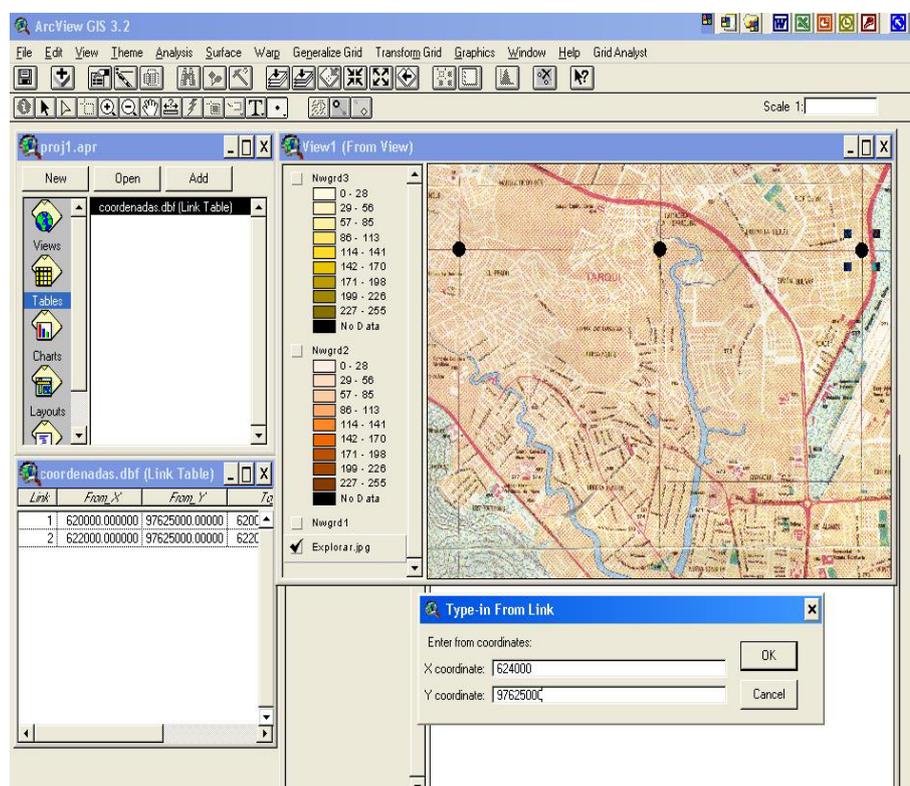


Figura 3.6.- La imagen con sus respectivas coordenadas

4. Después de la adición de los puntos de georeferenciación, se procede a generar la nueva imagen georeferenciada, con la

herramienta Warp. Se debe elegir cada mapa raster generado correspondiente a cada banda de color (denominados respectivamente *Nwgrd1*, *Nwgrd2*, *Nwgrd3*). Este proceso referenciará los 3 mapas raster a la ubicación real mostrándolos en la vista 2 con los nombres (*Warp of Nwgrd1*, *Warp of Nwgrd2*, *Warp of Nwgrd3*). Para convertir estos en imagen utilizamos Grid Analyst, ver la figura 3.7.

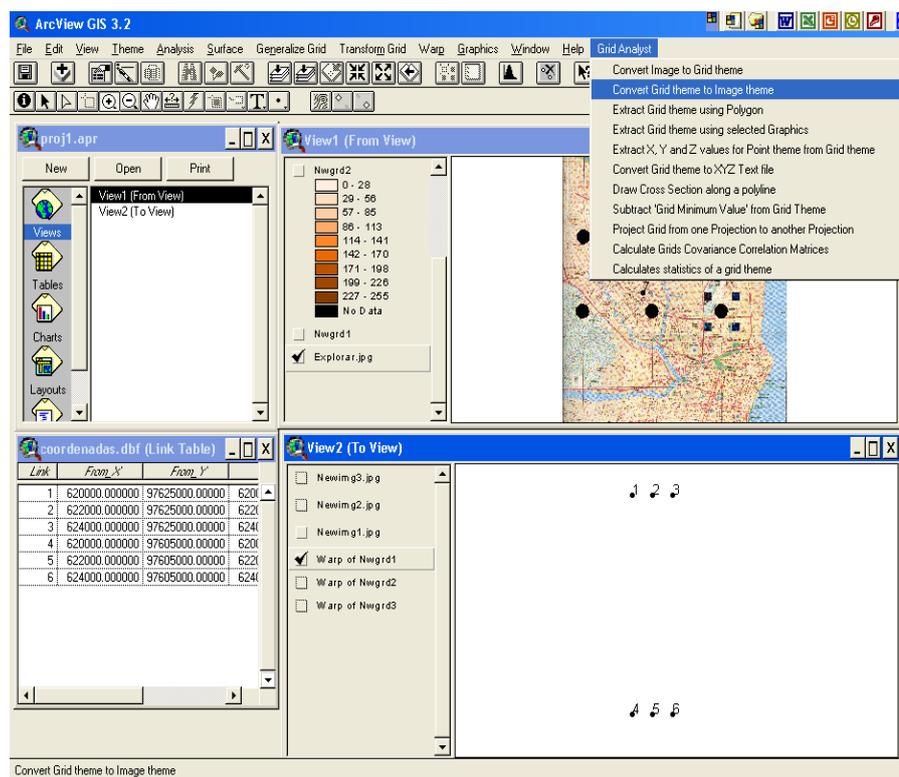


Figura 3.7.- Imagen totalmente georeferenciada.

Una vez incluido el mapa georeferenciado en el GIS y estructurada la base de datos, se comienza a ubicar los sondeos con sus parámetros geomecánicos.

A continuación se describe la metodología de ubicación de sondeos, en la base a ejemplos:

- ❖ Si la dirección es por ejemplo Quisquis entre Carchi y Tulcán: el punto se ubicará en el medio de la calle Quisquis.
- ❖ Si la dirección es por ejemplo Esmeraldas y 9 de Octubre, el punto estará ubicado en la intersección de la calle.
- ❖ Para la ubicación de los sondeos cuya dirección no sea tan específica (por ejemplo Km. 2 ½ vía Daule) su ubicación será aproximada a criterio de la autora de la tesis.

Una vez ubicado todas las perforaciones, obtenemos el porcentaje de datos por cada parámetro de las 585 perforaciones, mostrado en la tabla 3.8

⁴ En la pagina 59, se explica la razón del porqué se usaron solamente 585 de las 861 perforaciones registradas.

Tabla 3.8.- Porcentajes de datos encontrados por cada parámetro geomecánico con respecto a las 585 perforaciones evaluadas

PARAMETROS GEOMECÁNICOS								
Profundidad (m)	Humedad	Limite Liquido	Índice Plástico	Grava	Arena	Fino	Resistencia a la Compresión simple	Peso unitario
0 - 2	88,05	86,01	86,01	84,98	84,98	84,98	67,92	75,09
2 - 4	88,91	87,03	87,03	84,64	84,64	84,64	79,18	79,86
4 - 6	90,96	83,45	83,45	82,08	82,08	82,08	76,62	77,3
6 - 8	91,13	71,84	71,84	69,45	69,45	69,45	62,29	61,77
8 - 10	63,82	62,12	62,12	60,24	60,24	60,24	51,02	51,02
10 - 15	53,58	52,73	52,73	50,34	50,34	50,34	45,05	45,73
15 - 20	39,08	36,52	36,52	36,86	36,86	36,86	23,38	24,57
20 - 25	26,62	24,4	24,4	25,94	25,94	25,94	9,73	11,26
25 - 30	17,92	16,38	16,38	17,24	17,24	17,24	3,07	6,31
30 - 50	9,04	8,36	8,36	8,7	8,7	8,7	1,19	1,54

CAPITULO 4

ELABORACION DE MAPAS DIGITALES

Los mapas digitales son mapas participativos apoyados en el uso de SIG. La persona puede manipular, coleccionar o producir datos sobre los parámetros del suelo y su distribución geográfica mediante los atributos que tiene el mapa. La principal fortaleza de los mapas digitales es la posibilidad de interactuar con una base de datos ligada a la información gráfica (mapa) que haya sido previamente georeferenciada.

Los mapas digitales pueden ser de formato vectorial o raster (ver explicación en la sección 2.1.3, acápite 6). En el presente trabajo se generará

información de suelos a través de mapas raster derivados de un proceso de interpolación.

La celda de interpolación para los mapas generados corresponde a una celda de 50mx50m, es decir, 2.500m² de área. Cabe señalar que si en un futuro existen más datos disponibles uno puede disminuir la cuadrícula y obtener mayor precisión en los mapas.

4.1 SELECCIÓN DEL ÁREA DE INTERPOLACIÓN.

Uno de los problemas encontrados en la elaboración de mapas es la disponibilidad espacial de datos al realizar el procedimiento de interpolación dentro de un área determinada. En el presente trabajo, se utilizó el criterio de la densidad de datos para resolver este problema. Inicialmente se analizó el área que abarcaba todos los datos encontrados dentro de las coordenadas mostradas en la tabla 4.1.

Tabla 4.1.-Coordenadas iniciales donde están todas las perforaciones recopiladas por esta tesis

UTM Coordenadas	
Norte	9773500
Este	627000
Sur	9747500
Oeste	616000

4.1.1 Densidad de los datos

El propósito de encontrar la densidad de datos fue determinar donde estaba la mayor cantidad de datos concentrados (puntos de datos por unidad de área de superficie). El área de interpolación recomendada debe ser definida por la zona de densidad de datos más alta en el análisis. El procedimiento se llevó a cabo con todas las perforaciones disponibles en la ciudad de Guayaquil tal como se muestra en la figura 4.1. El valor de densidad calculado, es afectado por un radio de búsqueda de la información que para la presente tesis fue seleccionado en 4km.

El proceso de interpolación final de los datos fue realizado dentro del recuadro grueso mostrado en la figura 4.1, el cual incluye dos zonas más oscuras y definidas por las coordenadas

mostrada en la tabla 4.2. Esta superficie representa alrededor de 3900 Ha (11.5% del área urbana) y principalmente corresponde al casco comercial de la ciudad de Guayaquil.

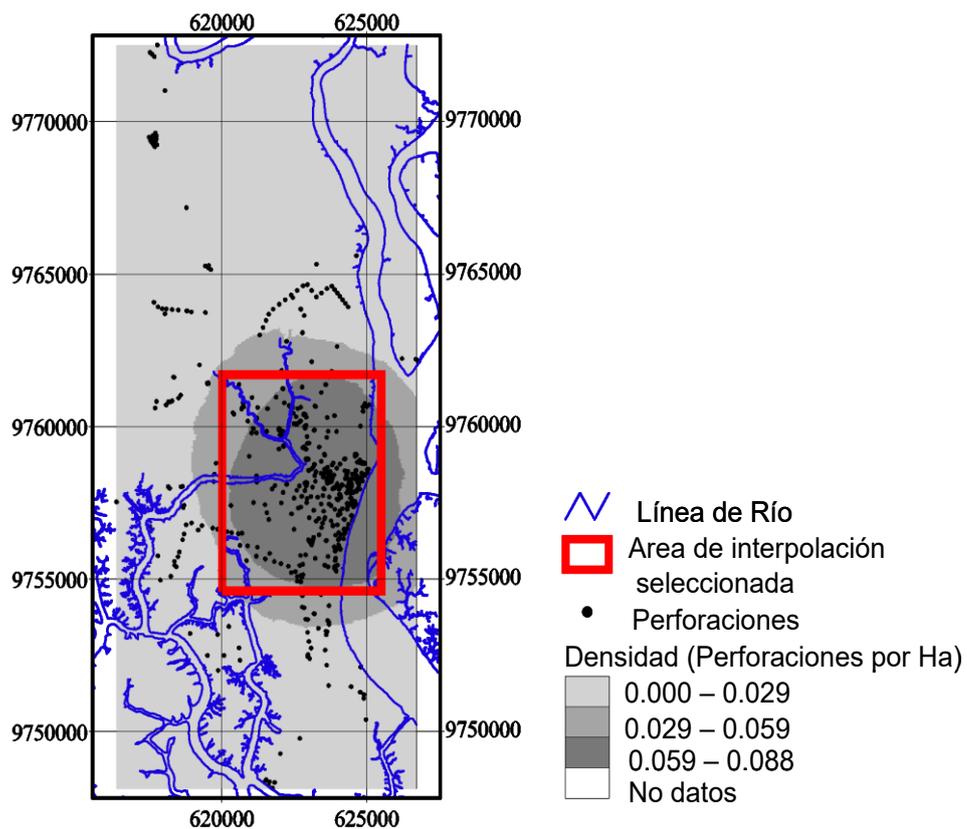


Figura 4.1.- Determinación del área de interpolación basada en la información superficie de densidad

Tabla 4.2.- El limite de coordenadas recomendado para el área de interpolación.

UTM Coordenadas	
Norte	9761700
Este	625500
Sur	9754600
Oeste	620000

Una vez delimitada el área, procedimos a calcular la densidad de datos para cada parámetro geomecánico considerado.

A continuación se detalla el procedimiento.

- Se separa los datos que tienen información de aquellos que no la tienen. Tal como se mencionó en el capítulo anterior, los parámetros que no poseen valor se le asignó un número de 999.
- En el menú **Table**, se seleccionó *Query*. Aparece una ventana en donde se podrá realizar las consultas respectivas para la discriminación de los datos válidos de los no válidos (999), tal como se muestra en la figura 4.2 y 43.

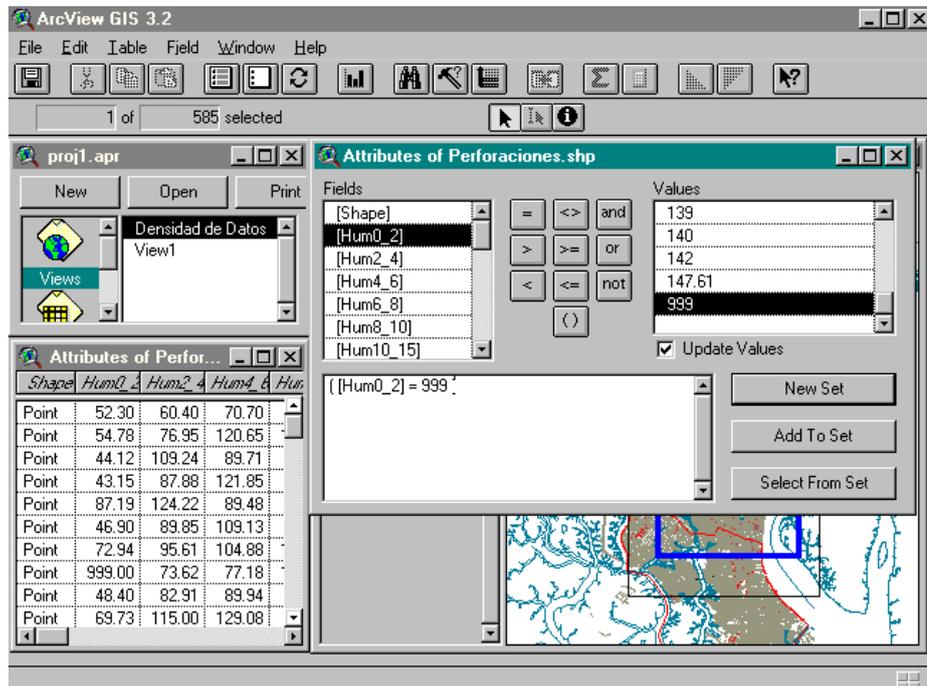


Figura 4.2.- Ventana para realizar consultas y discriminación.

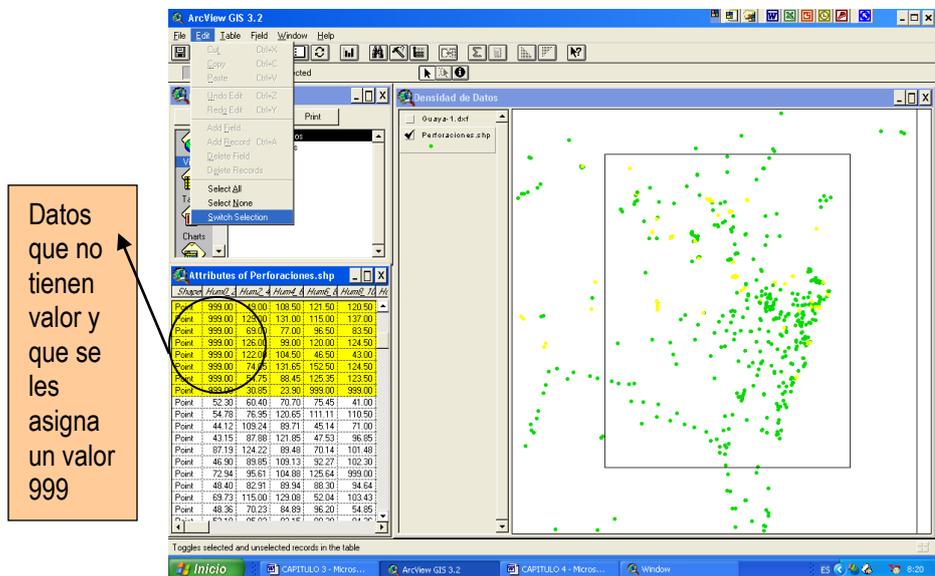


Figura 4.3.- Separación de datos válidos de no válidos.

- Una vez realizada la separación, procedemos a definir el área de interpolación. Seleccionamos el menú **Analysis** y posteriormente **Properties**. Aparecerá la ventana mostrada en la figura 4.4. En dicha ventana ingresamos los valores de coordenadas mostrada en la tabla 4.2 y también se ingresa el tamaño de la celda de interpolación (50m).

Analysis Properties: Densidad de Datos

Analysis Extent: Current Value

Left: 620000 Top: 9761700

Bottom: 9754600 Right: 625500

Analysis Cell Size: Current Value

Cell Size: 50 m

Number of Rows: 142

Number of Columns: 110

Analysis Mask: No Mask Set

OK Cancel

Figura 4.4.- Ventana de propiedades del análisis

- Colocada las propiedades procedemos al cálculo de la densidad de datos seleccionando en el menú **Análisis** el submenú **Calculate Density**. En la ventana mostrada, se

puede seleccionar el método de cálculo simple o kernel. En la presente tesis se utilizó el método simple, y la unidad de área en hectáreas, (figura 4.5).

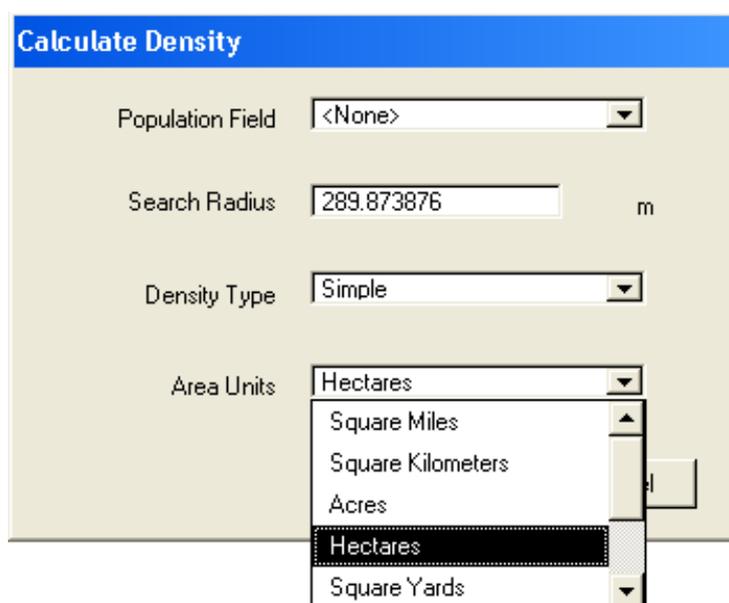


Figura 4.5.- Ventana de cálculo de la densidad de datos

- Estos pasos se realizaron para cada parámetro geomecánico en cada grupo de profundidad de análisis.
- En la figura 4.6, se muestra la densidad de datos para el contenido de humedad para las diferentes profundidades. El análisis del resto de parámetros se presenta en el anexo A.

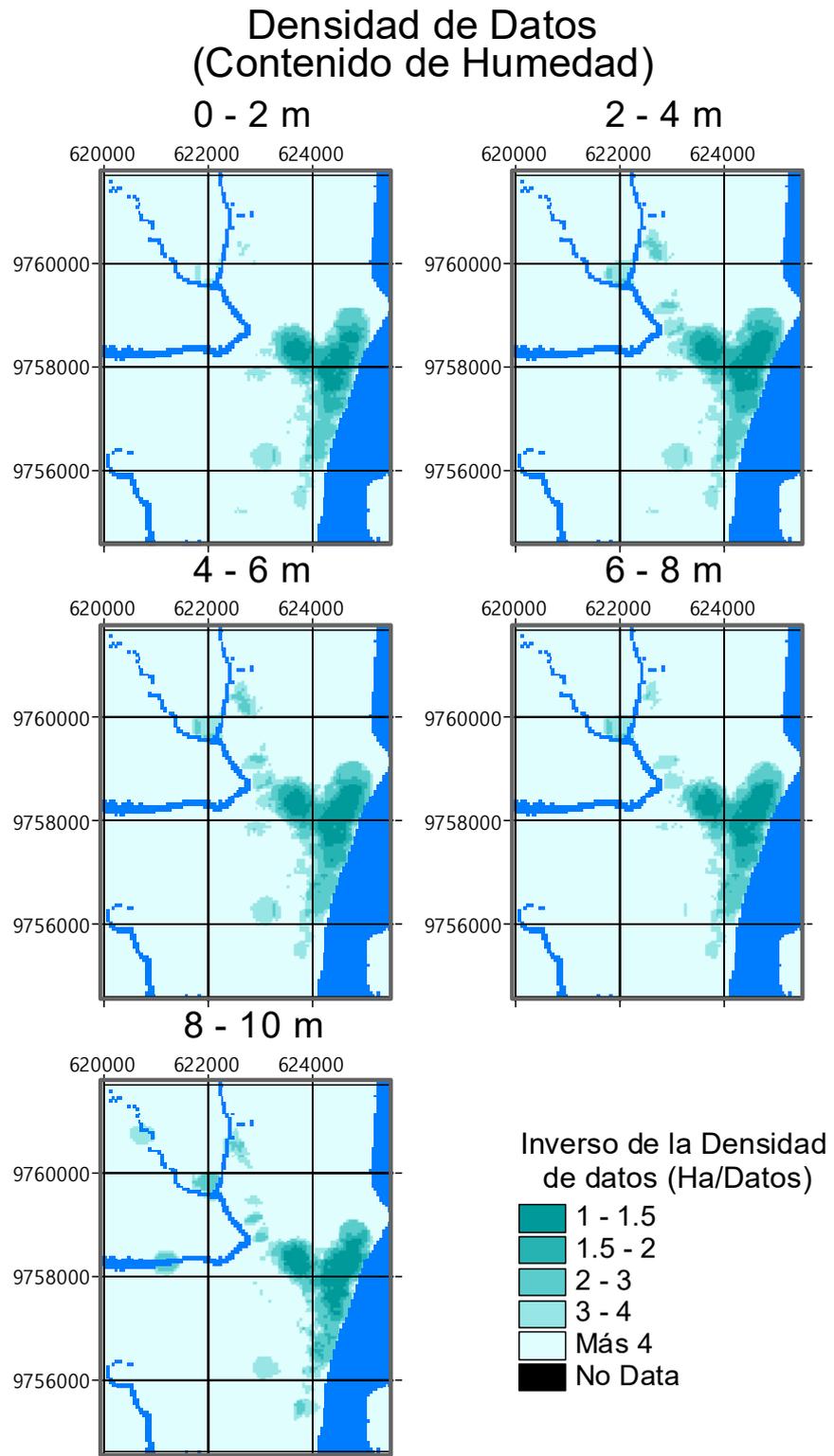


Figura 4.6.- Densidad de datos para el contenido de humedad

4.2 PROCESO DE INTERPOLACIÓN

A partir de la densidad de los datos, se puede determinar que para profundidades menores a 10m los resultados son más confiables por que más datos están involucrados. A pesar de eso, a estratos más profundos todavía se pueden obtener mapas confiables tal como se muestra en Matamoros y Criollo (2004). Los mapas interpolados corresponden a los siguientes parámetros:

- ❖ Límites de Atterberg,
- ❖ Granulometría
- ❖ Contenido de humedad,
- ❖ Densidad y resistencia a la comprensión simple.

En la presente tesis se probaron varios métodos de interpolación, para producir mapas raster con menor error posible entre el dato observado y el estimado. La eficiencia o error **E** (Nash and Sutcliffe 1970; Legates and McCabe 1999) dada por la ecuación 4.1 y el promedio del sesgo dado por la ecuación 4.2, fueron usados para probar la bondad de ajuste en los métodos de interpolación.

$$E = \frac{\left(\sum_{i=1}^n (O_i - O_{promedio})^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 \right)}{\left(\sum_{i=1}^n (O_i - O_{promedio})^2 \right)} \quad (\text{ecuación 4.1})$$

$$Sesgo_{promedio} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{Observado_i - Estimado_i}{Observado_i} \right) \quad (\text{ecuación 4.2})$$

Existen varios métodos de interpolación para generar mapas a partir de datos de puntos. Sin embargo los resultados no son los mismos porque los métodos de cálculo son diferentes.

La selección de un método de interpolación adecuado dependerá de que tan buen ajuste tenga entre los datos observados con los estimados, así como también del menor error. En esta tesis la selección se basó en el diagrama de flujo de decisiones propuesto en la figura 4.7.

Para cada método se iba calculando el error o eficiencia y el sesgo, para así poder determinar el mejor. Por cada parámetro y nivel de profundidad se realizaron 8 métodos, es decir por ejemplo para el Límite Líquido del estrato de 0 a 2m se probó con ocho métodos diferentes y se selecciono el mejor de ellos. Así sucesivamente se probó para cada parámetro y en cada nivel de profundidad. De los 8 procedimientos el mejor método encontrado fue el IDW (Inverse Distance Weigh, Distancia Inversa Ponderada). Por lo tanto este método se utilizó para todos los mapas raster generados.

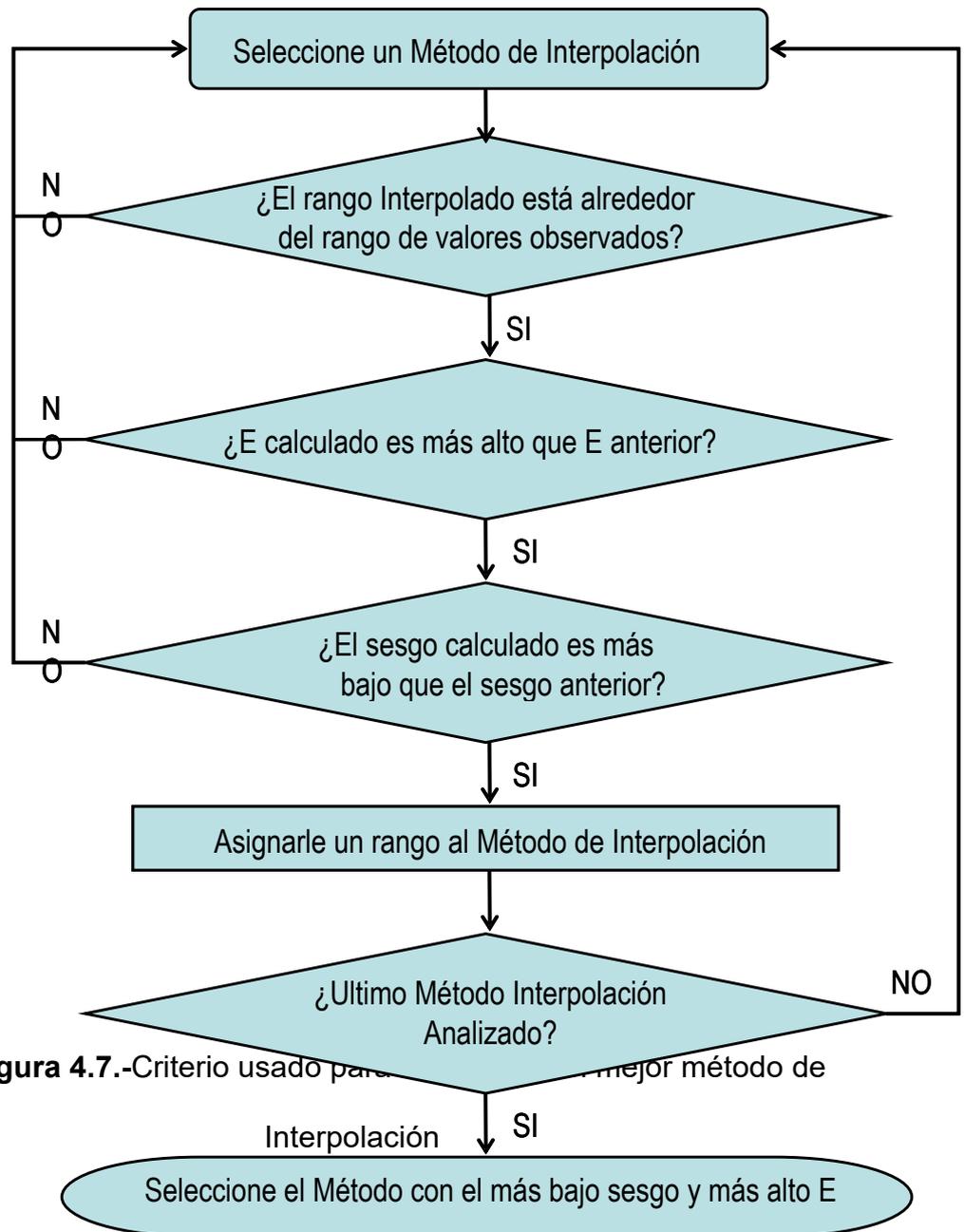


Figura 4.7.-Criterio usado para seleccionar el mejor método de Interpolación

4.2.1 Errores

En la presente tesis puede existir error tanto en la información cedida por los laboratorios como en el procesamiento de los datos. A continuación, se discute acerca del error en los mapas interpolados.

Los errores pueden ser minimizados de la siguiente manera:

- Ingresando más información en la base de datos.
- Disminuyendo la cuadrícula de interpolación
- Disminuyendo el rango de profundidad, de los datos agrupados.
- Disminuyendo el área de interpolación.
- Utilizando un mejor método de interpolación.

Cabe indicar que tanto los datos observados así como los valores estimados tienden a agruparse en una curva normal estandarizada. Es esta tesis, esto es más evidente en el grupo de datos de 8 a 10m debido a la presencia de lentes de arena en los suelos finos de la ciudad de Guayaquil.

A continuación se muestran varias tablas donde se encuentra el resumen de cada parámetro geomecánico y el método elegido. En la tabla 4.3 solo se muestra el rango calculado para

el contenido de humedad y así tener una noción de que los datos interpolados son aceptables. Información más detallada se puede encontrar en el anexo B.

El primer nivel (de 0 a 2m) muestra menos datos que el segundo nivel porque los estudios de suelos normalmente no toman muestra en los primeros estratos cuando el material encontrado es relleno.

Tabla 4.3.- Resumen del proceso de interpolación para el contenido de humedad.

Nivel de profundidad (m)	Método Interpolación	E	Bias (%)	Número de datos disponibles
0-2	Inverse Distance Weight	0.92	-1.68	358
2-4	Inverse Distance Weight	0.85	-2,40	403
4-6	Inverse Distance Weight	0.82	-2,93	402
6-8	Inverse Distance Weight	0.82	-2,61	363
8-10	Inverse Distance Weight	0.85	-1,60	325
10-15	Inverse Distance Weight	0.91	-0,97	281
15-20	Inverse Distance Weight	0.83	-1,32	208
20-25	Inverse Distance Weight	0.87	-3.91	145
25-30	Inverse Distance Weight	0.84	-3.79	104
30-50	Inverse Distance Weight	0.74	-0.74	52

Tabla 4.4.- Resumen del proceso de interpolación para el Límite líquido.

Nivel de profundidad (m)	Método Interpolación	E	Bias (%)	Número de datos disponibles
0-2	Inverse Distance Weight	0.91	-0.44	352
2-4	Inverse Distance Weight	0.88	-1.05	395
4-6	Inverse Distance Weight	0.86	-2.60	390
6-8	Inverse Distance Weight	0.87	-1.88	338
8-10	Inverse Distance Weight	0.86	-0.84	295

Tabla 4.5.- Resumen del proceso de interpolación para el Índice plástico

Nivel de profundidad (m)	Método Interpolación	E	Bias (%)	Número de datos disponibles
0-2	Inverse Distance Weight	0.91	-1.09	352
2-4	Inverse Distance Weight	0.88	-3.16	395
4-6	Inverse Distance Weight	0.88	-4.31	390
6-8	Inverse Distance Weight	0.88	-6.70	338
8-10	Inverse Distance Weight	0.88	-3.74	295

Tabla 4.6.- Resumen del proceso de interpolación para el % de finos.

Nivel de profundidad (m)	Método Interpolación	E	Bias (%)	Número de datos disponibles
0-2	Inverse Distance Weight	0.92	-1.94	345
2-4	Inverse Distance Weight	0.80	-3.79	384
4-6	Inverse Distance Weight	0.85	-7.07	380
6-8	Inverse Distance Weight	0.87	-2.91	345
8-10	Inverse Distance Weight	0.83	-3.18	307

Tabla 4.7.- Resumen del proceso de interpolación para el Peso unitario.

Nivel de profundidad (m)	Método Interpolación	E	Bias (%)	Número de datos disponibles
0-2	Inverse Distance Weight	0.87	-0.31	332
2-4	Inverse Distance Weight	0.84	-0.43	380
4-6	Inverse Distance Weight	0.83	-0.32	373
6-8	Inverse Distance Weight	0.86	-0.32	311
8-10	Inverse Distance Weight	0.83	-0.44	263

Tabla 4.8.- Resumen del proceso de interpolación para la Resistencia a la compresión simple.

