

Aplicación Del Modelo Geoestadísticos Kriging Para Evaluar La Información Geotécnica Del
Casco Urbano Del Municipio De Pamplona

Rodrigo Albarracín Rodríguez

Universidad De Pamplona
Facultad De Ingenierías Y Arquitectura
Departamento De Ingeniería Civil, Química y Ambiental
Programa Ingeniería Civil
Pamplona
2018

Aplicación Del Modelo Geoestadísticos Kriging Para Evaluar La Información Geotécnica Del
Casco Urbano Del Municipio De Pamplona

Rodrigo Albarracín Rodríguez

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
Ingeniero Civil.

Director
Geólogo Janer cantillo

Codirectores
Ing. Marcelino Maldonado Trigos
Ing. Fidel Antonio Carvajal Suarez

Universidad De Pamplona
Facultad De Ingenierías Y Arquitectura
Departamento De Ingeniería Civil Y Ambiental
Programa Ingeniería Civil
Pamplona
2018.

Este documento va dedicado a mi padre q.e.p.d tu quien fuiste eres y serás mi motivación para seguir con mi crecimiento personal y profesional.

“lo único imposible es aquello que no intentas “

Rodrigo Albarracín Rodríguez

Agradecimientos

A Dios en primer lugar por brindarme la oportunidad de ser quien soy.

A mi director de tesis el geólogo Janer Cantillo, por haberme dado la posibilidad de desarrollar la investigación, por ser un apoyo constante y haber creído en mi convirtiéndose en un amigo y compañero en el momento de resolver inquietudes en el transcurso de este proceso, sin las cuales no se habría podido llevar a cabo la culminación de esta investigación

Al ingeniero Marcelino Maldonado quien fue con el que se inició esta investigación y fue un compañero a la hora de resolver inquietudes dando siempre su mejor disposición y por cosas del destino no pudo terminar este proceso pero siempre estuvo apoyándolo

TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	10
Introducción	12
Definición de la Problemática.....	13
Justificación	14
Objetivos	15
Objetivo general.....	15
Objetivos específicos	15
Marco Referencial.....	16
Estado del arte y antecedentes	16
Nivel internacional.....	16
A nivel nacional	17
Marco Teórico.....	18
Marco Contextual.....	23
Pamplona.....	23
Marco Legal	24
Geología.....	26
Geología regional.....	26
Litología.....	26
Geología estructural	29
Sismicidad.....	30
Geotecnia	33
Metodología	34
Recopilación bibliográfica	34

Reconocimiento de la zona de estudio.....	35
Diseño de la red de muestreo	36
Ensayos de laboratorio.....	36
Clasificación de los suelos.....	36
Revisión de la capacidad portante del suelo	36
Zonificación	41
Columnas estratigráficas de los apiques realizados	41
Implementación del modelo geoestadístico kriging con ayuda del software ArcGIS	42
Exploración Geotécnica.....	47
Clasificación de los suelos según U.S.C.S.....	51
Análisis de Resultados	51
Clasificación de suelos por la U.S.C.S	51
Límites de Atterberg	53
No plástico:	54
Ligeramente plástico:.....	54
Baja plasticidad:.....	55
Mediana plasticidad:	55
Alta plasticidad:	55
Corte directo.....	55
Capacidad portante de los suelos	56
Suelos blandos:	59
Suelos firmes:.....	59
Suelos muy firmes:.....	59
Modelo Geoestadístico kriging	60

Conclusiones	68
Recomendaciones	69
Bibliografía	70

LISTAS DE TABLAS

Tabla N° 1 Factores De Capacidad De Carga De Terzaghi	38
Tabla N° 2 Factores de capacidad de carga para la teoría de Meyerhof	40
Tabla N° 3 Coordenadas De Los Apiques	48
Tabla N° 4 Clasificación De Suelos Por Estratos	52
Tabla N° 5 grado de plasticidad del suelo.....	53
Tabla N° 6 Rangos De Ángulo De Fricción Y Cohesión	56
Tabla N° 7 Capacidad Portante Admisible	56

LISTAS DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 zona de estudio	35
Ilustración 2 Trend Analysis para capacidad portante	61
Ilustración 3 Semivariograma para capacidad portante a 1.5 m.....	61
Ilustración 4 Barrido de búsqueda.....	62
Ilustración 5 Mapa de predicción peso específico.....	63
Ilustración 6 Mapa de predicción índice de plasticidad	64
Ilustración 7 Mapa de predicción Angulo de fricción	65
Ilustración 8 Mapa de predicción capacidad portante 1.5 m.....	66
Ilustración 9 Mapa de predicción capacidad portante 2 m.....	67

Resumen

Aplicación de modelos Geoestadísticos para evaluar la información geotécnica del casco urbano del municipio de Pamplona

La ingeniería civil juega un papel muy importante a la hora de abordar temas como lo son los estudios de suelos, los cuales estudian las propiedades físicas y mecánicas que lo conforman con el fin de suministrar recomendaciones geotécnicas de diseño, construcción de excavaciones, estructuras de contención, rellenos para así poder soportar amenazas ya sean por sismos o geotécnicas como lo dice Norma Técnica Colombiana Sismo Resistente (NSR-10) Título H

El objetivo de esta investigación es emplear modelos Geoestadísticos para evaluar la información geotécnica del casco urbano del municipio de Pamplona, con el propósito de identificar las zonas más vulnerables a presentar asentamientos, para ello se contó con una base de datos de 105 apiques, a los cuales se obtuvo acceso por medio de estudios elaborados por el grupo de investigación de la universidad de Pamplona de la facultad de ingeniería civil (SIETE), la empresa Interobras de Santander S.A.S y Construsuelos de Colombia S.A.S, realizados a viviendas multifamiliares del municipio. Estos cuentan con la información de parámetros del suelo (granulometría, límites de Atterberg, contenidos de humedad, peso específico, cohesión, Angulo de fricción).

Una vez tabulada la información se realizó la clasificación del suelo mediante el sistema unificado de suelos (U.S.C.S), donde posteriormente se realizó el cálculo de la capacidad portante a profundidades entre uno y dos metros, con el fin de obtener la carga máxima a la cual puede soportar el terreno.

Los métodos utilizados para el análisis de la variabilidad de las propiedades del suelo busca estudiar la variabilidad espacial para esto se hacen análisis de semivarianza y covarianza entre muestras separadas a diferentes distancias, para obtener una distribución espacial de los valores de dichas propiedades, mediante la interpolación de técnicas como lo es el kriging ordinario.

Palabras claves: kriging, Geoestadística, suelo.

Abstract

Application of Geostatistical models to evaluate the geotechnical information of the urban hull of the municipality of Pamplona

The civil engineering plays a very important role when it comes to addressing issues such as soil studies, which study the physical and mechanical properties that comprise it in order to provide geotechnical recommendations for design, construction of excavations, containment structures, fillings to be able to withstand threats either by earthquakes or geotechnical as the earthquake norm says in the title h.

The objective of this research is to use Geostatistical models to evaluate the geotechnical information of the urban helmet of the municipality of Pamplona, with the intention of identifying the most vulnerable zones at the time of construction. for this, a database of 105 apiques distributed throughout the urban area of the municipality of Pamplona was counted, in which information is available on granulometries, liquid limits, plasticity indexes, moisture contents and once this information is tabulated obtained a classification of the soil through the USCS also carried out the calculation of carrying capacity at depths of 1 meter, 1.5 meters, 2 meters, 2.5 meters, 3 meters in order to obtain the capacity of the land to support the loads applied on the ground .

The methods used for the analysis of the variability of soil properties seek to study the spatial variability. For this, semivarianza and covariance analyzes are made between separated samples at different distances, to obtain a spatial distribution of the values of said properties, by means of interpolation. Of techniques such as ordinary kriging.

keywords: kriging, geostatistics, soil

Introducción

La caracterización de los suelos desde la óptica geomecánica es un factor importante en el plan básico de ordenamiento territorial de toda ciudad o municipio, el cual debe incluir las normas y los lineamientos a seguir para la organización y ejecución de proyectos dentro de este.

La determinación de las características geomecánicas de los suelos es de gran importancia debido a la gran cantidad de obras que sobre estos se desarrollan. Por tal motivo se implementó el modelo Geoestadístico kriging el cual a diferencia de los modelos determinísticos con ayuda del software ArcGIS 10.4 para poder obtener mapas de predicción en los suelos del municipio de Pamplona. Para el cual se llevaron a cabo trabajos de exploración de campo en los que se realizaron excavaciones de apiques, extracción de muestras para su respectivo análisis de laboratorio como lo fueron ensayos de granulometría, límites de Atterberg, ensayos de corte directo y consolidación con el objeto de obtener parámetros de resistencia y Deformabilidad y así poder hacer el uso de la Geoestadística para realizar la predicción de los rangos de zonificación para cada variable a analizar.

Definición de la Problemática

El ser humano en la actualidad presenta un crecimiento demográfico descontroladamente, en muchas ciudades de Colombia las personas tienden a habitar cada vez más en zonas donde se desconocen las características geotécnicas del suelo, convirtiéndose en un peligro latente para la construcción de sus viviendas. La gran mayoría de estas construcciones no cuentan con un estudio de suelos óptimo avalado por la Norma Técnica Colombiana Sismo Resistente (NSR-10), debido a que, las comunidades no cuentan con recursos económicos que sustenten este servicio o por el contrario no tienen previo conocimiento de la importancia de éste.

Las características geotécnicas del terreno describen la morfología de los suelos, identificándolos y clasificándolos, mediante una serie de ensayos de laboratorio in-situ se obtengan datos importantes en el cálculo de las cimentaciones de las estructuras.

El desconocimiento que se tiene en la región Nororiental de Colombia, sobre el estudio de suelos desde un punto de vista geomecánico, hace necesario plantear la siguiente pregunta: ¿Cómo influye la zonificación geomecánica de suelos en el desarrollo y crecimiento del municipio?, y ¿cómo puede contribuir al mejoramiento del plan ordenamiento territorial del Municipio?

En Colombia, la gran mayoría de ciudades no cuentan con una planificación adecuada del uso del suelo y zonas específicas para la expansión urbana, siendo una de ellas Pamplona (Norte de Santander), en efecto, nace la necesidad de realizar la determinación de estas áreas mediante una investigación Geoestadística del espacio, implementando modelos de predicción en las diferentes características del suelo, para finalmente obtener un mapa georreferenciado de suelos aptos para la expansión y construcción de viviendas.

Justificación

En la mayoría de los municipios de Colombia es escasa la información que se tiene acerca de las características geomecánicas del suelo, lo que conlleva a que los ingenieros de planeación del municipio exijan un estudio de suelos reglamentado.

En Pamplona se puede evidenciar que en la mayoría de las construcciones no se realizan los estudios pertinentes para conocer las capacidades portantes del suelo, por tal motivo se realiza la implementación de un modelo geoestadístico (kriging), con el cual se pueda estimar los parámetros estructurales del suelo. Igualmente contribuirá como base para la elaboración de planeación y actualización del plan de ordenamiento territorial, Plan municipal de Gestión del riesgo y en proyección de obras civiles.

De la misma manera el presente proyecto permite mejorar las condiciones técnicas en toma de decisiones, contribuyendo en gran parte a las empresas constructoras del municipio, en tener un conocimiento previo a la interacción suelo-estructura dependiendo de la zonificaciones obtenidas en los mapas de predicción, bajo condiciones de seguridad, que contribuyan a administrar y optimizar los recursos necesarios para edificar viviendas evitando que sean vulnerables.

Por otra parte el Decreto N°. 0926-2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial establece la - Norma Técnica Colombiana Sismo Resistente (NSR-10), el cual el título H reglamenta criterios básicos para realización de estudios geotécnicos de edificaciones, basados en la investigación del subsuelo y las características arquitectónicas y estructurales de las edificaciones, con el fin de proveer las recomendaciones geotécnicas de diseño y construcción de excavaciones y rellenos, estructuras de contención, cimentaciones, rehabilitación o reforzamiento de edificaciones existentes y la definición de espectros de diseño sismo resistente, para soportar los efectos por sismos y por otras amenazas geotécnicas desfavorables.

Así mismo la ley 1523 de 2012 adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, en adelante la gestión del riesgo, es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible.

Objetivos

Objetivo general

Emplear el modelo Geoestadístico Kriging Ordinario para evaluar la información geotécnica del casco urbano del municipio de Pamplona

Objetivos específicos

Recolección de información geotécnica mediante consulta de estudios (tesis, consultorías, interventorías, etc.), para determinar las características de los suelos existentes en la zona de estudio.

Procesar la información de las características del suelo obtenida en una base de datos para integrarla al sistema de información geográfico (ArcGIS).

Evaluar información geotécnica por el modelo geoestadístico kriging Ordinario utilizando el software ArcGIS para zonificar las condiciones del suelo.

Realizar recomendaciones y conclusiones del estudio

Marco Referencial

Estado del arte y antecedentes

El uso de la Geoestadística surge a partir de la década de los años 50 con los estudios realizados por D.G. Krige y por otros ingenieros mineros en las minas de oro de rand, África Del Sur, desarrollaron un procedimiento ponderado de estimación, con determinados coeficientes correctores empíricos.

El desarrollo posterior es atribuido, en paralelo, a matern y matheron, quien estuvo ligado directamente a la escuela de minas de parís, desarrollo la teoría de las variables regionalizadas, que provee una buena base para los recursos naturales, esta teoría incluye una técnica de estimación óptima llamada kriging, esta técnica se hizo conocida debido a que matheron hizo las publicaciones en textos en inglés y campos como la hidrogeología empezaron a implementar la Geoestadística.

En la ciencia del suelo, el reconocimiento de la variación espacial de propiedades del suelo, es probablemente tan viejo como su clasificación. Este enfoque de caracterizar la variabilidad de los suelos es principalmente cualitativo. en los años setenta, los investigadores empezaron los estudios de las propiedades de suelo de una manera más cuantitativa (Raagowski, 1972) (Nielsen, 1973) (Biggar y nielsen, 1976) la mayoría de ellos confió en métodos estadísticos clásicos (p. ej. la función de la distribución de frecuencias con momentos asociados y coeficientes de variación; análisis de varianza para medir cambios sobre la distancia, etc.). Una suposición implícita en estos análisis es; que las observaciones de una variable del suelo son independientes con respecto a su ubicación en el campo.

Nivel internacional

Al nivel internacional los estudios realizados fueron:

La primera aplicación de la Geoestadística se data a los años 60 donde matheron formalizo y generalizo matemáticamente un conjunto de técnicas desarrolladas por (Krige, 1951) en la cual explotaban la correlación espacial en donde se tenía como objetivo hacer predicciones en la evaluación de reservas de las minas de oro Sudáfrica.

Estimación y modelado de propiedades de yacimientos de gas a partir de atributos sísmicos y Geoestadísticos en España, el cual se basa en los atributos sísmicos y su integración con datos de pozos a través de Geoestadística a fin de obtener un modelo

geológico 3D de estos yacimientos del sur de España que permita la delimitación y cálculo volumétrico de los yacimientos.

Aplicación de la Geoestadística al estudio de las propiedades del suelo

La cuenca estudiada, de aproximadamente 25 hectáreas de superficie y se localiza en el centro de investigaciones agrarias de Mabegondo (provincia de Coruña, España). En esta cuenca se realizó un muestreo al azar, intentando en lo posible que estuviesen representados todos los tipos de suelos y parcelas con diferente manejo presentes en la misma, en donde como resultado se obtuvo las tres fracciones texturales estudiadas, la arena y el limo presentaban dependencia espacial, pero no así la arcilla. Tres tipos diferentes de mapas de distribución espacial elaborados tras interpolación mediante kriging puntual y kriging por bloques y por simulación condicional proporcionan resultados muy similares entre sí para el contenido en limo. Al comparar los mapas de varianza del error de estimación se aprecia que el kriging por bloques proporciona estimas con umbrales de error inferiores a los de kriging puntual.

A nivel nacional

Aplicación de técnicas Geoestadísticas en la hidrogeología del bajo cauca antioqueño

El objetivo general de este trabajo consistió en obtener a partir de la reinterpretación de información secundaria, un modelo conceptual del sistema acuífero del bajo cauca antioqueño, utilizando técnicas Geoestadísticas tipo kriging. Se ha logrado obtener una representación espacial de las superficies freática y piezométricas de los acuíferos, así como proponer una posible distribución de la transmisividad hidráulica y sugerir la red de flujo más probable para el sistema acuífero superior. Con los resultados de este trabajo, se pretende alimentar un modelo numérico y con este, contribuir a la creación de herramientas de gestión para la administración de este recurso estratégico en la región (Oscar Mejía Rivera; Teresita Betancur Vargas; Libardo Londoño Ciro, 2007)

Variabilidad espacial del suelo: bases para su estudio

La variabilidad de las propiedades del suelo es principalmente espacial y debe conocerse para hacer un buen uso de este recurso. En este trabajo se exponen los métodos que se utilizan para estudiar dicha variabilidad, haciendo énfasis en los supuestos estadísticos que se deben cumplir y en la manera de lograrlos. Calculando la semivarianza entre muestras separadas a diferentes distancias se puede modelar la dependencia espacial de las propiedades del suelo y con el modelo establecido se pueden elaborar mapas de la distribución espacial de los

valores de dichas propiedades, mediante interpolación no sesgada con técnicas de kriging, que permiten hacer un uso más racional del recurso suelo.