Nivel de profundidad (m)	Método Interpolación	E	Bias (%)	Número de datos disponibles
0-2	Inverse Distance Weight	0.89	-6.55	325
2-4	Inverse Distance Weight	0.90	-8.52	376
4-6	Inverse Distance Weight	0.84	-7.0	369
6-8	Inverse Distance Weight	0.88	-4.90	309
8-10	Inverse Distance Weight	0.80	-14.35	259

En el cálculo del sesgo (ver sección 4.2) de la interpolación, se acostumbra a usar el valor promedio de los datos observados. Sin embargo, en la elaboración de los mapas de contenido de material grueso (arena más grava) se usó la mediana ya que la mayor cantidad de datos corresponden a un valor bajo, y los pocos valores altos producen un valor poco representativo. La tabla 4.9 muestra el proceso de interpolación para el contenido de material grueso.

Tabla 4.9.- Resumen del proceso de interpolación para la fracción grueso o Arena.

Nivel de profundidad (m)	Método Interpolación	E	Bias (%)	Número de datos disponibles
0-2	Inverse Distance Weight	0.89	-6.55	325
2-4	Inverse Distance Weight	0.90	-8.52	376
4-6	Inverse Distance Weight	0.84	-7.0	369
6-8	Inverse Distance Weight	0.88	-4.90	309
8-10	Inverse Distance Weight	0.80	-14.35	259

Una vez establecido cual es el mejor método se procede a generar los mapas temáticos.

4.2.2 Método de Interpolación Usado

El método de la distancia inversa ponderada (Inverse Distance Weigth) considera que los puntos más cercanos al punto interpolado reciben un mayor peso en el procedimiento de interpolación. Este método tiene dos alternativas, utilizar vecinos mas cercanos o todos los datos incluidos dentro de un radio fijo. En nuestro caso utilizamos los vecinos más cercanos. En el Arcview, seleccionamos IDW dentro del menú **Surface**, este menú se activa al carga la extensión Spatial Analyst en ArcView. A continuación detallamos el procedimiento de interpolación con este método.

- Del mismo modo que se procedió con la densidad de datos, se separan los datos que tienen información de aquellos que no existen. Después se procede con las propiedades de análisis para definir la extensión de interpolación. A continuación se selecciona el submenú *Interpolate grid*, dentro del menú **Surface**. En el momento aparece la ventana de superficie de interpolación, se elige el método IDW, y el ítem vecinos más cercanos (Nearest Neighbor) tal como se muestra en la figura 4.8. En la figura 4.9, se muestra el mapa generado. Todos estos pasos se repiten para generar el resto de mapas.

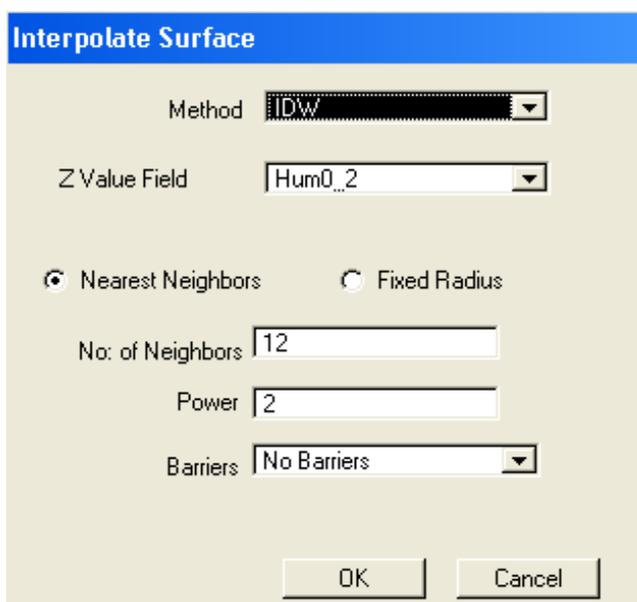


Figura 4.8.-Ventana de interactiva del interpolador IDW

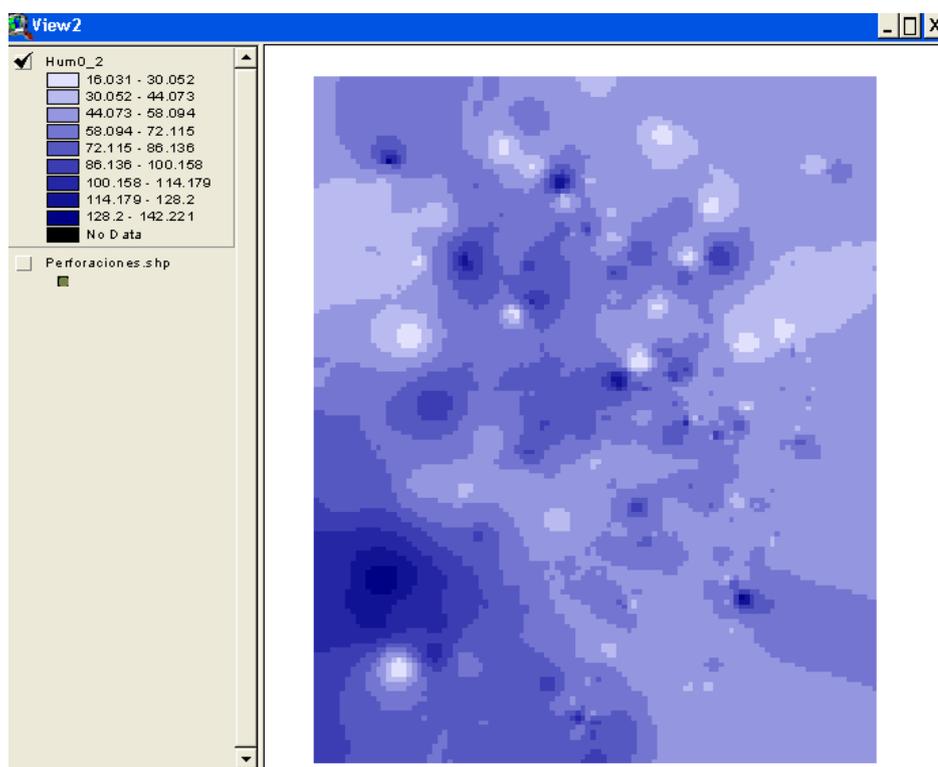


Figura 4.9.-Mapa raster generado del parámetro Humedad de 0 a 2m.

4.3 RESULTADOS

La tabla 4.10 contiene una lista de mapas de propiedades generados a partir de la interpolación de los datos, para el grupo de datos comprendidos entre 0 a 2m.

Tabla 4.10.- Lista de mapas de propiedades generados a partir del método de interpolación IDW.

No. FIGURA	MAPA DE PROPIEDADES GENERADO
------------	------------------------------

Figura 4.10	Contenido de Humedad de 0 a 2m
Figura 4.11	Límite Líquido de 0 a 2m
Figura 4.12	Índice Plástico de 0 a 2m
Figura 4.13	% de Grava de 0 a 2m
Figura 4.14	% de Arena de 0 a 2m
Figura 4.15	% de Fino de 0 a 2m
Figura 4.16	Densidad Ton/m ³ de 0 a 2m
Figura 4.17	Resistencia a la compresión Kg./cm ² de 0 a 2m

Los mapas interpolados del resto de profundidades se muestra en el Anexo C.

Figura 4.10.-Mapa raster del contenido de Humedad entre 0 y 2 m

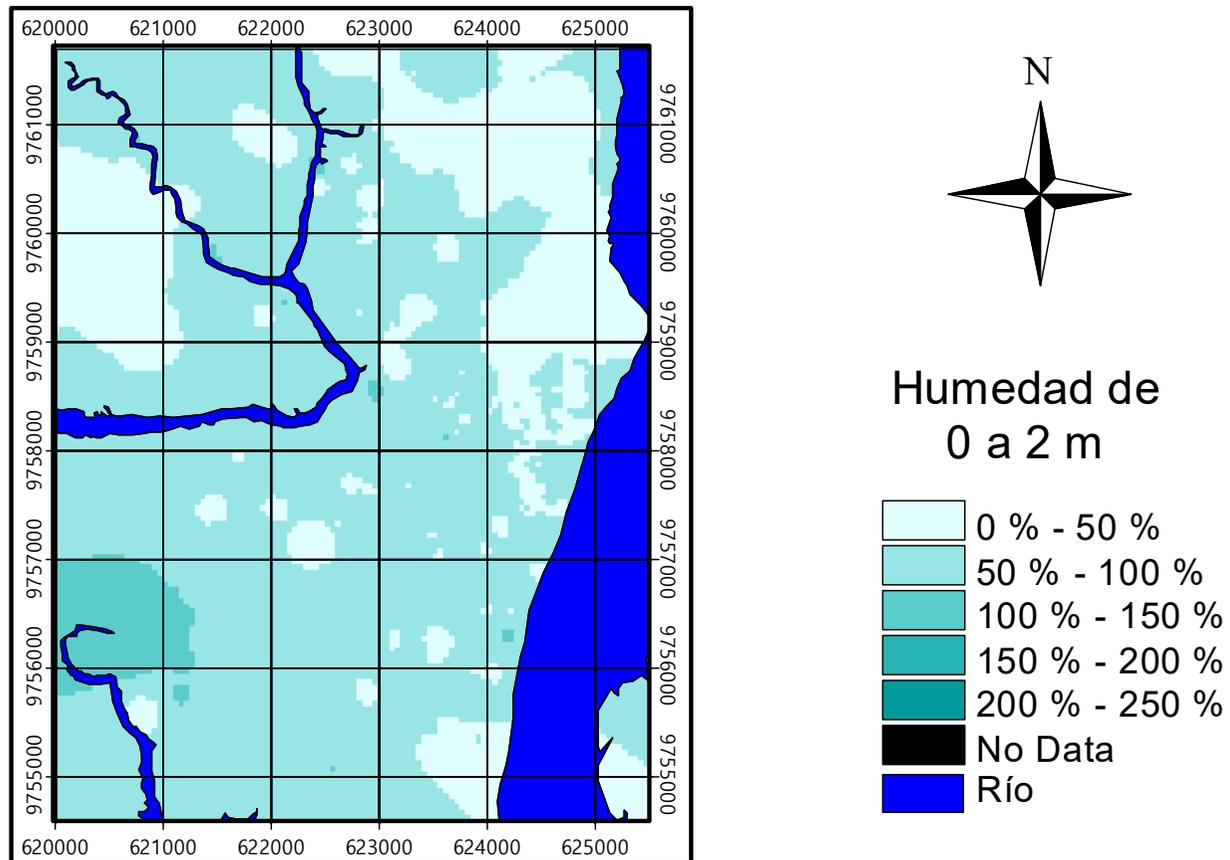


Figura 4.11.-Mapa raster del Límite Líquido entre 0 y 2m

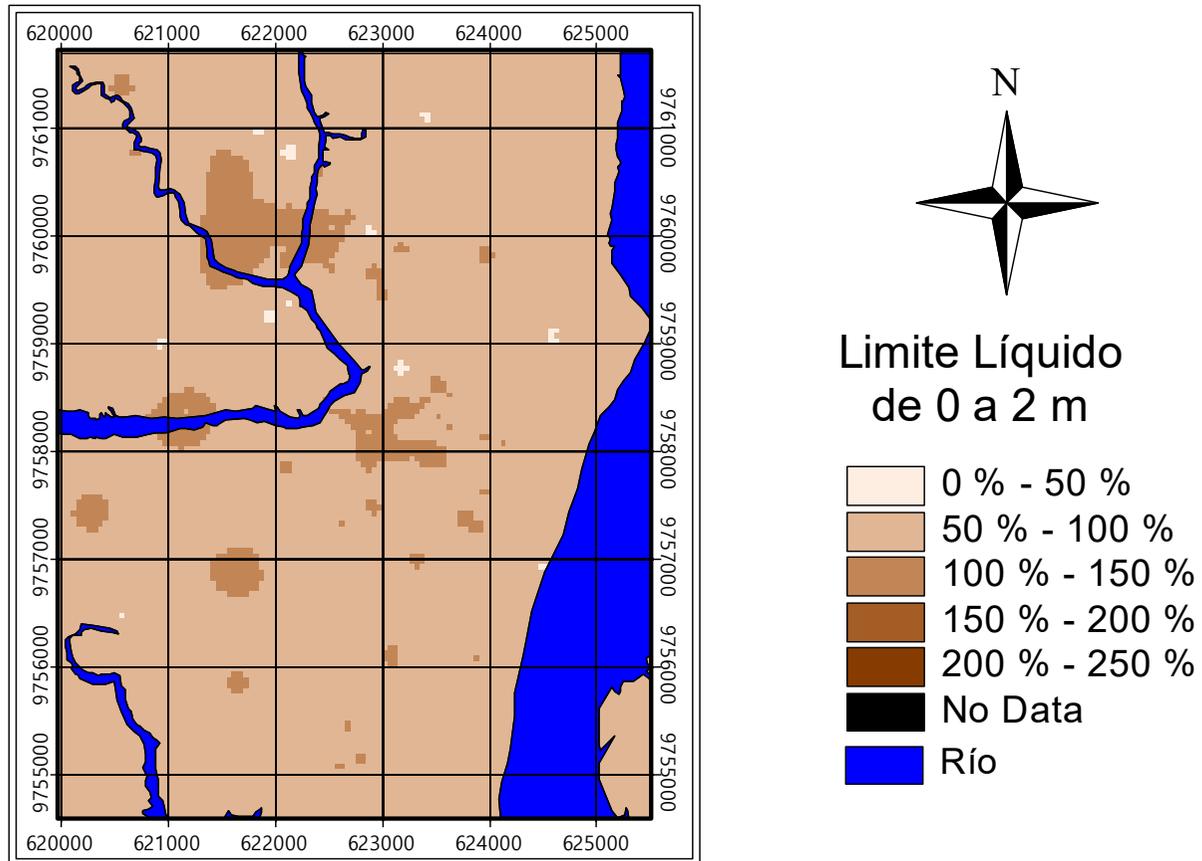


Figura 4.12.-Mapa raster del Índice Plástico entre 0 y 2 m

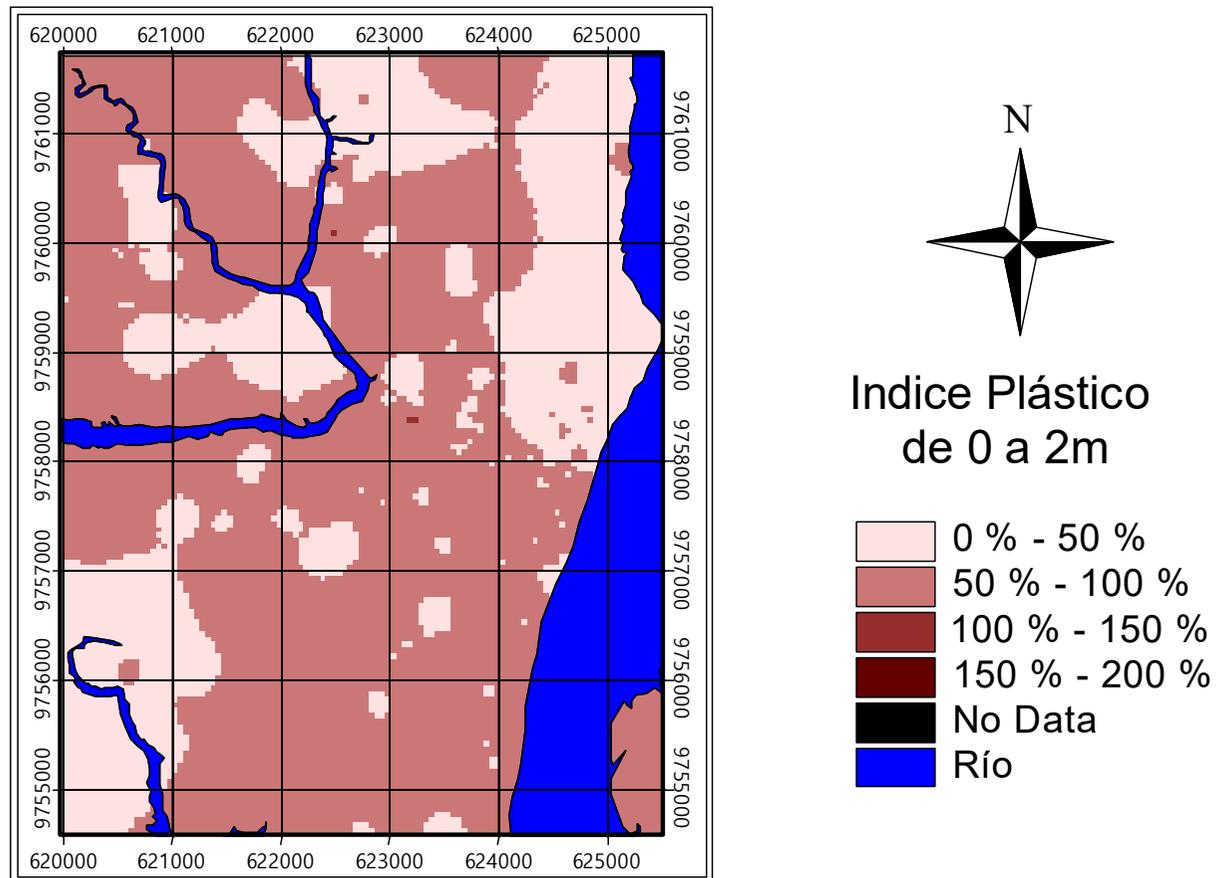


Figura 4.13.-Mapa raster del contenido de grava entre 0 y 2 m.

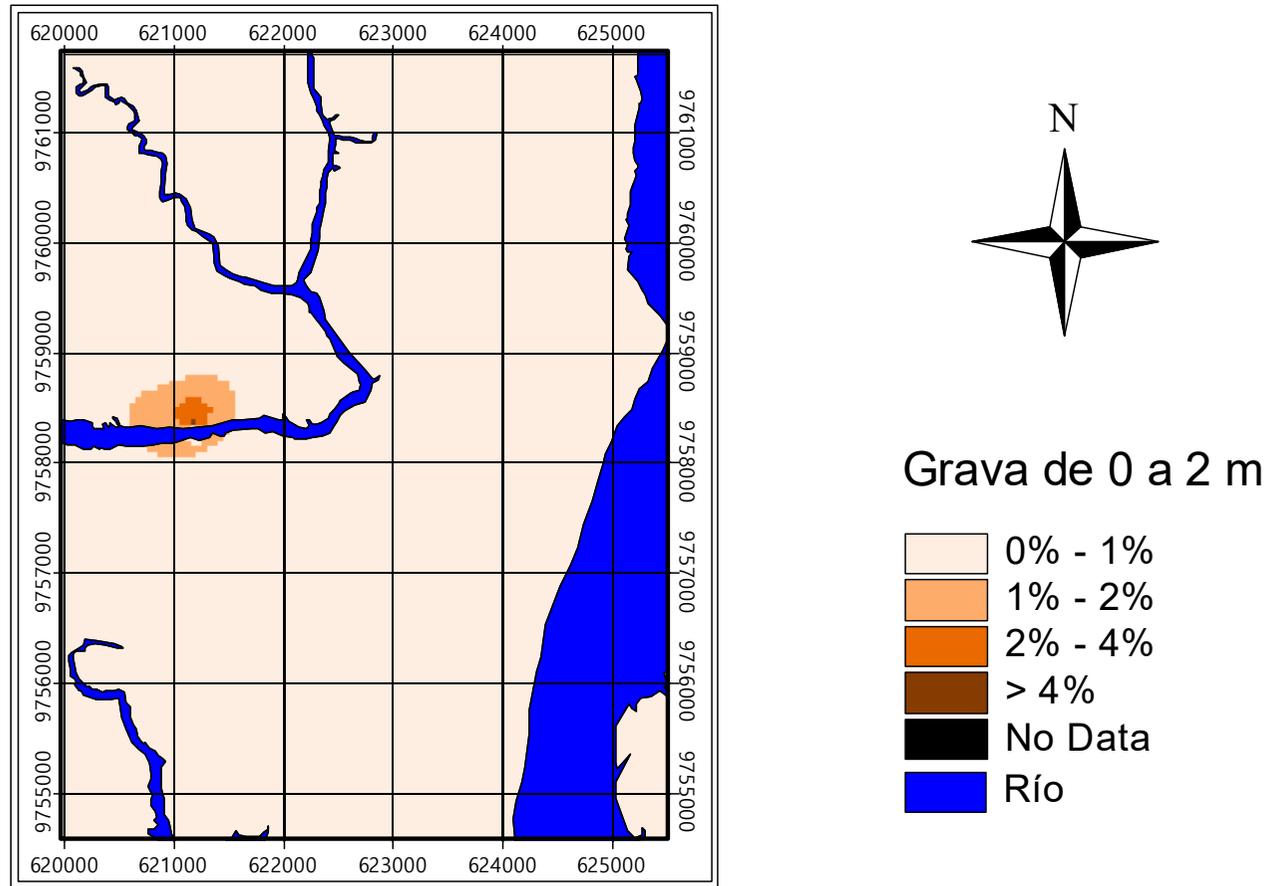


Figura 4.14.-Mapa raster del contenido de Arena entre 0 y 2m.

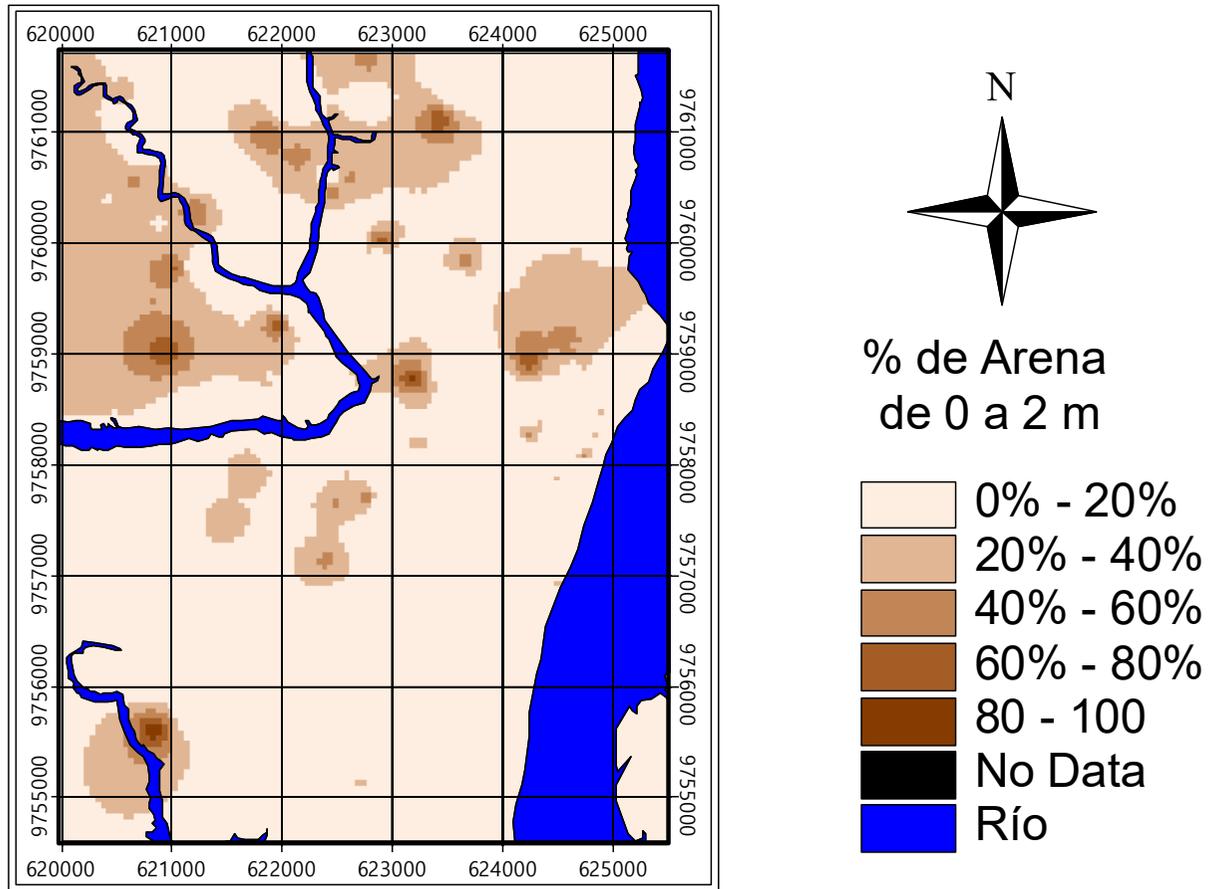


Figura 4.15.-Mapa raster del % contenido de material fino (Arcilla + Limo) entre 0 y 2 m.

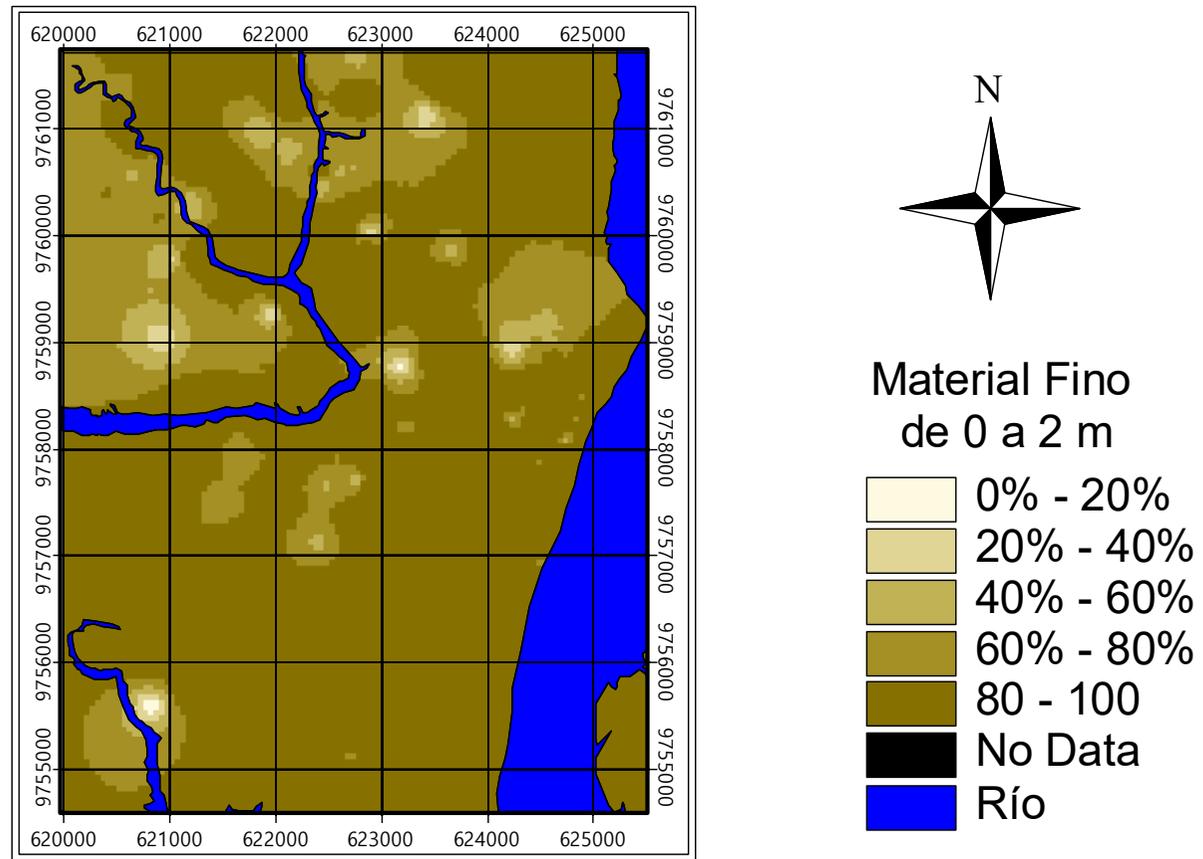


Figura 4.16.-Mapa raster de la densidad entre 0 y 2 m.

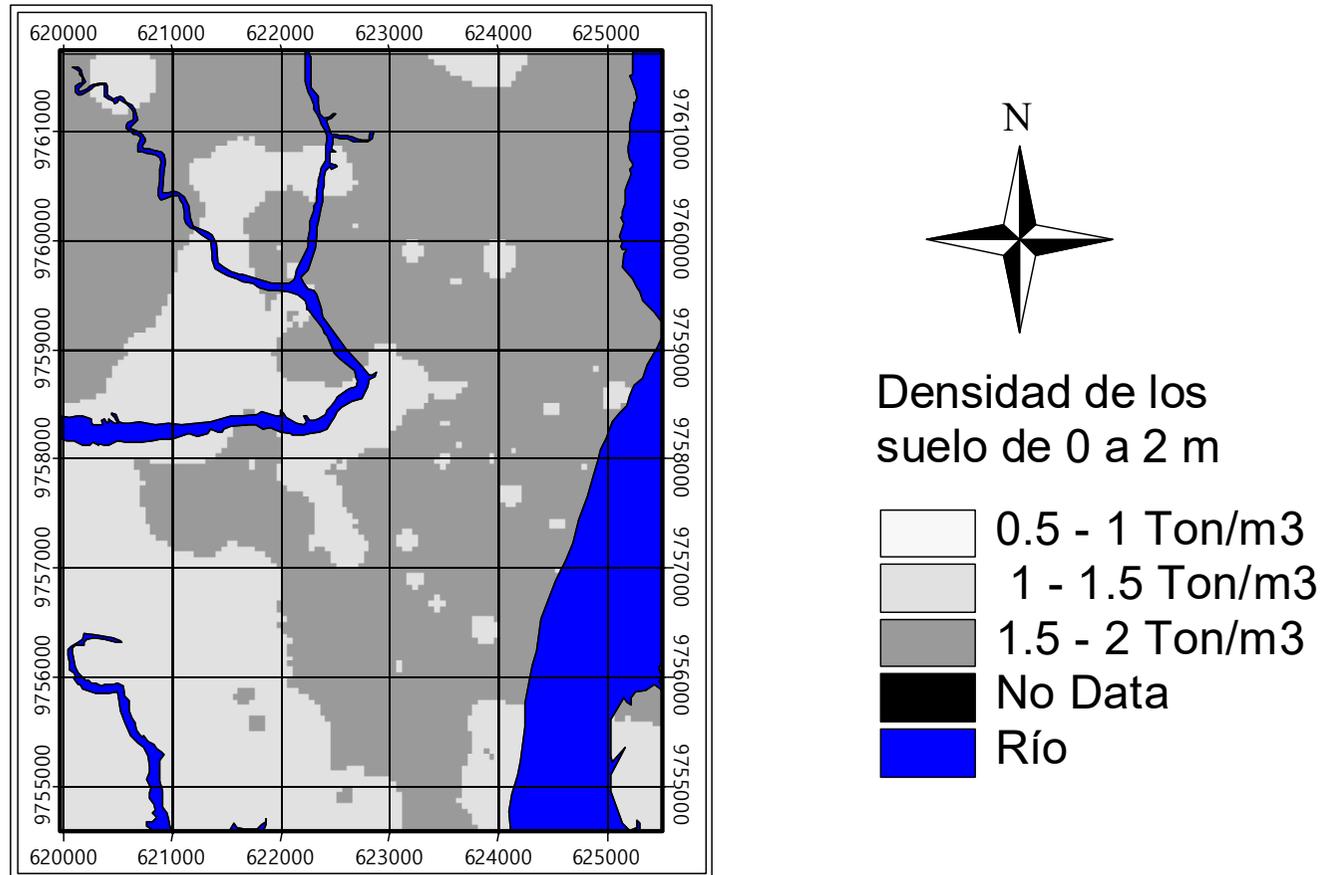
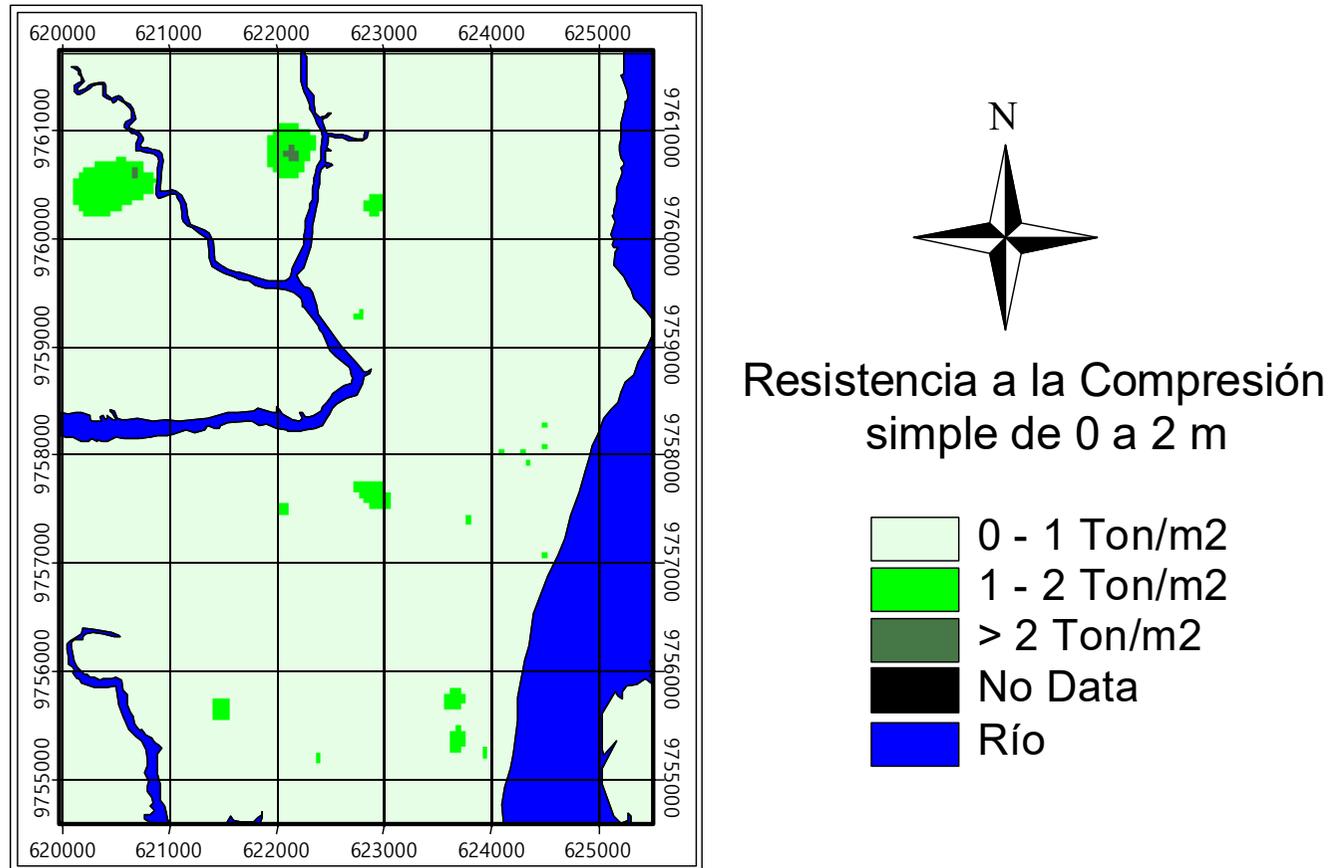


Figura 4.17.-Mapa raster de la Resistencia a la Compresión Simple entre 0 y 2 m.



CAPITULO 5

POTENCIALES APLICACIONES

5.1 INTERACCIÓN DIRECTA CON LOS MAPAS DIGITALES.

Una vez generado todos los mapas temáticos de los diferentes parámetros geomecánicos. Se puede interactuar directamente con el mapa identificando un punto dentro del área interpolada y obteniendo información acerca del parámetro geomecánico respectivo. Por ejemplo si se necesita conocer densidad del suelo entre 4 y 6m, se procede de la siguiente manera en la aplicación del ArcView:

- 1) Se activa el mapa temático en el ArcView.
- 2) Cuando se interactúa con el mapa digital, se puede obtener la información respectiva tal como se muestra en la figura 5.1.

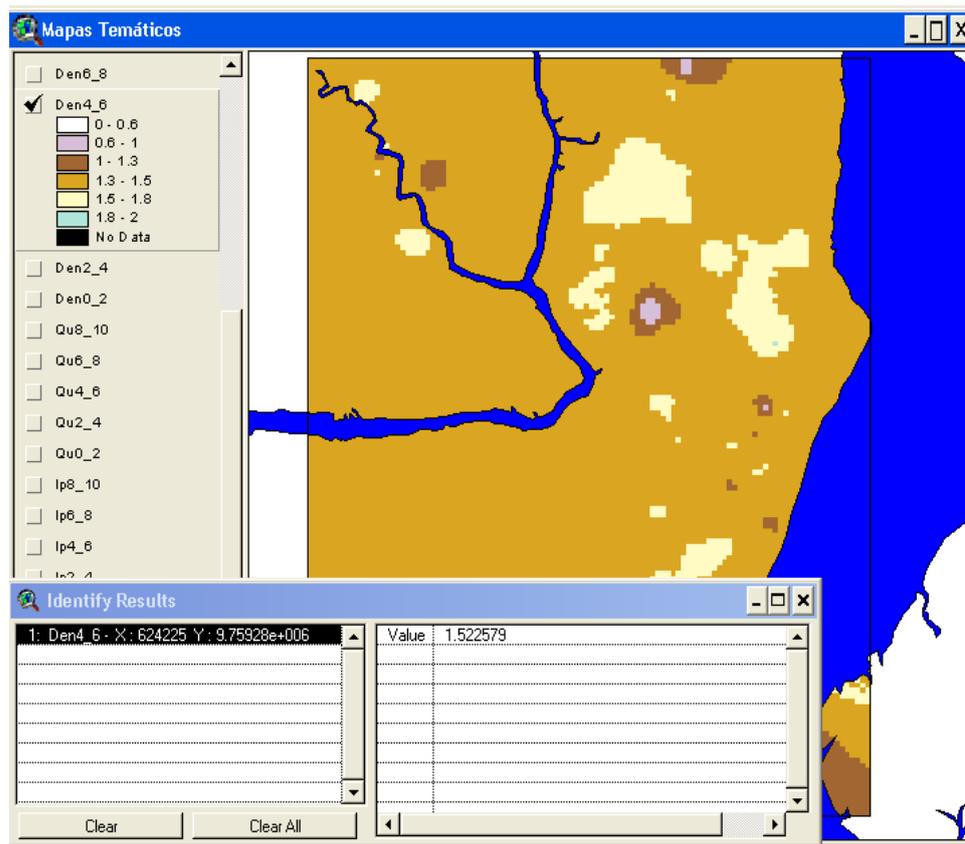


Figura 5.1.- Interacción directa con los mapas temáticos.

- 3) Como resultado tenemos un valor de densidad de suelos de 1.52 Ton/m³.

5.2 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

Otra potencial aplicación de los mapas digitales es la generación de un mapa digital de la clasificación de suelos de la ciudad de Guayaquil utilizando el método SUCS. A continuación se explica la metodología seguida.

Debido a que la ciudad se encuentra en la desembocadura del Golfo de Guayaquil, sus suelos son depósitos aluviales donde predomina los suelos finos, en la presente tesis se excluyeron las gravas, debido a que dentro del rango de profundidad analizado no existen datos que tengan más del 50% de la fracción gruesa retenido en la malla tamiz # 4. Además, la clasificación SUCS dice que si menos del 5% pasa el tamiz # 200 entonces hay que calcular C_c y C_u , valores que se usan para definir la gradación de las arenas. Esta información no estaba disponible por lo que se decidió agrupar las arenas bien gradadas con las arenas pobremente gradadas (SP o SW). En el futuro, si hay más datos disponibles se podrá considerar la gradación de los suelos en la interpolación de la clasificación SUCS.

Otra limitación es la influencia de materia orgánica en la clasificación SUCS de los suelos (OH – OL). Debido a la falta de información

respecto a la calidad orgánica de los suelos, no se pudo hacer diferencia de la clasificación (ML – OL, MH – OH).

En el capítulo 2 esta establecido en las tablas 2.2 y 2.3 condiciones necesarias para realizar la clasificación SUCS. Debido a que esta clasificación depende muchos parámetros, se logro establecer de forma cuantitativa la clasificación de suelos como se muestra en la figura 5.2 y en la tabla 5.1 se indica la codificación usada para la ecuación.

Figura 5.2.- Ecuación usada para la clasificación SUCS basada en Álgebra Boleana.

$$\begin{aligned}
 &(((\text{[Fin0_2]} < 50) \text{ and } (\text{[Fin0_2]} > 12)) * (((\text{[Ip0_2]} < ((\text{[LL0_2]} - 20) * 0.73)) \text{ or } (\text{[Ip0_2]} < 4)) * 1) + (((\text{[Ip0_2]} > ((\text{[LL0_2]} - 20) * 0.73)) \text{ and } (\text{[Ip0_2]} > 7)) * 2) + (((\text{[Ip0_2]} = ((\text{[LL0_2]} - 20) * 0.73)) \text{ or } ((\text{[Ip0_2]} > 4) \text{ and } (\text{[Ip0_2]} < 7))) * 3))) + (((\text{[Fin0_2]} > 5) \text{ and } (\text{[Fin0_2]} < 12)) * 4) + ((\text{[Fin0_2]} < 5) * 5) + (((\text{[Fin0_2]} > 50) \text{ and } (\text{[LL0_2]} < 50) \text{ and } (\text{[LL0_2]} > 0)) * (((\text{[Ip0_2]} < ((\text{[LL0_2]} - 20) * 0.73)) \text{ or } (\text{[Ip0_2]} < 4)) * 6) + (((\text{[Ip0_2]} > ((\text{[LL0_2]} - 20) * 0.73)) \text{ and } (\text{[Ip0_2]} > 7)) * 7) + (((\text{[Ip0_2]} = ((\text{[LL0_2]} - 20) * 0.73)) \text{ or } ((\text{[Ip0_2]} > 4) \text{ and } (\text{[Ip0_2]} < 7))) * 8))) + (((\text{[Fin0_2]} > 50) \text{ and } (\text{[LL0_2]} > 50)) * (((\text{[Ip0_2]} < ((\text{[LL0_2]} - 20) * 0.73)) * 9) + ((\text{[Ip0_2]} > ((\text{[LL0_2]} - 20) * 0.73)) * 10) + (((\text{[Ip0_2]} = ((\text{[LL0_2]} - 20) * 0.73)) \text{ or } ((\text{[Ip0_2]} > 4) \text{ and } (\text{[Ip0_2]} < 7))) * 11)))
 \end{aligned}$$

Tabla 5.1.- Codificación usada en la clasificación SUCS

CODIGO	SIMBOLOGIA	TIPO DE SUELO
1	SM	ARENA LIMOSA
2	SC	ARENA ARCILLOSA
3	SM – SC	DOBLE SIMBOLOGIA
4	SP – SC	DOBLE SIMBOLOGIA
5	SP ó SW	ARENA POBREMENTE GRADADA Ó ARENA BIEN GRADADA
6	ML	LIMO INORGANICO Y ARENAS DE BAJA PLASTICIDAD
7	CL	ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD
8	CL – ML	DOBLE SIMBOLOGIA
9	MH ó OH	LIMO INORGANICO DE MEDIANA A ALTA PLASTICIDAD O COMO LIMOS ORGANICOS
10	CH	ARCILLA INORGANICA DE ALTA PLASTICIDAD
11	CH – OH	DOBLE SIMBOLOGIA

La ecuación se usa para todos los mapas únicamente cambiando los niveles de profundidad, los mapas temáticos usados fueron:

- % Finos
- Índice plástico
- Limite liquido

A continuación detallamos como se realizó la clasificación dentro del ArcView.

- 1) En la vista principal se activa los mapas temáticos a utilizar mostrados en la figura 5.3.

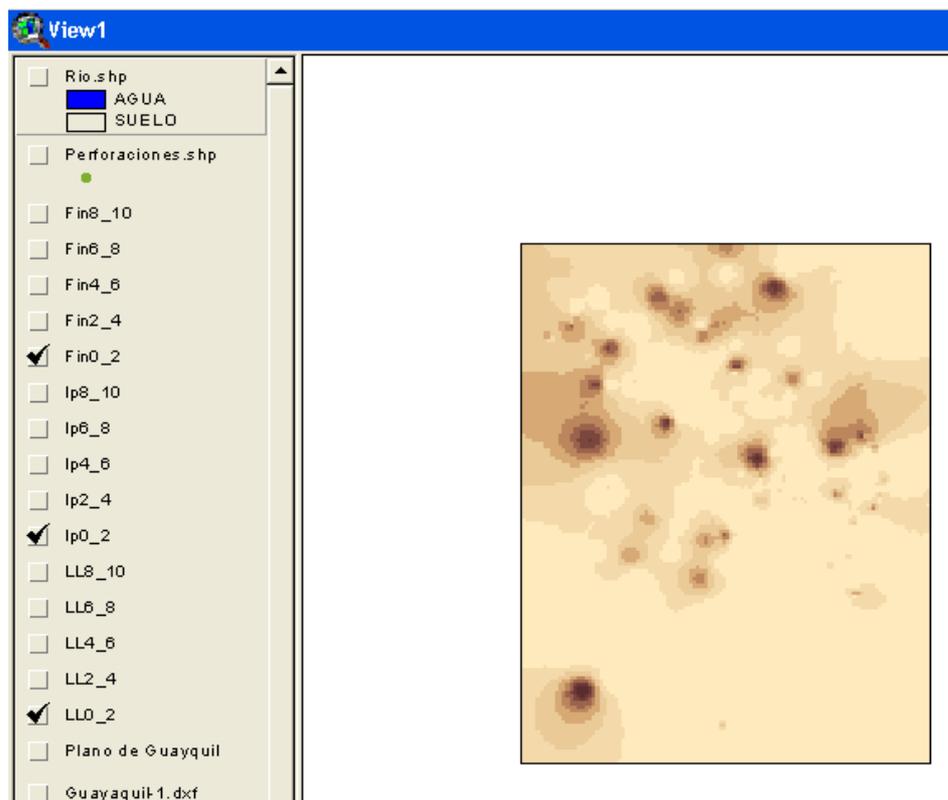


Figura 5.3.- Vista mostrando la activación mapas temáticos.

- 2) Luego en el menú **Analysis** y en el submenú *Map Calculator* se abre la ventana interactiva (figura 5.4) donde se tipea la ecuación mostrada en la figura 5.2. Al hacer clic en el botón “Evaluate”, se genera el mapa de la clasificación SUCS.

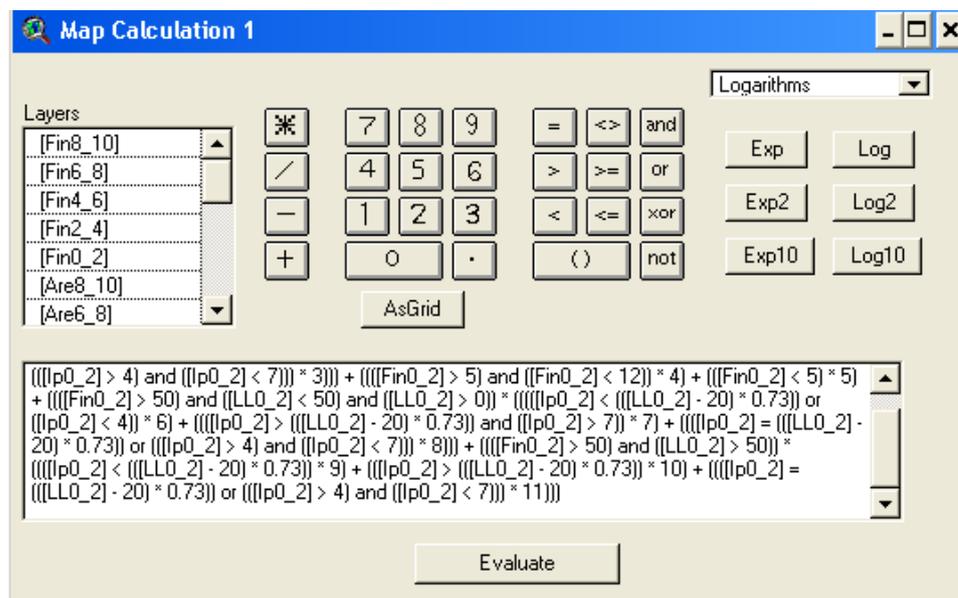


Figura 5.4.- Ventana Map Calculator para introducir la ecuación de la clasificación SUCS.

De esta forma se generan todos los mapas de la clasificación SUCS para los diferentes niveles considerados. En la tabla 5.2 una lista de mapas temáticos generados por la interacción directa.

Tabla 5.2.- Lista de mapas temáticos de la clasificación SUCS generados a partir de los mapas interpolados.

NO. FIGURA	MAPA TEMATICO GENERADO
Figura 5.5	Clasificación SUCS de 0 a 2m
Figura 5.6	Clasificación SUCS de 2 a 4m
Figura 5.7	Clasificación SUCS de 4 a 6m
Figura 5.8	Clasificación SUCS de 6 a 8m
Figura 5.9	Clasificación SUCS de 8 a 10m

Figura 5.5.- Clasificación SUCS entre 0 y 2m

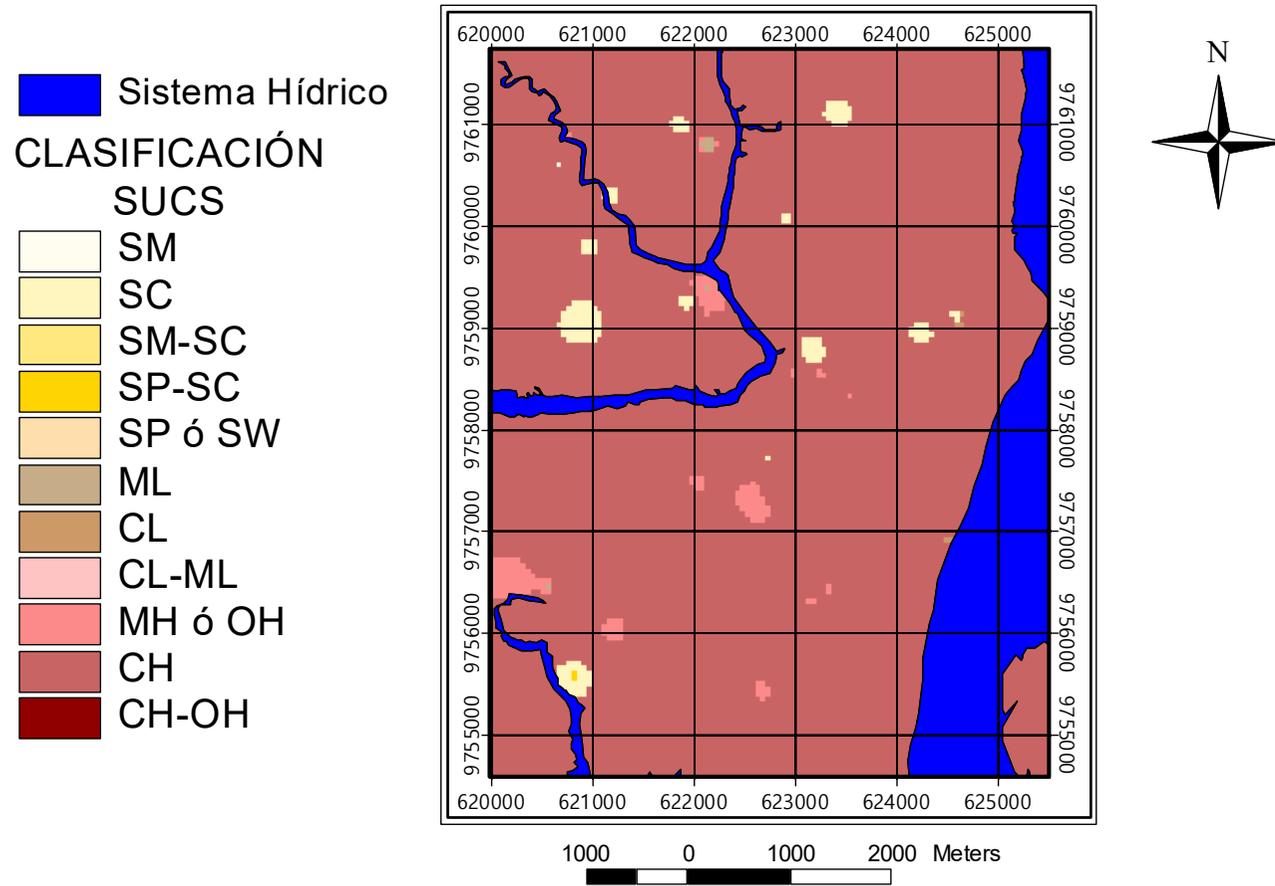


Figura 5.6.- Clasificación SUCS entre 2 y 4m

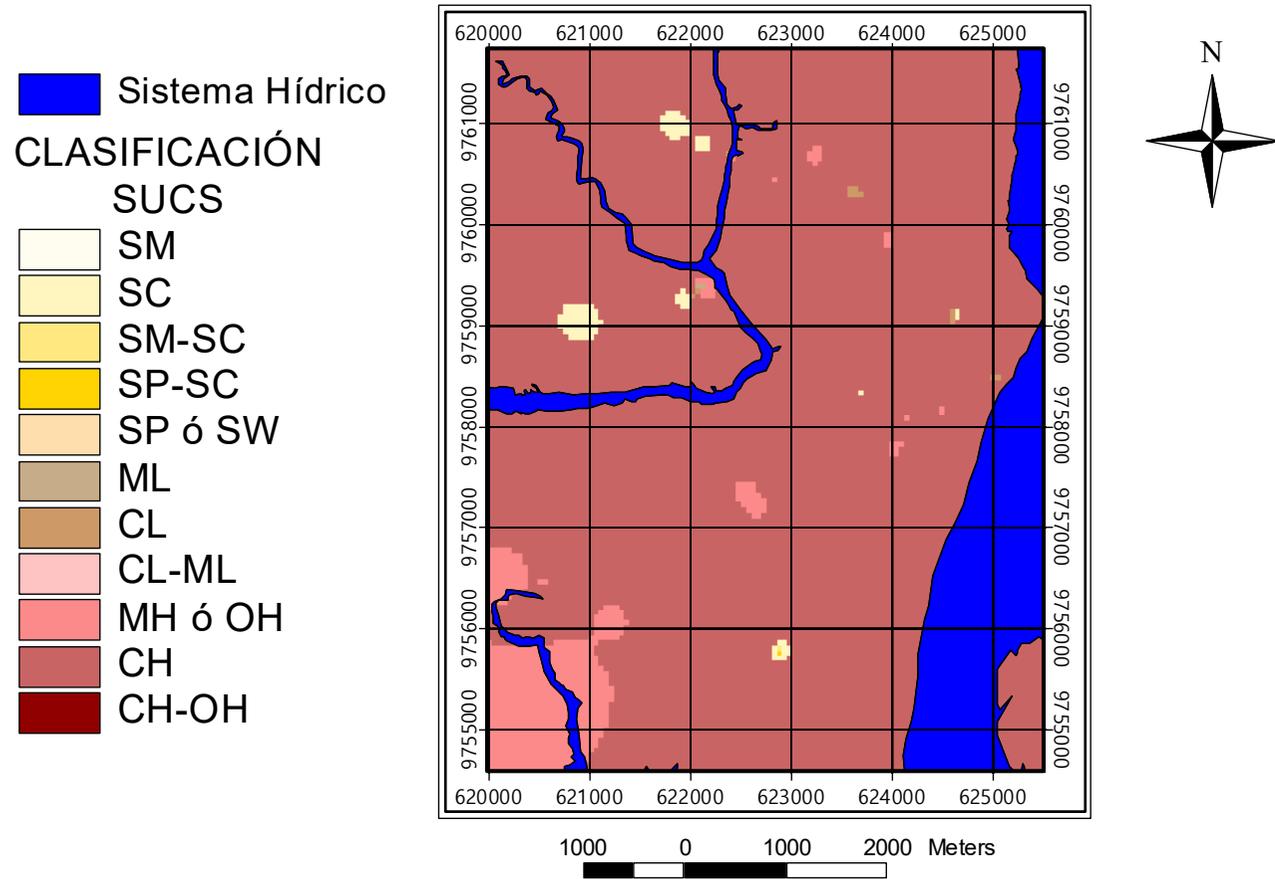


Figura 5.7.- Clasificación SUCS entre 4 y 6m

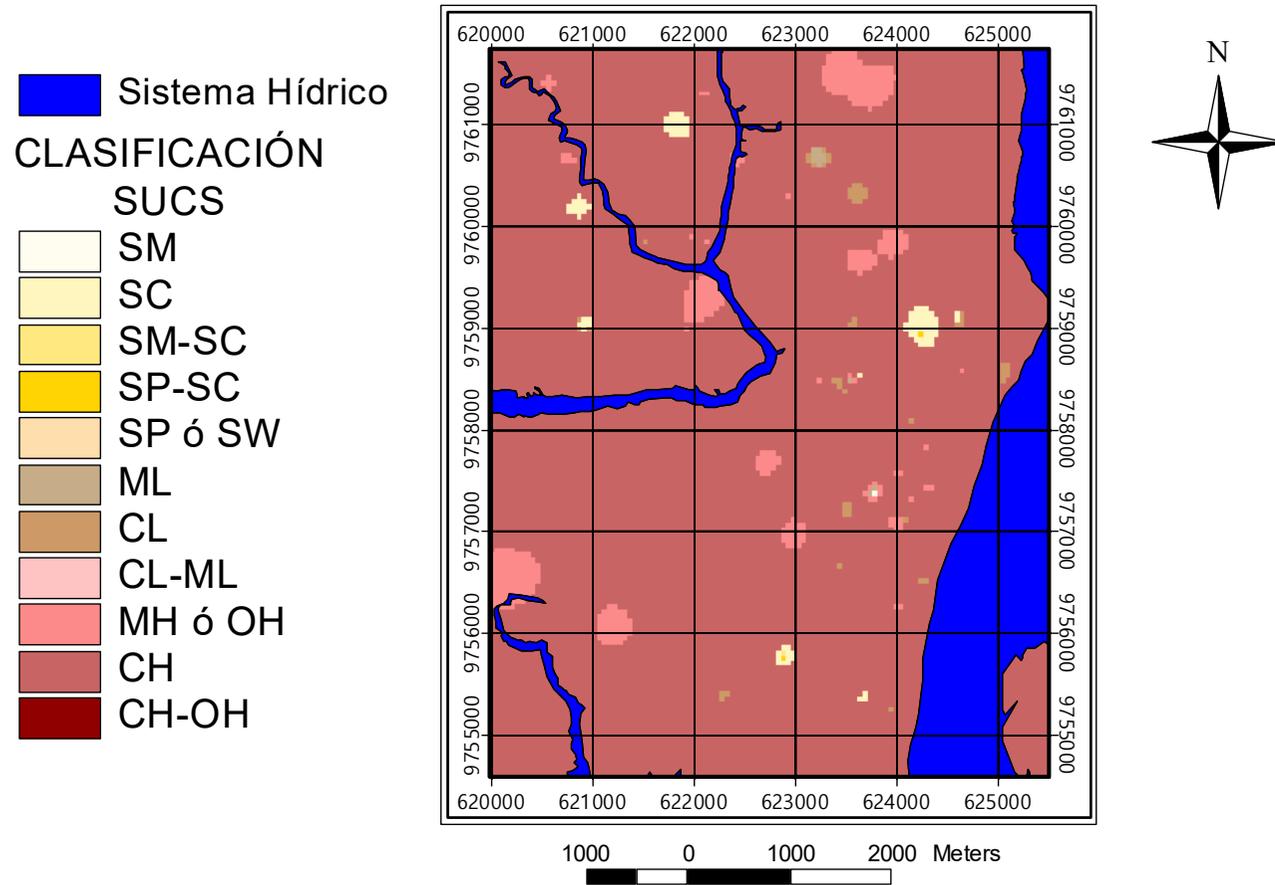


Figura 5.8.- Clasificación SUCS entre 6 y 8m

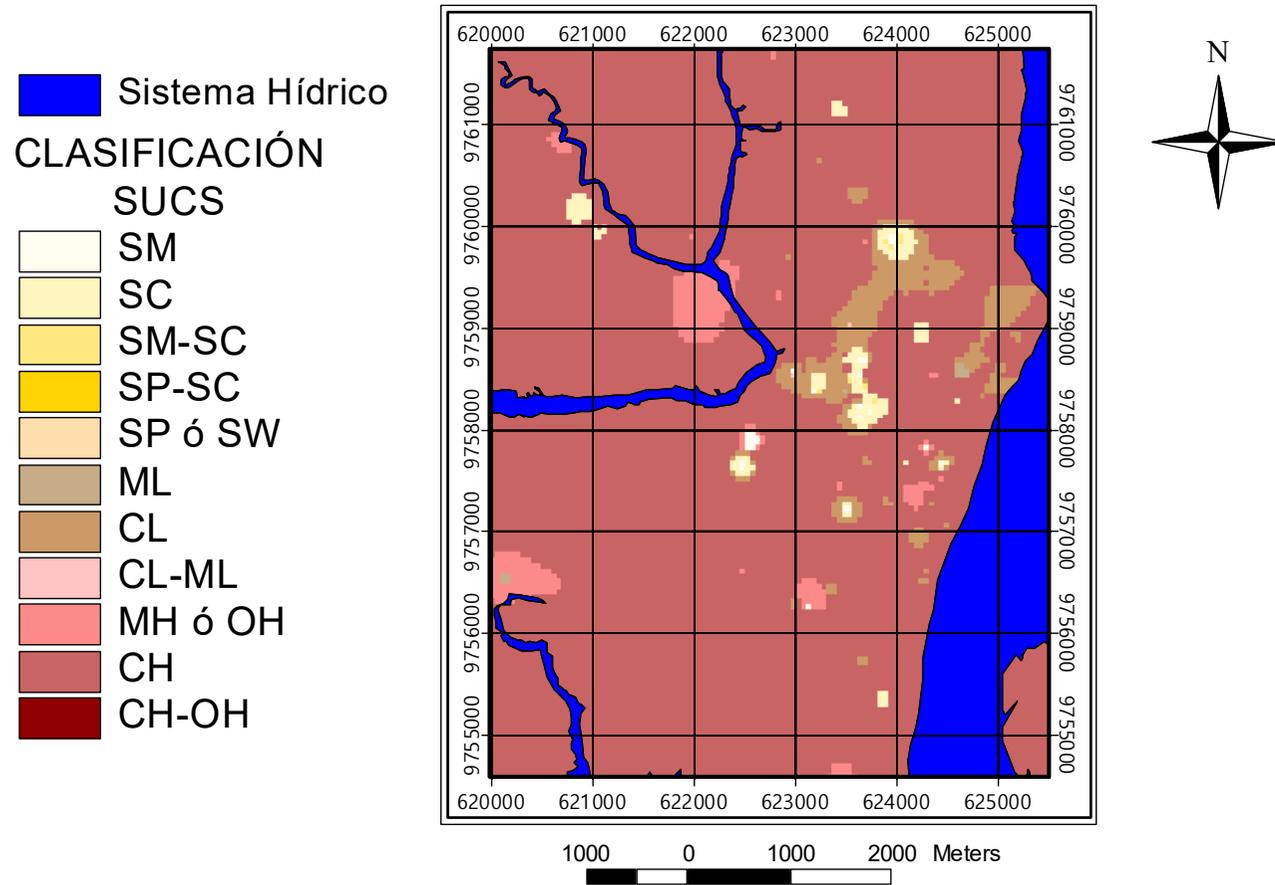
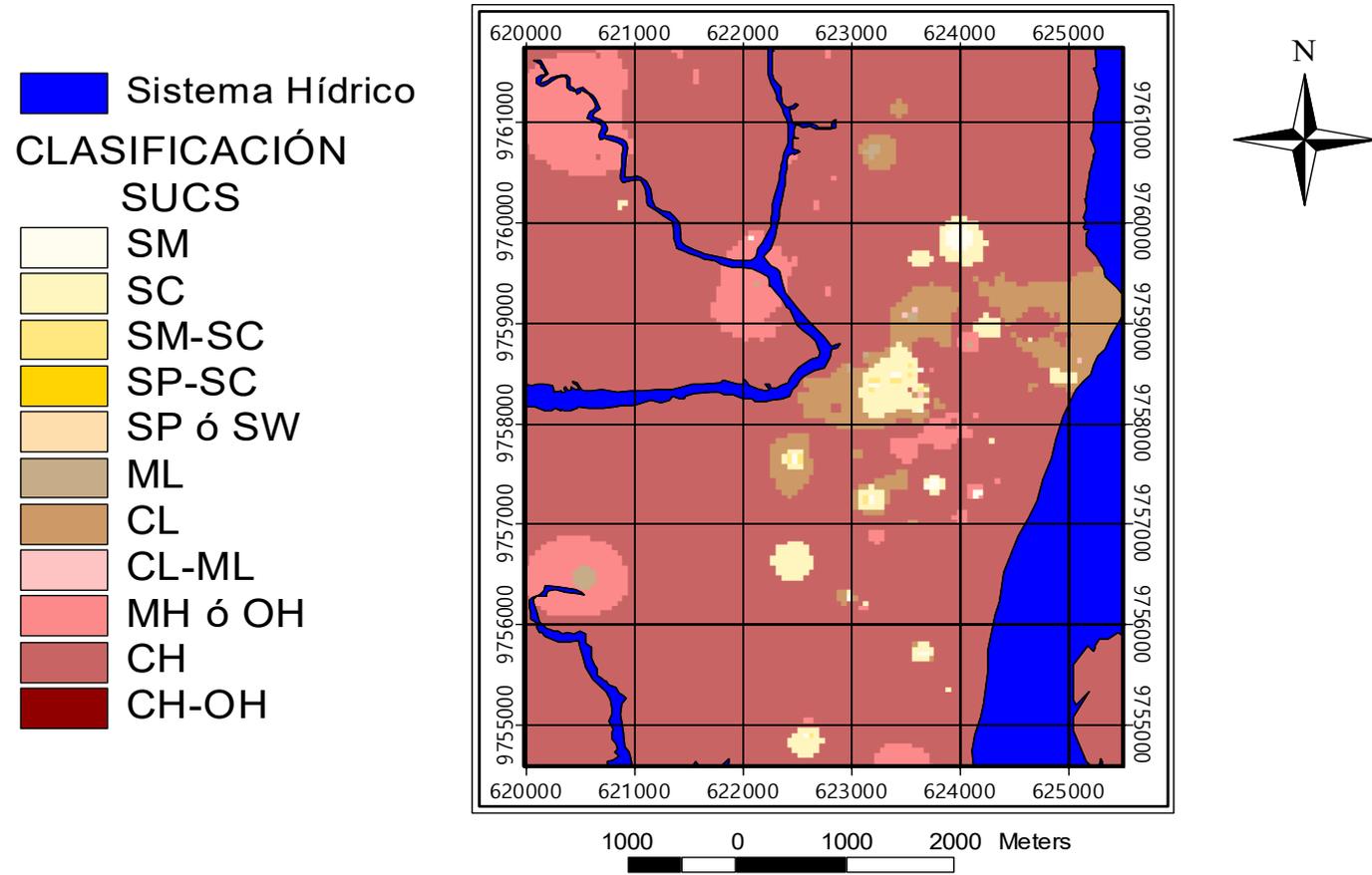


Figura 5.9.- Clasificación SUCS entre 8 y 10m



5.3 PERFILES DE SUELOS

A partir de los mapas de la clasificación SUCS, se puede interactuar directamente o realizar perfiles estratigráficos del subsuelo de la ciudad de Guayaquil. En la presente tesis se realizó dos perfiles en dos direcciones de Sur a Norte a lo largo de la coordenada 623000 (figura 5.10), y de Oeste a Este a lo largo de la coordenada 9759000 (figura 5.11).