El objetivo fundamental de este trabajo es exponer la metodología que más intensivamente se está utilizando hoy en el mundo para estudiar la variabilidad espacial de las propiedades de los suelos, de modo que su conocimiento estimule su utilización y mejore el conocimiento de este recurso para que se haga un mejor uso de él. (Jaramillo., 2012)

Marco Teórico

El uso del término Geoestadística surge gracias a George matheron en 1962 un geólogo y matemáticos francés que se graduó de la escuela politécnica y más tarde de la escuela de minas de parís fue creador del “centro de Geoestadística y morfología matemática “de la escuela de minas de parís. George matheron formalizo y generalizo matemáticamente un conjunto de técnicas desarrolladas por el ingeniero de minas Daniel Gerhardos Krige, que explotaban la correlación espacial para hacer predicciones de las reservas de oro en las minas de Sudáfrica .el definió la Geoestadística como “la aplicación del formalismo de las funciones aleatorias al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales” (Viera, 2002) de hecho se puede decir que son muchos los procesos donde se puede presentar variaciones espaciales donde se puede aplicar la Geoestadística en las cuales las ciencias que tienes que ver con la tierra han tenido su mayor importancia como lo es la minería ,geología, geotecnia ,hidrología.

Otros autores han querido dar otro significado a la Geoestadística en la cual la definen como “la aplicación de métodos probabilísticos a las variables regionalizadas” (Chilès, 1999) podemos comentar que una variable regionalizada no se enfoca en cualquier lugar si no es una región determinada en el espacio de ciertas magnitudes como ejemplo de ellos esta las densidades de población en cierta zona geográfica ,formación geológica, estimación de reservas en un yacimiento. Quizás unas de las definiciones más acertadas es “ciencia que estudia las variables regionalizadas” (Loc’h, 2005) . una variable medida en el espacio de forma que presente una estructura de correlación , se dice que es una variable regionalizada .de manera más formal se puede definir como un “proceso estocástico con dominio contenido en un espacio euclidiano dimensional R^d , $\{z(x) : x \in R^d\}$. Si $d = 2$, $z(x)$ puede asociarse a una variable medida en un punto x del plano” (Díaz- Francés, 1993).dado a esto podemos ver a $z(x)$ como un variable en un punto x de una región de estudio.

Hoy en día la Geoestadística se utiliza para predecir valores de una variable espacio tiempo, para ser parte de una correlación entre sí, y el cual es llamado análisis estructural o Variograma , después de haber realizado este análisis se hacen estimaciones en zonas donde no ha sido muestra utilizando el método de kriging .el Variograma “se emplea para

cuantificar la correlación entre observaciones espacialmente distribuidas y para deducir las estimaciones de las variables aleatorias en puntos no muestreados” (Martínez-Vargas, Adrián; Ramírez-García, Jairo, Octubre-Diciembre, 2005) según esto podemos observar que tan parecidos pueden ser los puntos en el espacio a medida que se encuentran más alejados .el análisis estructural o estudio variografico según (Armstrong , M y Caringnan, 1997) está compuesto por el cálculo del semivariograma experimental y el ajuste a este de un modelo teórico conocido.

El cálculo del semivariograma experimental es “la herramienta Geoestadística más importante en la determinación de las características de viabilidad y correlación espacial del fenómeno estudiado” (Olmo, 1987) es decir tener conocimiento de cómo la variable cambia de una localización a otra.

Campos de aplicación de los métodos geoestadístico

En la actualidad los campos de aplicación de la Geoestadística son muy amplios en diferentes ramas como lo son las ciencias y la ingeniería, entre las cuales tenemos la industria del petróleo, minería, hidrología, geología, geotecnia, medio ambiente, ingeniería civil, cartografía, meteorología, finanzas etc.

En la industria del petróleo abundan incertidumbres los cuales tienen gran importancia a la hora de hacer la exploración, explotación, distribución por lo cual esta industria se le hace necesario aplicar la Geoestadística. A través de los años, “los yacimientos petroleros han sido caracterizados por los parámetros petrofísicos que indican los registros eléctrico” (Carlos Portilla, Richard Baque, AlamirÁlvarez, Otto Vera, Carlos Malavé, Brenda Reyes, Kenny Escobar, Romel Erazo., 2017) por lo tanto se requiere de nuevos métodos en los cuales se usa un modelo geoestadístico.

En la minería se puede decir que fue el inicio de la Geoestadística en la cual podemos citar trabajos realizados por Sichel (1947; 1949) y (Krige, 1951) el primero observó la naturaleza asimétrica de la distribución del contenido de oro en las minas surafricanas, eso permitió una estimación de las reservas existen zonas más ricas que otras. Una primera aproximación a la solución de este problema fue dada por geólogo g. Krige que propuso una variante del método de medias móviles, el cual puede considerarse como el equivalente al krigeado simple.

Método de kriging

La palabra kriging procede del nombre del geólogo sudafricano d. g. Krige, cuyos trabajos en la predicción de reservas de oro, realizados en la década del cincuenta, suelen considerarse como pioneros en los métodos de interpolación espacial. (Olea R. , 1988) Kriging encierra un conjunto de métodos de predicción espacial que se fundamentan en la minimización del error cuadrático medio de predicción. Kriging es una técnica de estimación que proporciona el mejor estimador lineal 30 imparcial (blue, en inglés, Best linear Unbiased Estimator) (Journel, 1978), (David, 1977), (Myers, 1991). El sistema kriging, deducción teórica que se puede encontrar en (Journel, 1978), tiene como objetivo estimar el valor de la variable z, para un punto x0 que no ha sido considerado anteriormente, realiza una suma ponderada sobre todos los sectores que conforman la zona de estudio de interés, tomando los vecinos más cercanos al punto de interés x0.

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i)$$

Ecuación 1

Z (si) = el valor medido en la ubicación i

λ_i = una ponderación desconocida para el valor medido en la ubicación i

s0 = la ubicación de la predicción

n = la cantidad de valores medidos

El proceso del kriging es asignar pesos a los vecinos más cercanos, la diferencia del kriging con otros métodos de interpolación, es que utiliza un método semejante a la interpolación por media móvil ponderada, a diferencia que los pesos son asignados a partir de un análisis espacial, basado en el semivariograma experimental. Un método de interpolación será exacto cuando, pase por los puntos muestrales, lo más cercano posible a ellos. Es importante que un modelo para semivariograma que ha sido ajustado, para que las estimaciones obtenidas por medio del kriging sean más exactas y más confiables. Las estimaciones mediante el método kriging pueden ser, por punto o por bloque.

Métodos de estimación del kriging

Kriging ordinario (ko) suponga que se hacen mediciones de la variable de interés z en los puntos si, i = 1,..., n, de la región de estudio, es decir, se tienen realizaciones de las variables z (s1),..., z (sn), y se desea predecir z (s0), en el punto s0 donde no hubo medición. Bajo las consideraciones anteriores, la metodología kriging ordinario propone que el valor de la variable en el sitio no muestreado puede predecirse como una combinación lineal de la n variables aleatorias, como se muestra a continuación:

$$Z^*(s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(s_i) \text{ ecuación 2}$$

En donde los λ_i representan los pesos o ponderaciones de los valores de las variables en los sitios muestreados. Dichos pesos se calculan en función de la distancia entre los puntos muestreados y el punto donde se va a llevar a cabo la correspondiente predicción. La suma de los pesos debe ser igual a uno para que la esperanza del predictor sea igual a la esperanza de la variable. Esto último se reconoce como el requisito de insesgamiento [Giraldo, 2009a]. Se dice que $z^*(s_0)$ es el mejor predictor lineal en este caso, porque los pesos se obtiene de tal manera que minimicen la varianza del error de predicción sujeto a que se cumpla el requisito de insesgamiento, es decir, que se minimice la expresión:

$$V(z^*(s_0) - z(s_0)) \text{ sujeto a } \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \text{ ecuación 3}$$

La aplicación del método de los multiplicadores de LaGrange como técnica de optimización en conjunto con la determinación de la matriz de covarianzas a partir de la estructura de auto correlación espacial nos permite la determinación de los pesos λ_i óptimos.

Zonificación

La zonificación geotécnica se presenta como un importante instrumento técnico del proceso de ordenamiento territorial que permite definir zonas de acuerdo a un comportamiento homogéneo tanto en granulometría como en propiedades físicas, teniendo en cuenta los aspectos geológicos del material. El modelo de zonificación es útil para insumos de la planificación de vivienda en el sector urbano, y es fundamental en el análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgos en procesos de remoción en masa, identificación y caracterización de las fuentes de materiales de construcción, definición de la estabilidad posible de cada zona ante obras civiles como edificios o vías, y llegar al uso recomendado del suelo desde el punto de vista de estabilidad. La zonificación es un elemento que además de ser necesario es obligación de una ciudad como parte de sus estrategias de desarrollo.

Clasificación de los suelos

El comportamiento de los suelos es complejo debido a la naturaleza granular y a la coexistencia de partículas sólidas con fluido intersticial que generalmente está compuesto por más de un fluido (agua, contaminantes orgánicos e inorgánicos, gases como: aire o metano, etc.) los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común en forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas sin una descripción detallada (das, 2001).

Los dos sistemas de clasificación actualmente en uso son el sistema AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) y el USCS (Unified

soil Classification System). El primero se usa principalmente para la evaluación cualitativa de la conveniencia de un suelo como material para la construcción de carreteras. . El sistema unificado de clasificación de suelos (USCS) fue propuesto inicialmente por Casagrande en 1942 y después revisado por el bureau of Reclamation de estados unidos y por el cuerpo de ingenieros.

Presente trabajo sigue los procedimientos estándares propuestos por el sistema unificado de clasificación de suelos (USCS) para los ensayos de los materiales.

El sistema unificado de clasificación de suelos

Es el de mayor uso en la práctica geotécnica. Fue inicialmente propuesto por Arthur Casagrande en 1942, adoptado por el departamento de ingeniería de los EE.UU. en 1948. Está basado en el análisis granulométrico y en los límites de Atterberg (límites líquido y plástico).

El tamaño de las partículas determina la naturaleza de las fuerzas que gobiernan el comportamiento de los suelos. Fuerzas de naturaleza eléctrica (fuerzas atractivas y repulsivas de van der Waals) predominan en partículas menores a 75 mm (tamiz n° 200). Este sistema clasifica los suelos en dos amplias categorías:

Suelos de grano grueso que son de naturaleza tipo grava y arenosa con menos del 50% pasando por la malla n° 200.

Límites de Atterberg

Los valores de los límites de Atterberg definen la frontera entre los estados semisólido-plástico (límite plástico) y semilíquido-líquido (límite líquido) de un suelo arcilloso. Estos valores se expresan como cantidad de humedad necesaria para que se verifiquen determinadas condiciones normalizadas en los ensayos correspondientes. El límite líquido (ll) y el límite plástico se determinan conforme a las norma ASTM para límite plástico de acuerdo a la norma d 2454 y para límite líquido d 2366 (1982).

Deformabilidad y parámetros de resistencia

Un suelo puede presentar deformaciones permanentes o no, a causa de las cargas que soporta. Las deformaciones pueden ser:

Deformación elástica: el suelo puede recobrar forma y dimensiones originales, cuando cesa la fuerza de deformación.

Deformación plástica: se da corrimiento de la masa del suelo pero la relación de vacíos permanece más o menos constante. Al retirar las cargas el suelo queda deformado, y experimenta cambios termodinámicos irreversibles al adquirir mayor energía potencial elástica.

Deformación compresiva: en este caso, existe reducción de volumen en el suelo sometido a carga, y la deformación se conserva después de esa acción. Esta deformación puede ser por consolidación o por compactación. Un incremento del esfuerzo provocado por la construcción de cimentaciones u otras cargas comprime los estratos del suelo. La compresión es causada por: vacíos

La consolidación impone la necesidad de evaluar la magnitud y velocidad del asentamiento y estos se definen según la extensión del área cargada en comparación con el espesor de la capa de subsuelo que se considera deformable. En general, el asentamiento del suelo causado por cargas se divide en tres categorías:

Marco Contextual

Pamplona.

Pamplona es un municipio colombiano, ubicado en el departamento de Norte De Santander. Es desde 1555 capital de la provincia de pamplona. Su economía está basada en el comercio gastronómico, la educación escolar y superior siendo reconocida como la ciudad universitaria o ciudad estudiantil y del turismo, dentro del cual se destaca el religioso (especialmente durante semana santa) y el cultural. Por ser la capital eclesiástica de la arquidiócesis de nueva pamplona, la primera diócesis católica fundada en la región de los Santanderes, es denominada tradicionalmente como la ciudad mitrada. También se encuentra en la ciudad, la sede principal de la universidad de pamplona, una de las principales instituciones de educación superior del departamento. Pamplona está conectada por carreteras nacionales con las ciudades de Cúcuta, Bucaramanga, Bogotá y Arauca.

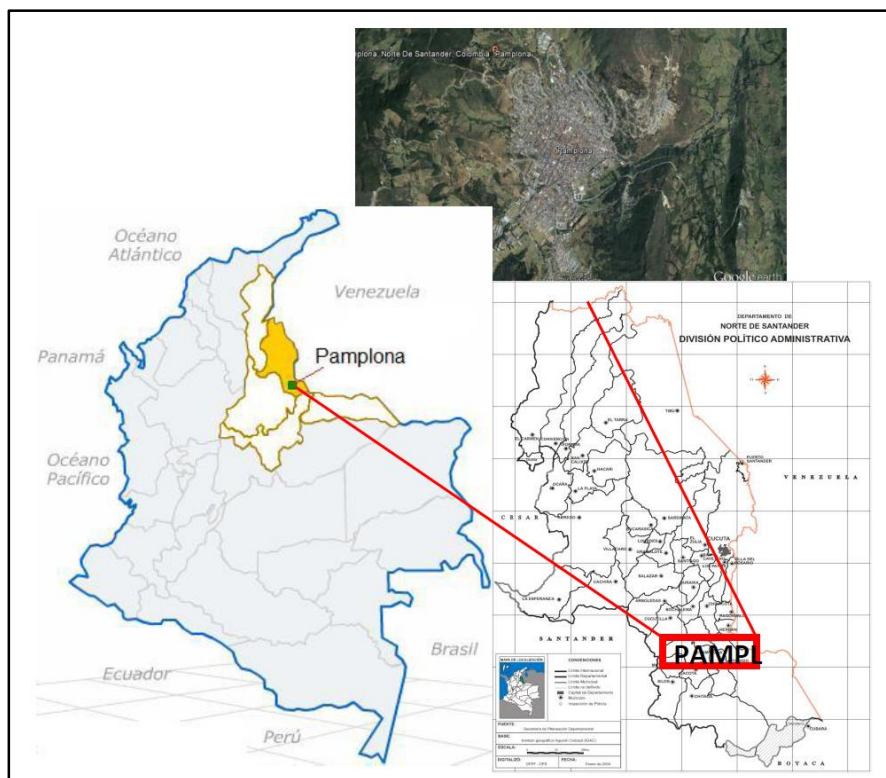


Figura 1 localización geográfica de pamplona

Fuente: (Marta Patricia Ramos Gómez, Neila Milena Martínez Ruiz, 2014)

Marco Legal

Establecer criterios básicos para realizar estudios geotécnicos de edificaciones, basados en la investigación del subsuelo y las características arquitectónicas y estructurales de las edificaciones con el fin de proveer las recomendaciones geotécnicas de diseño y construcción de excavaciones y rellenos, estructuras de contención, cimentaciones, rehabilitación o reforzamiento de edificaciones existentes y la definición de espectros de diseño sísmo resistente, para soportar los efectos por sismos y por otras amenazas geotécnicas desfavorables.

Firma de los estudios — siguiendo los artículos 26 y 27 de la ley 400 de 1997, modificada y adicionada por la ley 1229 de 2008, los estudios geotécnicos para cimentaciones de edificaciones deben ser dirigidos y avalados por ingenieros civiles, titulados, matriculados en el COPNIA y con tarjeta profesional vigente. Para el cumplimiento de este requisito todos los informes de los estudios geotécnicos y todos los planos de diseño y construcción que guarden alguna relación con estos estudios, deben llevar la aprobación del ingeniero director del estudio. Los profesionales que realicen estos estudios geotécnicos deben poseer una experiencia mayor de cinco (5) años en diseño geotécnico de

cimentaciones, contados a partir de la expedición de la tarjeta profesional, bajo la dirección de un profesional facultado para tal fin, o acreditar estudios de posgrado en geotecnia.

Cumplimiento y responsabilidad — el cumplimiento de estas normas no exime al ingeniero responsable de la ejecución del estudio geotécnico de realizar todas las investigaciones y análisis necesarios para la identificación de las amenazas geotécnicas, la adecuada caracterización del subsuelo, y los análisis de estabilidad de la edificación, construcciones vecinas e infraestructura existente.

Las siguientes normas NTC del instituto colombiano de normas técnicas y certificación, Icontec, y de la sociedad americana para ensayos y materiales, ASTM, forman parte integrante del reglamento NSR-10.