Los estratos que se visualizan en los perfiles, no necesariamente son una representación fiel del subsuelo. Hay que considerar que los estratos están promediados por niveles e interpolados por capa.

Figura 5.10.- Perfil estratigráfico de Sur a Norte a lo largo de la coordenada 623000

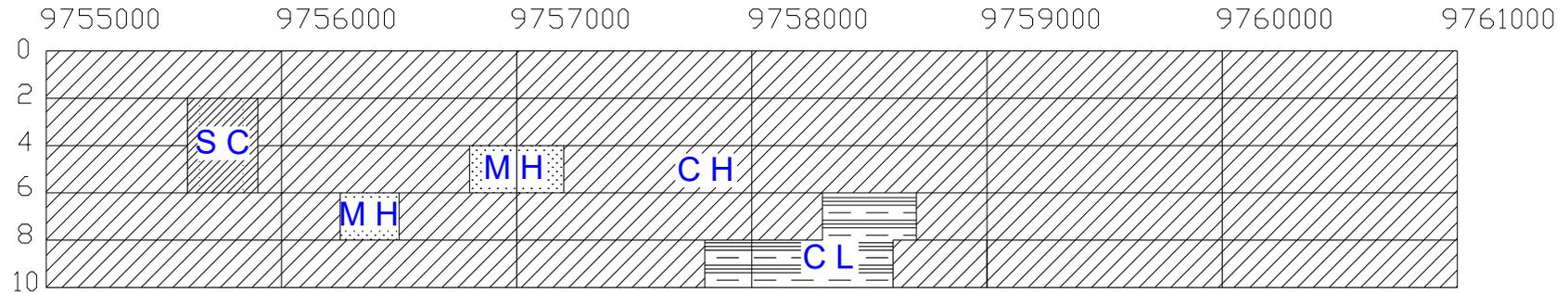
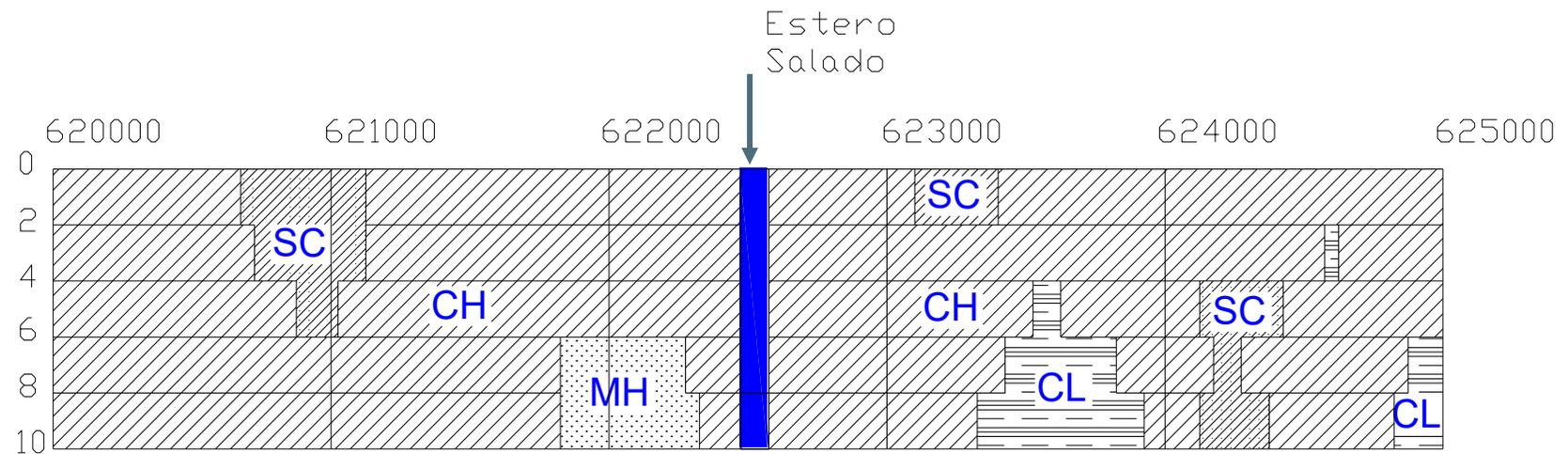


Figura 5.11.- Perfil estratigráfico de Oeste a Este a lo largo de la coordenada 9759000.



CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Una vez generado todos los mapas temáticos, se puede concluir:

- Se ha demostrado que toda la información geotécnica generada por las empresas exploradoras de suelo y subsuelo se puede ser estructurada coherentemente en una base de datos y georeferenciada en un mapa digital. Esta información podrá ser actualizada a medida que se obtengan más datos

- Debido a la densidad de datos, era solo posible generar mapas en un área que representa el 11% de la superficie total.
- Se elaboraron mapas geotécnicos de la ciudad de Guayaquil que representan la variabilidad espacial de dicho parámetros tanto superficialmente como en profundidad.
- En los mapas interpolados, se puede disminuir el error si existiera mayor información disponible y al disminuir la celda de interpolación.
- Se puede aumentar el área de estudio a medida de que se incremente la información.
- A pesar que la densidad de datos es baja en niveles más profundos, se produjeron mapas confiables para el área de estudio con los métodos interpolados seleccionados.

6.2 RECOMENDACIONES

- Los laboratorios de mecánica de suelos deberán en el futuro estructurar mejor la toma de datos, considerando ubicar apropiadamente los sondeos (GPS).
- Las autoridades respectivas (Municipio) deberían exigir que las empresas consultoras presente sus reportes de perforación apropiadamente para que puedan ser fácilmente ingresado en una base de datos. De tal modo que se pueda actualizar y mejorar los mapas de suelo obtenidos en esta investigación.
- Las empresas consultoras deberán usar los mapas resultantes solamente como fuente de referencia para optimizar los sondeos a ser ejecutados en el futuro.
- Incentivar a la participación de otras instituciones para optimizar los potenciales datos a ser recopilados.
- Fomentar en los estudiantes la utilización de la herramienta del SIG.

BIBLIOGRAFÍA

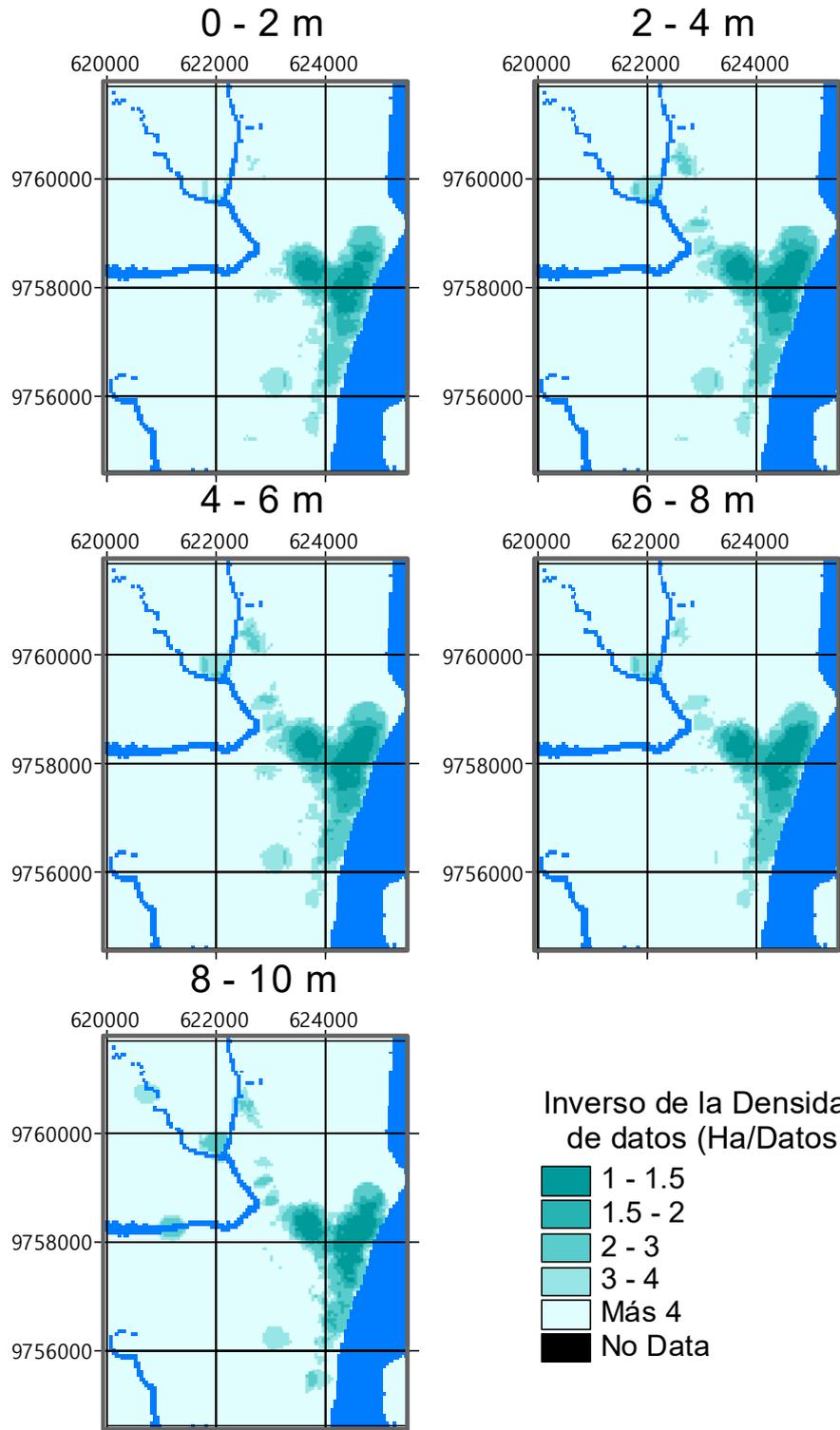
- Antenucci, J.C., Brown, K., Croswell, P.L., Kevany, M.J., and Archer, H. 1991. *Geographic Information System a Guide to the Technology*. New York: Vn Nostrand Reinhold.
- AET 2004. Registros de suelos en la Ciudad de Guayaquil. Base de datos actualizada de las campañas de exploración realizada por el Laboratorio Asesoría y Estudios Técnicos.
- CIMENTACIONES 2004. Registros de suelos en la Ciudad de Guayaquil. Base de datos actualizada de las campañas de exploración realizada por el Laboratorio Cimentaciones.
- Criollo E. 2002. Elaboración de mapas de suelo de la ciudad de Guayaquil utilizando el SIG. Afiche presentado en ESPOL Ciencia 2002, Guayaquil, Ecuador.
- Dorronsoro C. 1998. Clasificación y Cartografía de los Suelos. Departamento de Edafología y Química Agrícola, Universidad de Granada España. Disponible on-line: www.edafologia.ugr.es
- ESRI. 2004. Publicaciones varias sobre GIS. Environmental Sciences Research Institute. Disponible on line: www.esri.com.
- Laboratorio Ruffilli 2004. Registros de suelos en la Ciudad de Guayaquil. Base de datos actualizada de las campañas de exploración realizada por el Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

- Legates, D.R., and McCabe, G.J. 1999. Evaluating the use of "goodness of fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation, *Water Resources Research*, 35, 233-41
- Matamoros D., Criollo E. y Herrera P., 2004. Geografic Information Systems in the Development of Maps for aiding the Soil Exploration in the City Guayaquil, Ecuador. Enviado para publicación al jornal of Applied GIS.
- Nash, J.E., and Sutcliffe, J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models: Part I - A discussion of principles, *J. Hydrol.*, 10, 282-90.
- Sobral R. E. 2000. Los Mapas de Suelos: Características y Aplicaciones.
- U.S.D.A. 1951. Soil Survey Manual. U.S. Department of Agriculture, Handbook Núm. 18, Washington, D.C. Disponible on line: www.soils.usda.gov/sqi/files/sq_nin_1.pdf
- Terreros C. y Moreno V. 1988. Los Esteros y los problemas de asentamiento en la ciudad de Guayaquil. Universidad de Guayaquil Facultad de Ciencias Matemáticas y Física.
- Vitoria, J.A. y A. Rosales. 1990. Evaluación de la realidad de campo de mapas de suelos. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Instituto de Edafología, Apdo. Postal 4579, Maracay, Venezuela.

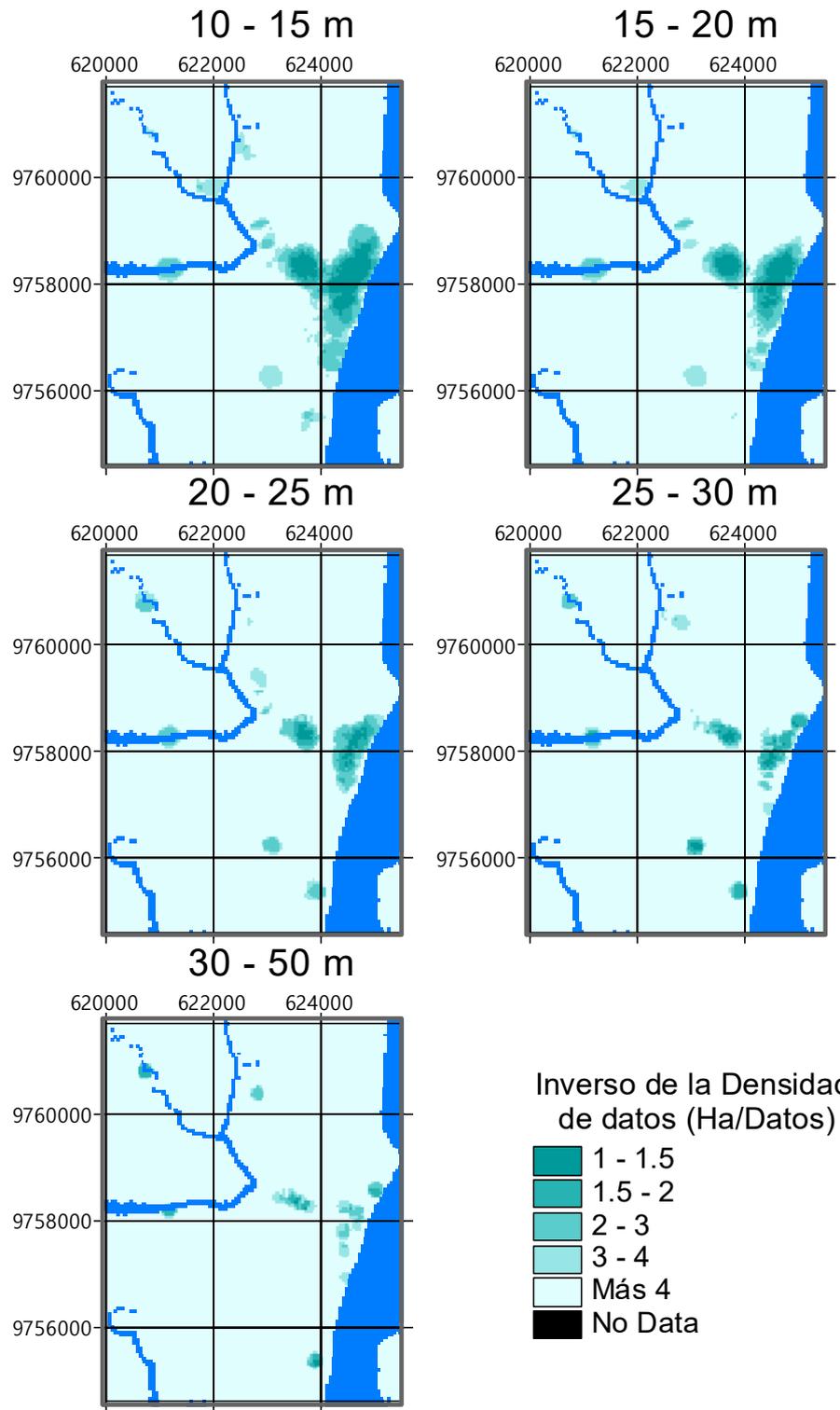
ANEXO A

GRAFICA DE DENSIDAD DE DATOS DE CADA PARAMETRO GEOMECANICO

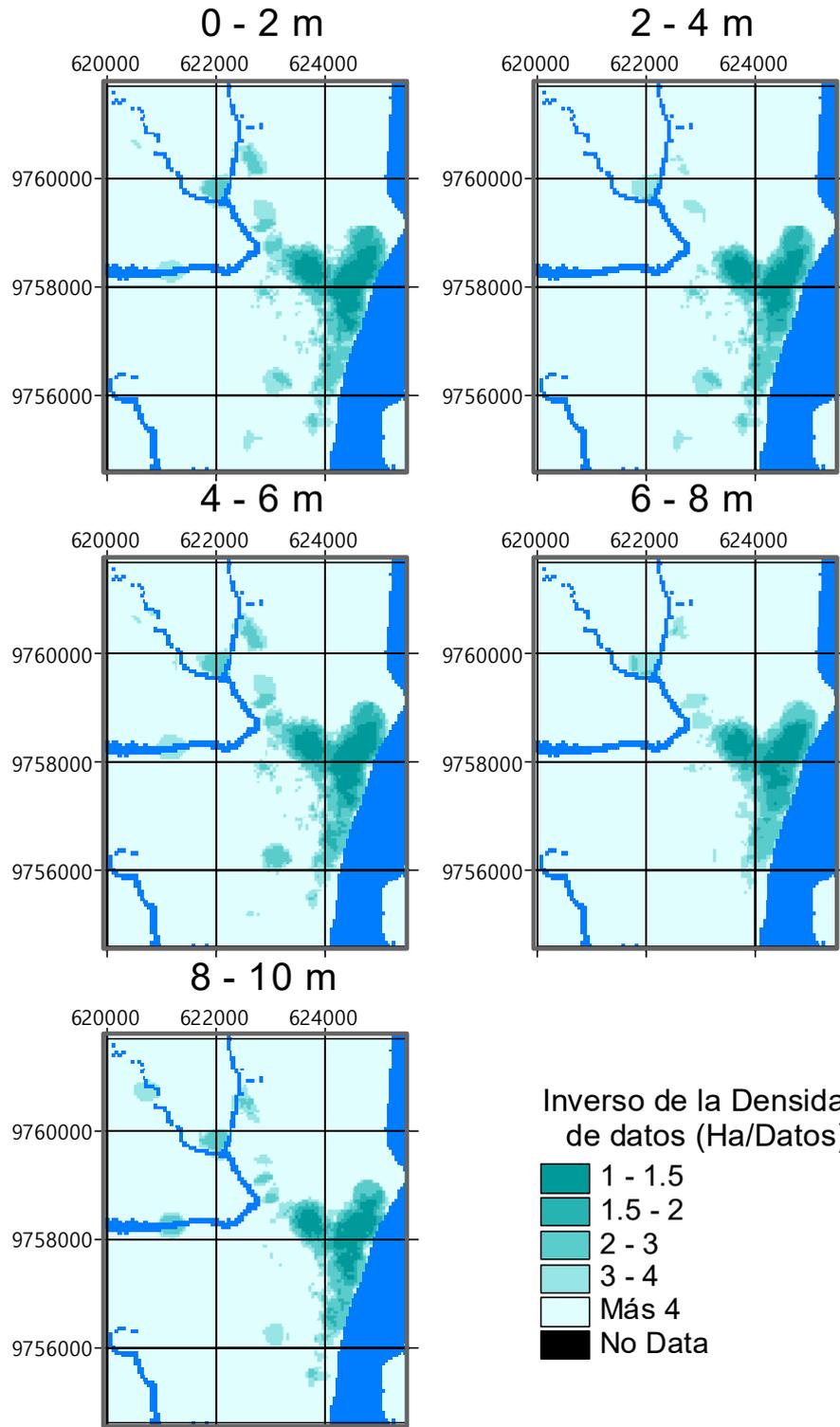
Densidad de Datos (Contenido de Humedad)



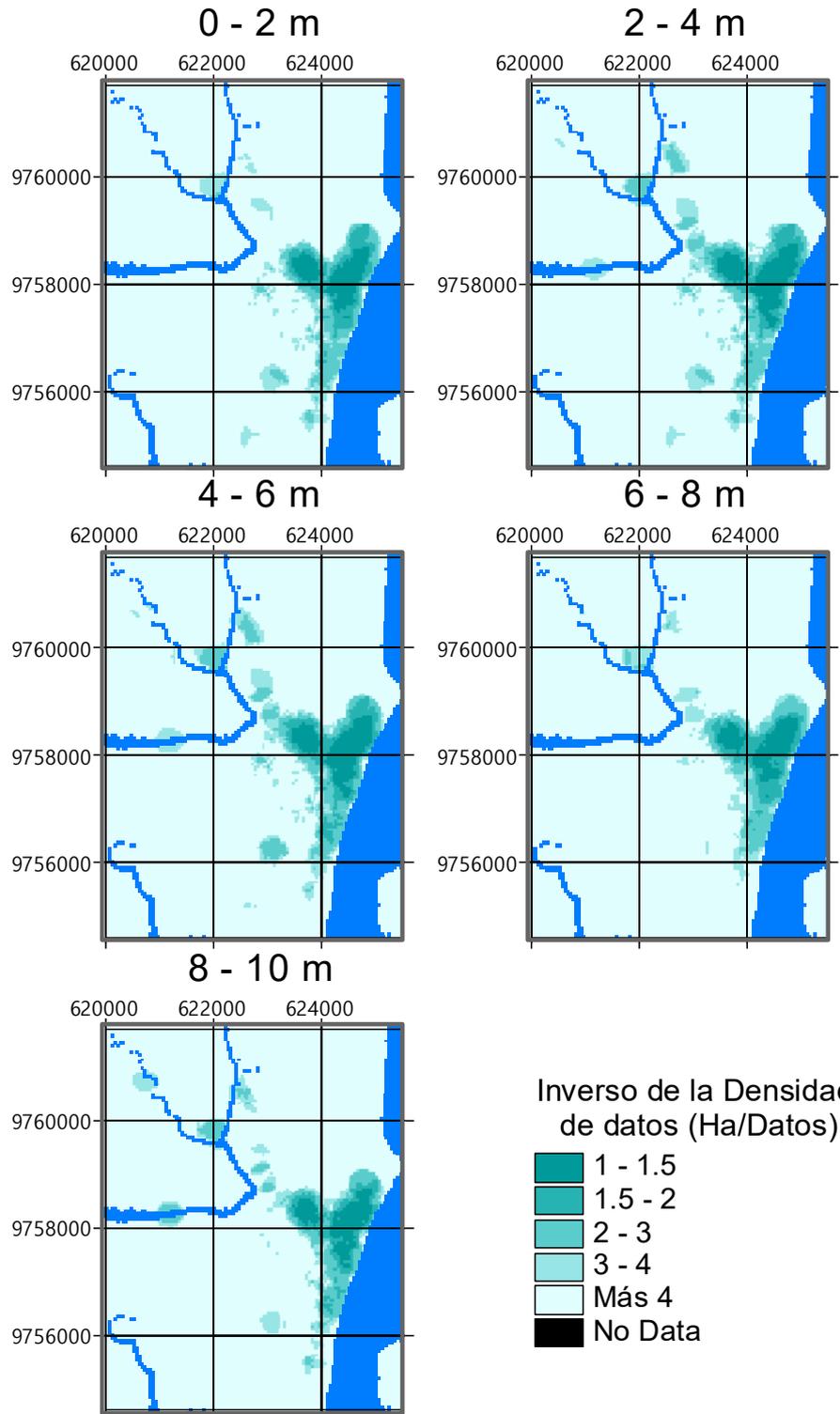
Densidad de Datos (Contenido de Humedad)



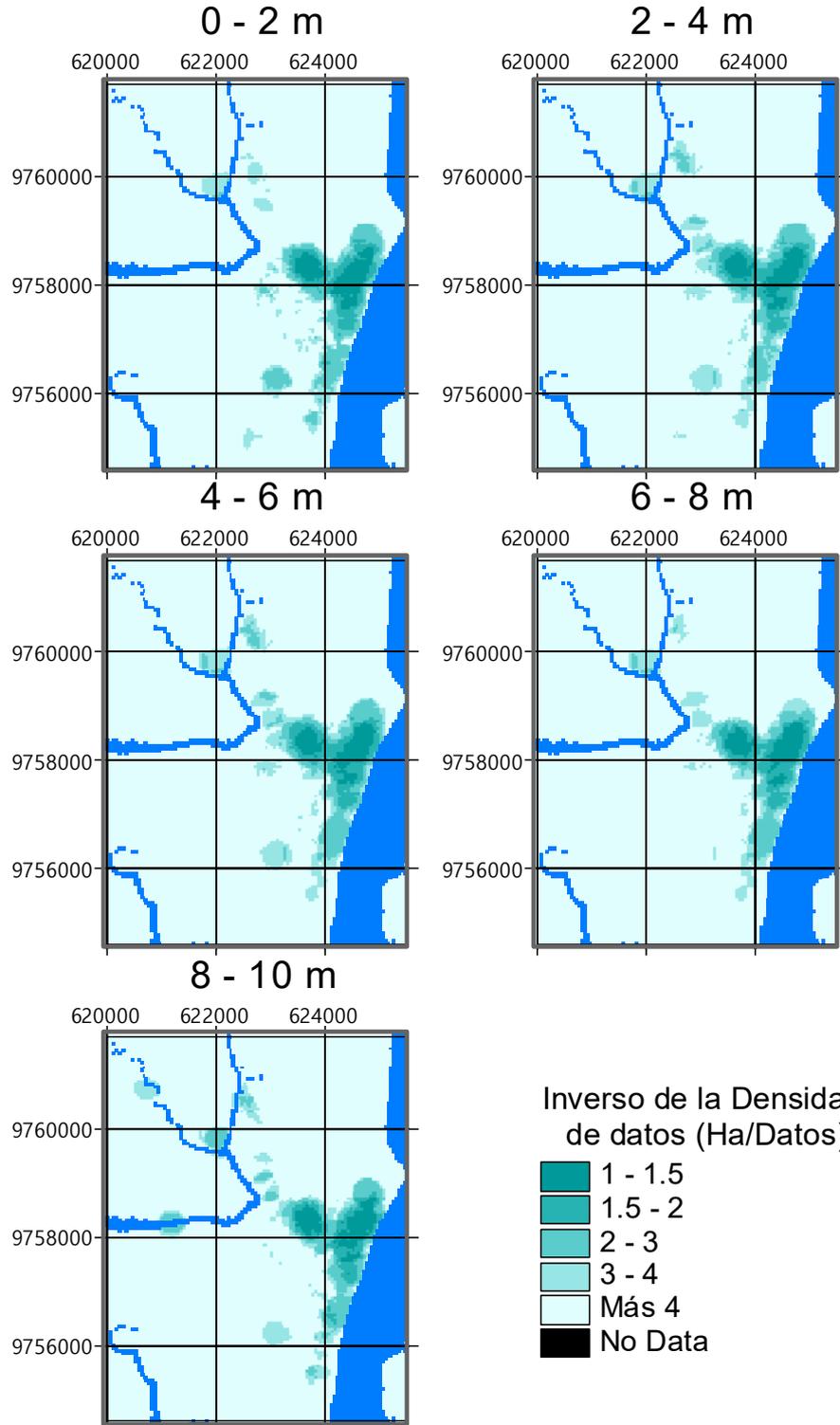
Densidad de Datos (Limite Líquido)



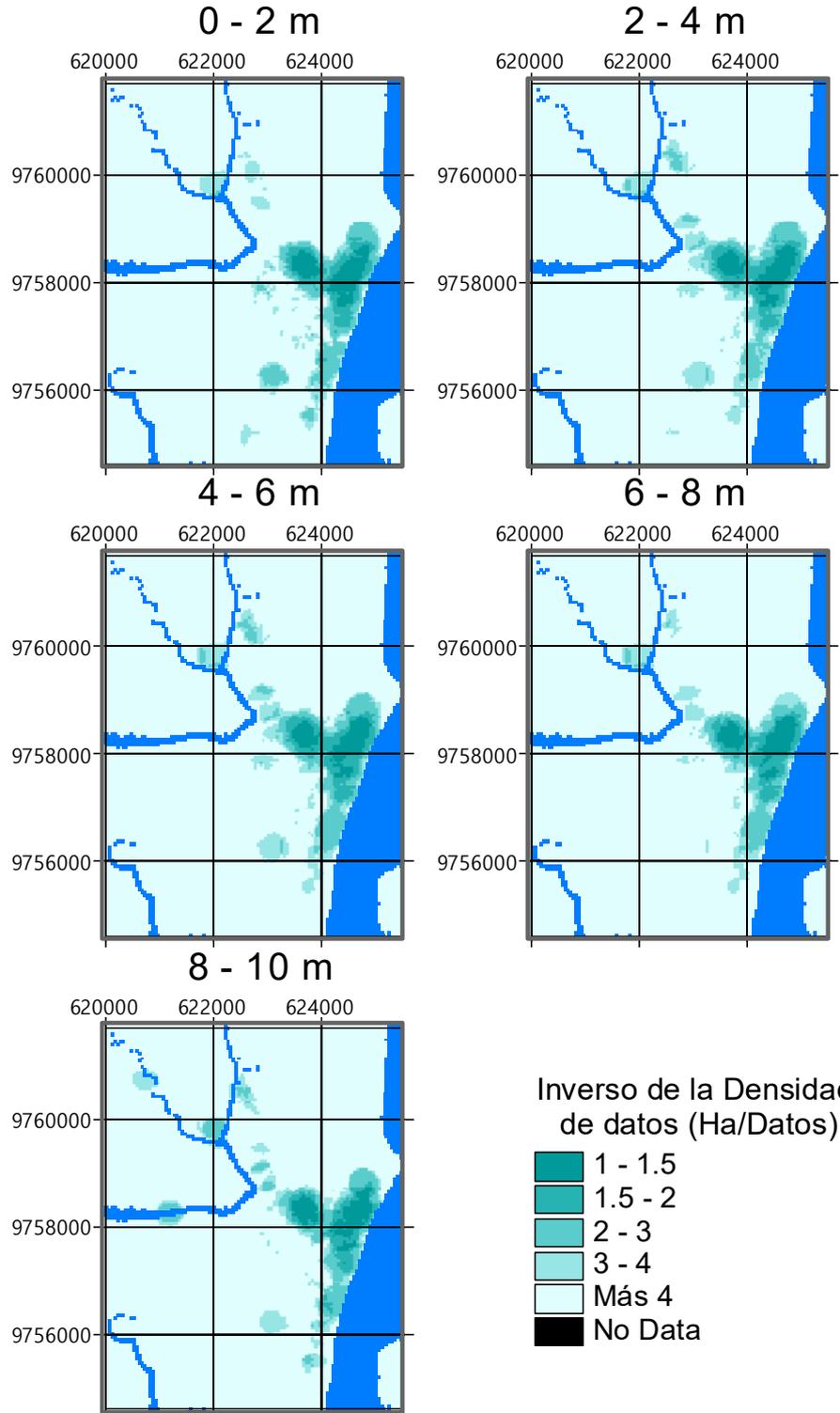
Densidad de Datos (Indice Plástico)