Normas NTC promulgadas por el Icontec:

NTC 1493 — suelos. Ensayo para determinar el límite plástico y el índice de plasticidad. (ASTM D 4318)

NTC 1494 — suelos. Ensayo para determinar el límite líquido. (ASTM D 4318)

NTC 1495 — suelos. Ensayo para determinar el contenido de agua. (ASTM D 2216)

NTC 1522 — suelos. Ensayo para determinar la granulometría por tamizado NTC 1527.

NTC 1528 — suelos. Ensayo para determinar la masa unitaria en el terreno. Método del balón de caucho. (ASTMD2167)

NTC 1917 — suelos. Determinación de la resistencia al corte. Método de corte directo (cd). (ASTM D 3080)

NTC 1936 — suelos. Determinación de la resistencia en rocas. Método de la compresión triaxial. (ASTM D2664)

NTC 1967 — suelos. Determinación de las propiedades de consolidación unidimensional. (ASTM D 2435)

Normas ASTM:

ASTM D 2166-06 — suelos. Ensayo para determinar la resistencia a la compresión inconfiada.

ASTM D 6066 – 96 (2004) — práctica estándar para determinar la resistencia de arenas a la penetración normalizada, para evaluación del potencial de licuación.

ASTM D1143/d1143m-07 — ensayo para pilotes bajo carga axial estática de compresión.

ASTM D 3689-07 — ensayo para pilotes individuales bajo carga axial estática de tracción.

ASTM D 3966-07 — ensayo para pilotes bajo carga lateral.

ASTM D4945-08 — ensayo para pilotes bajo altas deformaciones en cargas dinámicas.

ASTM D 5882-07 — ensayo a bajas deformaciones para la integridad de pilotes

Geología

Geología regional

Desde el punto de vista geológico, el municipio de Pamplona se encuentra ubicado en el flanco norte de macizo de Santander sobre la cordillera oriental y dentro del sistema de fallas Bucaramanga – Santa Marta a escala regional que obedece al levantamiento de la cordillera oriental. Dentro del área se tiene expuestas rocas sedimentarias de edad cretácica pertenecientes a las formaciones Aguardiente, Tibú Mercedes y Capacho y de edad pre – devónica pertenecientes al atogénesis pre-devónico.

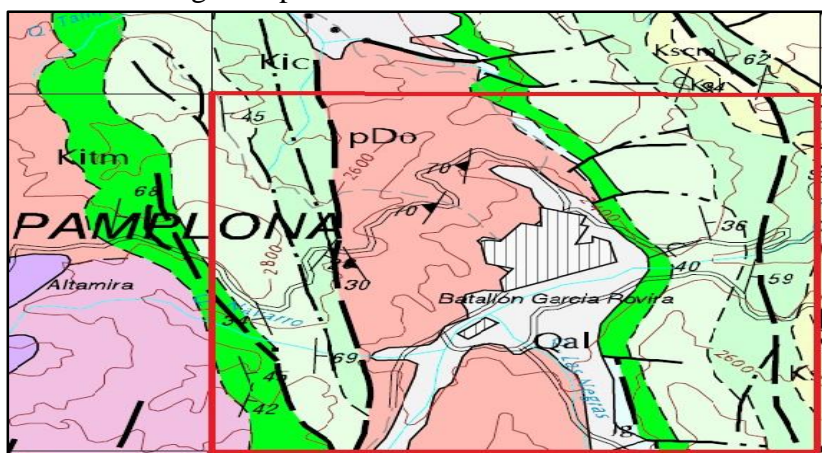


Figura 2 Esquema geológico para el área de pamplona. (PDo) ortoneis, (dg) granito de Durania, (Kitm) fm Tibú-mercedes, (Kia) fm aguardiente, (Kic) fm capacho, (Ksl) fm luna, (Kscm) fm colon mito juan.

Fuente: plancha geológica h13 pamplona escala 1:100.000, 1973.

Litología

Ortoneis (pDo). fue inicialmente definido por Ward, et al (1973), como unidad está constituida por neises cuarzo feldespáticos de origen ígneo que varían en composición de granito a tonalita, con predominio de cuarzo monzonita y granodiorita, formados bajo condiciones de la facies anfibolita y parcialmente de la facies esquisto verde, sin presión definida, y distribuida en áreas irregulares a lo largo de todo el macizo de Santander, principalmente en los sectores al oriente de San Alberto, Cucutilla, Berlín-pamplona y Molagavita.

La mayor parte está en la porción norte del área cartografiada H-13 al suroeste, norte y noreste de Berlín. Cuñas angostas de ortoneis que se extienden al sur hasta la vecindad de Chitagá y silos, aflora en franjas falladas en una faja al oeste de pamplona. Ortoneis aflora a

lo largo del lado oriental de los batolitos de santa bárbara y mogotes, hasta el extremo sur de la zona en la vecindad de Onzaga.

-Sistema cretácico. Está conformado por sedimentitas, cuyas edades varían desde el Berriasiano al Cenomaniano y se encuentran bien expuestas en la región oriental de Santander. Estas sedimentitas se encuentran representadas por las formaciones Tibú-mercedes, aguardiente y capacho.

-Formación Tibú mercedes (Kitm). Las formaciones Tibú y mercedes fueron definidas separadamente por Notestein et al. (1944) dentro del área de la concesión barco y posteriormente redefinidas por Sutton (1946) y Renz (1959). en la plancha 111, la afinidad litológica de estas formaciones no permite diferenciarlas fácilmente; por lo tanto, se toman como una sola unidad lito estratigráfica, formación Tibú-mercedes (Kitm). Esta unidad aflora en el cañón del río Chitagá y al occidente del río talco.

La formación Tibú-mercedes está constituida en la parte inferior por lodolitas grises oscuras, calcáreas, areniscas cuarzosas, grano fino, bien cementadas, lentes de calizas biomicríticas, de color gris y algunas capas de conglomerado gris claro, calcáreo, con guijos de cuarzo.

Formación aguardiente (Kia): esta formación se designa por el filo del aguardiente, en la parte central del cuadrángulo g-13 (Notestein et al. (1944), p. 1177). Plancha 111 Toledo. Está constituida por areniscas de cuarzo, blancas, gris verdosas y amarillentas, comúnmente glauconíticas, grano fino a grueso, con algunos niveles conglomeráticos; localmente feldespáticas, calcáreas, micáceas y piritosas, con materia orgánica asociada a los planos de estratificación, con delgadas intercalaciones de lodolitas grises y gris claras. En la parte inferior se presentan conglomerados gris claros a blanco amarillentos, con fragmentos de cuarzo lechoso, subredondeados, en una matriz arenosa, bien cementada. Hacia la parte superior se presentan intercalaciones de lodolitas grises a negras, carbonosas y micáceas. Según García et al. (1980), esta unidad se depositó en un ambiente litoral de playas y lagunas; para Fabre (1985) representa un frente deltaico. Se considera conforme con la subyacente formación Tibú-mercedes y la supra yacente formación capacho.

Formación capacho (Kic). Nombre propuesto en 1888 por Sievers (en Julivert et al., 1968), para denominar unas calizas aflorantes en el pueblo capacho viejo, actualmente independencia, estado de Táchira (Venezuela). Posteriormente fue redefinida por Sutton (1946) y Rod & Maync (1954). En Colombia, el término se utilizó en la concesión barco, norte de Santander (Richards, 1968) y en Santander (Ward et al., 1973; Vargas et al., 1976). Está constituida por rocas sedimentarias que corresponden a un conjunto de lodolitas negras, laminadas, con nódulos calcáreos, escasas intercalaciones de areniscas calcáreas y calizas

grises a negras, fosilíferas (amonitas, lamelibranquios), en capas delgadas. La parte intermedia de la secuencia está constituida por una alternancia de calizas micríticas y fosilíferas (lamelibranquios), de color gris a negro, en capas medianas a gruesas. La parte superior se compone principalmente de lodolitas grises, con delgadas intercalaciones de areniscas grises, amarillentas y blancas, grano fino, levemente calcáreas, en capas medianas, con esporádicas capas de areniscas grises, calcáreas y fosilíferas. Estos depósitos son típicos de un ambiente marino somero.

El espesor total varía entre 350 y 450 m. la base y el tope del capacho son conforme y generalmente bien definidos con la subyacente formación aguardiente, y la suprayace la formación la luna. La unidad tiende a formar una faja de topografía más baja entre las dos formaciones más resistentes. En Venezuela se han encontrado fósiles del Albiano superior en la caliza arenosa de la subyacente formación maraca y escasos amonites en el miembro guayacán del capacho (Trump y salvador, 1964). Con base de esta evidencia, la edad del capacho probablemente va del Cenomaniano al Turaniano superior.

Formación luna (Kstl). Fue descrita por Garner (en Julivert, et al., 1968) y el nombre procede de la quebrada la luna al nw de Perijá, Zulia (Venezuela). Consiste en una sucesión de calizas finas fosilíferas duras, con intercalaciones de chert negro. Alternan a esta secuencia delgadas capas de arcillolitas fisiles de color gris con abundantes micas y niveles de areniscas fosfáticas. Las calizas son negras y gris oscuro, presentan venas y nódulos de chert negro y ocasionalmente se encuentran concreciones calcáreas, las lumaquelas aparecen en toda la secuencia. Hacia la base las calizas presentan lentes irregulares de areniscas de grano muy fino mientras que hacia el tope se hacen bituminosas. El ambiente de depositación es marino de aguas relativamente poco profundas, con poca ventilación en el fondo. El espesor varía entre 275 y 575 m.

El contacto de la formación la luna con la infrayacente formación Simití es concordante. Entre las formaciones la luna y Umir existe una ligera discontinuidad estratigráfica. Morales, et al. (1958), se estima que la edad de la formación luna corresponde al Coniaciano - Santoniano. Cuaternario (Qc, Qal)

Depósitos aluviales (Qal). Esta es la unidad cuaternaria más joven, conformada por los depósitos aluviales que están distribuidos a lo largo de los valles de las principales corrientes como son los ríos Chitagá, caraba, pamplonita entre otros. Estos depósitos son considerados holocénicos o muy recientes.

Depósitos Coluviales (Qc). corresponden a los depósitos de pendiente acumulados en las laderas de las montañas, formados por procesos gravitacionales, compuestos en su gran

mayoría por gravas, cantos y bloques de rocas angulares a sub angulares, embebidos en matrices arcillosas y limo arcillosas.

Geología estructural

Regionalmente se tiene una geología estructural compresivo, el cual facilita el que se encuentren sistemas de fallas que tienen una dirección predominante se- nw y que localmente pueden cambiar a una dirección n- s, sin embargo, en la cartografía no se detallan algunas estructuras que muy seguramente son de edades posteriores a las señaladas y que alcanzan a desplazarlas lateralmente

Sistema de falla pamplona

Esta falla se extiende en el área de estudio desde el norte y continúa con dirección sur a sur-suroeste al oeste de pamplona, para terminar en la de morro negro (h- 13, c-1, w a c-3, w). A lo largo de la mayor parte de su mitad norte está en contacto con el ortoneis pre-devónico, mientras que en el este se encuentra en contacto con una franja angosta de rocas del cretáceo.

La arenisca de la formación aguardiente constituye un risco central sobresaliente a lo largo de esta franja. Más allá del extremo sur, la falla atraviesa el Plutón, granito de Durania, y a continuación sirve de límite entre éste y la formación silgará en el oeste. Al sur de una falla de rumbo noreste que la desplaza ligeramente hacia el este (c-3, w), la falla de pamplona atraviesa nuevamente el granito de Durania hasta su terminación en la falla de morro negro

Sistema de falla Chitagá

Esta es la falla más grande y larga del flanco oriental del macizo de Santander. Afecta básicamente en superficie roca de edad terciaria, cretácea, jurásico y depósitos cuaternarios. Se trata de una falla de rumbo, su trazo es regional, presenta una dirección en general sur oriente noroccidente, aunque presenta tramos casi norte sur, está asociada a una amplia zona de falla con múltiples fallas satélites y lineamientos geológicos.

El desplazamiento vertical a lo largo de la parte norte de la falla Chitagá es difícil de estimar con exactitud a causa de fallas menores y a la naturaleza incierta del flanco oriental del sinclinal de pamplonita. Al este de pamplonita donde el sinclinal es más ancho, el desplazamiento mínimo se calcula en 2.300 m. al sur de Chitagá, cerca del punto más occidental de la falla, es de 2.200 m. (Ward et al., 1977).

Sistema de falla morro negro

Esta falla traza un arco amplio desde el límite norte del cuadrángulo h13 hacia el sur, en el área de Mutiscua y luego toma una dirección sureste hasta donde intercepta y desplaza la falla Chitagá. A lo largo de la mitad norte de la falla, el trazo de ésta con respecto a la topografía indica cabalgamiento, se observa en la carretera de Pamplona a Cucutilla con buzamiento hacia el este con ángulo bajo.

En la mitad sur de la falla, de dirección sureste, se comporta como una falla de rumbo con movimiento lateral izquierdo, que se puede deducir por el desplazamiento de cerca de 1 km en la falla de Chitagá. Sin embargo, el desplazamiento en esta localidad, de las formaciones del cretáceo que buza hacia el sureste es opuesto al de la falla Chitagá, lo que sugiere que ésta puede buzarse hacia el noroeste y que los desplazamientos a lo largo de la falla morro negro son en su mayoría aparentes debido al desplazamiento vertical.

Sismicidad

El departamento de Norte de Santander se localiza en una área de alta sismicidad (Ramírez, 1975; Gómez, 1980; García et al, 1995; Sarria, 1989; París y Sarria, 1988; Clavijo, 1994); en la que se encuentra Cúcuta, ciudad que prácticamente sufrió la consecuencia de una gran destrucción debida a la actividad de un terremoto registrado en 1875 y también ha estado expuesta a los efectos de 13 sismos más, que representan el 68% de la totalidad de los ocurridos entre 1920 y 1991; (Castro y Bernal, 1992).

No está demás decir que el propósito de todo ingeniero civil con sus construcciones es preservar la vida, por tal motivo deben tener presente todas las recomendaciones necesarias para el diseño y construcción de las edificaciones teniendo en cuenta las actividades sísmicas de cada ciudad del país.

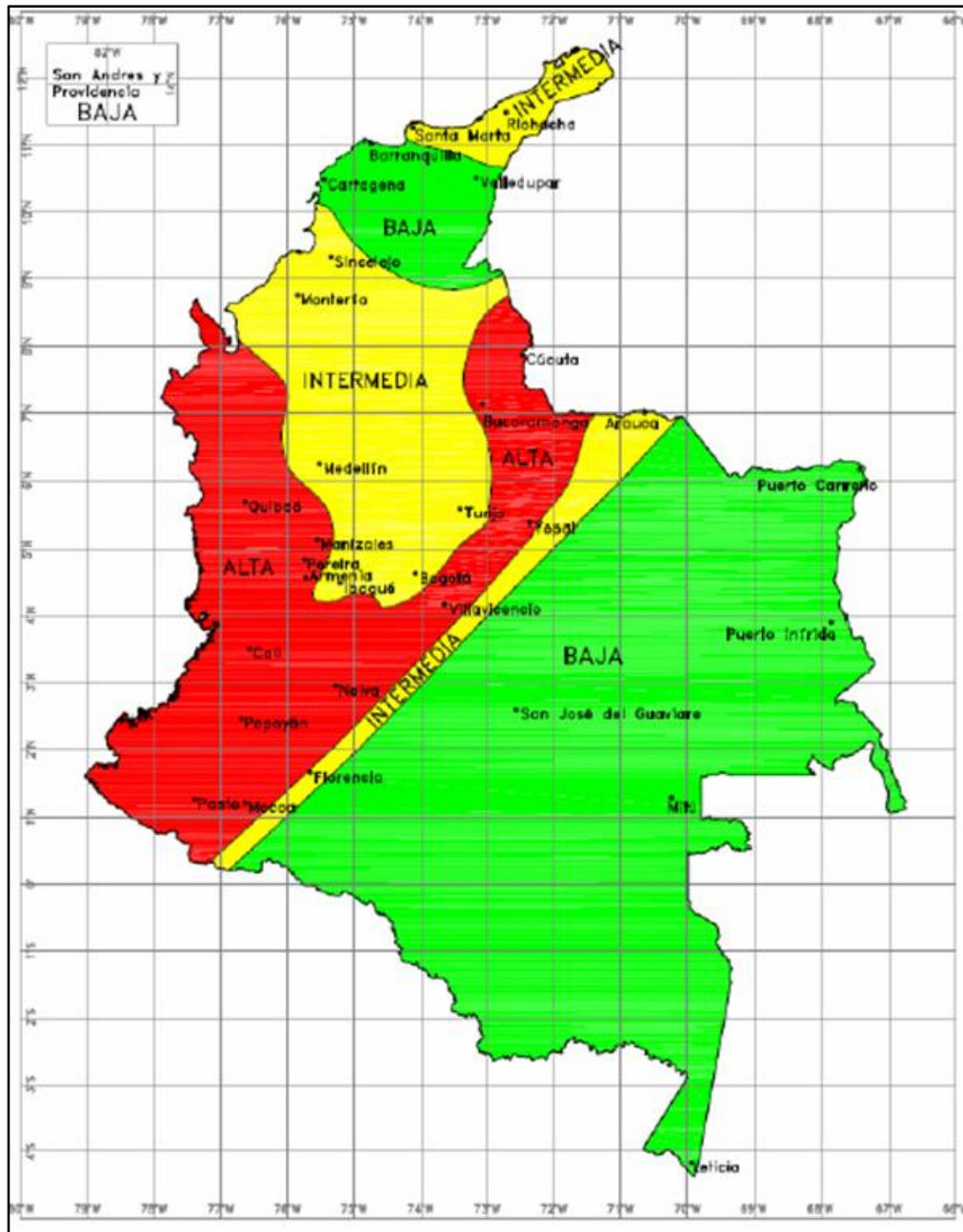


Figura 3. Zonas de amenazas sísmicas de Colombia

Fuente: Decreto N°. 0926-2010 -Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - Norma Técnica Colombiana Sismo Resistente (NSR-10).