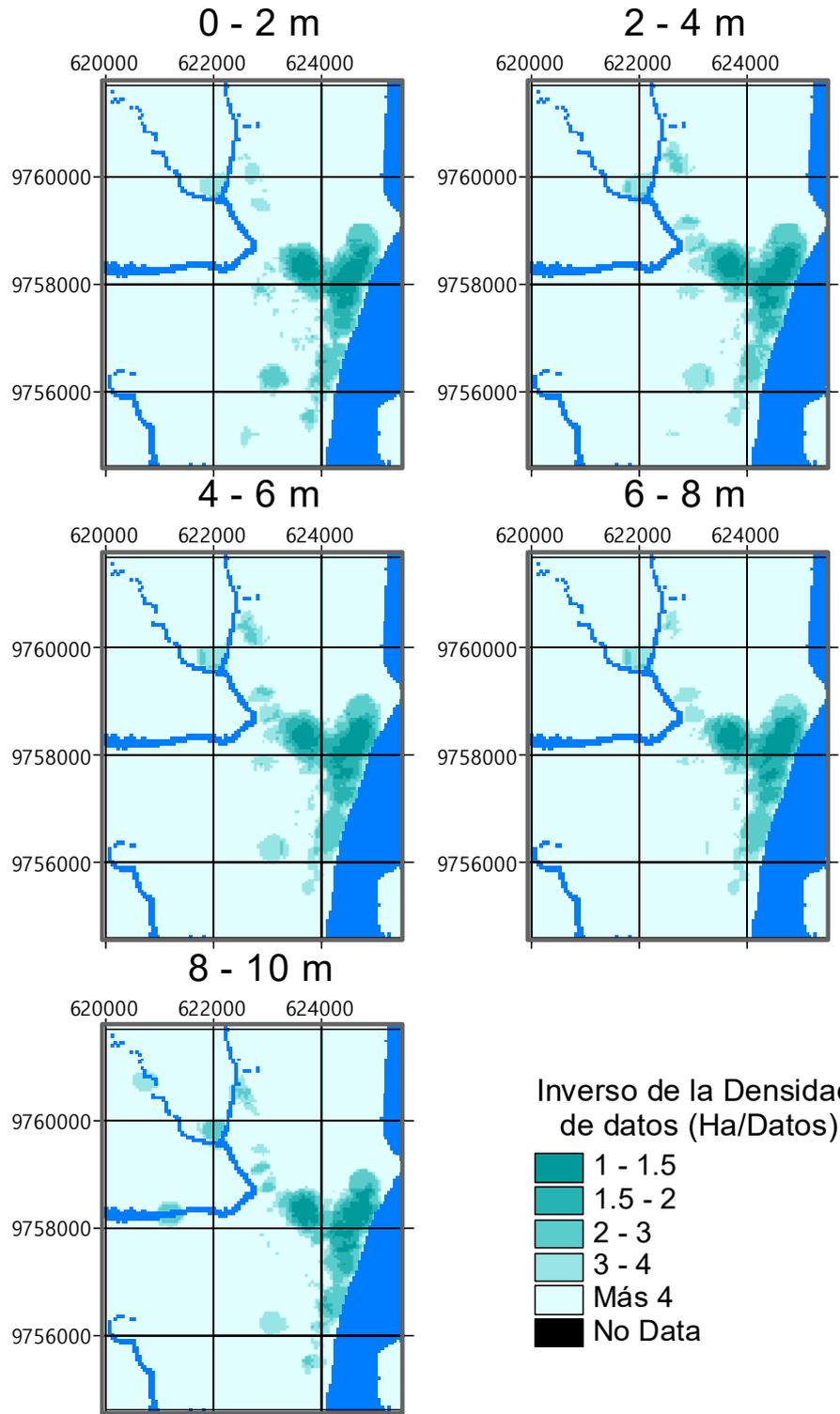
Densidad de Datos (Contenido de Grava)



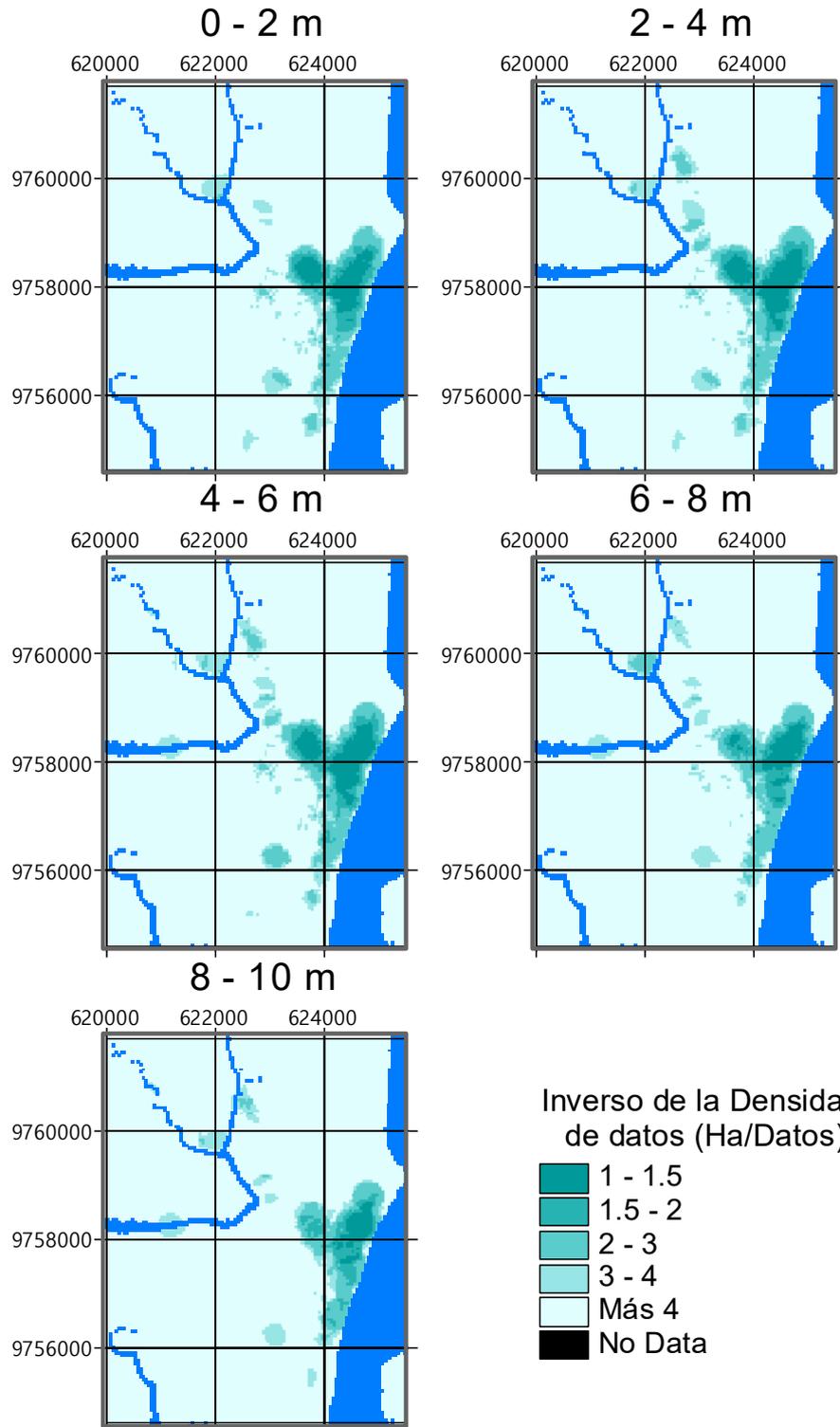
Densidad de Datos (Contenido de Arena)



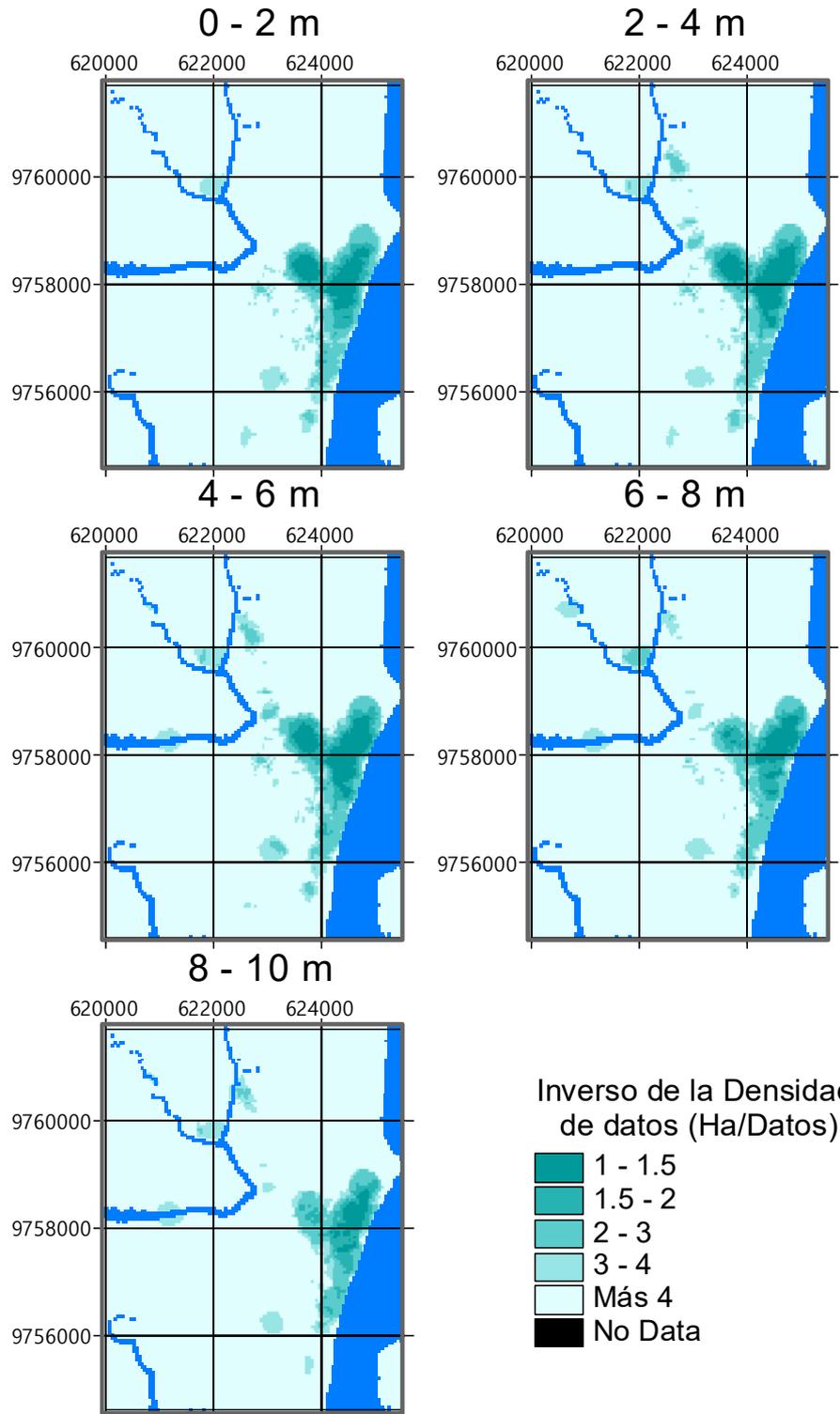
Densidad de Datos (Material Finos)



Densidad de Datos (Peso Unitario)



Densidad de Datos (Resistencia a la Compresión)



ANEXO B

RESUMEN DE LOS METODOS DE INTERPOLACION REALIZADO PARA CADA PARAMETRO GEOMECANICO

ERROR CALCULADO EN LOS METODOS INTERPOLACIÓN PARA CONTENIDO DE HUMEDAD

Nivel de profundidad (m)	Método Interpolación	E	Bias (%)	Número de datos disponibles	Valores
0-2	Universal Linear	0,91	-2,16	358	-
	Spherica	0,45	-10,11		+
	Circular	0,42	-10,46		+
	Exponential	0,47	-9,91		+
	Gaussian	0,27	-11,96		+
	Linear	0,43	-10,37		+
	Universal Quadratic	0,9	-1,13		-
	IDW	0,92	-1,68		+
2-4	Universal Linear	0,85	-2,05	403	-
	Spherica	0,44	-8,85		+
	Circular	0,4	-9,34		+
	Exponential	0,49	-8,2		+
	Gaussian	0,32	-10,12		+
	Linear	0,41	-9,22		+
	Universal Quadratic	0,298	1,28		-
	IDW	0,85	-2,40		+
4-6	Universal Linear	0,82	-2,82	402	-
	Spherica	0,37	-10,07		+
	Circular	0,56	-8,30		+
	Exponential	0,37	-9,97		+
	Gaussian	0,28	-11,14		+
	Linear	0,35	-10,26		+
	Universal Quadratic	-0,20	0,60		-
	IDW	0,82	-2,93		+
6-8	Universal Linear	0,82	-2,63	363	-
	Spherica	0,40	-8,36		+
	Circular	0,57	-6,46		+
	Exponential	0,41	-8,24		+
	Gaussian	0,33	-8,76		+
	Linear	0,38	-8,44		+

**ERROR CALCULADO EN LOS METODOS INTERPOLACIÓN PARA
CONTENIDO DE HUMEDAD**

Nivel de profundidad (m)	Método Interpolación	E	Bias (%)	Número de datos disponibles	Valores
	Universal Quadratic	0,50	0,09		-
	IDW	0,82	-2,61		+
8-10	Universal Linear	0,86	-1,30	326	-
	Spherica	0,43	-7,25		+
	Circular	0,35	-7,95		+
	Exponential	0,48	-7,64		+
	Gaussian	0,35	-7,85		+
	Linear	0,40	-7,50		+
	Universal Quadratic	0,79	0,12		-
	IDW	0,85	-1,60		+
10-15	Universal Linear	0,91	-0,92	281	-
	Spherica	0,46	-4,90		+
	Circular	0,45	-4,94		+
	Exponential	0,51	-4,61		+
	Gaussian	0,25	-5,88		+
	Linear	0,41	-5,12		+
	Universal Quadratic	0,89	-0,79		-
	IDW	0,91	-0,97		+
15-20	Universal Linear	0,83	-1,32	208	-
	Spherica	0,67	-5,47		+
	Circular	0,59	-5,43		+
	Exponential	0,76	-4,30		+
	Gaussian	0,56	-6,57		+
	Linear	0,68	-5,27		+
	Universal Quadratic	0,53	-2,80		-
	IDW	0,83	-1,32		+
20-25	Universal Linear	0,87	-3,01	145	-
	Spherica	0,46	-12,33		+
	Circular	0,59	-8,68		+

ERROR CALCULADO EN LOS METODOS INTERPOLACIÓN PARA CONTENIDO DE HUMEDAD

Nivel de profundidad (m)	Método Interpolación	E	Bias (%)	Número de datos disponibles	Valores
	Exponential	0,50	-11,92		+
	Gaussian	0,30	-13,44		+
	Linear	0,48	-12,11		+
	Universal Quadratic	0,85	-0,30		-
	IDW	0,87	-3,91		+
25-30	Universal Linear	0,83	-2,72	104	-
	Spherica	0,69	-9,47		+
	Circular	0,57	-10,80		+
	Exponential	0,82	-3,41		+
	Gaussian	0,75	-7,99		+
	Linear	0,57	-11,39		+
	Universal Quadratic	0,78	-4,74		-
	IDW	0,84	-3,79		+
30-50	Universal Linear	0,73	-0,58	104	-
	Spherica	No se puede determinar			
	Circular	No se puede determinar			
	Exponential	No se puede determinar			
	Gaussian	No se puede determinar			
	Linear	No se puede determinar			
	Universal Quadratic	0,72	-1,55		-
	IDW	0,74	-0,74		+

ERROR CALCULADO EN LOS METODOS INTERPOLACIÓN PARA LIMITE LIQUIDO

Nivel de profundidad (m)	Método Interpolación	E	Bias (%)	Número de datos disponibles	Valores
0-2	Universal Linear	0,91	-0,43	352	-
	Spherica	0,4	-3,68		+
	Circular	0,55	-3,6		+
	Exponential	0,52	-3,16		+
	Gaussian	0,3	-3,95		+
	Linear	0,36	-3,95		+
	Universal Quadratic	0,9	-0,15		-
	IDW	0,91	-0,44		+
2-4	Universal Linear	0,878	-1,388	395	-
	Spherica	0,37	-4,99		+
	Circular	0,25	-6,02		+
	Exponential	0,49	-4,42		+
	Gaussian	0,27	-5,31		+
	Linear	0,465	-4,997		+
	Universal Quadratic	0,26	0,47		-
	IDW	0,88	-1,05		+
4-6	Universal Linear	0,85	-3,5	390	-
	Spherica	0,36	-9,58		+
	Circular	0,545	-7,96		+
	Exponential	0,4	-9,23		+
	Gaussian	0,28	-10,1		+
	Linear	0,34	-9,71		+
	Universal Quadratic	0,73	-2,22		-
	IDW	0,86	-2,6		+
6-8	Universal Linear	0,869	-2,12	338	-
	Spherica	0,367	-6,08		+
	Circular	0,49	-5,355		-
	Exponential	0,44	-5,757		+
	Gaussian	0,3	-6,32		+
	Linear	0,345	-6,17		+

ERROR CALCULADO EN LOS METODOS INTERPOLACIÓN PARA LIMITE LIQUIDO

Nivel de profundidad (m)	Método Interpolación	E	Bias (%)	Número de datos disponibles	Valores
	Universal Quadratic	0,53	1,06		-
	IDW	0,87	-1,88		+
8-10	Universal Linear	0,86	-0,58	295	-
	Spherica	0,38	-235,41		+
	Circular	0,42	-4,37		+
	Exponential	0,24	-5,28		+
	Gaussian	0,32	-4,69		+
	Linear	0,36	-4,46		+
	Universal Quadratic	0,73	1,75		-
	IDW	0,86	-0,84		+

ERROR CALCULADO EN LOS METODOS INTERPOLACIÓN PARA INDICE PLASTICO

Nivel de profundidad (m)	Método Interpolación	E	Bias (%)	Número de datos disponibles	Valores
0-2	Universal Linear	0,907	-1,17	352	-
	Spherica	0,4	-8,64		+
	Circular	0,33	-9,48		+
	Exponential	0,5	-7,59		+
	Gaussian	0,27	-9,62		+
	Linear	0,35	-9,2		+
	Universal Quadratic	0,89	-0,73		-
	IDW	0,91	-1,09		+
2-4	Universal Linear	0,97	-3,49	395	-
	Spherica	0,36	-12,47		+
	Circular	0,53	-11,06		+
	Exponential	0,41	-11,8		+
	Gaussian	0,26	-13,46		+
	Linear	0,347	-12,58		+
	Universal Quadratic	0,349	-0,74		-
	IDW	0,877	-3,16		+
4-6	Universal Linear	0,86	-5,05	390	-
	Spherica	0,38	-19,05		+
	Circular	0,42	-18,55		+
	Exponential	0,465	-17,48		+
	Gaussian	0,305	-20,15		+
	Linear	0,495	-17,2		+
	Universal Quadratic	0,82	-0,399		-
	IDW	0,88	-4,309		+
6-8	Universal Linear	0,88	-7,17	338	-
	Spherica	0,379	-25,79		+
	Circular	0,56	-21,28		-
	Exponential	0,42	-25		+
	Gaussian	0,311	-26,98		+
	Linear	0,37	-25,87		+

ERROR CALCULADO EN LOS METODOS INTERPOLACIÓN PARA INDICE PLASTICO

Nivel de profundidad (m)	Método Interpolación	E	Bias (%)	Número de datos disponibles	Valores
	Universal Quadratic	0,68	-2,33		-
	IDW	0,88	-6,7		+
8-10	Universal Linear	0,88	-0,371	295	-
	Spherica	0,39	-19,65		+
	Circular	0,49	-18,59		+
	Exponential	0,46	-18,02		+
	Gaussian	0,34	-20,43		+
	Linear	0,36	-20,34		+
	Universal Quadratic	0,76	-0,05		-
	IDW	0,879	-3,74		+

ERROR CALCULADO EN LOS METODOS INTERPOLACIÓN PARA % DE FINOS

Nivel de profundidad (m)	Método Interpolación	E	Bias (%)	Número de datos disponibles	Valores
0-2	Universal Linear	0,929	-2,99	345	-
	Spherica	0,497	-17,11		+
	Circular	0,706	-13,52		+
	Exponential	0,535	-16,16		+
	Gaussian	0,23	-22,83		+
	Linear	0,449	-18,28		+
	Universal Quadratic	0,926	-2,37		-
	IDW	0,92	-1,94		+
2-4	Universal Linear	0,81	-4,44	384	-
	Spherica	0,39	-21,22		+
	Circular	0,62	-16,21		+
	Exponential	0,41	-20,57		+
	Gaussian	0,189	-25,14		+
	Linear	0,358	-21,96		+
	Universal Quadratic	-0,338	-2,67		-
	IDW	0,8	-3,79		+
4-6	Universal Linear	0,83	-10,51	379	-
	Spherica	0,26	-46,07		+
	Circular	0,24	-46,55		+
	Exponential	0,30	-45,04		+
	Gaussian	0,13	-49,86		+
	Linear	0,23	-47,08		+
	Universal Quadratic	-6,83	-1,008		-
	IDW	0,85	-7,07		+
6-8	Universal Linear	0,87	-3,88	345	-
	Spherica	0,30	-30,55		+
	Circular	0,30	-30,55		-
	Exponential	0,30	-30,51		+
	Gaussian	0,30	-30,55		+
	Linear	0,30	-30,55		+

ERROR CALCULADO EN LOS METODOS INTERPOLACIÓN PARA % DE FINOS

Nivel de profundidad (m)	Método Interpolación	E	Bias (%)	Número de datos disponibles	Valores
	Universal Quadratic	-0,04	0,88		-
	IDW	0,87	-2,91		+
8-10	Universal Linear	0,83	-32,75	307	-
	Spherica	0,30	-73,28		+
	Circular	0,25	-76,02		+
	Exponential	0,43	-68,56		+
	Gaussian	0,25	-76,17		+
	Linear	0,25	-76,17		+
	Universal Quadratic	0,12	-24,82		-
	IDW	0,83	-31,8		+

**ERROR CALCULADO EN LOS METODOS INTERPOLACIÓN PARA % DE
FRACION GRUESA O ARENA**

Nivel de profundidad (m)	Método Interpolación	E	Bias (%)	Número de datos disponibles	Valores
0-2	Universal Linear	0,92	-130,94	317	-
	Spherica	0,39	-1048		+
	Circular	0,47	-932,88		+
	Exponential	0,55	-884,86		+
	Gaussian	0,23	-1171,78		+
	Linear	0,35	-1074,48		+
	Universal Quadratic	0,92	-122,31		-
	IDW	0,91	-157,61		+
2-4	Universal Linear	0,79	-123,34	351	-
	Spherica	0,48	-491,74		+
	Circular	0,18	-651,31		+
	Exponential	0,18	-651,34		+
	Gaussian	0,18	-649,95		+
	Linear	0,18	-651,28		+
	Universal Quadratic	-0,52	-208,54		-
	IDW	0,78	-133,52		+
4-6	Universal Linear	-63,81	-2839,22	365	-
	Spherica	0,63	-363,44		+
	Circular	0,24	-501,9		+
	Exponential	0,71	-304,7		+
	Gaussian	0,52	-430,03		-
	Linear	0,58	-392,81		-
	Universal Quadratic	-1,06	-279,61		-
	IDW	0,85	-85,96		+
6-8	Universal Linear	0,86	-84,4	338	-
	Spherica	0,53	-274,92		+
	Circular	0,43	-298,53		-
	Exponential	0,83	-139,47		+
	Gaussian	0,85	-130,73		-
	Linear	0,49	-284,59		+

**ERROR CALCULADO EN LOS METODOS INTERPOLACIÓN PARA % DE
FRACION GRUESA O ARENA**

Nivel de profundidad (m)	Método Interpolación	E	Bias (%)	Número de datos disponibles	Valores
	Universal Quadratic	0,06	-325,86		-
	IDW	0,86	-83,1		+
8-10	Universal Linear	0,83	-93,33	304	-
	Spherica	0,38	-249,83		+
	Circular	0,26	-272,45		+
	Exponential	0,71	-158,71		+
	Gaussian	0,57	-198,22		+
	Linear	0,35	-256,28		+
	Universal Quadratic	0,20	-359,82		-
	IDW	0,83	-74,85		+

**ERROR CALCULADO EN LOS METODOS INTERPOLACIÓN PARA EL
PESO UNITARIO O DENSIDAD**

Nivel de profundidad (m)	Método Interpolación	E	Bias (%)	Número de datos disponibles	Valores
0-2	Universal Linear	0,87	-0,31	332	-
	Spherica	0,27	-1,01		+
	Circular	0,24	-1,07		+
	Exponential	0,31	-0,96		+
	Gaussian	0,22	-1,07		+
	Linear	0,27	-1,02		+
	Universal Quadratic	0,87	-0,33		-
	IDW	0,87	-0,31		+
2-4	Universal Linear	0,84	-0,48	380	-
	Spherica	0,31	-0,98		+
	Circular	0,28	-1,00		+
	Exponential	0,32	-0,97		+
	Gaussian	0,19	-1,08		+
	Linear	0,31	-0,98		+
	Universal Quadratic	0,78	-0,61		-
	IDW	0,84	-0,43		+
4-6	Universal Linear	0,82	0,30	373	-
	Spherica	0,21	-1,18		+
	Circular	0,20	-1,20		+
	Exponential	0,22	-1,17		+
	Gaussian	0,15	-1,25		+
	Linear	0,19	-1,21		+
	Universal Quadratic	0,70	-0,64		-
	IDW	0,83	-0,32		+
6-8	Universal Linear	0,85	-0,37	311	-
	Spherica	0,14	-1,21		+
	Circular	0,14	-1,22		+
	Exponential	0,18	-1,17		+
	Gaussian	0,13	-1,22		+
	Linear	0,15	-1,20		+

**ERROR CALCULADO EN LOS METODOS INTERPOLACIÓN PARA EL
PESO UNITARIO O DENSIDAD**

Nivel de profundidad (m)	Método Interpolación	E	Bias (%)	Número de datos disponibles	Valores
	Universal Quadratic	0,84	-0,35		-
	IDW	0,86	-0,32		+
8-10	Universal Linear	0,83	-0,50	263	+
	Spherica	0,24	-1,16		+
	Circular	0,21	-1,15		+
	Exponential	0,24	-1,16		+
	Gaussian	0,13	-1,13		+
	Linear	0,24	-1,16		+
	Universal Quadratic	0,82	-0,43		-
	IDW	0,83	-0,44		+

**ERROR CALCULADO EN LOS METODOS INTERPOLACIÓN PARA
RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE**

Nivel de profundidad (m)	Método Interpolación	E	Bias (%)	Número de datos disponibles	Valores
0-2	Universal Linear	0,87	-7,35	325	-
	Spherica	0,27	-32,14		+
	Circular	0,26	-32,46		+
	Exponential	0,33	-30,42		+
	Gaussian	0,13	-35,58		+
	Linear	0,25	-32,89		+
	Universal Quadratic	0,877	-7,09		-
	IDW	0,89	-6,55		+
2-4	Universal Linear	0,90	-8,53	376	-
	Spherica	0,173	-31,71		+
	Circular	0,173	-31,72		+
	Exponential	0,21	-31,37		+
	Gaussian	0,6	-22,26		+
	Linear	0,17	-31,72		+
	Universal Quadratic	0,88	-8,40		-
	IDW	0,90	-8,52		+
4-6	Universal Linear	0,82	-7,71	369	-
	Spherica	0,41	-20,05		+
	Circular	0,40	-20,48		+
	Exponential	0,46	-19,05		+
	Gaussian	0,36	-20,98		+
	Linear	0,40	-20,35		+
	Universal Quadratic	0,68	-14,43		-
	IDW	0,84	-7,00		+
6-8	Universal Linear	0,87	-4,62	309	-
	Spherica	0,55	-17,49		+
	Circular	0,35	-22,26		+
	Exponential	0,64	-15,45		+
	Gaussian	0,47	-18,94		+
	Linear	0,49	-19,92		+

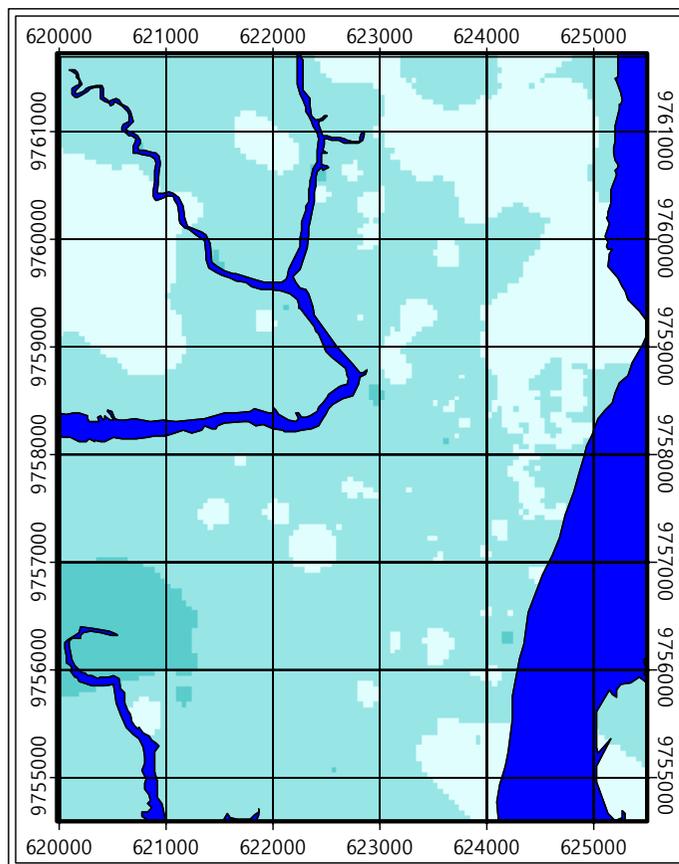
**ERROR CALCULADO EN LOS METODOS INTERPOLACIÓN PARA
RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE**

Nivel de profundidad (m)	Método Interpolación	E	Bias (%)	Número de datos disponibles	Valores
	Universal Quadratic	0,82	-7,82		-
	IDW	0,88	-4,90		+
8-10	Universal Linear	0,78	-14,72	259	-
	Spherica	0,25	-36,73		+
	Circular	0,22	-37,61		+
	Exponential	0,54	-28,45		+
	Gaussian	0,32	-35,04		+
	Linear	0,34	-34,63		+
	Universal Quadratic	0,76	-14,03		-
	IDW	0,80	-14,35		+

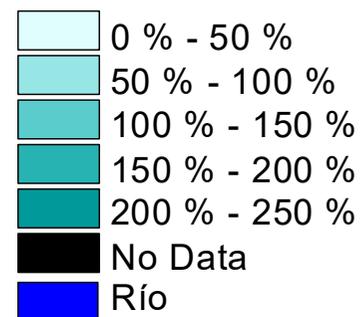
ANEXO C

MAPAS DE PROPIEDADES GENERADOS A PARTIR DE LA INTERPOLACION DE DATOS DE CADA PARAMETRO GEOMECANICO

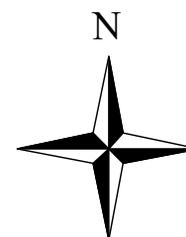
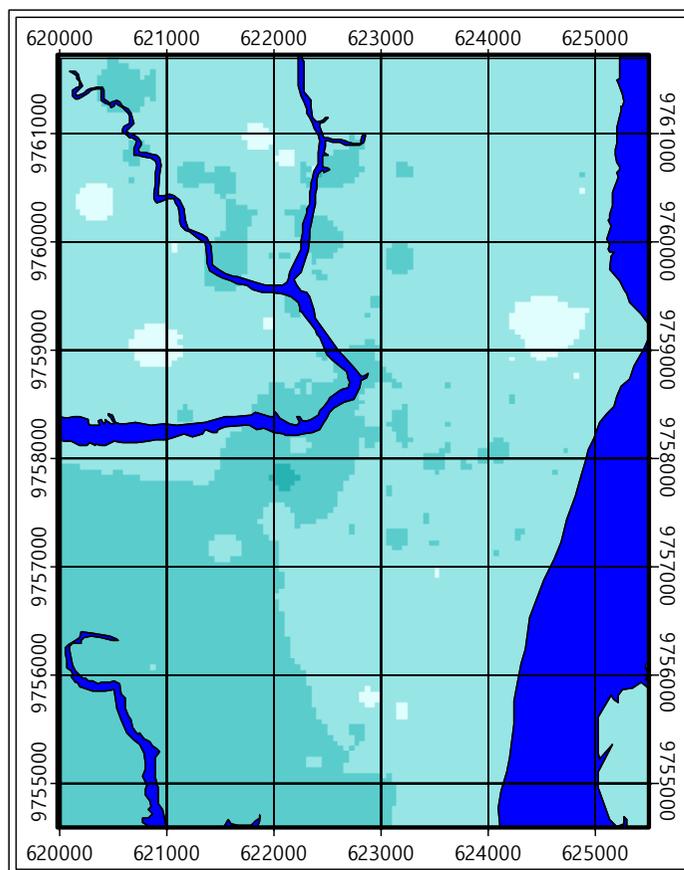
Mapa de Propiedades del Contenido de Humedad entre 0 y 2m.



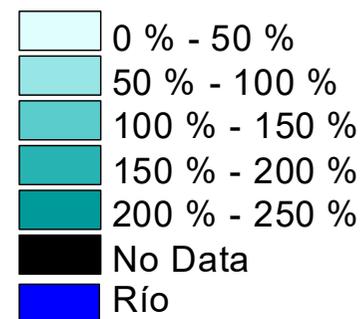
Humedad de
0 a 2 m



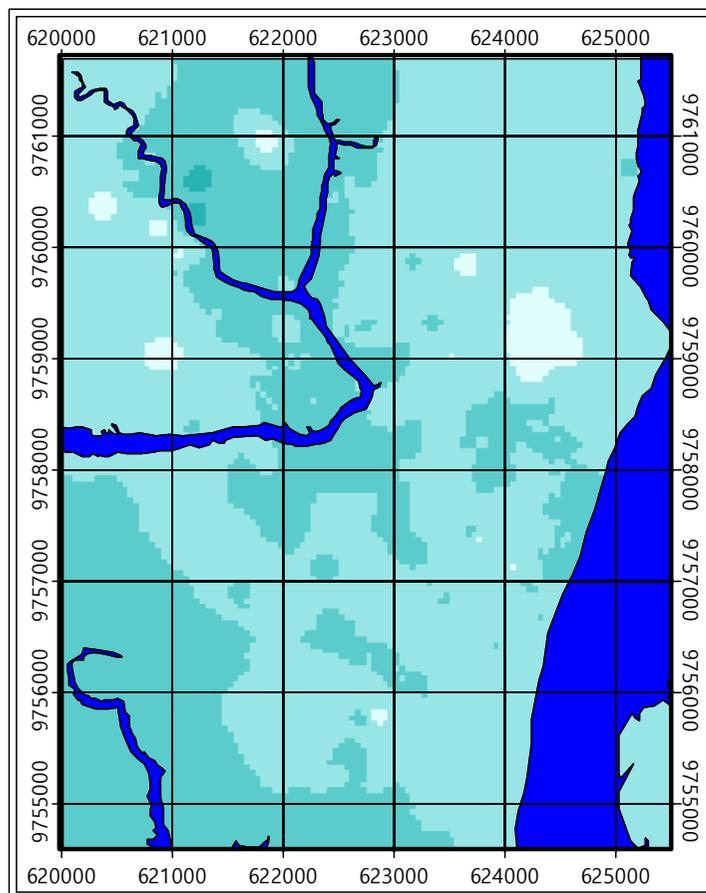
Mapa de Propiedades del Contenido de Humedad entre 2 y 4m.



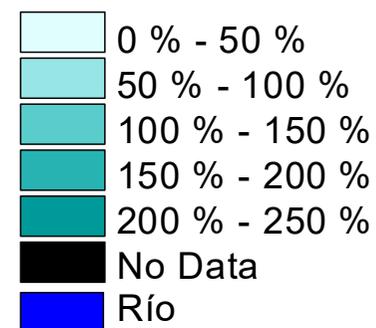
**Humedad de
2 a 4m**



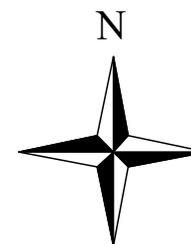
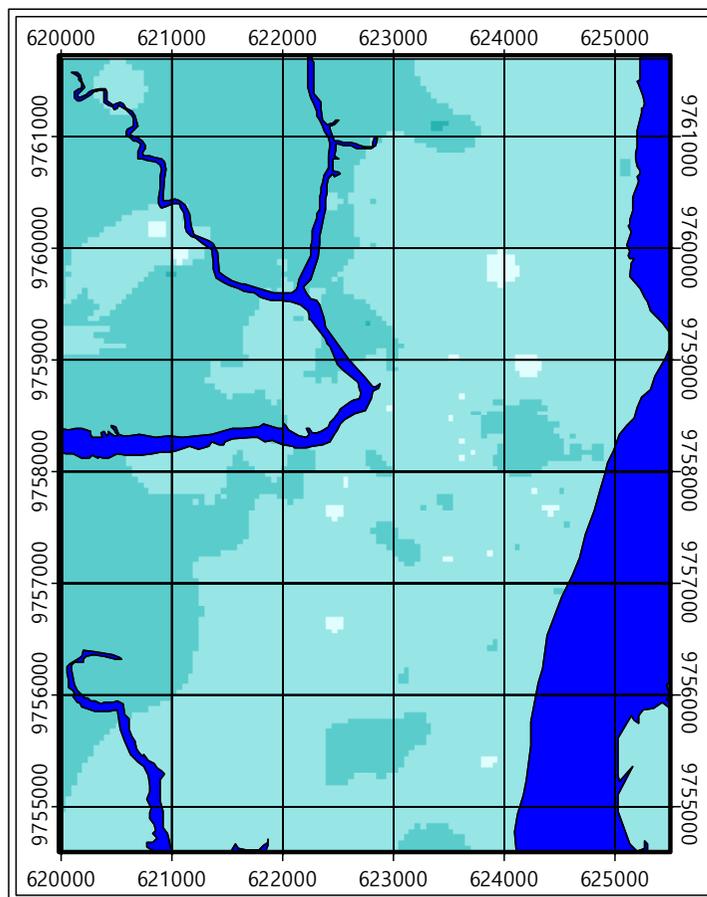
Mapa de Propiedades del Contenido de Humedad entre 4 y 6m.



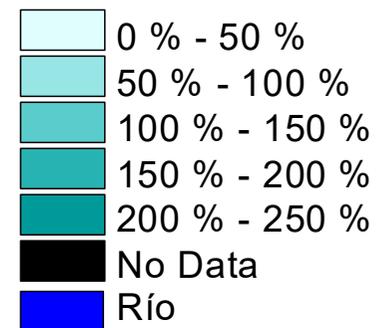
**Humedad de
4 a 6m**



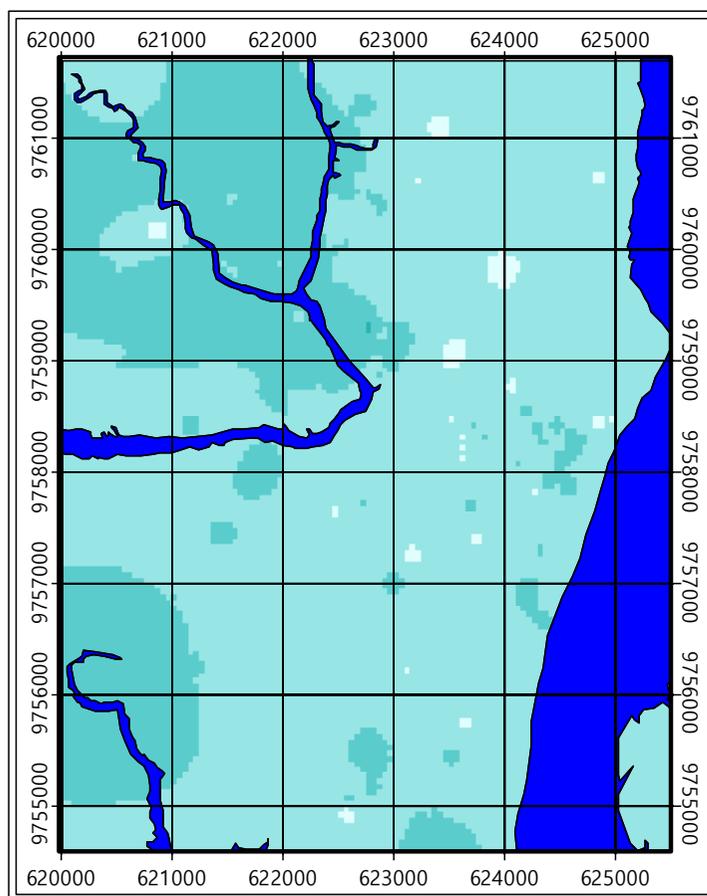
Mapa de Propiedades del Contenido de Humedad entre 6 y 8m.



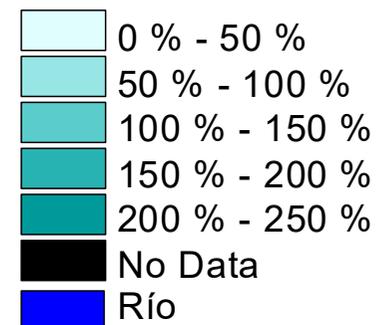
**Humedad de
6 a 8m**



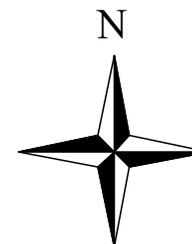
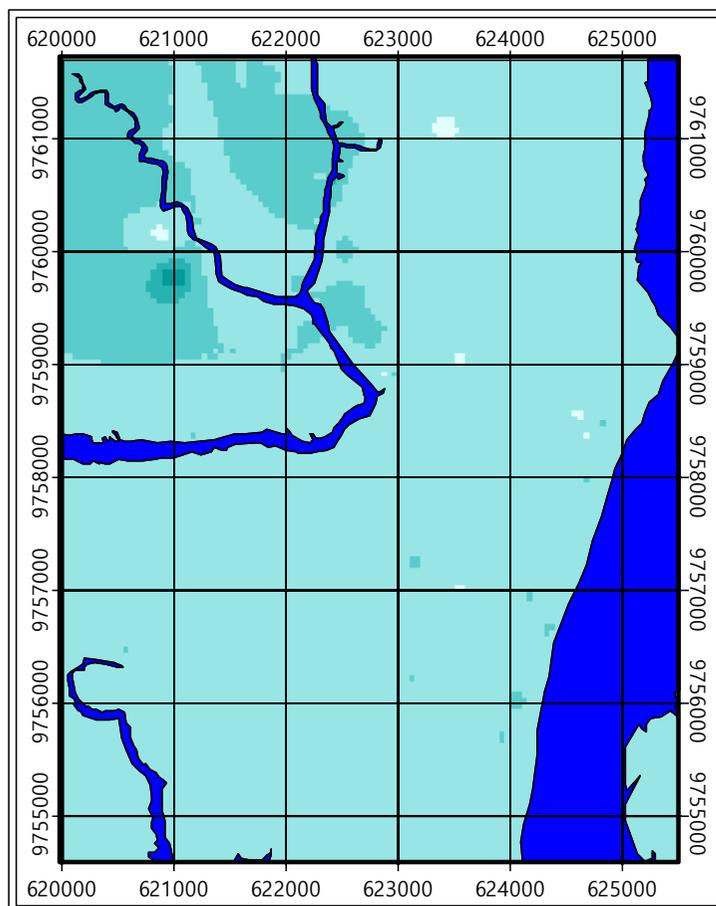
Mapa de Propiedades del Contenido de Humedad entre 8 y 10m.



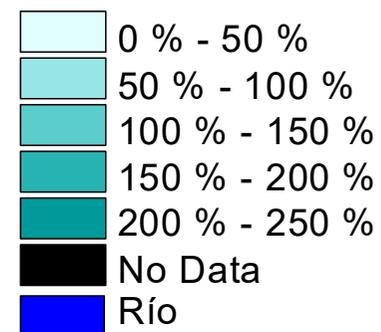
**Humedad de
8 a 10m**



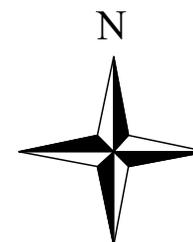
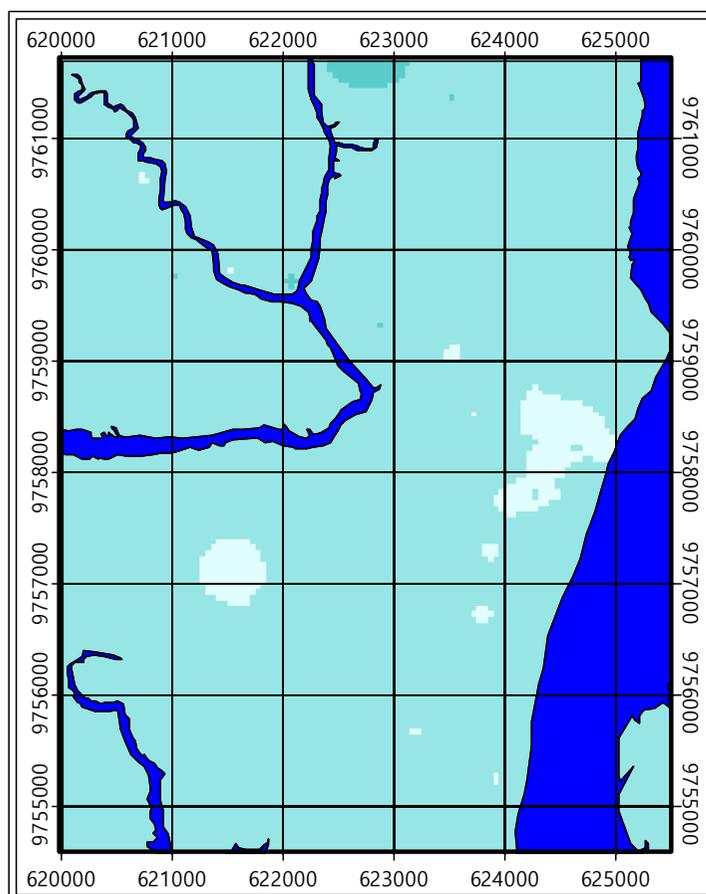
Mapa de Propiedades del Contenido de Humedad entre 10 y 15m.



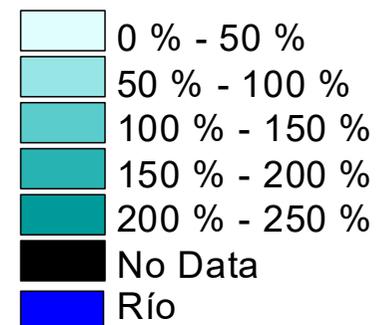
**Humedad de
10 a 15m**



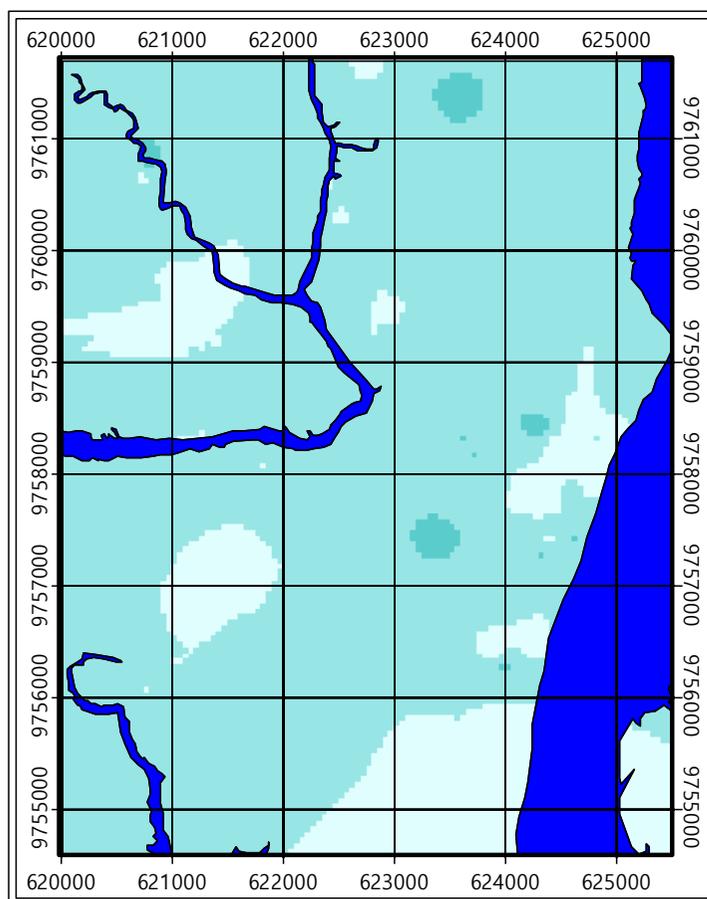
Mapa de Propiedades del Contenido de Humedad entre 15 y 20m.



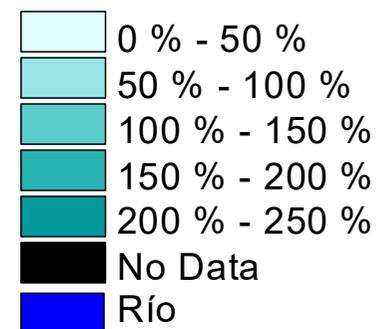
Humedad de
15 a 20m



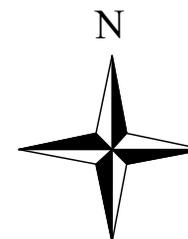
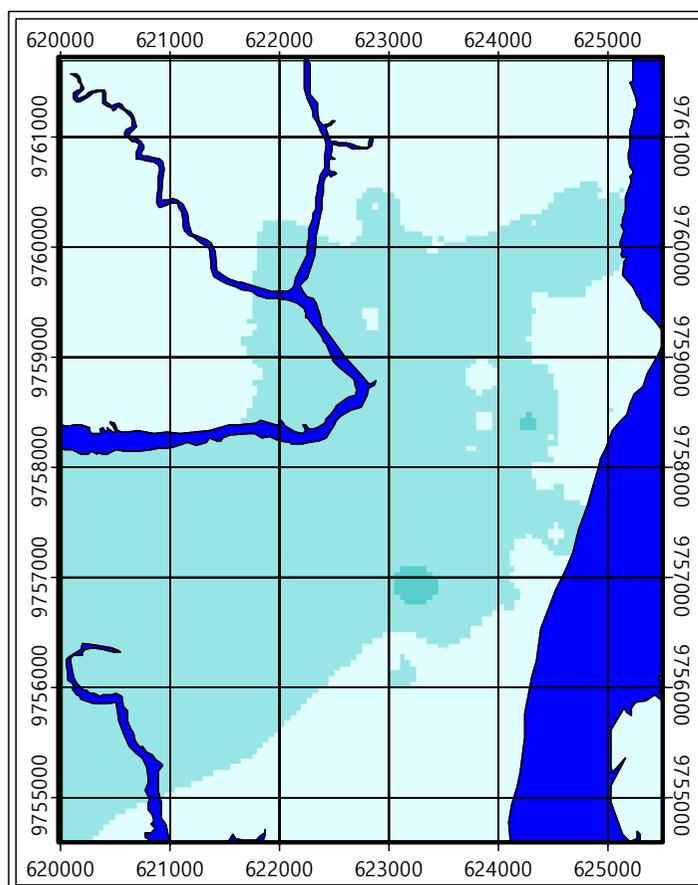
Mapa de Propiedades del Contenido de Humedad entre 20 y 25m.



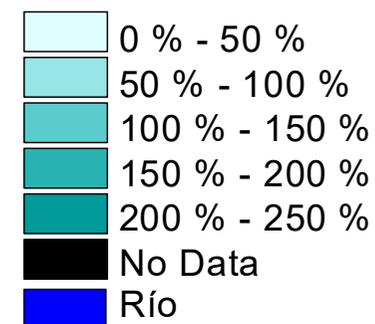
**Humedad de
20 a 25m**



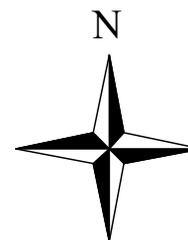
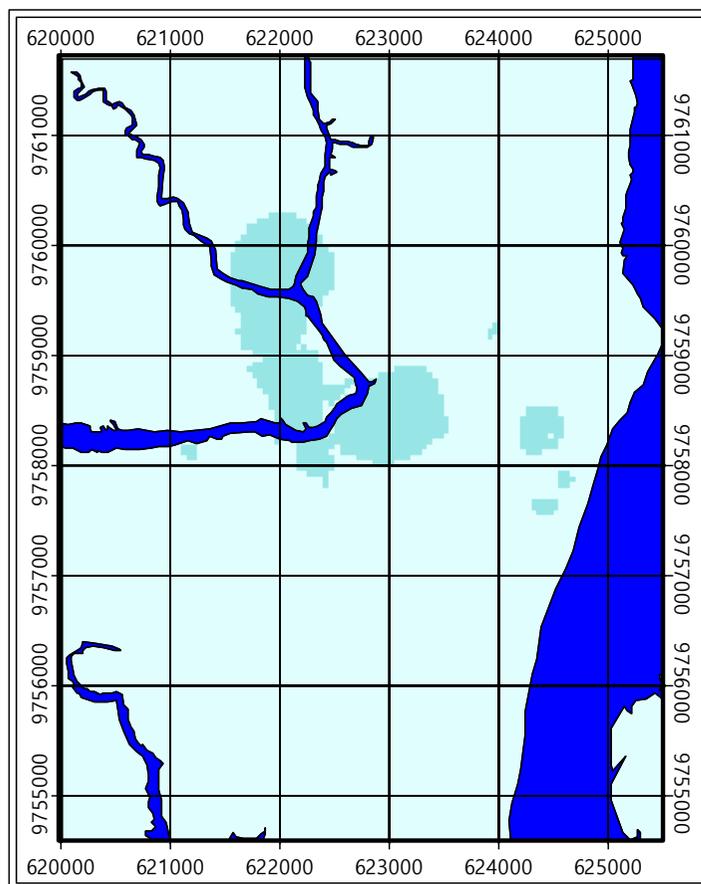
Mapa de Propiedades del Contenido de Humedad entre 25 y 30m.



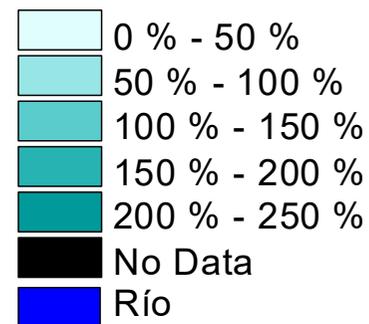
**Humedad de
25 a 30m**



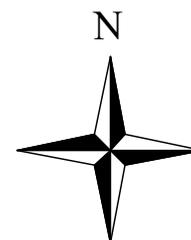
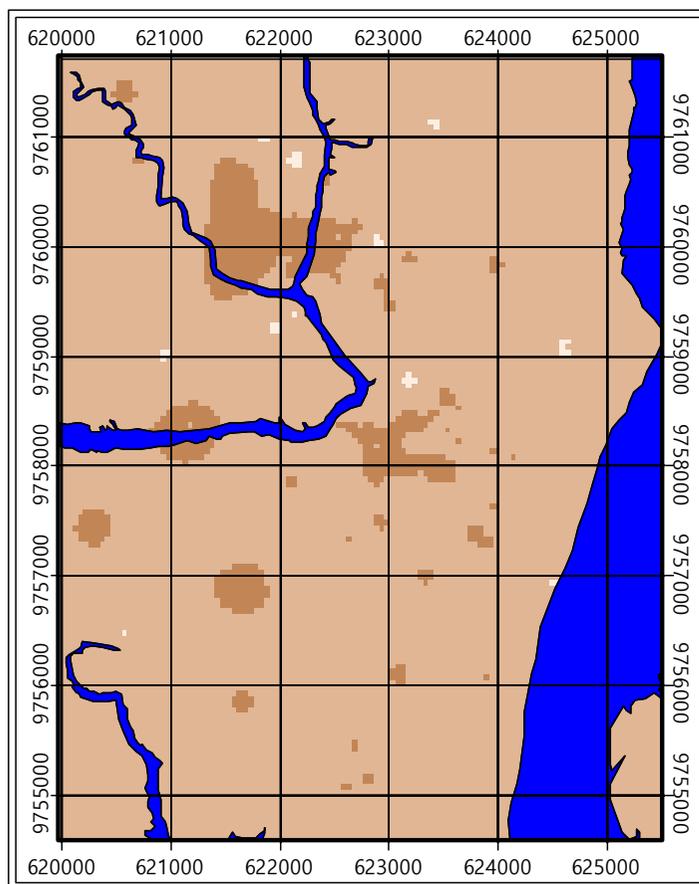
Mapa de Propiedades del Contenido de Humedad entre 30 y 50m.



Humedad de
30 a 50m



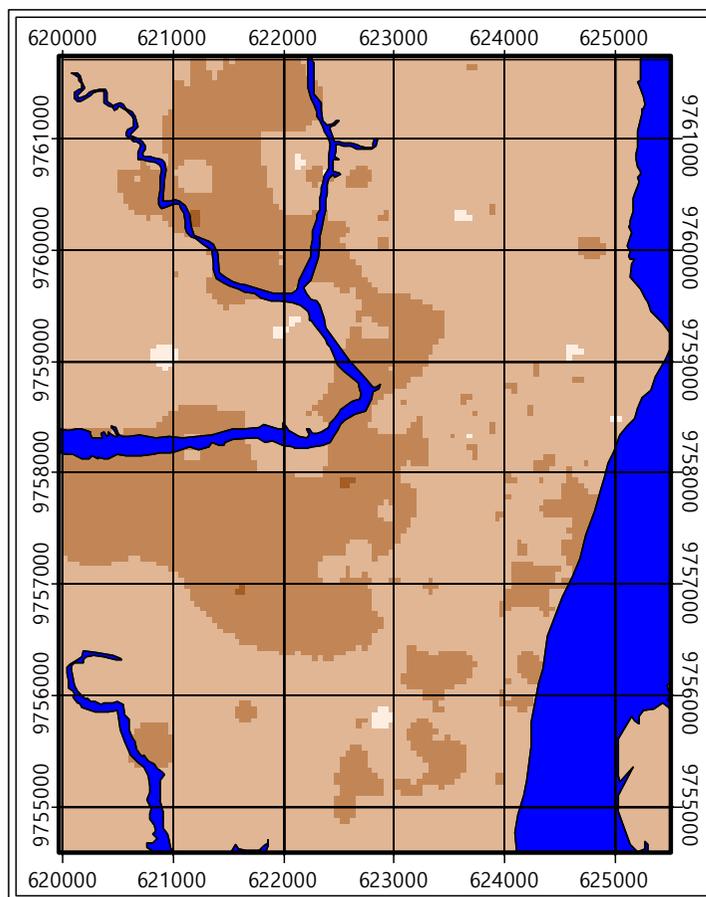
Mapa de Propiedades del Límite Líquido entre 0 y 2m.



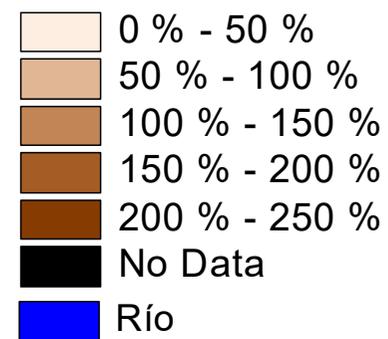
Límite Líquido de 0 a 2m

-  0 % - 50 %
-  50 % - 100 %
-  100 % - 150 %
-  150 % - 200 %
-  200 % - 250 %
-  No Data
-  Río

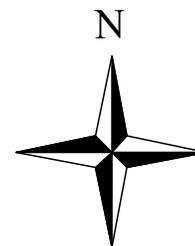
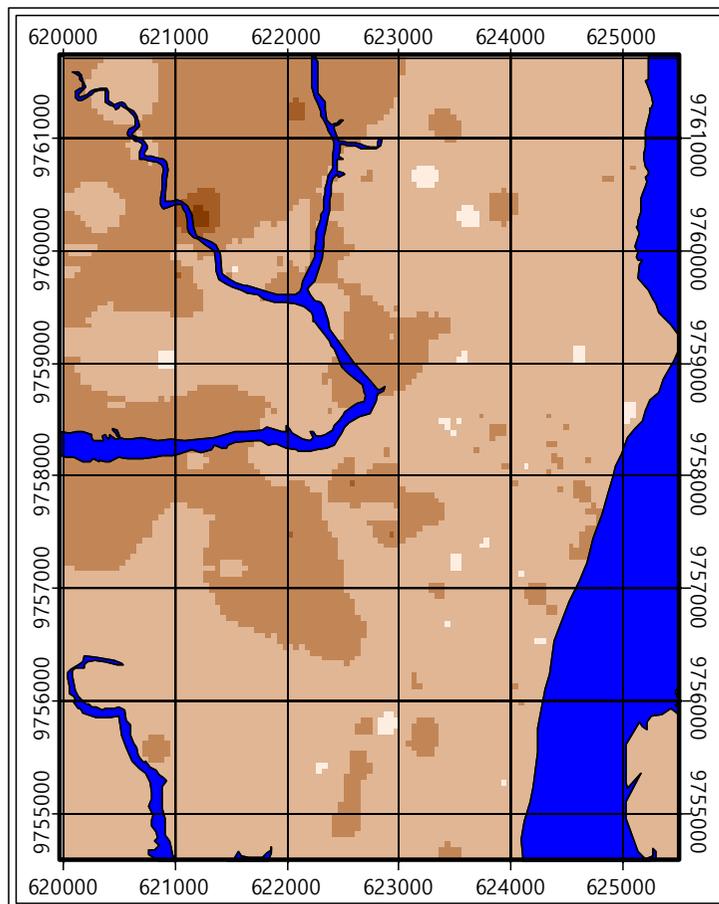
Mapa de Propiedades del Límite Líquido entre 2 y 4m.



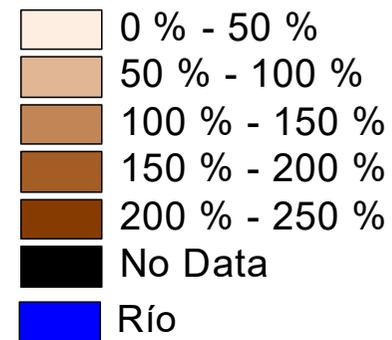
**Límite Líquido
de 2 a 4m**



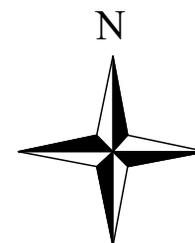
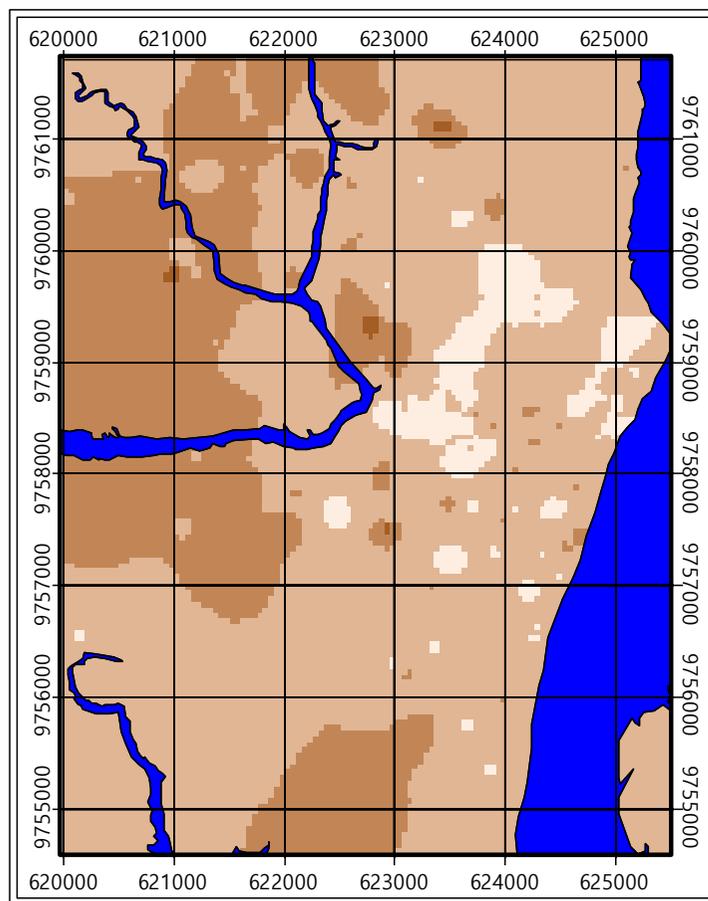
Mapa de Propiedades del Límite Líquido entre 4 y 6m.



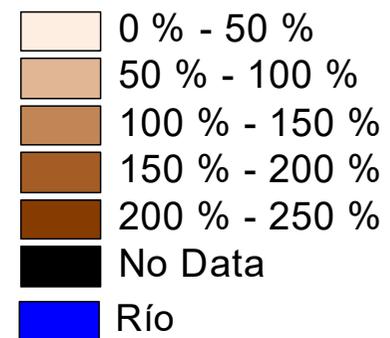
**Límite Líquido
de 4 a 6m**



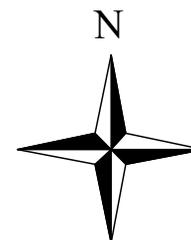
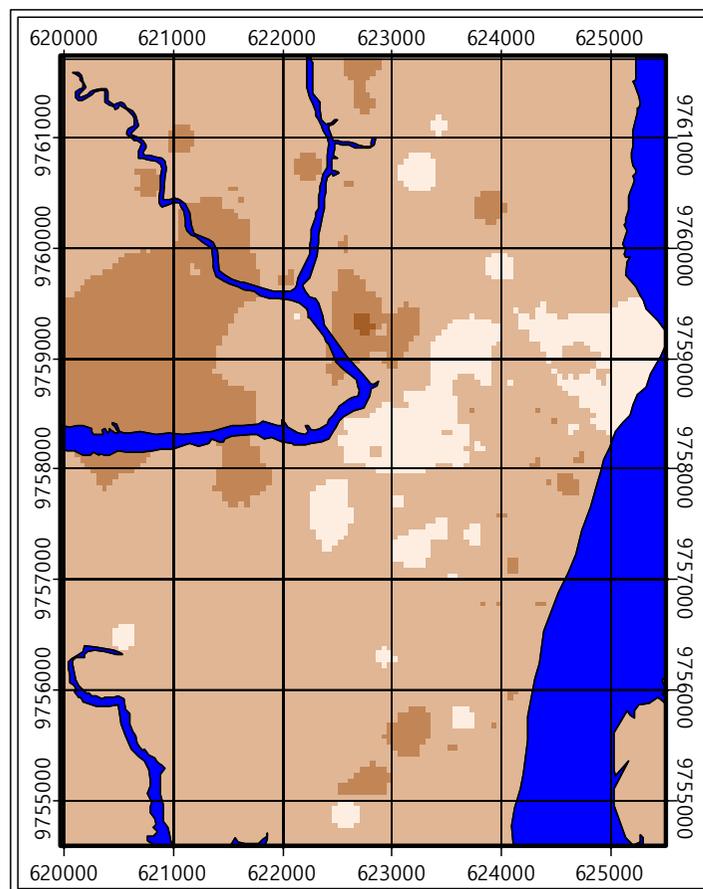
Mapa de Propiedades del Límite Líquido entre 6 y 8m.