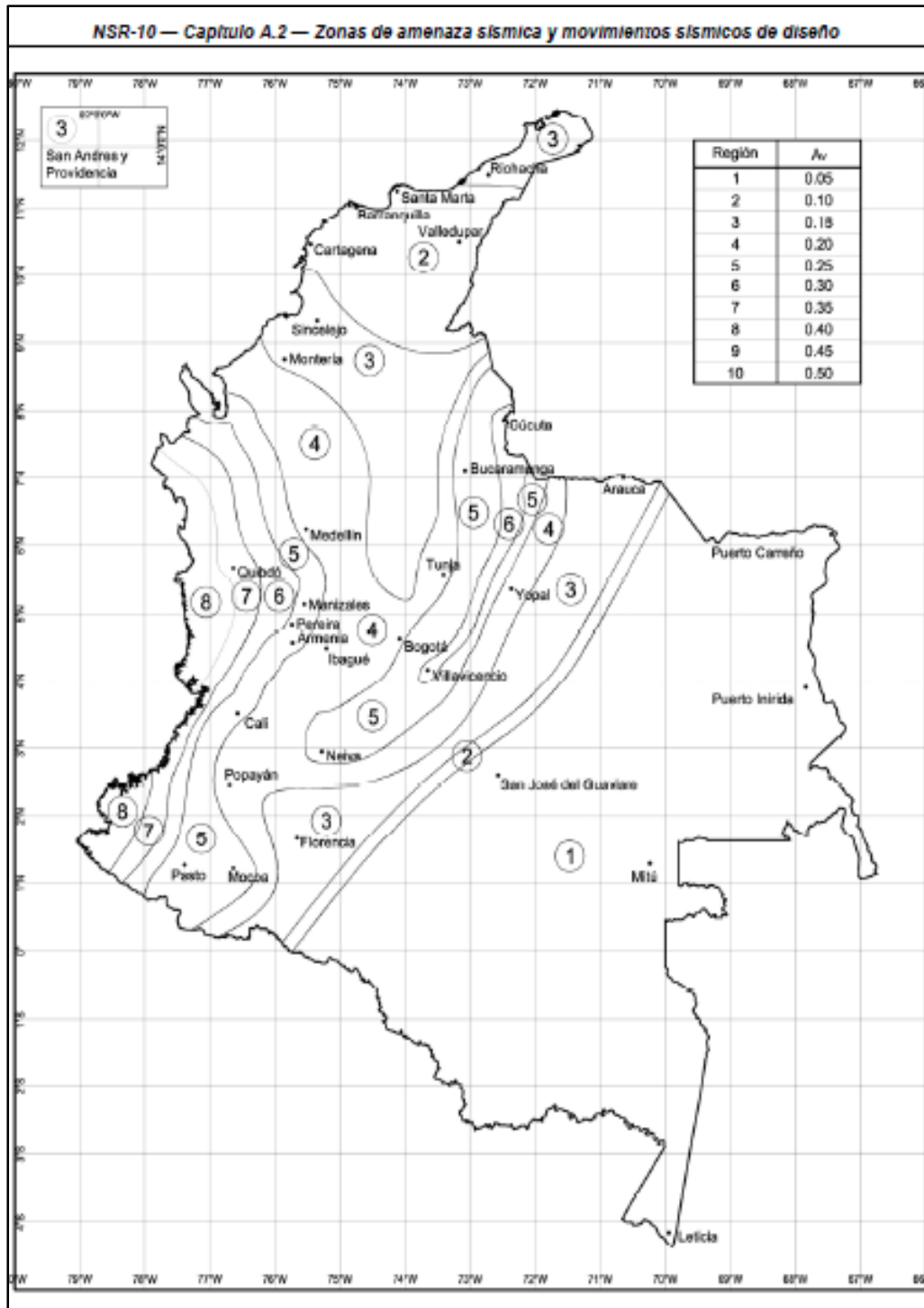


Figura 4 Mapa de amenazas sísmicas y movimientos sísmicos de diseño.
Fuente: Decreto N°. 0926-2010 -Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - Norma Técnica Colombiana Sismo Resistente (NSR-10).

Geotecnia

La geotecnia es la rama de la ingeniería que se ocupa del estudio de la interacción de las construcciones con el terreno y permite conocer el suelo de un terreno ya sea directamente como material de construcción o como soporte de una determinada estructura. En el año 1925 el profesor Karl von Terzaghi publicó su teoría de la mecánica de los suelos, en la habla de las propiedades de los suelos tales como plasticidad, elasticidad, resistencia al corte, conductividad hidráulica, etc., dando lugar a lo que hoy conocemos como geotecnia.

El suelo desde el punto de vista ingenieril es el sustrato físico sobre el cual se realizan las obras civiles, tales como edificios, canales, muros de contención, centrales eléctricas, vías, puentes, entre otras; motivo por el cual es de gran importancia el conocimiento de sus propiedades físicas, químicas y geomecánicas, siendo estas últimas las más relevantes, ya que permiten al ingeniero diseñar bajo las condiciones en las que éste se pueda encontrar.

Para la proyección de una obra en ingeniería, es de gran necesidad el estudio del suelo y el conocimiento de sus características para que estas cumplan con las necesidades impuestas por dicha obra. Todo estudio de suelos debe cumplir con la reglamentación impuesta por la normatividad vigente (NSR-10) para cada ensayo (humedad natural, granulometría, límites de Atterberg, corte directo, consolidación, permeabilidad, densidad específica y relativa, etc.) para lograr los resultados esperados.

Ensayos de laboratorio

Los ensayos de laboratorio realizados a las muestras de suelo objetos de estudio se realizaron en base a la normatividad vigente de la ASTM (American Society for Testing and Materials) los cuales están referenciados como sigue:

Ensayo de humedad natural

Para la realización de este ensayo se siguieron las recomendaciones de la norma ASTM d 2216-71 (normas ASTM parte 19).

Análisis granulométrico – método mecánico

Para la realización de este ensayo se siguieron las recomendaciones de las normas ASTM D 421-58 y ASTM D 422-63.

Límites de Atterberg

Para la realización de este ensayo se siguieron las recomendaciones de las normas ASTM D 423-66 (limite liquido) y ASTM D 424-59 (limite plástico).

Metodología

Se inicia con una recopilación de datos de diferentes fuentes, la investigación de modelos Geoestadísticos para evaluar la información geotécnica del municipio de Pamplona en la cual se hacen una recopilación bibliográfica, reconocimiento de la zona de estudio, descripción de la zona geológica, implementación del software ArcGIS para el modelo geoestadístico kriging ordinario con el fin de establecer características geo mecánicas del suelo

Recopilación bibliográfica

En primer lugar se llevó a cabo una recopilación de información de la zona de estudio, como lo fueron informes previos de la investigación geológica, geomorfológica y datos geotécnicos con el fin de orientar las etapas de estudio.

La recopilación bibliográfica se realizó mediante documentación disponible acerca de modelos geoestadístico como lo es el kriging, se recurrió a publicaciones sobre modelos geoestadístico en yacimientos de oro, tesis de grado e investigación de modelos geoestadístico en diferentes áreas de la ingeniería. Cabe agregar que se recolectó documentación disponible y ejecutada por el instituto Agustín Codazzi (IGAC), entidades como la alcaldía municipal tomando como base la cartográfica a escala 1:7000 del plan de ordenamiento territorial del municipio ejecutado por (CORPONOR), también se observó y analizo imágenes satelitales de google Earth del área de estudio.

Estudios recientes

- Rodríguez Y Cantillo, Caracterización Geotécnica de los suelos del Campus de la Universidad de Pamplona y Los barrios Buque, Juan XXIII, Santa Marta, Tinto Redondo Chíchira y el Progreso, en municipio de Pamplona Norte de Santander.
- Evaluación de Estabilidad de un Talud en la Zona Norte de Pamplona Entre Los Barrios De Juan XXIII Y San Luis, Aplicando Métodos Determinísticos Para Diagnosticar Posibles Fenómenos De Remoción En Masa (Juan Camilo Jimenez Martinez, Breiner Andres Amesquita Gonzales , 2017)
- Caracterización, análisis geomecánico y propuesta de zonificación de los suelos en el sector urbano del municipio de Pamplona, norte de Santander (Marta Patricia Ramos Gómez , Neila Milena Martinez Ruiz, 2014)

Geología de la zona

- INGEOMINAS, 2001 ,Memoria explicativa del Departamento de Santander escala 1:400000
- INGEOMINAS , 2012 ,Estudios De Geología Y Geomorfología Para La Reubicación Del Casos Urbano Del Municipio De Gramalote, Departamento Norte De Santander , Escala 1:25000
- Construsuelos De Colombia S.A.S, 2013 Estudio De Suelos Vivienda Multifamiliar De 5 Niveles Para El Barrio Las Américas, Pamplona Norte De Santander.
- INTEROBRAS de Santander, Estudios De Suelos Para Viviendas, Pamplona Norte De Santander.

Reconocimiento de la zona de estudio

Se inició con la exploración de campo para hacer una idea de las condiciones existentes, esto nos permitió conocer los factores más importantes que se adoptad a la hora de hacer una caracterización y zonificación entre los cuales podemos apreciar la extensión de área, cantidad de población, características topográficas y facilidades logísticas como vías de acceso y clima.

Se pudo identificar las zonas donde se realizaron los estudios de muestreo los cuales fueron los sitios más apropiados con el fin de evitar problemas en las redes de acueducto, redes eléctricas, cultivos ya que las mayorías de muestras fueron realizadas dentro de zonas habitadas que son las de mayor importancia para la investigación.

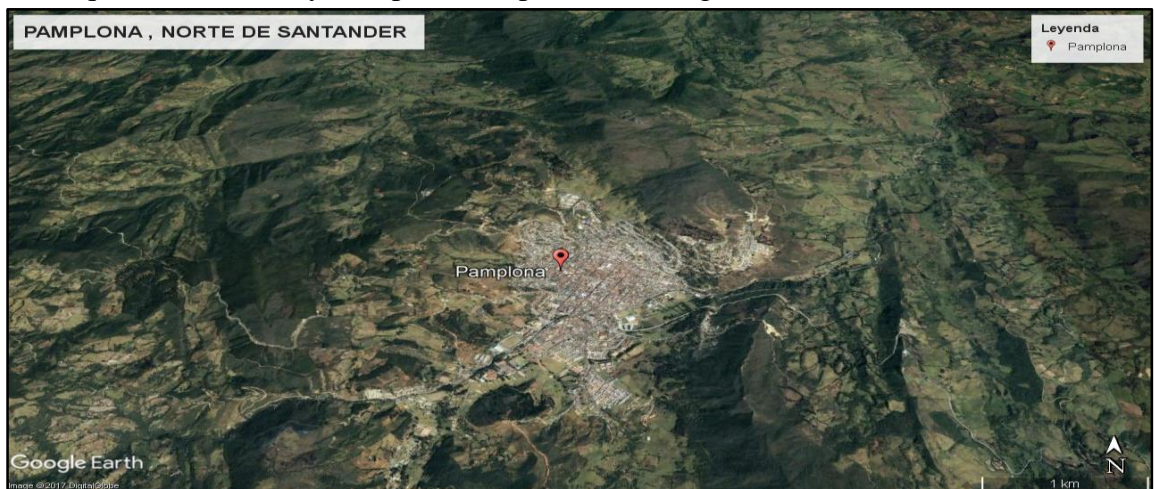


Ilustración 1 zona de estudio

Fuente: google Earth.

Diseño de la red de muestreo

Para que el muestreo fuese equitativo se realizaron apiques dependiendo del área de cada uno de los barrios, ya que algunos cuentan con área relativamente pequeña lo cual limita el número de muestra para dichos barrios, siendo menor el número de muestras para menor área y mayor número de muestra para cuando se tiene mayor área en la siguiente tabla se muestra la distribución de los puntos de muestreo con sus respectivas coordenadas.

Ensayos de laboratorio

Con las muestras extraídas se determinaron la características físico- mecánicas del suelo mediante los ensayos estándar de laboratorio con el fin de determinar la gradación y clasificación SUCS, los laboratorios se realizaron en la universidad de pamplona y el laboratorio de la empresa interobras de Santander las cuales se describen de la siguiente manera.

- análisis granulométrico por tamizado ASTDM - 422
- contenido de humedad ASTDM - 2216
- limite plástico ASTDM - 424
- limite liquido

Clasificación de los suelos

La clasificación de los suelos se realizó en base a los ensayos granulométricos, límites de Atterberg y la aplicación del sistema unificado de clasificación de suelos (USCS).

Revisión de la capacidad portante del suelo

Con base en la información encontrada en la etapa de exploración e investigación se procedió a revisar la capacidad portante del suelo utilizando la teoría de capacidad portante última propuesta por Terzaghi (1943), Meyerhof (1963), Vesic (1973), Hansen (1970). Mediante la cual se realiza una comparación de los métodos para así determinar cuál es el más efectivo a se acerca a la realidad las formulas se presentan a continuación.

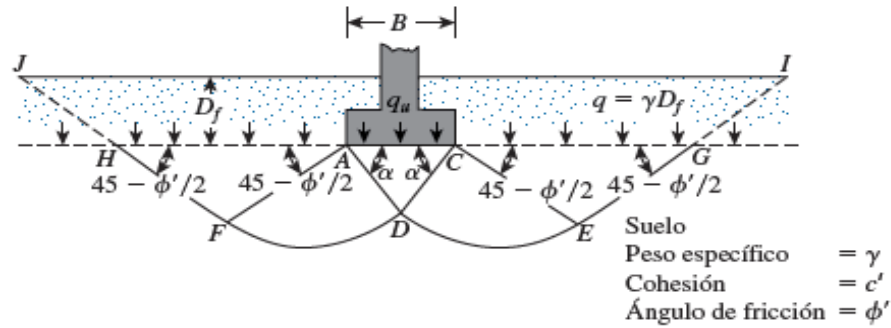


Figura 5 falla por capacidad de carga en un suelo bajo una cimentación rígida continua

Fuente: (Braja M. Das, Principio de Ingeniería de Cimentaciones, séptima edición, Editorial Cengage Learning, 2004)

$$q_u = C N_c + q N_q + 0,54 B N \gamma \text{Ecuación 4}$$

Donde:

c' = cohesión del suelo

v = peso específico del suelo

$q = v D_f$

N_c, N_q, N_γ = factores de capacidad de carga que son adimensionales y funciones solo del ángulo de fricción del suelo ϕ

Los factores de capacidad de carga N_c, N_q y N_γ se definen mediante las expresiones

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad \text{Ecuación 5}$$

$$N_q = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) e^{\pi \tan \phi} \pi r^2 \quad \text{Ecuación 6}$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \tan(1,4\phi) \quad \text{Ecuación 7}$$

Las relaciones N_q, N_c y N_γ se expresan en la siguiente tabla y muestran los factores de capacidad de carga de Terzaghi.

Tabla N° 1 Factores De Capacidad De Carga De Terzaghi

ϕ	Nc	Nq	NY
0	5,7	1	0
1	6	1,1	0,01
2	6,3	1,22	0,04
3	6,62	1,35	0,06
4	6,97	1,49	0,1
5	7,34	1,64	0,14
6	7,73	1,81	0,2
7	8,15	2	0,27
8	8,6	2,21	0,35
9	9,09	2,44	0,44
10	9,61	2,69	0,56
11	10,16	2,98	0,69
12	10,76	3,29	0,85
13	11,41	3,63	1,04
14	12,11	4,02	1,26
15	12,86	4,45	1,52
16	13,68	4,92	1,82
17	14,6	5,45	2,18
18	15,21	6,04	2,59
19	16,56	6,7	3,07
20	17,69	7,44	3,64
21	18,92	8,26	4,31
22	20,27	9,19	5,09
23	21,75	10,23	6
24	23,36	11,4	7,08
25	25,13	12,72	8,3
26	27,09	14,21	9,84
27	29,24	15,9	11,6
28	31,61	17,81	13,7
29	34,24	19,98	16,18
30	37,16	22,46	19,13
31	40,41	25,28	22,65
32	44,04	28,52	26,87
33	48,09	32,23	31,94
34	52,64	36,5	38,04
35	57,75	41,44	45,41
36	63,53	47,16	54,36
37	70,01	53,8	65,27

38	77,5	61,55	78,61
39	85,97	70,61	95,03
40	95,66	81,27	115,31
41	106,81	93,85	140,51
42	119,67	108,75	171,99
43	134,58	126,5	211,56
44	151,95	147,74	261,6
45	172,28	173,28	325,34
46	196,22	204,19	407,11
47	224,55	241,8	512,84
48	258,28	287,85	650,67
49	298,71	344,63	831,99
50	347,5	415,14	1027,8

Fuente: (Braja M. Das, Principio de Ingeniería de Cimentaciones, séptima edición, Editorial Cengage Learning, 2004).