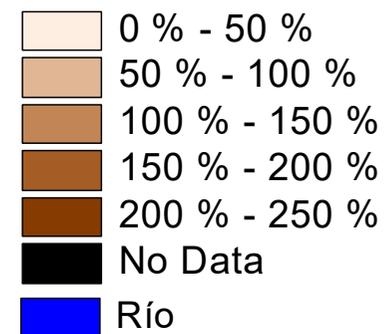
**Límite Líquido
de 6 a 8m**



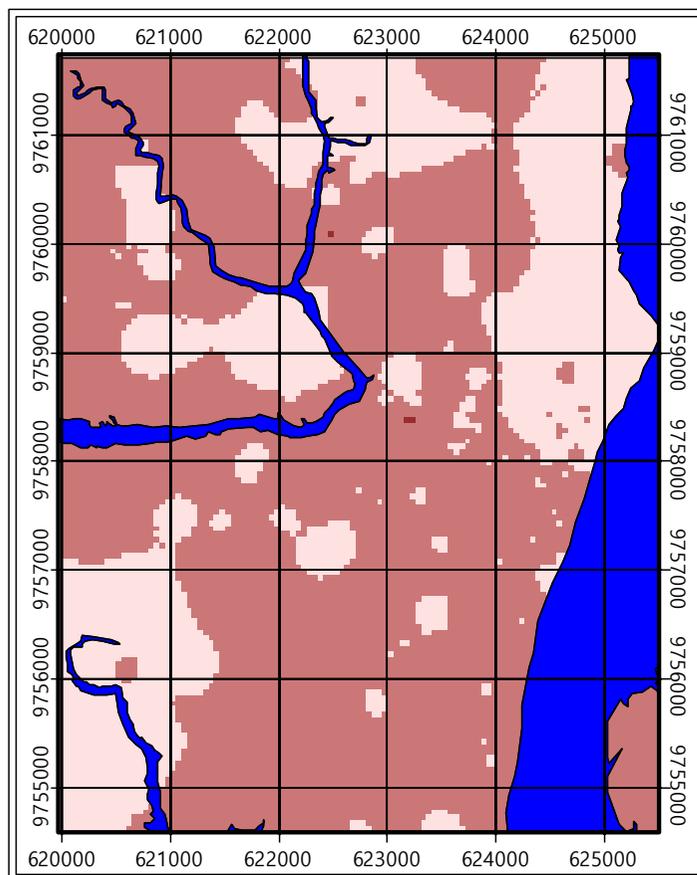
Mapa de Propiedades del Límite Líquido entre 8 y 10m.



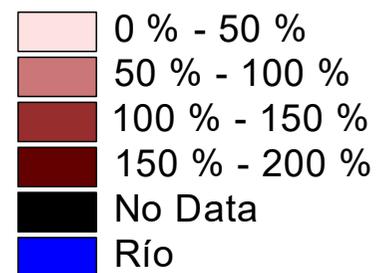
**Límite Líquido
de 8 a 10m**



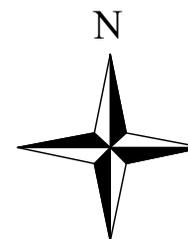
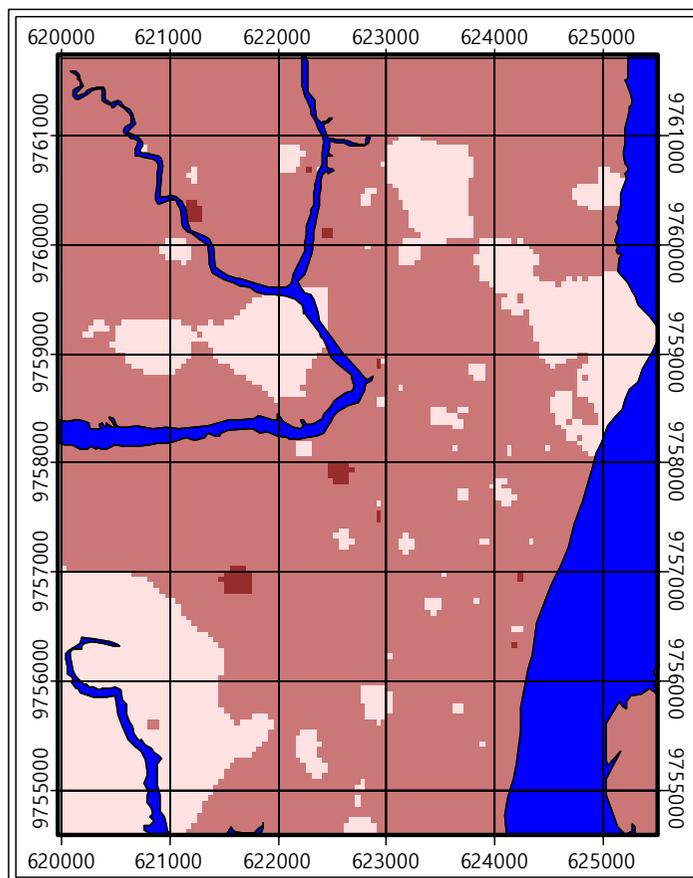
Mapa de Propiedades del Índice Plástico entre 0 y 2m.



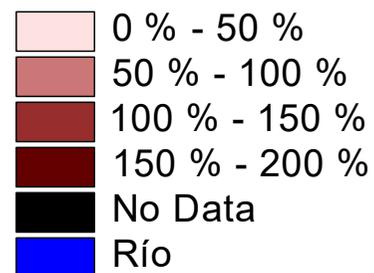
Índice Plástico
de 0 a 2m



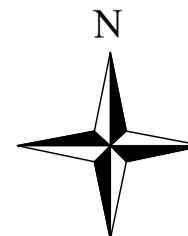
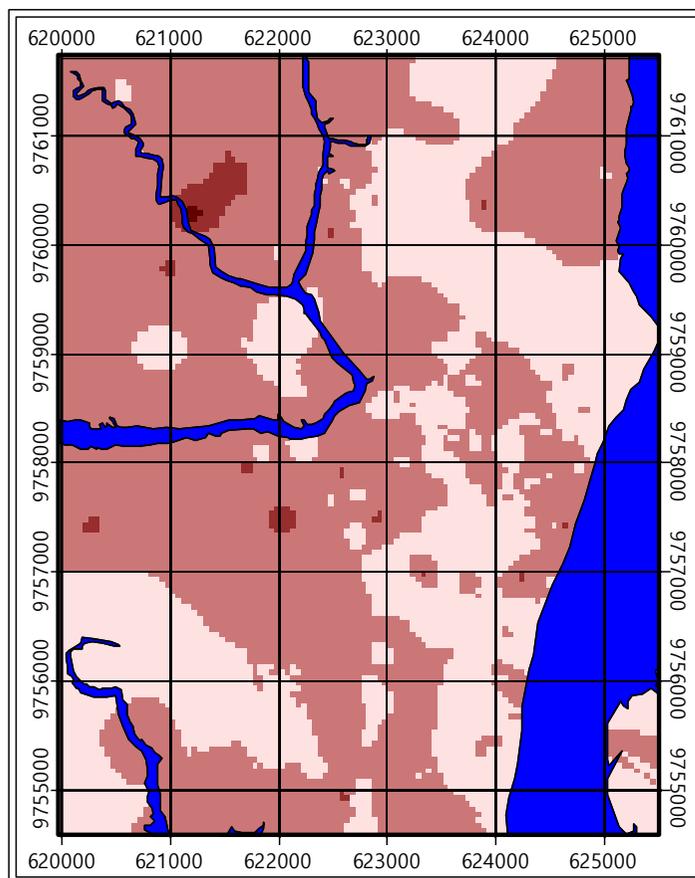
Mapa de Propiedades del Índice Plástico entre 2 y 4m.



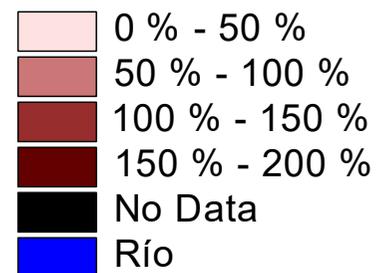
Índice Plástico
de 2 a 4m



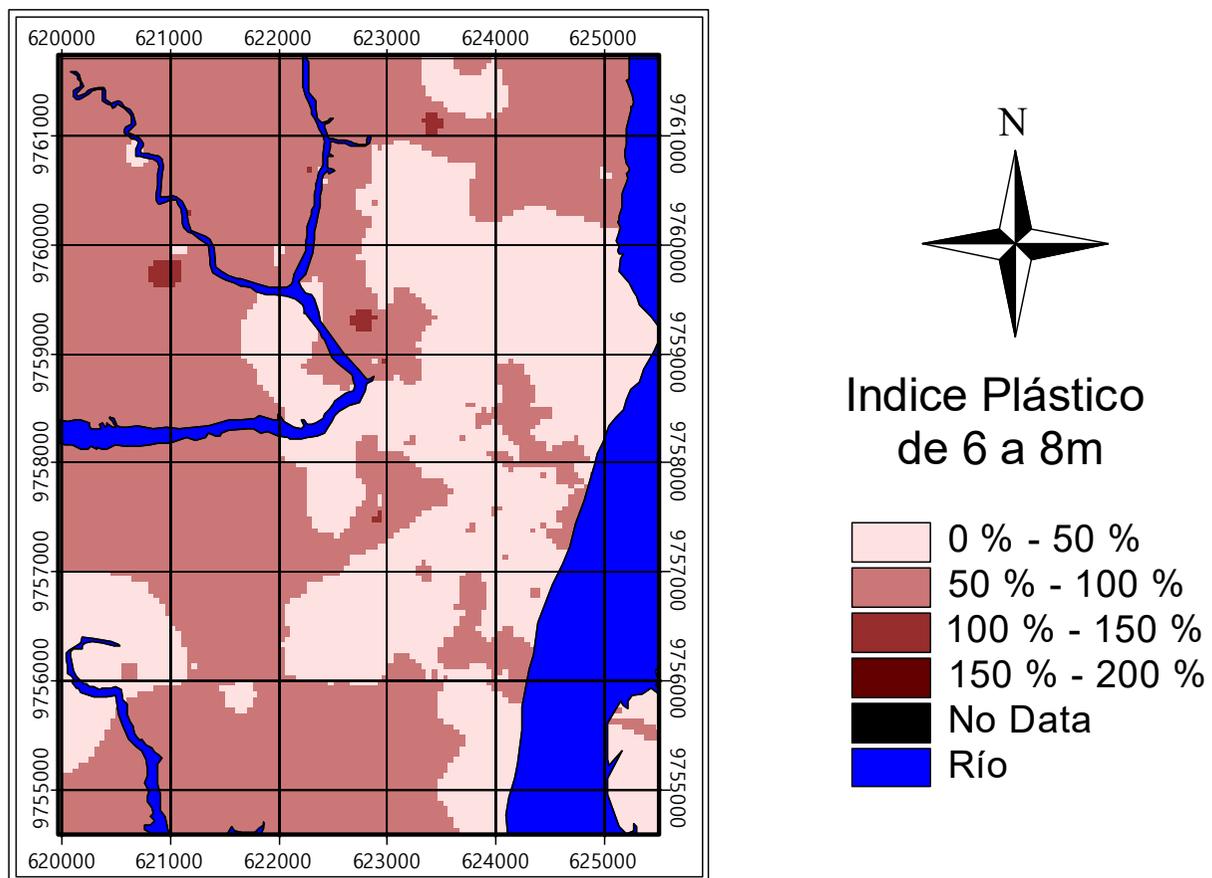
Mapa de Propiedades del Índice Plástico entre 4 y 6m.



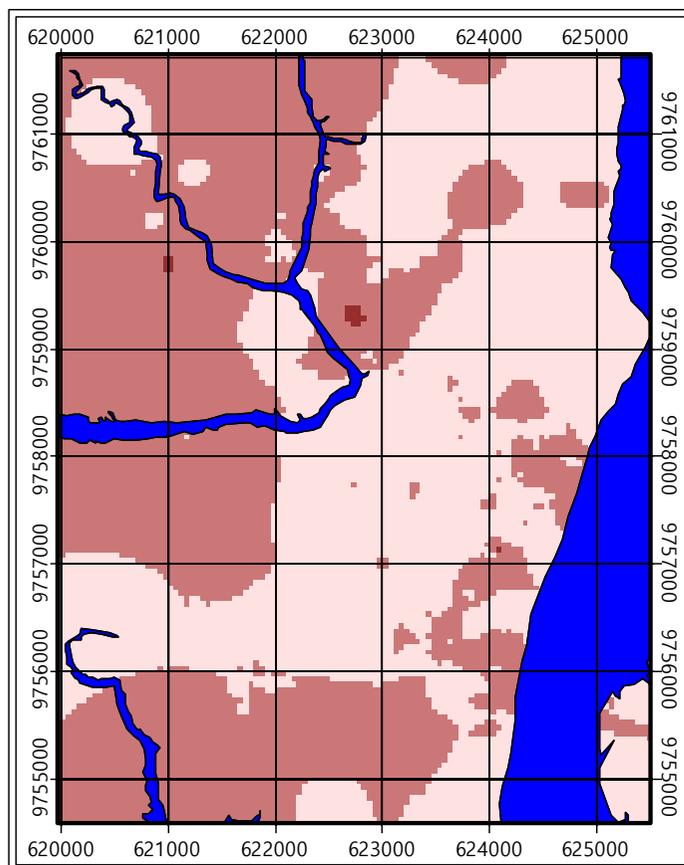
Índice Plástico
de 4 a 6m



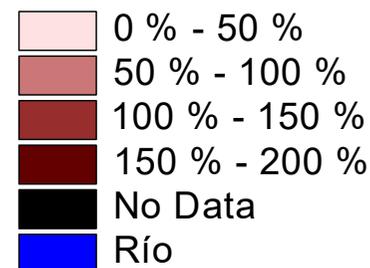
Mapa de Propiedades del Índice Plástico entre 6 y 8m.



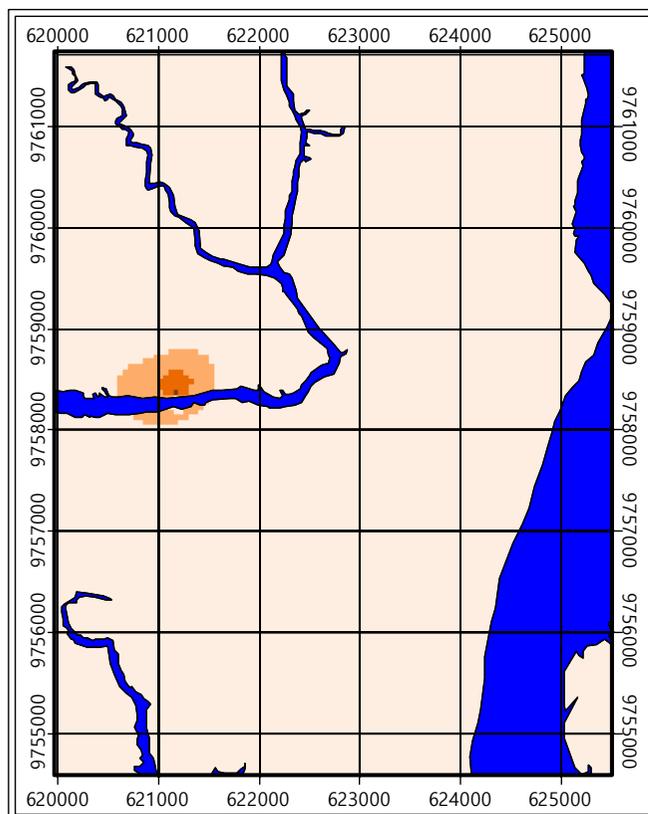
Mapa de Propiedades del Índice Plástico entre 8 y 10m.



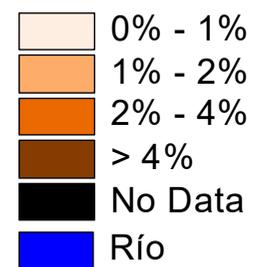
Índice Plástico de 8 a 10m



Mapa de Propiedades de % de Grava entre 0 y 2m.

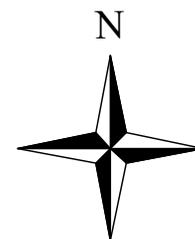
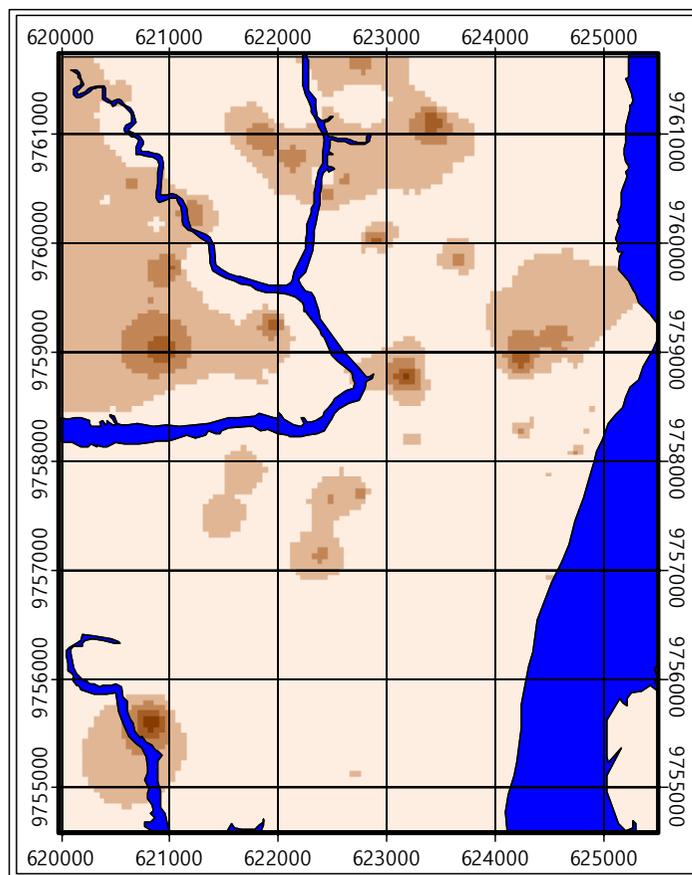


Grava de 0 a 2m

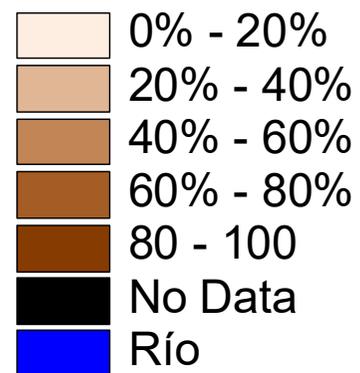


En los demás niveles el % de grava es nula

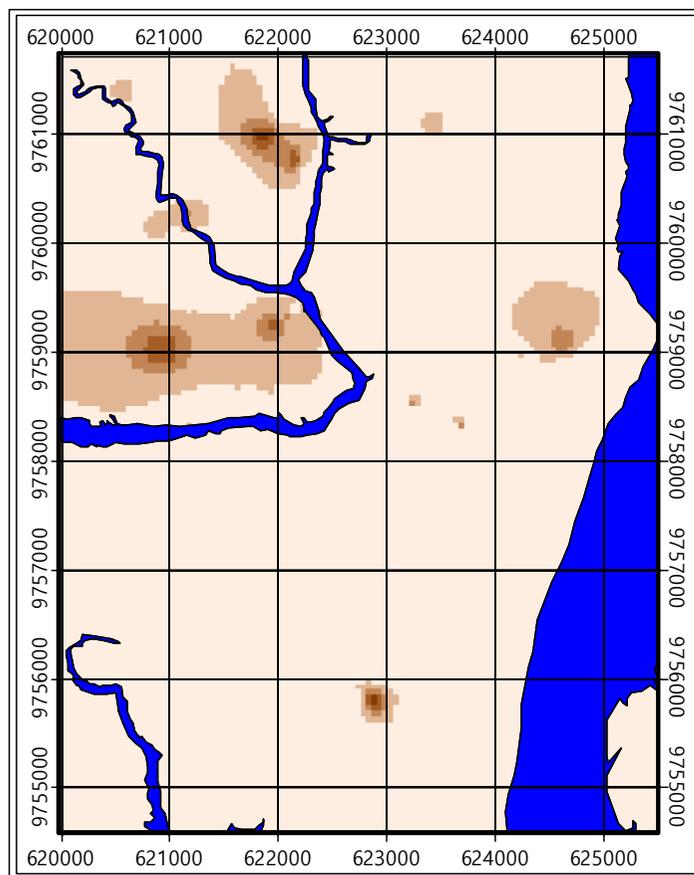
Mapa de Propiedades de % de Arena entre 0 y 2m.



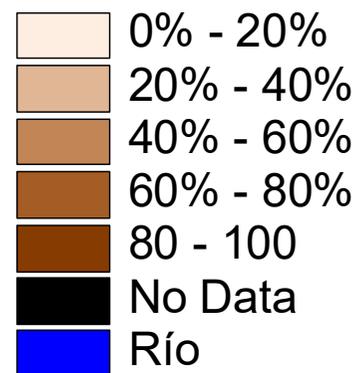
% de Arena
de 0 a 2m



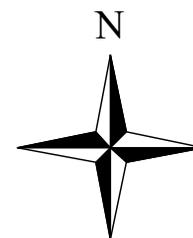
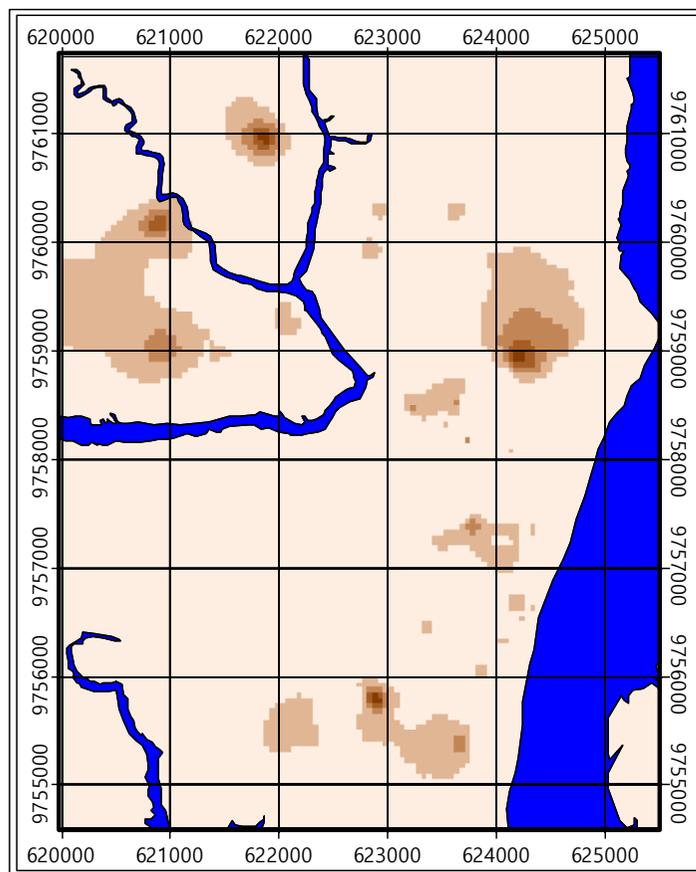
Mapa de Propiedades de % de Arena entre 2 y 4m.



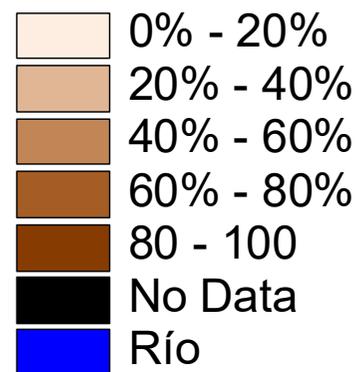
% de Arena
de 2 a 4m



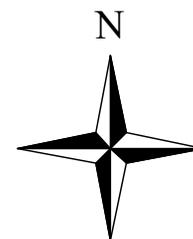
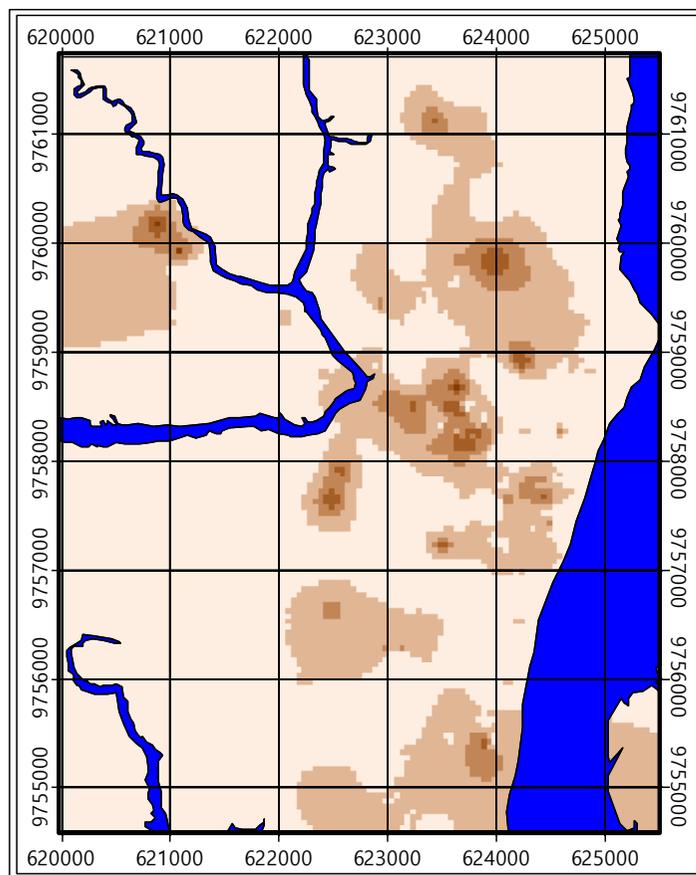
Mapa de Propiedades de % de Arena entre 4 y 6m.



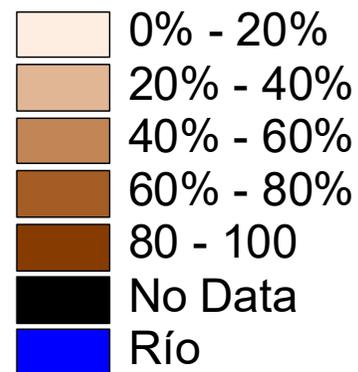
**% de Arena
de 4 a 6m**



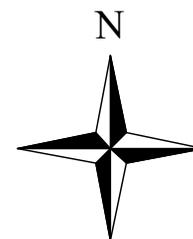
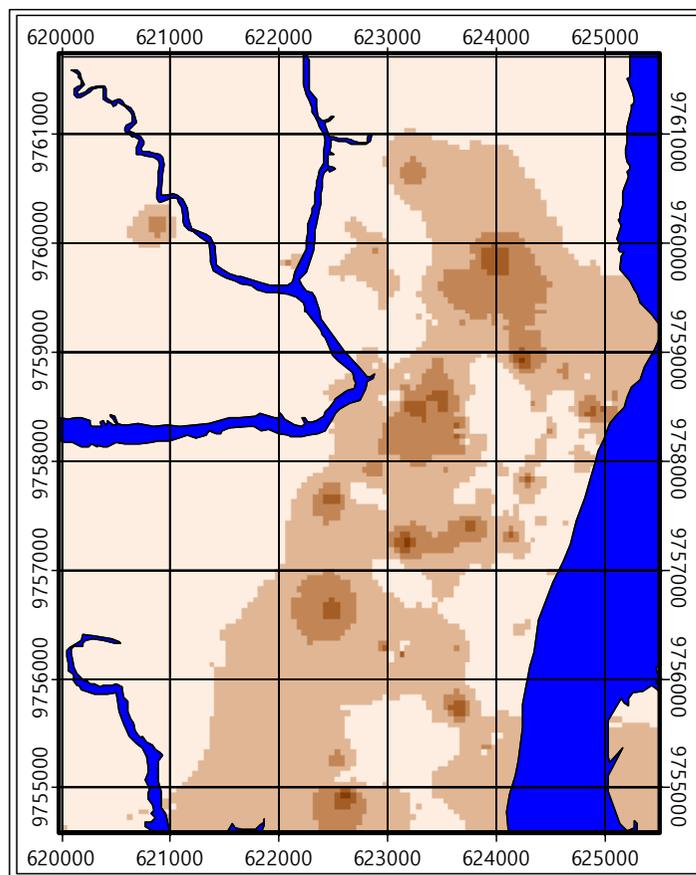
Mapa de Propiedades de % de Arena entre 6 y 8m.



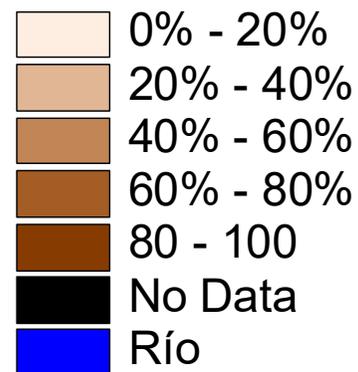
% de Arena
de 6 a 8m



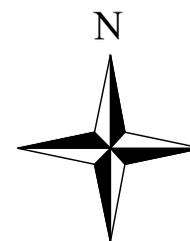
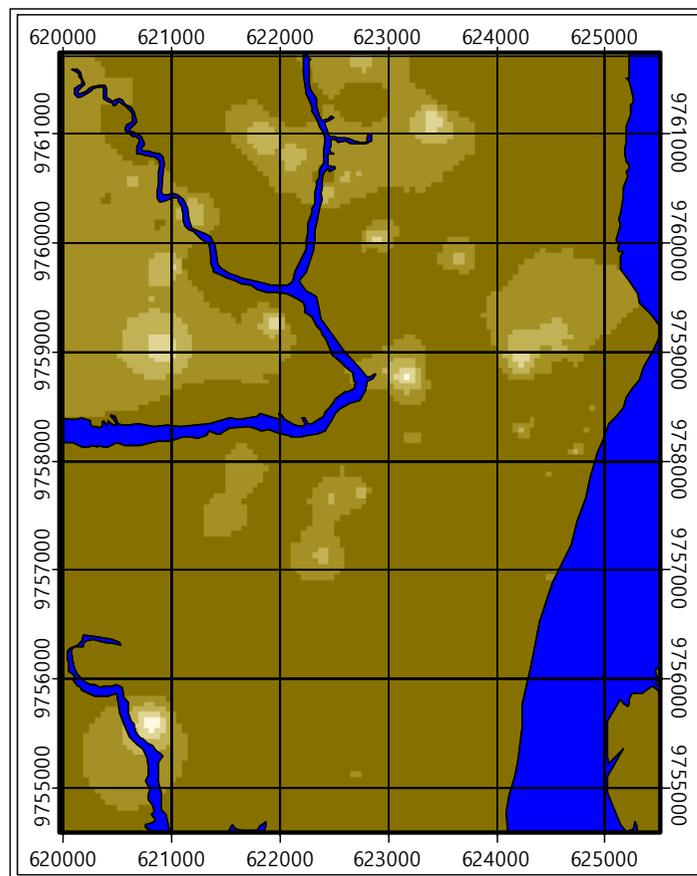
Mapa de Propiedades de % de Arena entre 8 y 10m.



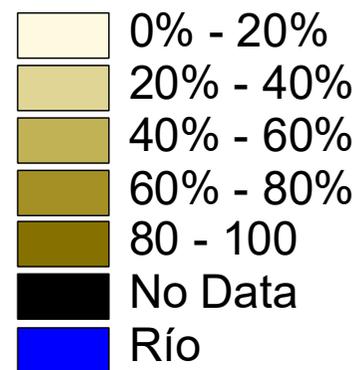
% de Arena
de 8 a 10m



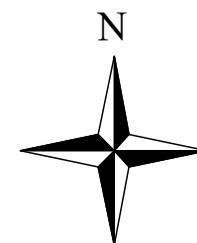
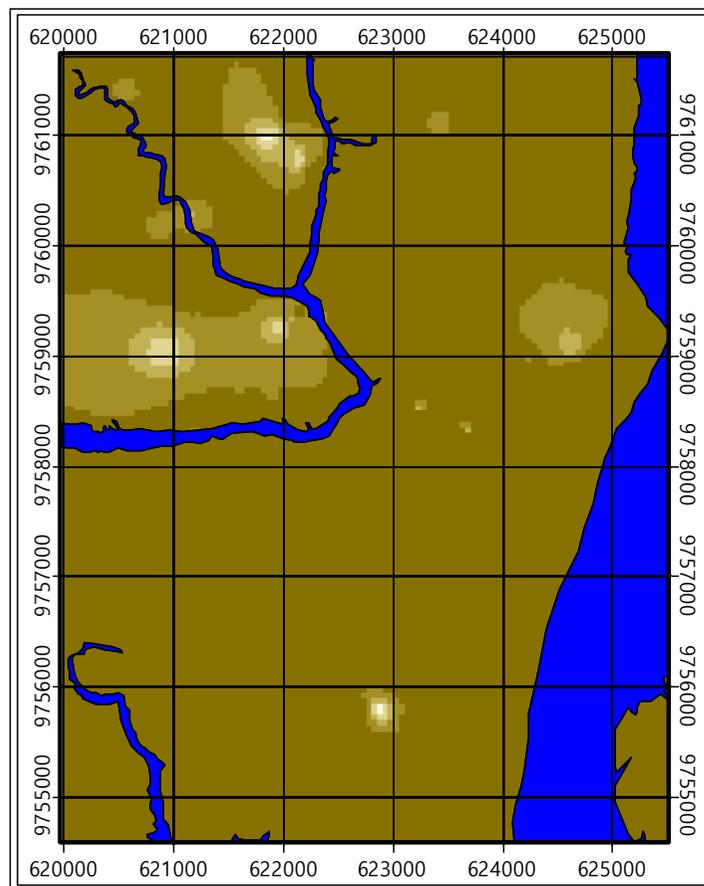
Mapa de Propiedades de % de Finos (Arcilla + Limo) entre 0 y 2m.