Factor de seguridad

El cálculo de capacidad de carga permisible bruta de cimentaciones superficiales requiere aplicar un factor de seguridad (Fs) a la capacidad de carga última bruta

$$q_{perm} = \frac{q_u}{FS} \text{ Ecuación 8}$$

Sin embargo los ingenieros prefieren emplear un factor de seguridad tal que

$$\text{Incremento neto del esfuerzo en el suelo} = \frac{\text{capacidad de carga última neta}}{FS}$$

$$q_{neta}(u) = q_u - q \text{ Ecuación 9}$$

Donde

$q_{neta}(u)$ = capacidad de carga última neta

$$q = v D_f \text{ ecuación 10}$$

Por lo tanto

$$q_{perm}(neta) = \frac{q_u - q}{FS} \text{ Ecuación 11}$$

Ecuación general de la capacidad de carga (meyerhof-1963)

$$q_{ult} = C N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + 0,5 \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

Ecuación 12

En esta ecuación:

c' = cohesión

q = esfuerzo efectivo al nivel del fondo de la cimentación

ν = peso específico del suelo

b = ancho de la cimentación

Fcs Fqs $f\gamma s$ = factores de forma

Fcd' Fqd $f\gamma d'$ = factores de profundidad

Fci' Fqi' $f\gamma i'$ = factores de inclinación

Nc' Nq' $N\gamma'$ = factores de capacidad de carga.

Factores de capacidad de carga

$$Nq = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) e^{\pi \tan \phi} \pi r^2 \quad \text{Ecuación 13}$$

$$Nc = (Nq - 1) \cot \phi \quad \text{Ecuación 14}$$

$$N\gamma = 2(Nq - 1) \tan(1,4\phi) \quad \text{Ecuación 15}$$

Tabla N° 2 Factores de capacidad de carga para la teoría de Meyerhof

ϕ (°)	Nc	Nq	N γ	ϕ (°)	Nc	Nq	N γ
0	5.14	1	0	26	22.25	11.85	12.54
1	5.38	1.09	0.07	27	23.94	13.2	14.47
2	5.63	1.2	0.15	28	25.8	14.72	16.72
3	5.9	1.21	0.24	29	27.86	16.44	19.34
4	6.19	1.43	0.34	30	30.14	18.4	22.4
5	6.49	1.57	0.45	31	32.67	20.63	25.99
6	6.81	1.72	0.57	32	35.49	23.18	30.22
7	7.16	1.88	0.71	33	38.64	26.09	35.19
8	7.53	2.06	0.86	34	42.16	29.44	41.06
9	7.92	2.25	1.03	35	46.12	33.3	48.03
10	8.35	2.47	1.22	36	50.59	37.75	56.31
11	8.8	2.71	1.44	37	55.63	42.92	66.19
12	9.28	2.97	1.69	38	61.35	48.93	78.03
13	9.81	3.26	1.97	39	67.87	55.96	92.25
14	10.37	3.59	2.29	40	75.31	64.2	109.41
15	10.98	3.94	2.65	41	83.67	73.9	130.22
16	11.63	4.34	3.06	42	93.71	85.38	155.55

17	12.34	4.77	3.53	43	105.11	99.02	186.54
18	13.1	5.26	4.07	44	118.37	115.31	224.64
19	13.93	5.8	4.68	45	133.88	134.88	271.76
20	14.83	6.4	5.39	46	152.1	158.51	330.35
21	15.82	7.07	6.2	47	173.64	187.21	403.67
22	16.88	7.82	7.13	48	199.26	222.31	496.01
23	18.05	8.66	8.2	49	229.93	265.51	613.16
24	19.32	9.6	9.44	50	266.89	319.07	762.89
25	20.72	10.66	10.88				

Fuente (Braja M. Das, Principio de Ingeniería de Cimentaciones, séptima edición, Editorial Cengage Learning, 2004).

Factores de Forma

$$F_{cs}=1+0,2(B/L) \tan^2 (45+\phi/2) \text{ Ecuación 16}$$

$$F_{qs}=F_{\gamma s}=1+0,1(B/L) \tan^2 (45+\phi/2) \text{ Ecuación 17}$$

Factores de inclinación

$$F_{ci}=F_{qi}=F_{\gamma i}=1 \text{ Ecuación 18}$$

Factores de profundidad

$$F_{cd}=1+0,2(Df/B) \tan (45+\phi/2) \text{ Ecuación 19}$$

$$F_{qd} = F_{\gamma d} = 1 + 0,1(Df/B) \tan(45 + \phi/2) \text{ Ecuación 20}$$

Zonificación

El mapa zonificación geotécnica se elaboró en base a la clasificación de los suelos y a los parámetros geotécnicos y por similitud de los mismos, tomando como base el mapa urbano del municipio, donde se realizaron la toma de muestras y con ayuda del software ArcGIS 10.5 se obtiene el mapa de zonificación preliminar del municipio de Pamplona a escala 1:1000

Columnas estratigráficas de los apiques realizados

A dar inicio a una construcción, uno de los elementos claves es el suelo o terreno edificable, donde por medio de unos estudios del suelo se da conocer qué tipo de suelo se encuentra en la zona y si es apto o no para la construcción de dicha edificación y si se hace necesario realizar algún mejoramiento a este suelo para así mejorar las propiedades físico

mecánicas del lugar de trabajo para ello se hace necesario la realización de unas columnas estratigráficas.

Las columnas estratigráficas se obtuvieron teniendo en cuenta lo establecido en la norma ASTM-D-2488, en los que se indicó la profundidad de la excavación, las características del suelo y los resultados de trabajo de campo y de laboratorio.

Implementación del modelo geoestadístico kriging con ayuda del software ArcGIS

La interpolación predice valores a partir de una cantidad limitada de puntos de datos de muestra. Puede utilizarse para predecir valores desconocidos de cualquier dato de un punto geográfico

Existen varios métodos de interpolación, entre los que encontramos IDW (Ponderación de distancia inversa) el cual estima los valores de las celdas calculando promedios de los valores de los puntos de datos de muestra en la vecindad de cada celda de procesamiento, cuanto más cerca está un punto del centro de influencia, tendrá más peso en el proceso del cálculo del promedio, asimismo, podemos mencionar el método del Vecino natural, en donde toma como base un subconjunto de muestras de entrada más cercana al punto de consulta y aplica ponderaciones sobre ellas basándose en áreas proporcionales para interpolar un valor (Sibson, 1981).

Otro método que se usa para hacer interpolación es el Spline, el cual estima valores usando una función matemática que minimiza la curvatura general de la superficie, obteniendo una superficie suave que pasa exactamente por los puntos de entrada. También existe el Spline con Barreras, similar a el Spline con la diferencia que este método distingue las discontinuidades codificadas tanto en las barreras de entrada y como en los datos del punto de entrada, el método spline presenta limitaciones al momento de realizar la interpolación debido a que exagera los valores en donde se tiene una densidad de datos baja.

Por último, encontramos el método Geoestadístico de Kriging el cual es un método avanzado que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados con valores Z. Más aún que con otros métodos de interpolación, se debe realizar una investigación profunda del comportamiento espacial del fenómeno representado por los valores Z antes de seleccionar el mejor método de estimación para generar la superficie de salida. El kriging es un método de interpolador exacto que provee soluciones prácticas a problemas reales, honra los datos, expande los datos e integra datos. Ajusta esta estimación a modelos circulares, esféricos, exponenciales, gaussianos, cuadráticos para así poder mejorar los mapas de predicción, influyendo en obtener mejores resultados, por esto el método geoestadístico a aplicar en el proyecto de investigación es este último, ya que

relaciona los datos de una manera más completa y uniforme logrando así mejores predicciones del modelo.

Para la aplicación del método de Kriging se debe hacer una georreferenciación de las muestras y ensayos con Gps (Garmin) configurado con el Coordinate System: magna sirgas Colombia Bogota zone, Projection: Transverse Mercator, Datum: magna, false easting: 1.000.000,0000, false northing: 1.000.000,0000, central meridian: -74,0775, scale factor: 1,0000, latitude of origin: 4,5962 y Units: meter.

Inicialmente el procesamiento se organiza en una base de datos en formato CSV (valores separados por comas), para ejecutar el modelo geoestadístico de kriging en el programa de ArcGIS, se parte de un conjunto de muestras georreferenciadas en la zona de estudio (pamplona, norte de Santander) en las cuales se han medido las variables como: porcentajes de arenas, porcentaje de gravas , porcentaje de finos , contenidos de humedad ,limites líquidos , limites plásticos , índice de plasticidad , ángulo de fricción , cohesión , peso específico , capacidades portantes a profundidades que varían de 1-2 metros

Se importó la base de datos construida desde el programa de ArcGIS mediante la herramienta display xy data para ubicar los puntos en el grupo de capas a trabajar, seguidamente se convirtió la base de datos a formato shapefile, se carga la herramienta Geostatistical analyst.

Se hizo la exploración de la información para cada variable consistente en analizar el histograma para determinar cuál era el mejor modelo de ajuste para los datos, el análisis trend Analysis se verifico la distribución de los datos en los 3 planos y se determina o no la necesidad de eliminar el segundo grado de ajuste

Se utiliza la pestaña geostatistical wizard para hacer el modelamiento se escoge el método kriging/cokriging se implementó el tipo de kriging ordinario con una transformación logarítmica se elimina el segundo orden, se determina la presencia de anisotropía por la tendencia de formar curvatura en los datos, se utilizó en general la varianza de semivariograma y se genera un reporte el cual es guardado y de esta manera se obtiene el mapa de predicción el cual fue exportado a raster obteniendo los rangos de zonificación para cada variable a analizar.

Kriging

Kriging es un procedimiento geoestadístico avanzado que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersos con valores z. el kriging presupone que

la distancia o la dirección entre los puntos de muestra reflejan una auto correlación espacial que puede utilizarse para explicar la varianza de la superficie.

g es un proceso que tiene varios pasos, entre los que incluye el análisis estadístico, exploración de los datos, modelo de Variogramas y creación de la superficie de predicción.

Formula de kriging

El método de kriging pondera los valores medios circundantes para calcular una predicción de una ubicación sin mediciones.

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i)$$

Ecuación 21

$Z(s_i)$ = el valor medido en la ubicación i

λ_i = una ponderación desconocida para el valor medido en la ubicación i

s_0 = la ubicación de la predicción

n = la cantidad de valores medidos

Kriging ordinario.

La componente de la tendencia puede fluctuar suavemente en el vecindario de los datos que intervienen en cada estimación. De manera que supone un valor de la media constante pero desconocido. El modelo lineal planteado según (Konoplev, 1990) es similar al usado para kriging simple pero el valor del parámetro β_0 es desconocido $z(x) = \beta_0 + \epsilon(x)$. En consecuencia se hacen pocas suposiciones, por lo que el método es muy flexible en este aspecto pero menos poderoso que otros.

Kriging simple.

Asume que las medias locales son relativamente constantes e iguales a la media poblacional, la cual es conocida. La media poblacional es usada como un factor en cada estimación local, a lo largo con las muestras en la vecindad local. Hay dos tipos de kriging, el de punto y el de bloque, lo cuales generan unas cuadrículas de interpolación.

Para llevar al cabo la predicción de kriging se deben realizar algunos procesos los cuales se describirán a continuación.

Histograma

Se debe representar gráficamente las frecuencias de ocurrencia en función de un valor para eso se hace necesario una representación gráficamente con lo que se acude a él histograma.

El histograma es una herramienta útil a la hora de detectar valores atípicos, se puede decir que un dato atípico no es siempre falso y no se debe eliminar sin alguna razón ya que este podría reflejar el verdadero comportamiento de la variable regionalizada y eliminarlo impediría prever la ocurrencia de los valores en zonas no muestreadas

Semivariograma

El siguiente paso es ajustar un modelo a los puntos que forman el semivariograma, el modelo semivariograma es un paso clave entre la descripción espacial y la predicción espacial.

El semivariograma nos proporciona una información sobre el auto correlación espacial de datos. Sin embargo no suministra información para todas las direcciones y distancias posibles. Para ajustar este modelo al semivariograma se debe seleccionar una función que sirva como modelo, lo podemos comparar al análisis de regresión en el que se ajusta a una línea o curva continua.

Modelos de Semivariogramas

La herramienta kriging proporciona las siguientes funciones para elegir el mejor modelo de semivariograma

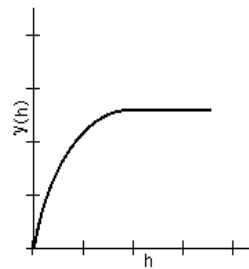
- circular
- exponencial
- gaussiana
- lineal

El modelo que se seleccione influirá en la predicción de los valores desconocidos, esto quiere decir que entre más pronunciada sea la curva cerca al origen, más influirá los vecinos cercanos en la predicción. Cada modelo está diseñado para ajustarse a diferentes tipos de fenómenos de forma más precisa.

Modelo esférico

Tiene un crecimiento rápido cerca del origen, pero los incrementos marginales van decreciendo para distancias grandes, hasta que para distancias superiores al rango los incrementos son nulos (Viera, 2002). Su expresión matemática es la siguiente

SPHERICAL



$$\begin{aligned}\gamma(h) &= c_0 + c \left(\frac{3h}{2\alpha} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{\alpha} \right)^3 \right) & 0 < h \leq \alpha \\ \gamma(h) &= c_0 + c & h > \alpha \\ \gamma(0) &= 0\end{aligned}$$

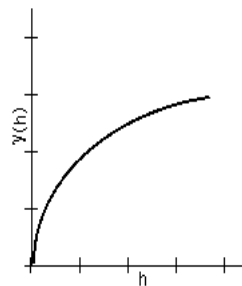
Figura 6 gráfica y modelo matemático del semivariograma esférico

Fuente: (Henao)

Modelo exponencial

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

EXPONENTIAL



$$\begin{aligned}\gamma(h) &= c_0 + c \left(1 - \exp\left(-\frac{h}{\tau}\right) \right) & h > 0 \\ \gamma(0) &= 0\end{aligned}$$

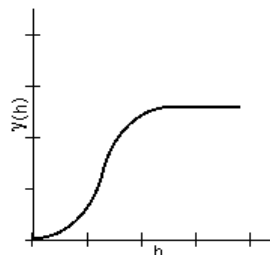
Figura 7 gráfica y modelo matemático del semivariograma exponencial

Fuente: (Henao)

Modelo gaussiano

Al igual que el modelo exponencial, la dependencia espacial se desvanece solo en una distancia que tiene a infinito. El principal distintivo de este modelo es su forma parabólica cerca el origen

GAUSSIAN



$$\begin{aligned}\gamma(h) &= c_0 + c \left(1 - \exp\left(-\frac{h^2}{\tau^2}\right) \right) & h > 0 \\ \gamma(0) &= 0\end{aligned}$$

Figura 8 gráfica y modelo matemático del semivariograma gaussiano

Fuente: (Henao)

Exploración Geotécnica

La exploración geotécnica se realizó en base a los resultados arrojados por los ensayos de laboratorio, estos se hicieron a las muestras tomadas en los 105 apiques ejecutados dentro del casco urbano del municipio de Pamplona, en los que se realizaron contenido de humedades naturales, análisis granulométricos y límites de Atterberg, los cuales sirvieron como base para la clasificación según el sistema unificado (U.S.C.S.), en la figura 15 se muestra la distribución de los apiques en el municipio de Pamplona

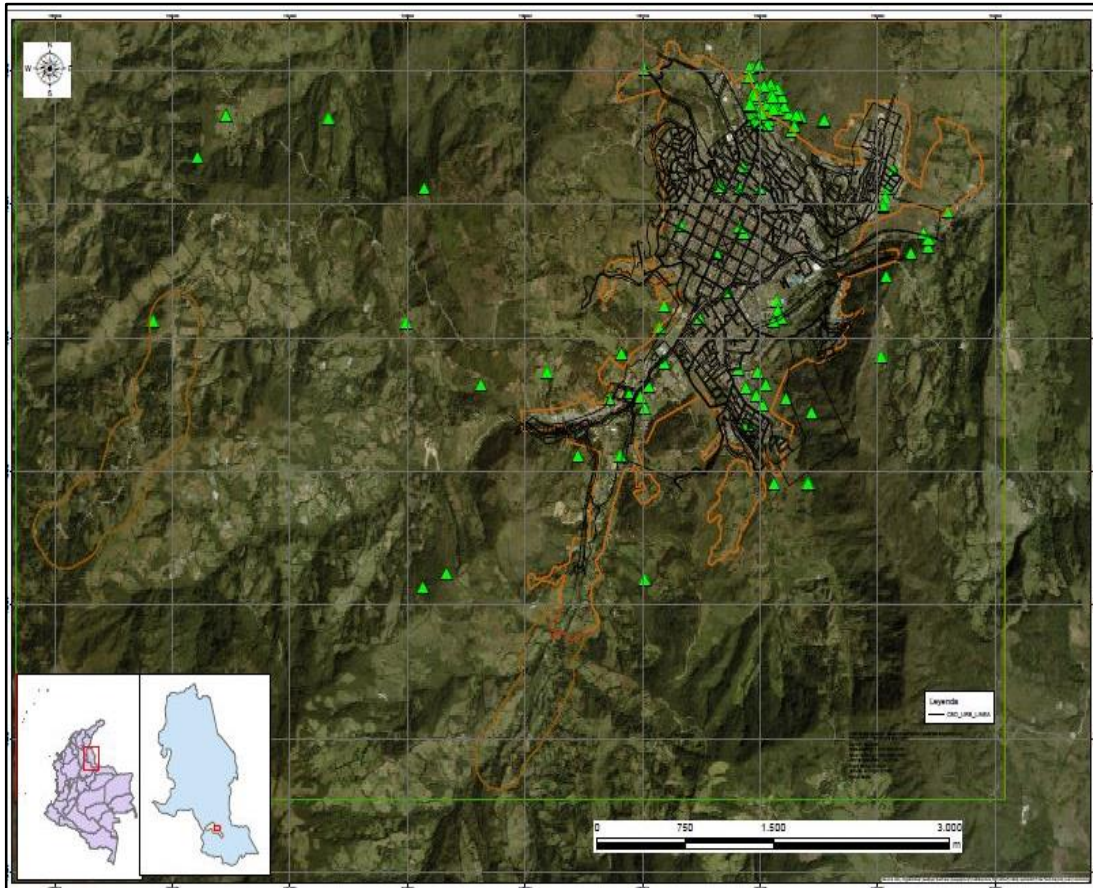


Figura 9 Distribución de los apiques en el casco urbano del municipio de Pamplona
Fuente (autor)