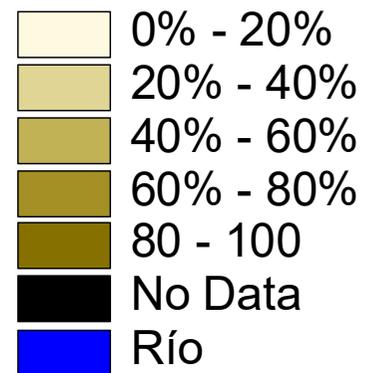
**Material Fino
de 0 a 2m**



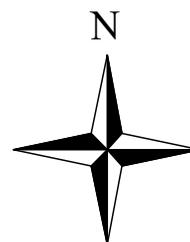
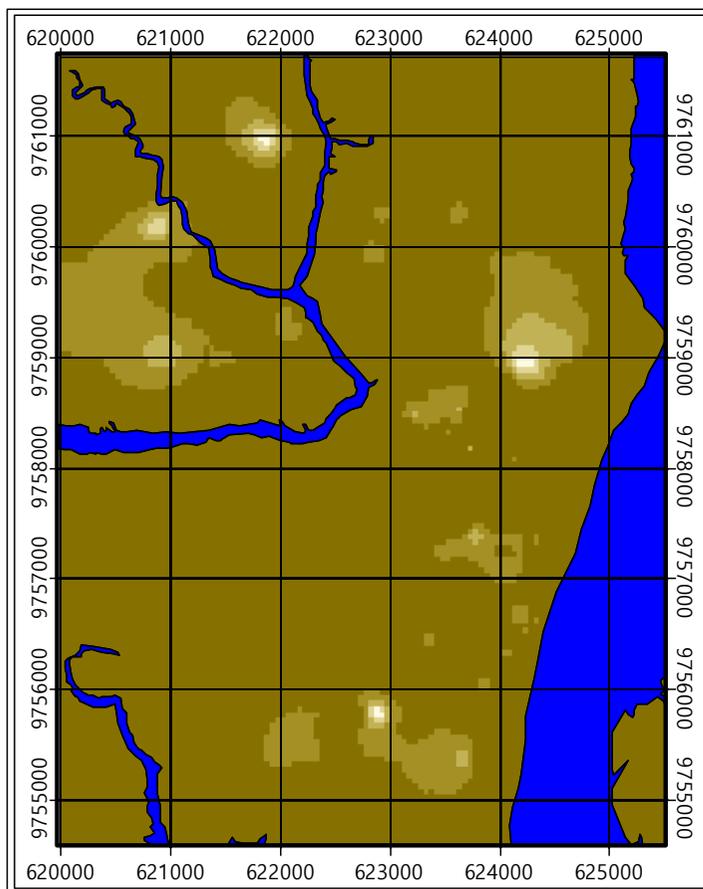
Mapa de Propiedades de % de Finos (Arcilla + Limo) entre 2 y 4m.



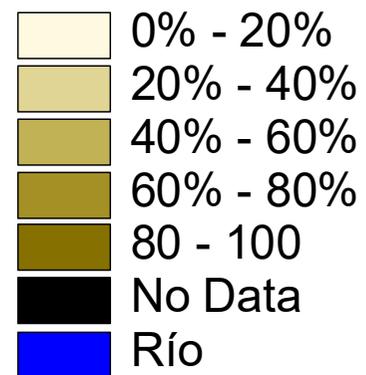
**Material Fino
de 2 a 4m**



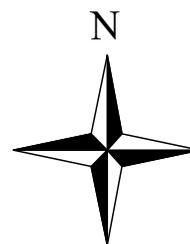
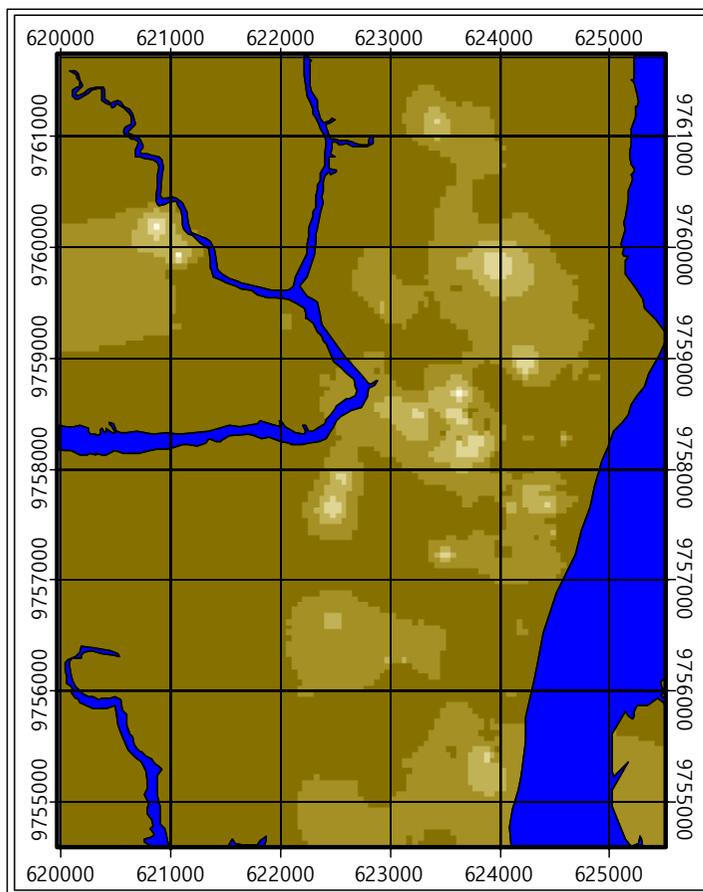
Mapa de Propiedades de % de Finos (Arcilla + Limo) entre 4 y 6m.



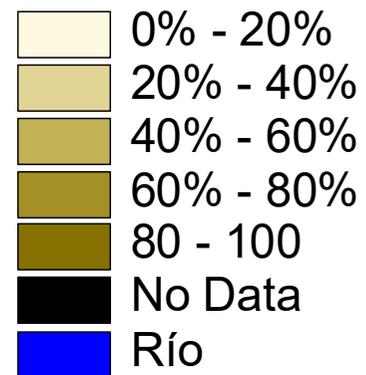
**Material Fino
de 4 a 6m**



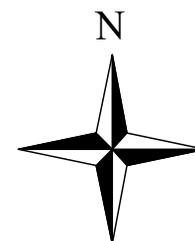
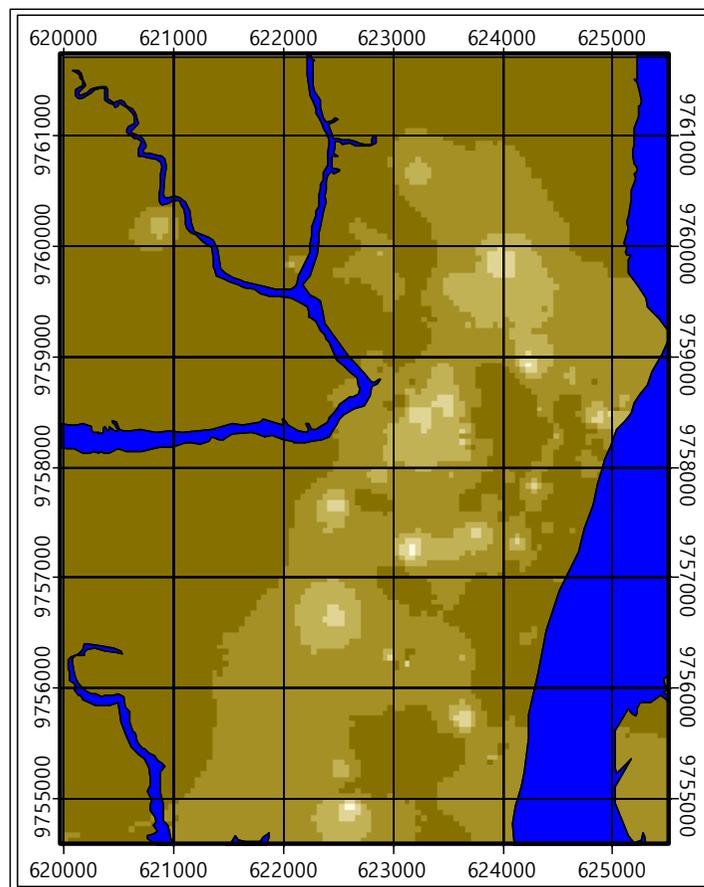
Mapa de Propiedades de % de Finos (Arcilla + Limo) entre 6 y 8m.



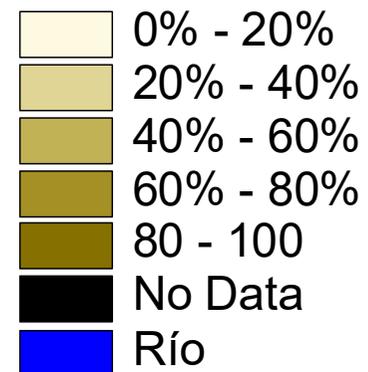
**Material Fino
de 6 a 8m**



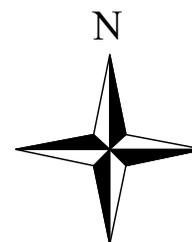
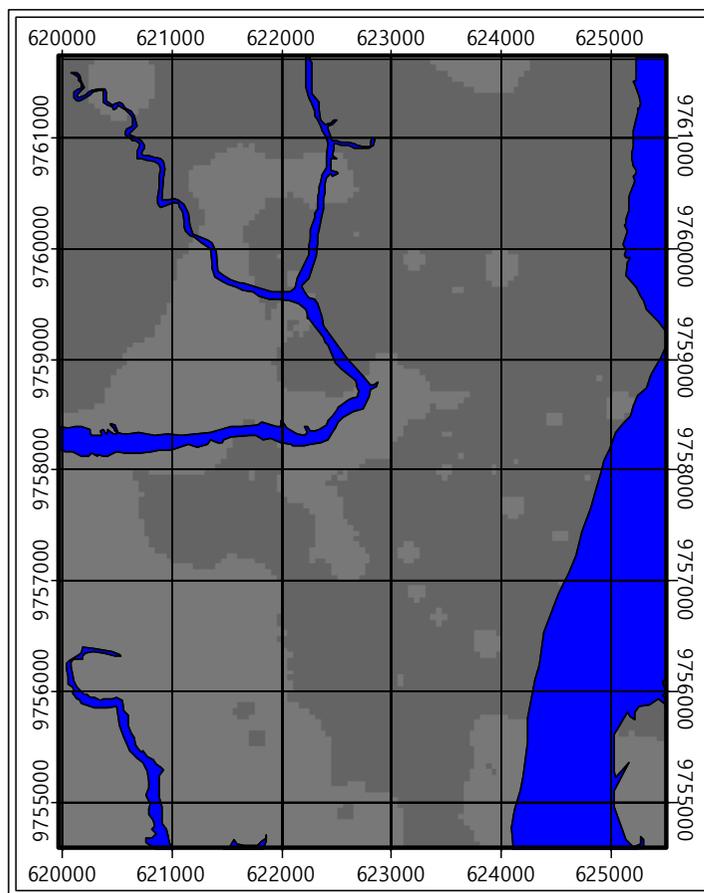
Mapa de Propiedades de % de Finos (Arcilla + Limo) entre 8 y 10m.



**Material Fino
de 8 a 10m**



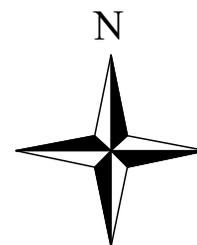
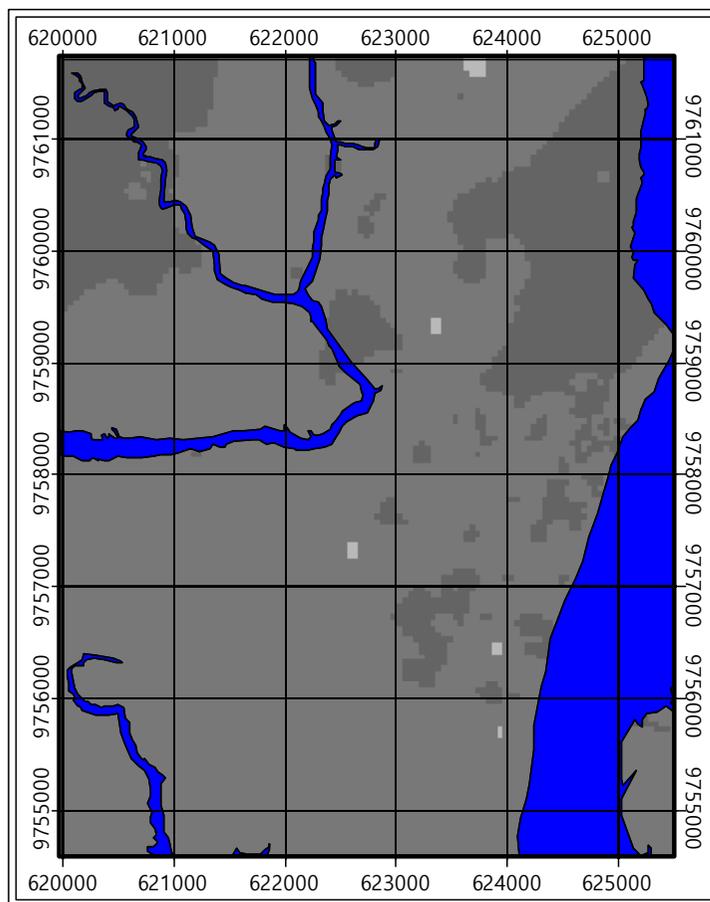
Mapa de Propiedades de la Densidad entre 0 y 2m.



Densidad de los
suelo de 0 a 2m

-  0.5 - 1 Ton/m³
-  1 - 1.5 Ton/m³
-  1.5 - 2 Ton/m³
-  No Data
-  Río

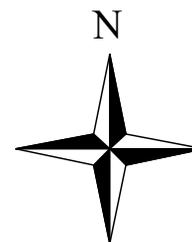
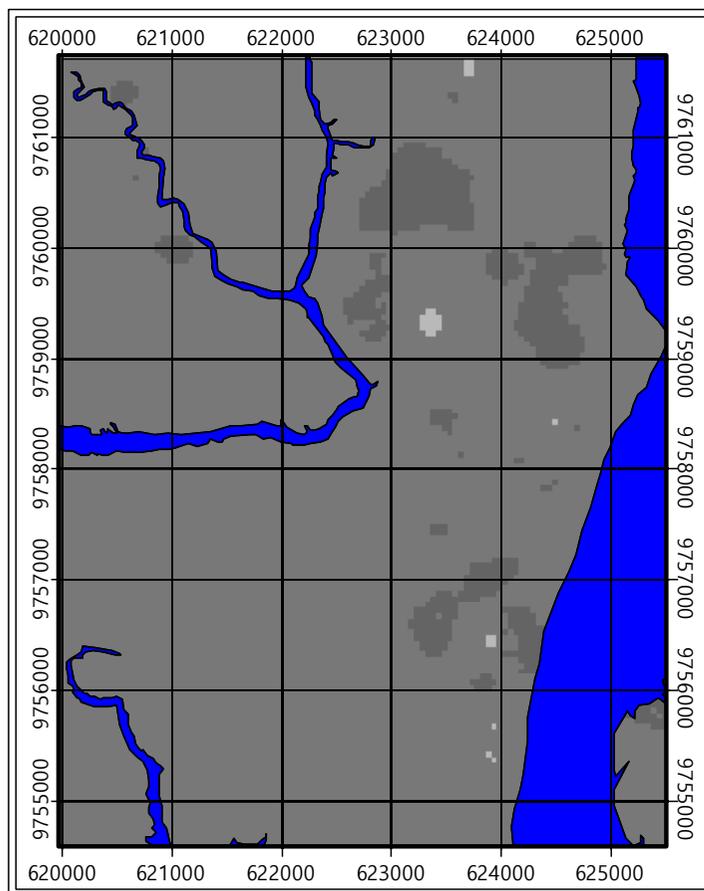
Mapa de Propiedades de la Densidad entre 2 y 4m.



Densidad de los
suelo de 2 a 4m

-  0.5 - 1 Ton/m³
-  1 - 1.5 Ton/m³
-  1.5 - 2 Ton/m³
-  No Data
-  Río

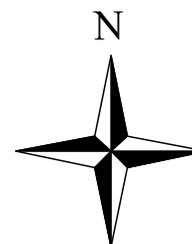
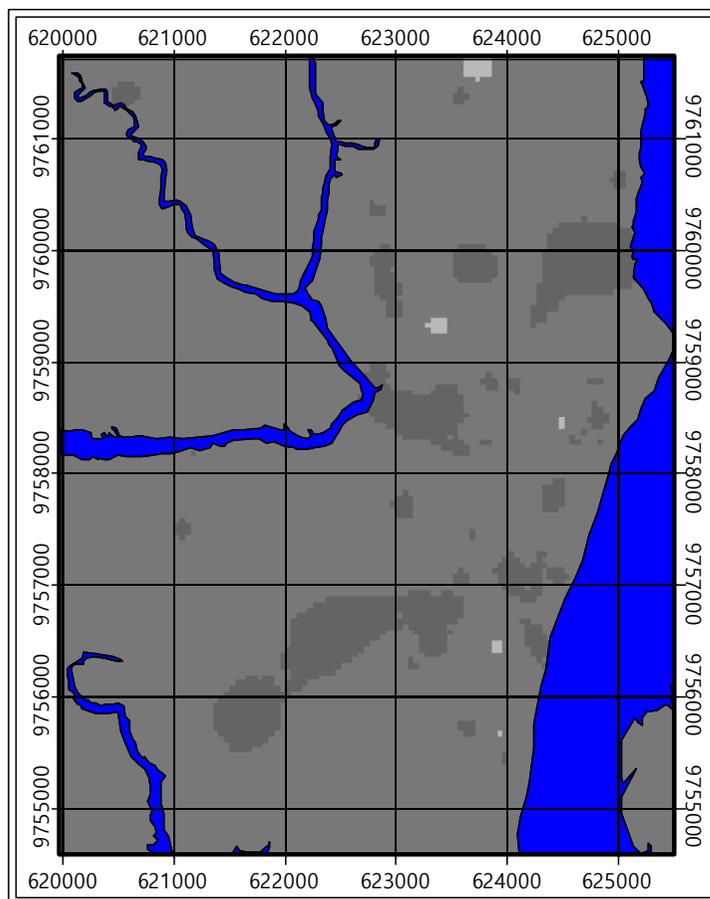
Mapa de Propiedades de la Densidad entre 4 y 6m.



Densidad de los
suelo de 4 a 6m

- 0.5 - 1 Ton/m³
- 1 - 1.5 Ton/m³
- 1.5 - 2 Ton/m³
- No Data
- Río

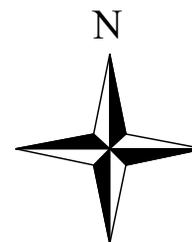
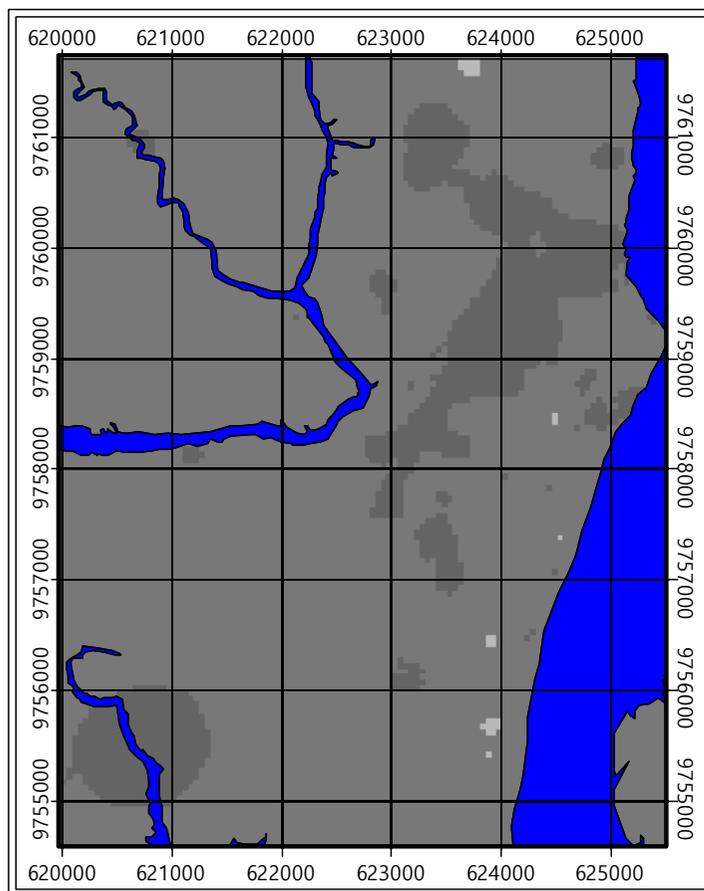
Mapa de Propiedades de la Densidad entre 6 y 8m.



Densidad de los
suelo de 6 a 8m

-  0.5 - 1 Ton/m³
-  1 - 1.5 Ton/m³
-  1.5 - 2 Ton/m³
-  No Data
-  Río

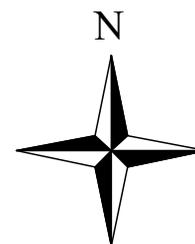
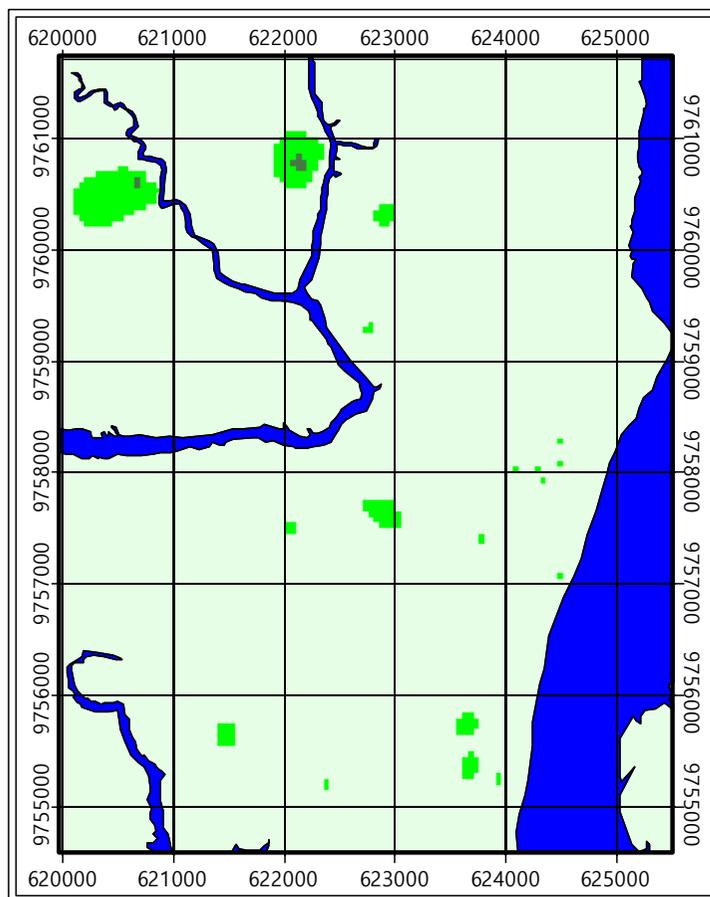
Mapa de Propiedades de la Densidad entre 8 y 10m.



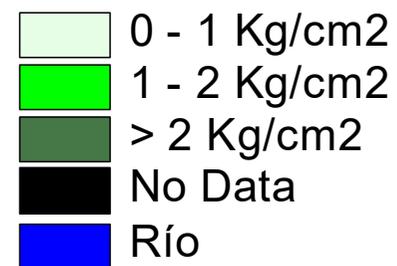
Densidad de los
suelo de 8 a 10m

-  0.5 - 1 Ton/m³
-  1 - 1.5 Ton/m³
-  1.5 - 2 Ton/m³
-  No Data
-  Río

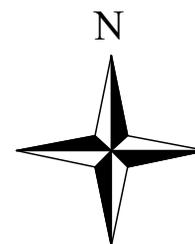
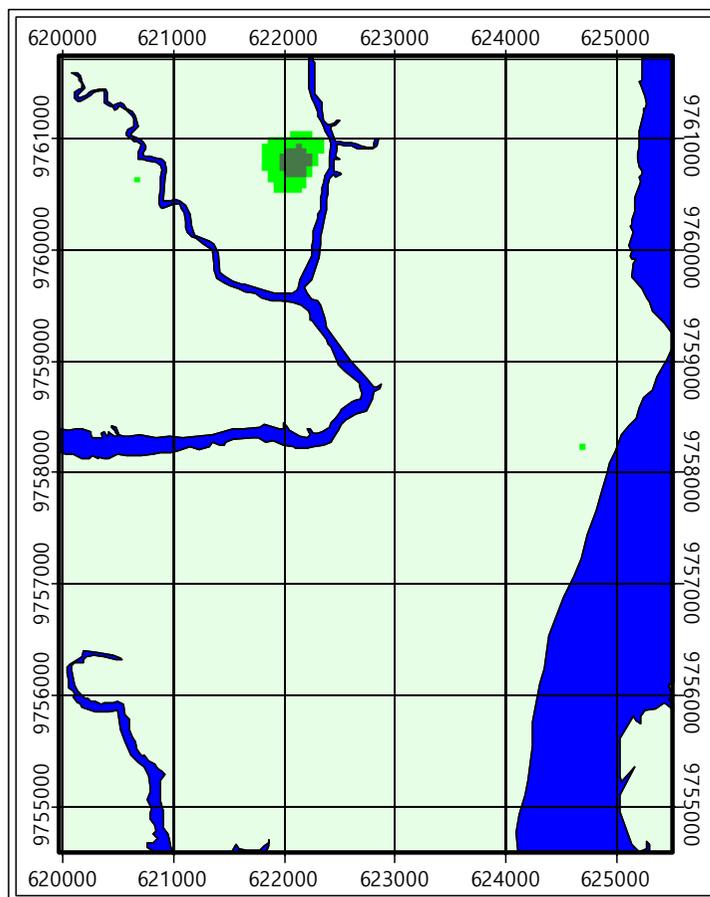
Mapa de Propiedades de la Resistencia a la Compresión Simple entre 0 y 2m.



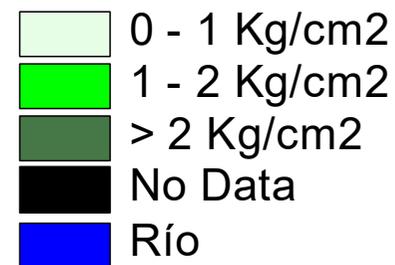
Resistencia a la Compresión simple de 0 a 2m



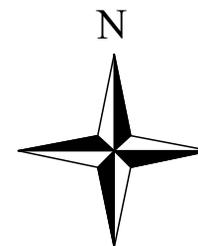
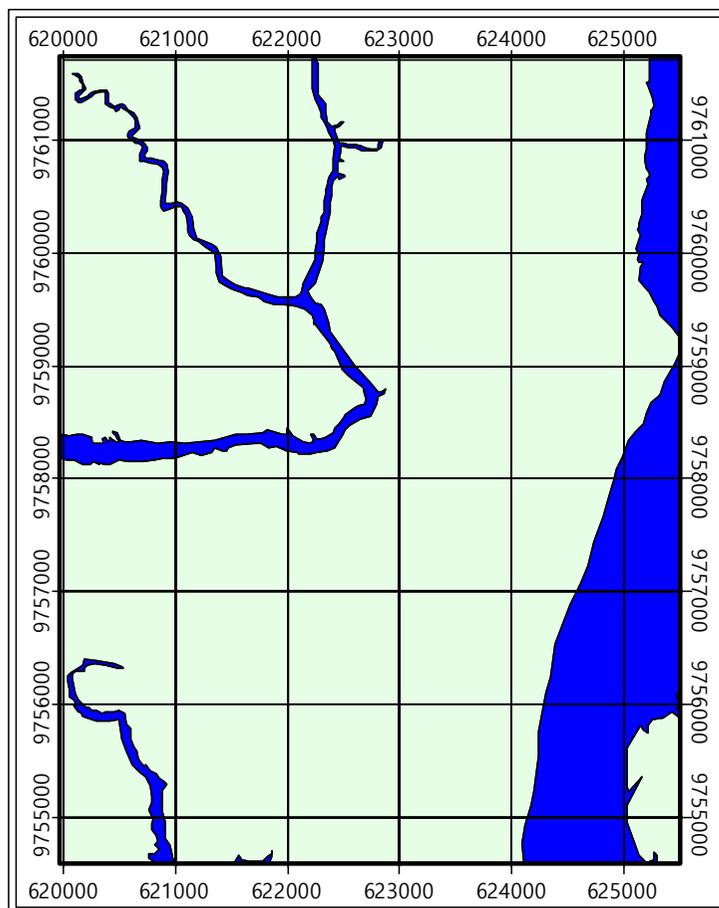
Mapa de Propiedades de la Resistencia a la Compresión Simple entre 2 y 4m.



Resistencia a la Compresión simple de 2 a 4m



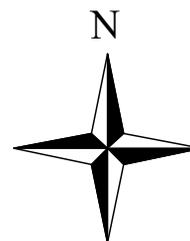
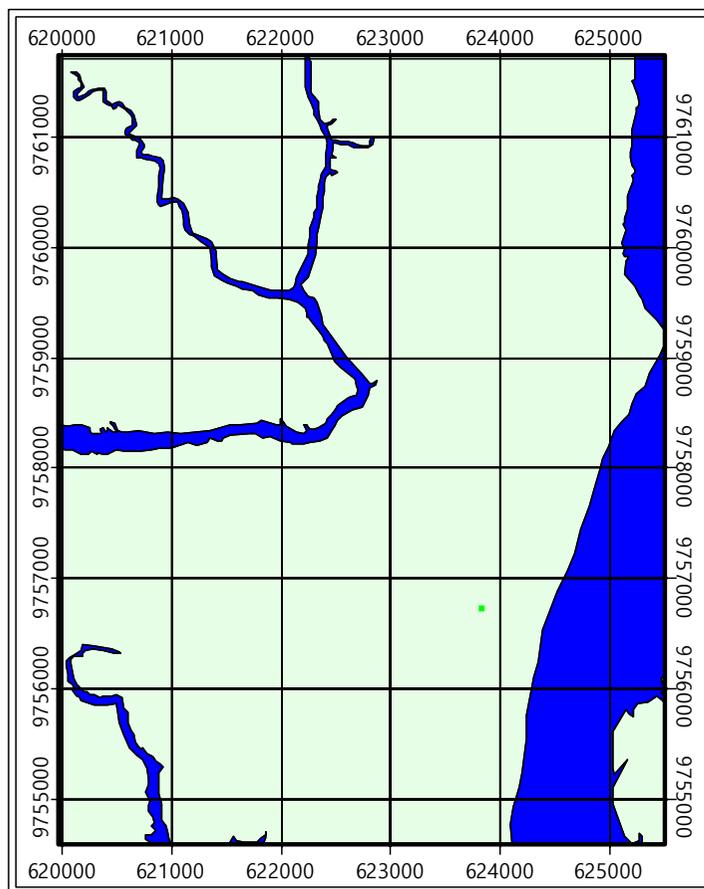
Mapa de Propiedades de la Resistencia a la Compresión Simple entre 4 y 6m.



Resistencia a la Compresión simple de 4 a 6m

- 0 - 1 Kg/cm²
- 1 - 2 Kg/cm²
- > 2 Kg/cm²
- No Data
- Río

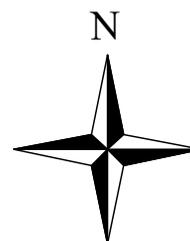
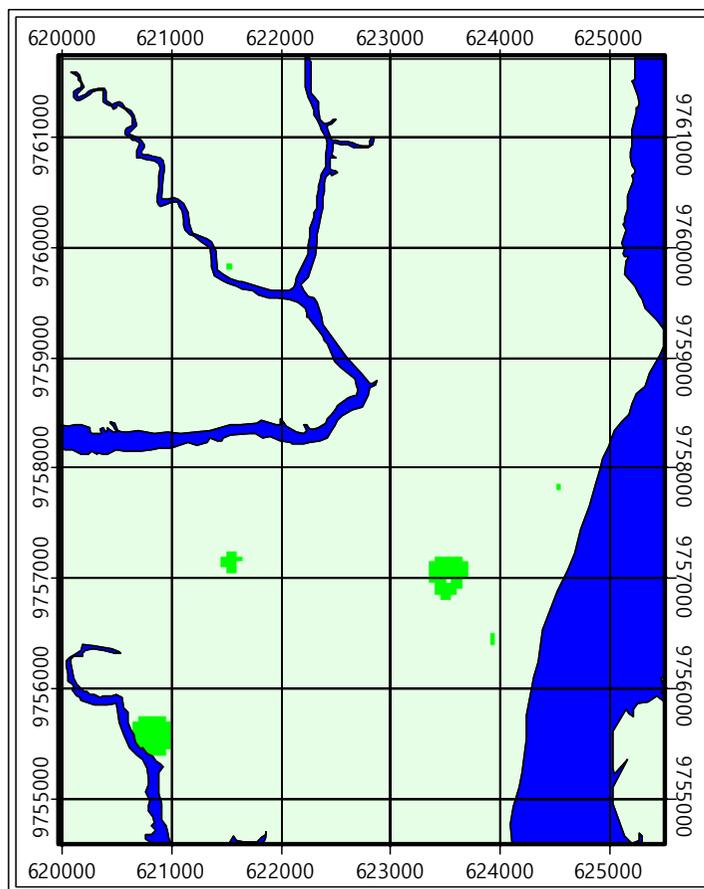
Mapa de Propiedades de la Resistencia a la Compresión Simple entre 6 y 8m.



Resistencia a la Compresión simple de 6 a 8m

-  0 - 1 Kg/cm²
-  1 - 2 Kg/cm²
-  > 2 Kg/cm²
-  No Data
-  Río

Mapa de Propiedades de la Resistencia a la Compresión Simple entre 8 y 10m.



Resistencia a la Compresión simple de 8 a 10m

- 0 - 1 Kg/cm²
- 1 - 2 Kg/cm²
- > 2 Kg/cm²
- No Data
- Río