Tabla N° 3 Coordenadas De Los Apiques

Nombre	Barrio	Estrato	Profundidad	Latitud	Longitud
Apique 1	S. BOLIVAR	único	1,3 - 2	1308548	1158268
Apique 1	S. BOLIVAR	único	0.5 - 2.9	1308548	1158268
Apique 1	S. BOLIVAR	1	0,4 - 1,8	1308548	1158268
Apique 2	S. BOLIVAR	2	1,8 - 2,3	1308658	1158311
Apique 3	S. BOLIVAR	3	2,3- 3,0	1308734	1158204
Apique 4	ROMERO	1	0,5 - 1,9	1308798	1158186
Apique 5	ROMERO	2	1,9 - 2,5	1308865	1158149
Apique 5	ROMERO	3	2,5 - 3,00	1308865	1158149
Apique 6	CRISTO REY	único	0,45 - 3	1308894	1158091
Apique 7	V. CRISTINA	único	0,1 - 3	1308882	1158032
Apique 8	PROGRESO	único	1,40 - 2,95	1308658	1153456
Apique 8	B. UNIDOS	único	0,15 - 3,00	1308658	1153456
Apique 9	AFANADOR	1	0,6 - 1,50	1308353	1153213
Apique 9	AFANADOR	2	1,6 - 2,8	1308353	1153213
Apique 10	ZULIA	único	0,5 - 2,8	1307129	1152836
Apique 11	M. DEL ZULIA	único	0,15 - 2,75	1306352	1157901
Apique 12	M. DEL ZULIA	único	0,75 - 2,85	1305128	1155129
Apique 13	M. DEL ZULIA	único	0,8 - 2,80	1308121	1155142
Apique 14	JURADO	único	0,10 - 2,90	1308643	1154327
Apique 15	JURADO	1	0,90 - 2,30	1307116	1154987
Apique 16	JURADO	2	2,30 -3,00	1306541	1156712
Apique 17	JURADO	1	0,15 - 1,35	1305238	1155331
Apique 18	JURADO	2	1,35 - 2,95	1308656	1158345
Apique 19	LAS COLINAS	1	0,46 - 1,13	1308678	1158243
Apique 20	LAS COLINAS	2	1,13 - 2,25	1308623	1158545
Apique 21	LAS COLINAS	3	2,25 - 3,00	1308621	1158534
Apique 22	STA MARTA	único	0,70 - 2,90	1308618	1158530
Apique 23	STA MARTA	1	0,38 - 1,82	1308613	1158532
Apique 24	STA MARTA	2	1,82 - 2,90	1308618	1158543
Apique 25	STA MARTA	único	0,20 - 2,90	1308623	1158545
Apique 26	STA MARTA	único	0,48 - 2,90	1308548	1158268
Apique 26	STA MARTA	único	0,5 - 2,60	1308548	1158268
Apique 27	BRIGHTON	1	0,45 - 1,70	1308658	1158311
Apique 27	BRIGHTON	2	1,70 - 2,64	1308658	1158311
Apique 28	BRIGHTON	3	2,64 - 3,00	1308734	1158204
Apique 29	SAN LUIS	1	0,20 - 1,70	1308798	1158186
Apique 29	SAN LUIS	2	1,70 - 2,10	1308798	1158186

Apique 30	SAN LUIS	3	2,10 - 2,90	1308865	1158149
Apique 30	JUAN XXIII	1	0,35 - 1,95	1308865	1158149
Apique 31	JUAN XXIII	2	1,95 - 2,80	1308894	1158091
Apique 32	JUAN XXIII	1	0,20 - 1,10	1308882	1158032
Apique 33	JUAN XXIII	2	1,10 - 2,60	1309031	1157989
Apique 34	JUAN XXIII	3	2,60 - 2,90	1309019	1157935
Apique 35	N. AMANECER	1	0,25 - 1,25	1308956	1157910
Apique 36	N. AMANECER	2	1,25 - 2,80	1308866	1157971
Apique 37	EL BUQUE	1	0,10 - 1,0	1308825	1157939
Apique 38	EL BUQUE	2	1,0 - 1,90	1308766	1157997
Apique 39	EL BUQUE	3	1,90 - 2,70	1308692	1158046
Apique 40	EL OLIVO	único	0,75 - 2,85	1309031	1157989
Apique 40	CHICHIRA	único	0,25 - 2,80	1309031	1157989
Apique 41	EL CAMELLON	único	0,30 - 2,80	1308956	1157910
Apique 42	EL CAMELLON	1	0,15 - 1,45	1308123	1157823
Apique 42	EL CAMELLON	2	1,45 - 1,95	1308123	1157823
Apique 43	EL CAMELLON	3	1,95 - 2,80	1307845	1157323
Apique 44	LA ESPERANZA	1	0,60 - 1,20	1306745	1156189
Apique 45	LA ESPERANZA	2	1,20 - 1,80	1306645	1155623
Apique 46	LA ESPERANZA	3	1,80 - 2,90	1308766	1157997
Apique 47	EL ARENAL	1	0,80 - 1,5	1308825	1187939
Apique 48	EL ARENAL	2	1,5 - 2,0	1308866	1157971
Apique 49	EL ARENAL	3	2,0 - 3,0	1308956	1157910
Apique 50	LAS AMERICAS	1	0,52 - 1,78	1309015	1157023
Apique 50	LAS AMERICAS	2	1,78 - 2,90	1309015	1157023
Apique 51	S. TRINIDAD	único	0,10 - 2,90	1308882	1158032
Apique 52	COTE LAMUS	1	0,80 - 1,0	1309019	1157910
Apique 53	COTE LAMUS	2	1,0 - 2,35	1308956	1157910
Apique 54	COTE LAMUS	3	2,35 - 2,80	1308866	1157971
Apique 55	SALESIANOS	1	0,17 - 1,97	1308825	1157939
Apique 56	SALESIANOS	2	0,97 - 1,27	1308766	1157997
Apique 57	SALESIANOS	3	1,27 - 2,47	1308692	1158046
Apique 58	SALESIANOS	4	2,47 - 2,80	1308263	1159133
Apique 59	LOS NAZARENOS	1	0,30 - 1,90	1308114	1159082
Apique 60	LOS NAZARENOS	2	1,90 - 2,80	1308048	1159062
Apique 61	SAN PEDRO	único	1,20 - 3,0	1307981	1159040
Apique 62	LOS ALPES	único	0,30 - 2,70	1307459	1159072
Apique 63	SAN AGUSTIN	único	0,35 - 2,90	1306470	1157016

Apique 63	SAN IGNACIO	1	0,05 - 1,70	1306553	1156983
Apique 64	SAN IGNACIO	2	1,70 - 2,90	1306808	1157183
Apique 65	SAN FRANCISCO	único	0 - 2,80	1306635	1157053
Apique 66	EL CENTRO	1	0,40 - 0,80	1306494	1158020
Apique 67	EL CENTRO	2	0,80 - 2,60	1306544	1158221
Apique 68	EL CENTRO	3	2,60 - 3,0	1306593	1156878
Apique 69	EL CAMELLON	único	1,20 - 2,80	1306593	1156878
Apique 70	EL CENTRO	1	0,60 - 1,80	1306880	1156821
Apique 71	EL CENTRO	2	1,80 - 2,70	1306880	1156821
Apique 72	HUMILLADERO	1	0,25 - 1,75	1306644	1158046
Apique 73	HUMILLADERO	2	1,75 - 2,95	1306624	1157876
Apique 74	EL CENTRO	único	0,90 - 2,90	1306740	1157977
Apique 75	CHAPINERO	1	0,50 - 1,9	1306763	1157814
Apique 76	CHAPINERO	2	1,9 - 2,70	1307273	1158138
Apique 77	4 DE JULIO	1	0,60 - 1,80	1307202	1158151
Apique 78	4 DE JULIO	2	1,80 - 2,40	1307143	1158178
Apique 79	4 DE JULIO	3	2,40 - 3,00	1307126	1158113
Apique 80	LA ESPERANZA	1	0,40 - 1,80	1307781	1159392
Apique 81	LA ESPERANZA	2	1,80 - 2,60	1307678	1159428
Apique 82	CRISTO REY	único	0,70 - 2,90	1307631	1159281
Apique 83	CRISTO REY	1	0,50 - 1,90	1307741	1159434
Apique 84	CRISTO REY	2	1,90 - 2,75	1306564	1157967
Apique 84	JUANXXII	1	0,9 - 1,9	1306564	1157967
Apique 85	JUANXXII	2	1.9 - 2.5	1307996	1159044
Apique 86	JUANXXII	3	2.5 - 3.0	1307943	1159593
Apique 87	JUANXXII	único	1.2 - 2.89	1306861	1159029
Apique 88	JUANXXII	único	0.8 - 2.9	1305911	1158119
Apique 89	JUANXXII	único	0.5 - 3	1306437	1158438
Apique 90	JUANXXII	único	0.6 - 2.98	1306117	1156452
Apique 91	JUANXXII	único	0.8 - 2.9	1306121	1156810
Apique 92	JUANXXII	único	0.5 - 3	1305194	1157017
Apique 93	JUANXXII	único	0.4 - 2.9	1307081	1157139
Apique 94	JUANXXII	único	0.7 - 3	1307146	1157484
Apique 95	JUANXXII	único	0.5 - 2.9	1307242	1157184
Apique 96	JUANXXII	único	0.4 - 3	1307346	1157724
Apique 96	JUANXXII	único	0.8 - 2.87	1307346	1157724
Apique 97	JUANXXII	único	0.8 - 2.89	1305913	1158408
Apique 97	JUANXXII	único	0.6 - 2.98	1305913	1158408
Apique 97	JUANXXII	único	0.8 - 2.9	1305913	1158408
Apique 98	JUANXXII	único	0.7 - 2.9	1308281	1157857

Apique 99	JUANXXII	único	0.5 - 3.0	1308149	1157649
Apique 99	JUANXXII	único	0.4 - 2.9	1308149	1157649
Apique 100	JUANXXII	único	0.7 - 3	1308132	1157671
Apique 101	ISER	único	0.5 - 2.9	1307786	1157864
Apique 102	ISER	único	0.4 - 3	1307824	1157825
Apique 103	ISER	único	0.7- 2.7	1308114	1157995
Apique 104	ISER	único	0.4 -2.9	1307630	1157626
Apique 104	SIMON BOLIVAR	único	0.4 - 3	1307630	1157626
Apique 105	SIMON BOLIVAR	único	0.3 - 2.98	1308579	1158290

Fuente:(Autor)

Clasificación de los suelos según U.S.C.S

En el método del sistema unificado de clasificación de suelos (USCS), requiere obtener la información pertinente sobre las características del suelo a estudiar para obtener esta información se realizan con ensayos de laboratorios normalizados por la ASTM, las pruebas necesarias para poder clasificar el suelos son el contenido de humedad, análisis granulométrico, y los límites líquido, plástico e índice de plasticidad. Los cuales permiten lograr una distribución de las partículas del suelo y los contenidos de humedad entre diferentes estados de consistencia. Al efectuar los ensayos indicados anteriormente, fue de gran importancia que las muestras obtenidas en campo fueran representativas para poder realizar la clasificación del suelo. Ya que es de suma importancia la creación de un modelo geotécnico y diseño de cimentaciones de un terreno específico ya que se requiere conocer el tipo de suelo a la hora de realizar las futuras obras de índole civil de tal forma que estos posean las propiedades necesarias para el soporte de la estructuras.

Análisis de Resultados

Clasificación de suelos por la U.S.C.S

Se realizó la clasificación bajo las especificaciones establecidas por el sistema unificado de suelos (U.S.C.S), apoyados en los ensayos de granulometría y límites Atterberg. La tabla 9, muestra las estadísticas de los resultados de la clasificación de los suelos dentro del sector urbano del municipio de Pamplona.

Tabla N° 4 Clasificación De Suelos Por Estratos

CLASIFICACIÓN (U.S.C.S)	DEFINICION	ESTRATOS	(%)
SC	arenas arcillosas	26	20,97
SM	arenas limosas	23	18,55
SP	arenas mal gradadas	18	14,52
CL	arcillas de baja plasticidad	10	8,06
ML	limos de baja plasticidad	10	8,06
SP-SM	arenas mal gradada limosa	10	8,06
SP-SC	arenas mal gradada arcillosa	10	8,06
SM-SC	arenas limo arcillosa	6	4,84
GW	gravas bien graduada	3	2,42
GC	gravas arcillosa	2	1,61
SW-SC	arenas bien gradada arcillosa	2	1,61
SC-SM	arenas arcillosa limosa	2	1,61
GP-GM	grava mal graduada con limo y arena	1	0,81
ML-CL	limo arcilloso inorgánico de baja plasticidad	1	0,81

Fuente:(Autor)

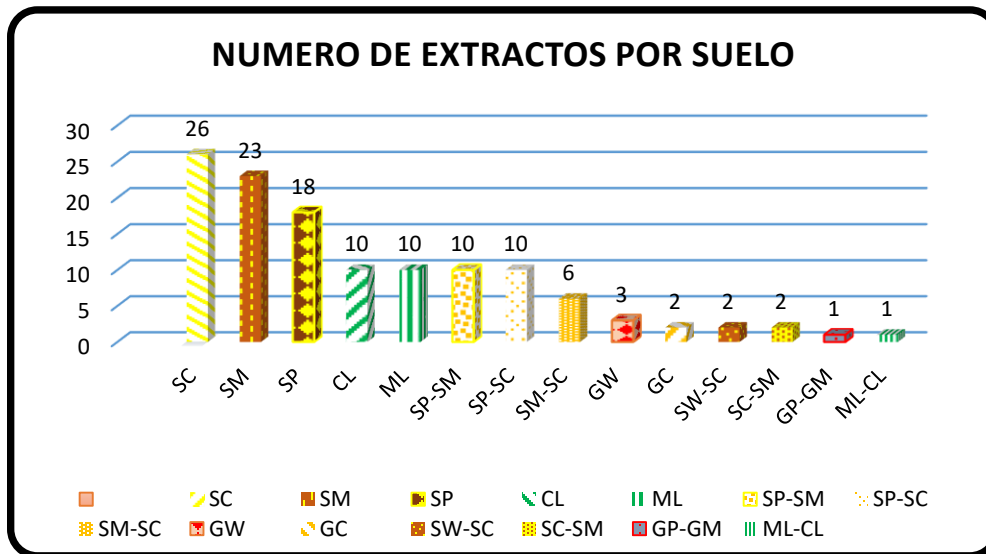


Grafico 1 Número De Estratos Por Tipo De Suelo

Fuente:(autor)

La tabla nos da a conocer los suelos predominantes del caso urbano del municipio de Pamplona en donde podemos ver que las arenas arcillosas (SC) ocupan el mayor porcentaje seguido de las arenas limosas (SM), arenas mal gradadas (SP) con lo cual nos muestra que las arenas son las dominantes y representan un porcentaje del 59,67 % las arcillas de baja plasticidad (CL), limos de baja plasticidad (ML), arenas mal gradadas limosas (SP-SM), arenas

mal gradada arcillosa (SP-SC).y las arenas mal gradadas con presencia de limos y arcillas representan el 31,25 % con lo que las gravas con presencia de arenas y limos son del 9,08% con lo que se puede decir que los suelo más representativos en el casco urbano del municipio de pamplona son las arenas con contenidos de limos y arcillas.

Límites de Atterberg

los límites de Atterberg no solo indican el tipo de fino contenido en una muestra de suelo cualquiera, sino también la clasifican según su grado de plasticidad en no plástico, ligeramente plástico, baja plasticidad, mediana plasticidad, alta plasticidad y muy alta plasticidad (crespo v. 2008), tabla 11, de acuerdo a los siguientes rangos:

Tabla N° 5 grado de plasticidad del suelo

Índice De Plasticidad	Descripción	N	%
0	no plástico	19	15,32
1-5	ligeramente plástico	31	25,00
5-10	baja plasticidad	39	31,45
10-20	mediana plasticidad	29	23,39
20-40	alta plasticidad	6	4,84
> 40	muy alta plasticidad	0	0,00

Fuente: Autor

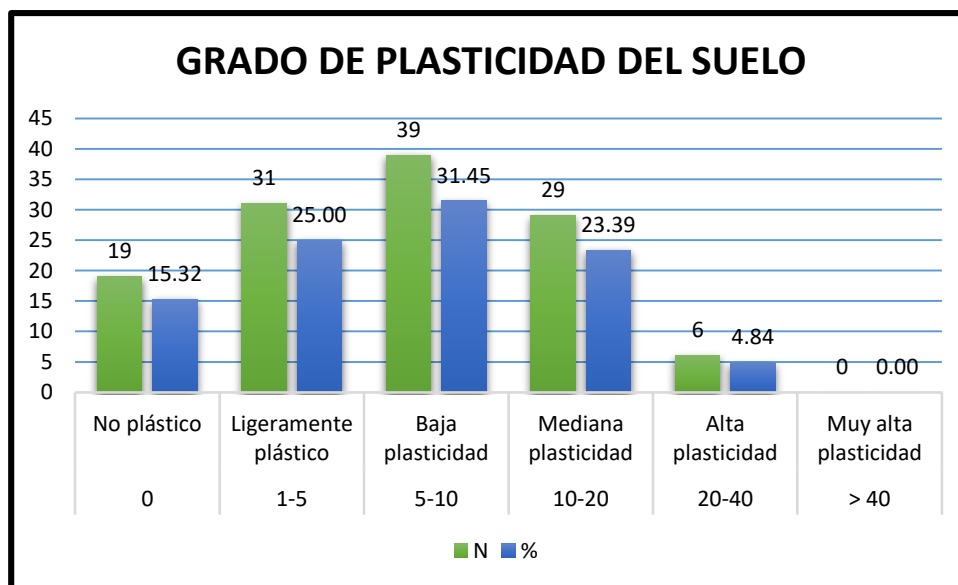


Gráfico 2 Grado De Plasticidad Del Suelo

Fuente: Autor

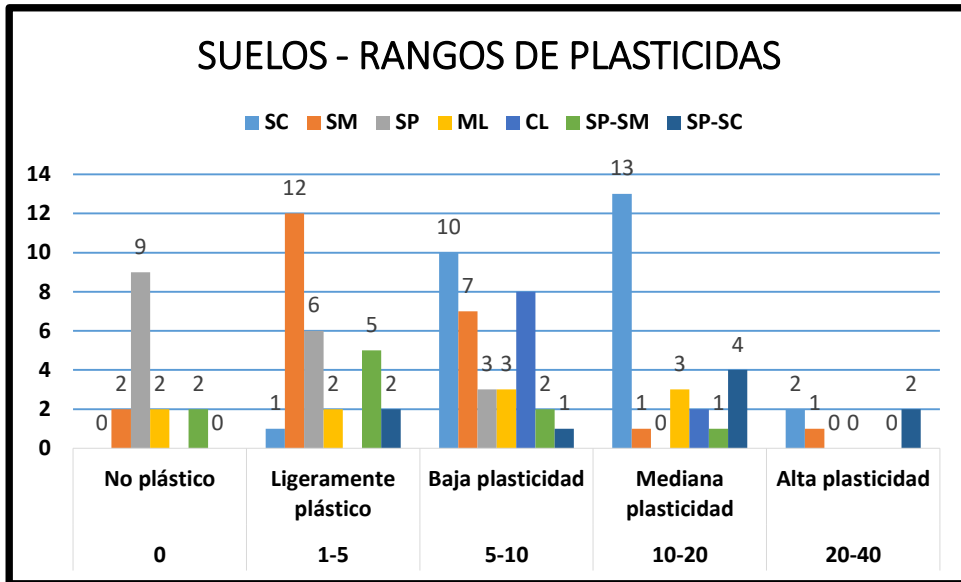


Grafico 3 suelos - rangos de plasticidad

Fuente:(autor)

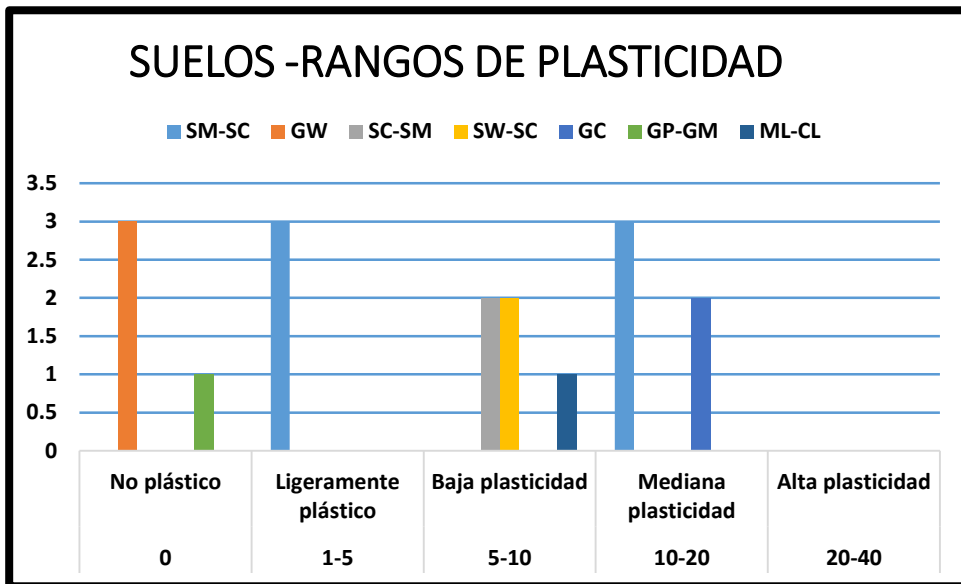


Grafico 4 suelos - rangos de plasticidad

Fuente:(autor)

No plástico:

A este rango pertenecen los suelos de los barrios cristo rey, villa cristina, simón bolívar, Zulia, santa marta, cote Lamus, san Agustín, 4 de julio y las colinas.

Ligeramente plástico:

Dentro de este rango se ubican los suelos de los barrios el progreso, jurado, santa marta, Brighton, nuevo amanecer, el buque, el olivo, el arenal, santísima trinidad, san francisco, el centro y chapinero.

Baja plasticidad:

En este rango se encuentran los suelos del barrio jurado, santa marta, san Luis, juan xxiii, el camellón, la esperanza, las américas, los nazarenos, san pedro y los Alpes. Estos suelos son muy susceptibles a los cambios de humedad, lo cual influye en gran parte a la disminución de la resistencia al corte.

Mediana plasticidad:

A este rango pertenecen los suelos de los barrios romero, san Ignacio, lomas de la cruz, centro y humilladero.

Alta plasticidad:

En este rango se encuentran los suelos del barrio afanador, molinos del Zulia y barrios unidos. Los suelos en este rango son muy expansivos y con muy poca resistencia a causa de lo cual es importante tener muy en cuenta el proceso de compactación para optimizar los diseños y frenar en cierto modo los asentamientos del terreno. Esta descripción indica que mientras más plástico sea un suelo, menos resistencia tiene éste y debe ser sometido a tratamiento para mejorar sus condiciones.

Corte directo

El ensayo de corte directo indica que los suelos analizados, para esta finalidad, son suelos con características arenosas como lo indica la clasificación, los cuales en términos ingenieriles pueden ser utilizados para fundación, terraplenes, y para edificaciones de vivienda residencial y de tipo comercial.

El ángulo de fricción es uno de los parámetros determinantes del suelo en conjunto con la cohesión. La tabla 6, indica los rangos de dichos parámetros de obtenidos en el ensayo de corte directo y se expresan la siguiente manera:

Tabla N° 6 Rangos De Ángulo De Fricción Y Cohesión

Clasificación (U.S.C.S)	Angulo De Fricción	Cohesión (Kn/M ²)
SM	19,5 -31,5	14,2 -32,9
CL	17,89 - 22,6	18,45 - 22,76
ML	26,1 -29,8	21,63 -27,64
SC	16,2 - 30	19,71 -35
SP	20,8 -27,92	30,9 - 39,4
SP -SM	14,8 -22,1	14,8 - 17,43
SP -SC	17,8 - 23,2	14,55 - 17,34
SM-SC	28,3 - 31,1	19,46 -33
SW-SC	29,8	19,33

Fuente: Autor

Capacidad portante de los suelos

En la siguiente tabla se muestra la capacidad portante del suelo a profundidades de 1.5 metros, 2 metros, 2.5 metros y 3 metros calculada con los parámetros arrojados por el ensayo de corte directo por los métodos de Terzaghi, Meyerhof, Vesic en los anexos se muestran los cálculos.

Tabla N° 7 Capacidad Portante Admisible

U.S.C.S	Capacidad Admisible (1.5m) Kn/M ²	Capacidad Admisible (2m) Kn/M ²	Capacidad Admisible (2.5m) Kn/M ²	Capacidad Admisible (3m) Kn/M ²
CL	346,24	406,12	467,99	531,86
SC	370,38	431,83	495,24	560,60
SC	426,53	498,09	572,01	648,28
SP-SM	251,41	295,72	341,37	388,35
SP-SM	254,82	298,30	343,07	389,12
SC	344,73	400,28	457,58	516,64
ML	951,34	1117,02	1289,21	1467,89
CL	346,24	406,12	467,99	531,86
SC	204,37	233,03	262,45	292,62
ML	864,06	1009,52	1160,56	1317,16
SP	512,09	584,34	658,87	735,69
SP-SC	325,27	387,90	452,63	519,46
SP-SM	195,54	233,41	272,37	312,41
SP	877,60	998,16	1122,79	1251,48
SM	931,95	1061,66	1195,96	1334,84
SM	873,00	996,55	1124,49	1256,81
SP	787,47	898,20	1012,68	1130,90
SM	1135,51	1300,07	1470,69	1647,38

SP-SM	345,06	411,37	479,95	550,80
SP-SC	260,37	309,29	359,74	411,72
SM	717,00	818,65	923,79	1032,41
SP	637,93	729,67	824,45	922,27
SM-SC	919,87	1099,31	1286,28	1480,77
SC	341,84	399,16	458,33	519,33
ML	637,44	737,36	840,87	947,96
SM	327,77	367,67	408,60	450,56
SP	739,90	843,82	951,21	1062,07
ML	551,34	636,19	724,01	814,79
ML	848,50	985,07	1126,82	1273,75
SW-SC	786,84	938,67	1096,70	1260,92
SM-SC	642,16	763,01	888,61	1018,96
SW-SC	772,97	922,87	1078,91	1241,07
SC	809,11	960,05	1117,09	1280,20
ML	565,14	654,47	746,96	842,60
ML	853,76	992,01	1135,53	1284,31
CL	276,18	322,30	369,86	418,87
ML	627,72	724,50	824,72	928,40
SC	206,51	240,20	274,80	310,29
SM	373,47	424,26	476,47	530,10
ML	669,31	771,58	877,50	987,07
ML	522,03	611,76	704,76	801,02
SP	349,52	403,24	458,60	515,59
SP-SC	348,34	413,87	481,70	551,83
SP-SC	212,23	253,86	296,74	340,87
SM	879,87	1014,31	1153,64	1297,85
SP	758,16	868,01	981,59	1098,89
SM-SC	889,03	1058,62	1235,27	1418,96
SC	672,21	775,82	883,01	993,75
ML-CL	373,72	424,17	476,03	529,30
SC	486,80	551,17	617,48	685,72
SC	395,86	448,61	502,90	558,73
GC	284,85	332,25	381,09	431,36
SC	439,58	501,79	565,89	631,87
SC	1112,67	1289,55	1473,11	1663,37
SM-SC	1075,49	1240,44	1411,53	1588,74
SC-SM	590,53	673,38	758,90	847,11
SC	362,72	426,63	492,68	560,87
SC	405,53	462,36	520,89	581,10
SC	409,72	462,99	517,81	574,20
SM	173,10	217,76	264,01	311,85
SC-SM	417,40	473,62	531,49	590,99

GC	318,63	375,18	433,53	493,69
SC	395,26	447,47	501,19	556,43
CL	273,05	315,81	359,80	405,02
SC	392,79	443,78	496,24	550,18
CL	362,04	426,11	492,35	560,76
CL	323,66	375,52	429,01	484,11
SC	354,34	399,25	445,39	492,79
CL	239,90	279,45	320,13	361,94
SM	666,61	799,75	938,50	1082,86
GW	1049,93	1381,49	1730,05	2095,61
GW	879,86	1158,72	1451,67	1758,69
GW	615,83	812,40	1018,58	1234,38
SM	746,81	857,89	972,91	1091,86
SP	864,76	981,17	1101,46	1225,63
SM	373,66	420,79	469,21	518,91
SM	881,41	1007,67	1138,43	1273,70
SP	782,07	891,05	1003,70	1120,01
SP-SM	219,98	259,70	300,58	342,63
SM-SC	837,15	978,63	1125,60	1278,07
SM	891,60	1008,38	1129,14	1253,87
SM	895,73	1026,58	1162,15	1302,45
SP-SM	200,58	233,82	268,02	303,16
SM-SC	837,15	978,63	1125,60	1278,07
CL	247,01	285,42	324,95	365,62
CL	255,32	294,49	334,79	376,22
CL	287,96	333,48	380,36	428,59
SC	473,36	535,59	599,68	665,65
SC	433,57	494,50	557,28	621,91
SC	403,92	459,22	516,16	574,74
SC	442,27	497,62	554,54	613,06
SP-SC	304,94	360,86	418,63	478,25
SP	630,77	710,79	793,32	878,37
SP	550,75	621,00	693,40	767,95
SP	614,67	704,44	797,23	893,05

Fuente:(autor)

Los cálculos de capacidad portante se analizan para los casos que más se acerquen a la realidad. Para su estimación se debe tener en cuenta además de las cargas, la forma y las dimensiones de los elementos, las propiedades del terreno.

Teniendo en cuenta los datos obtenidos de capacidad portante en los tres métodos se puede afirmar que son aceptables, y comparando los resultados, se opta por escoger el método de Meyerhof para el análisis posterior debido a que el método de Terzaghi es muy conservador y se priva de la utilización de los factores de profundidad, forma e inclinación, haciendo que la qadm sea más baja y por ende al momento de diseñar

se necesitan estructuras más robustas, lo cual aumenta el costo de la obra. El método por efecto de la compresibilidad arroja valores altos en comparación a los antes mencionados y se debe tener sumo cuidado debido a que los términos de módulo de elasticidad y relación de poisson son asumidos de acuerdo a la tabla de parámetros de elasticidad para diferentes suelos expuestos en Braja Das pág. 223.

Abordando el análisis mediante lo expuesto por el método de Meyerhof y a los datos obtenidos de capacidad admisible de carga se establecieron categorías donde se indica la firmeza del suelo y las cargas que puede soportar, los cuales se basan en los resultados de los cálculos de capacidad admisible realizados.

Suelos blandos:

Los suelos a los cuales se les realizó el análisis de capacidad admisible, presentan horizontes de material arenoso con fracción arcillosa y limosa, fueron clasificados como arenas mal graduadas con arcillas (SP-SC) y arenas limosas (SM), pueden soportar construcciones de viviendas cuya altura máxima debe ser de un nivel, debido a que el contenido de finos que éstos poseen le imprimen unas características de alta plasticidad; y al aumentar las cargas pueden llegar a presentar grandes asentamientos.

Debido a que estos suelos presentan una capacidad de soporte muy baja, es recomendable que las viviendas con cimentación superficial que se proyecten en estos, presenten cargas admisibles máximas aproximadas de 50 ton/m^2 , en caso de ser mayores es conveniente realizar cimentaciones profundas.

Suelos firmes:

Son suelos que presentan características de resistencia buenas, según los ensayos realizados, fueron clasificados como arenas mal graduadas con fracciones relativamente bajas de limo. Los proyectos de vivienda para suelos con esta descripción no deben superar los tres niveles de altura máxima, ya que el exceso de carga puede ocasionar agrietamiento y hundimiento de la cimentación.

Aunque el suelo sea firme es posible que se puedan presentar problemas de asentamiento para las viviendas de tres niveles, motivo por el cual se deben realizar los estudios de suelos pertinentes y los diseños adecuados para evitar fallas estructurales.

Suelos muy firmes:

Son suelos que presentan muy buena resistencia y corresponden a arenas con fracciones limosas muy bajas, cuyo porcentaje de arena con respecto a los finos es

relativamente alto, imprimiéndole a éstas mucha firmeza. Se pueden construir viviendas de hasta tres niveles o viviendas multifamiliares, urbanizaciones, así como obras de tipo comercial; aunque se pueden construir, a partir de cuatro niveles es recomendable realizar todos los estudios de suelos y estructurales para garantizar la vida útil del proyecto, sustentar las estructuras y evitar eventualmente asentamientos de la cimentación e indeseables efectos de carácter estructural.

Modelo Geoestadístico kriging

El desarrollo de los sistemas de información geográfica (SIG) y de la Geoestadística, han sido un nuevo método de análisis y distribución en datos de variables espaciales, para dar utilidad e interpretación de la información recopilada durante años en el casco urbano del municipio de Pamplona.

Con esta técnica Geoestadística ha sido posible construir un mapa de zonificación geotécnica del suelo en el municipio de Pamplona donde se tuvieron en cuenta las variables de capacidad portante a diferentes profundidades, ángulos de fricción, cohesión índice de plasticidad, contenido de humedad, porcentaje de gravas, limos y arcillas

El kriging y sus variantes constituyen un método ideal para representar con mayor confiabilidad estadística que otras técnicas, a continuación se describe en detalle la metodología utilizada:

En primer lugar se obtuvo el histograma por cada propiedad del suelo se analizó la distribución de los datos mediante un histograma para determinar el método kriging de óptimo ajuste. En el caso de las capacidades portantes, se recurrió a un ajuste transformación logarítmica en las cuales se pudo observar que presentaban una buena distribución en los datos bajo el método logarítmico evidenciado con medias similares.

Para dar inicio al Geostatistical Analyst se realizó un trend Analysis

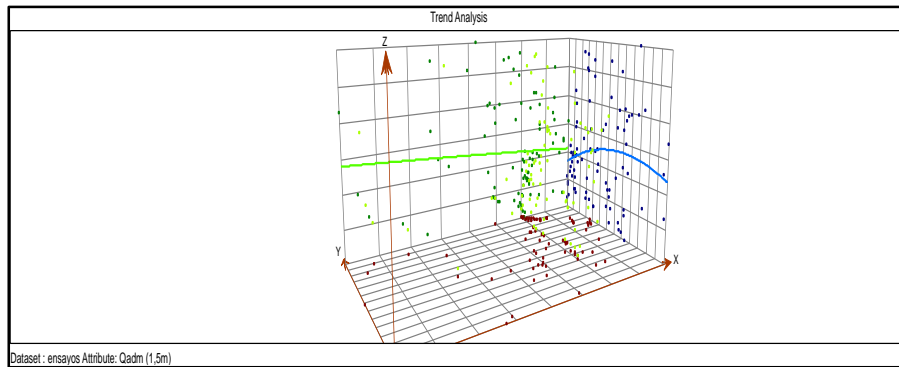


Ilustración 2 Trend Analysis para capacidad portante

Fuente (Autor)

Seguidamente se hace el análisis por medio de la herramienta Tren Analysis (análisis de tendencia) con lo que se pudo observar que para toda la variable se procedería a eliminar la tendencia de segundo orden para de esta manera disminuir el error.

Se procede a realizar el análisis del semivariograma en donde se puede evidenciar la dispersión de datos sobre la función logarítmica y se determina eliminar los puntos lejanos de la función para así poder tener una mayor precisión a la hora de generar el mapa de predicción y tener un error admisible a continuación se muestra el semivariograma de la capacidad portante para una profundidad de 1.5 m.

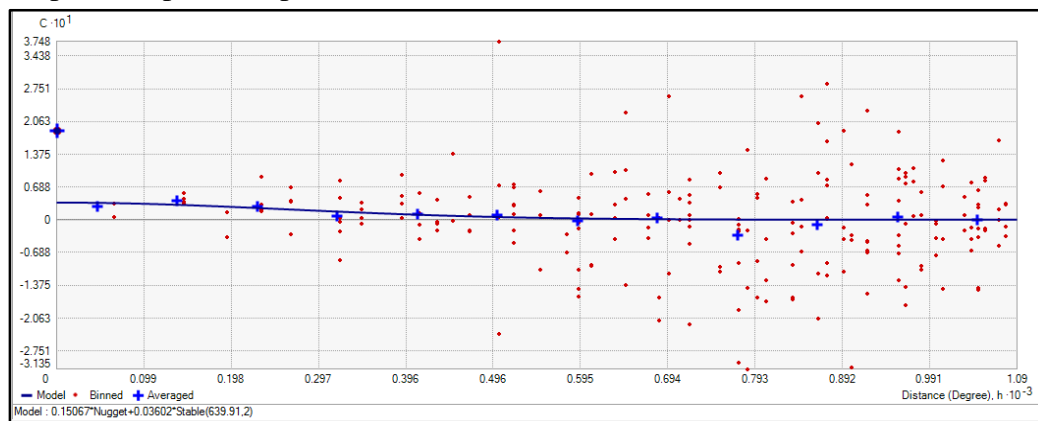


Ilustración 3 Semivariograma para capacidad portante a 1.5 m

Fuente: Autor

Seguidamente se procede a hacer un barrido de búsqueda para las zonas donde no se cuenta con los parámetros analizados, para este barrido se escoge un máximo de vecinos de 10 y un mínimo de 5, teniendo en cuenta sectores partidos en 4 y con un Angulo de 45 grados como se evidencia en la siguiente ilustración.

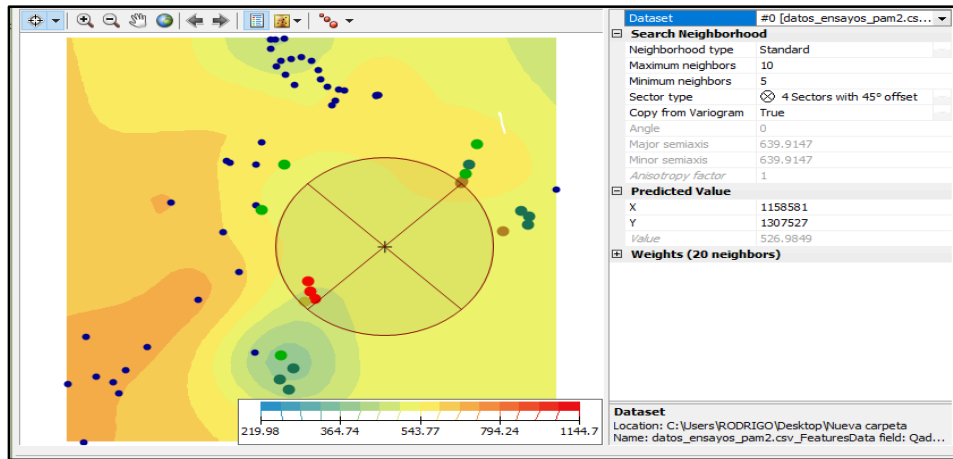


Ilustración 4 Barrido de búsqueda

Fuente: Autor

Para concluir con el análisis, se genera los mapas de predicción por el método geoestadístico de kriging para cada una de las variables analizadas

Los mapas y demás datos que se necesitaron para el análisis geoestadístico de kriging se entregaran en documentos adjuntos con sus respectivos nombres y memorias de Excel para un fácil acceso al presente documento.

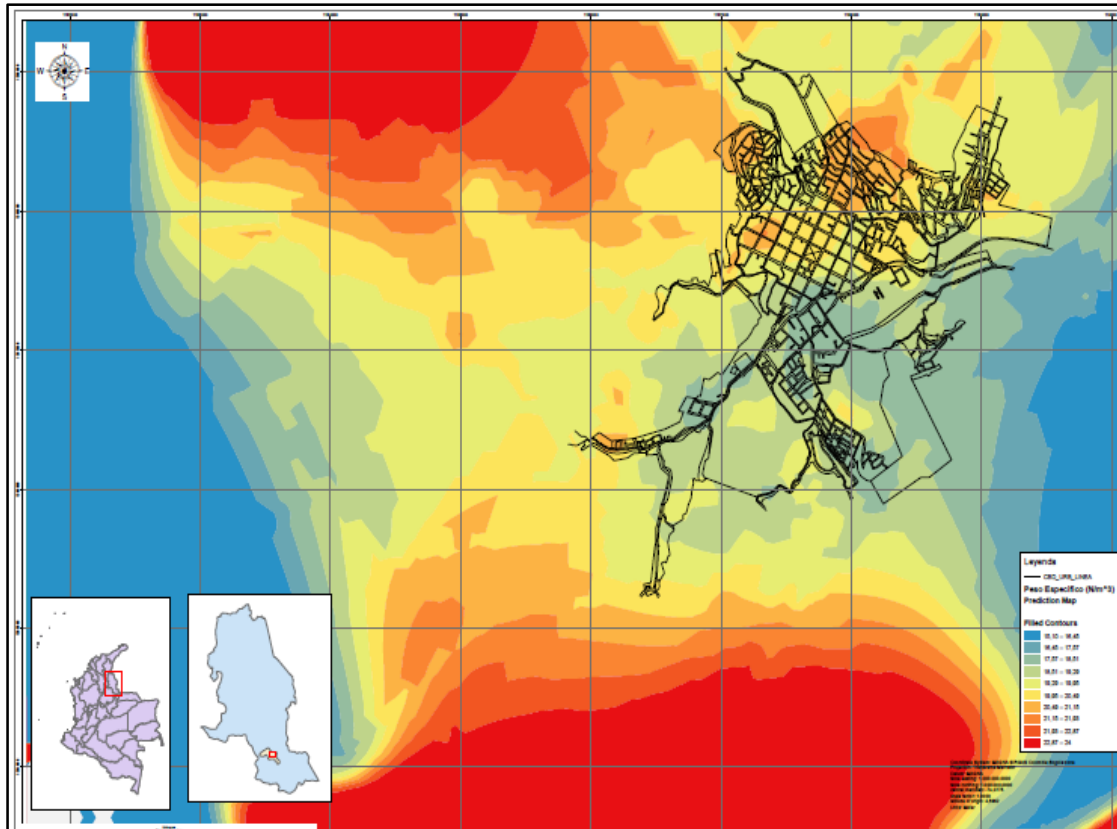


Ilustración 5 Mapa de predicción peso específico

Fuente (Autor)

En la Ilustración 5 se observa el mapa de zonificación para el peso específico de los suelos contemplados en el casco urbano del Municipio de Pamplona, donde el color azul identifica a un suelo gravo arcilloso con un peso específico entre un rango de 16,45 – 17,47 (Kn/m^3), localizado en los barrios (los Alpes, salesiano, 4 de Julio, Afanador y Cadena), igualmente se visualiza que el color amarillo que está localizado en los barrios (el Centro ,Humilladero y Galán) presentan pesos específicos que varían en un rango de 19,45-20,49 (Kn/m^3) siendo una arena mal graduada .También se aprecia que el rango más alto dentro del casco urbano se representa con el color naranja el cual está en un rango de 20,49 – 21,15 (Kn/m^3) y nos representa una arena limosa localizada en la zona alta de Juan XXIII y Santa Martha.

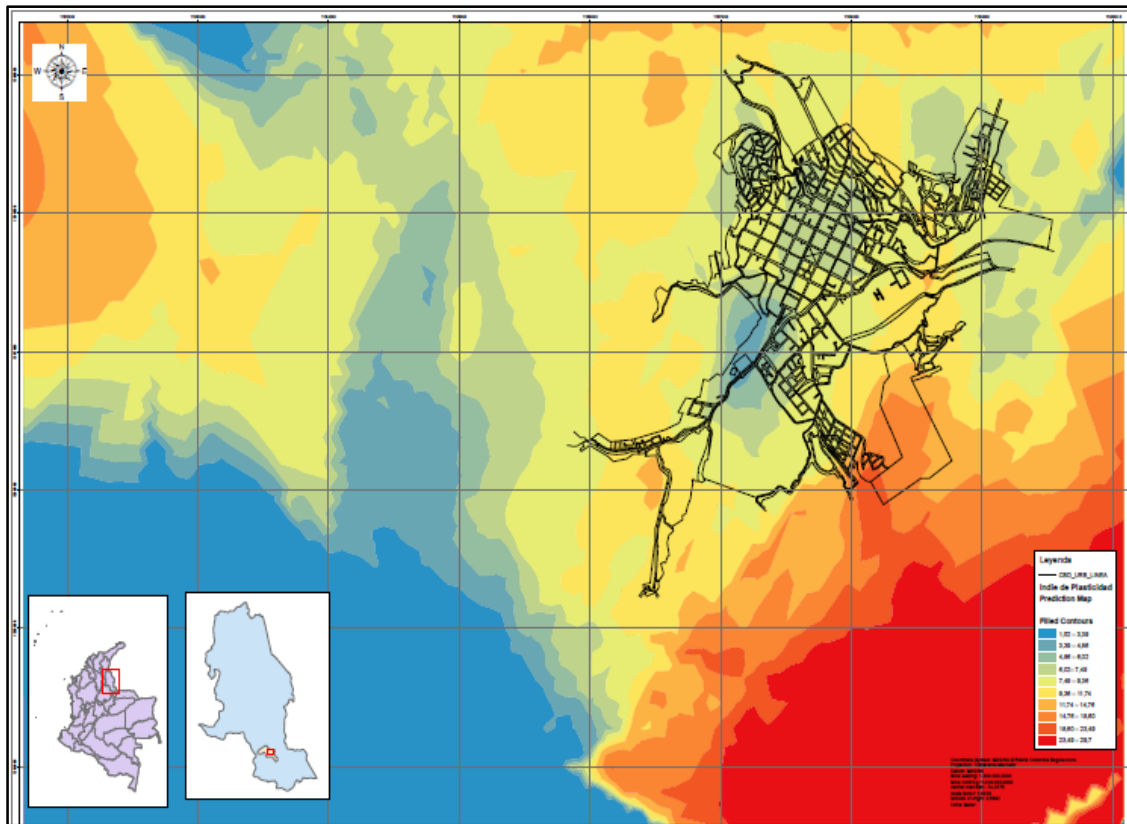


Ilustración 6 Mapa de predicción índice de plasticidad
Fuente (Autor)

En la Ilustración 6 se observa el mapa de zonificación para Índice de plasticidad de los suelos contemplados en el casco urbano del Municipio de Pamplona, donde el color turquesa identifica a un peso específico entre un rango de 6,02 – 7,49, localizado en los barrios (el Centro, El Nuevo Amanecer, Santa Martha. Y Simón Bolívar), igualmente se visualiza que el color amarillo claro que está localizado en los barrios (San Francisco, Brighton, Humilladero y 4 de julio) presentan índices de plasticidad que varían en un rango de 7,49-9,36. También se aprecia que el rango más alto dentro del casco urbano se representa con el color amarillo el cual está en un rango de 9,36 -14,76 localizado en la zonas de San Pedro, Cote Lamus, Afanador y Cadena.

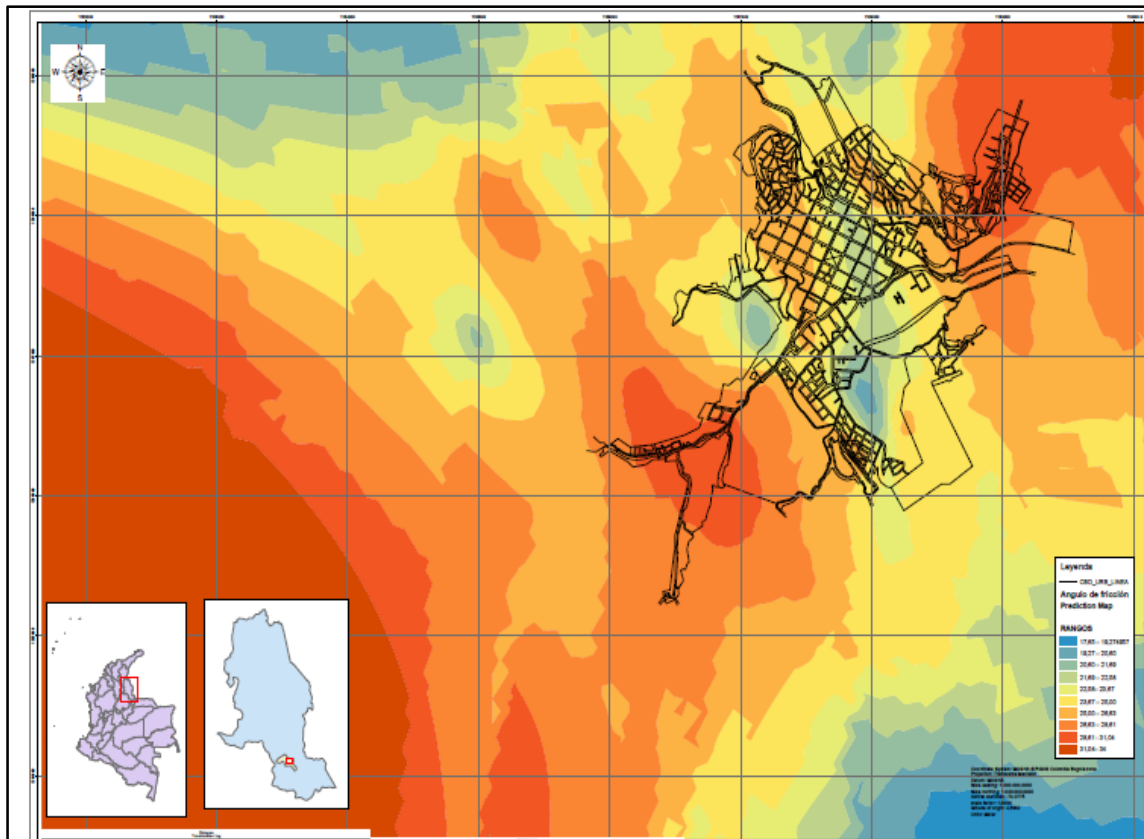


Ilustración 7 Mapa de predicción Angulo de fricción

Fuente (Autor)

En la Ilustración 7 se observa el mapa de zonificación para el Angulo de fricción de los suelos contemplados en el casco urbano del Municipio de Pamplona, donde el color turquesa identifica los Ángulos de fricción entre un rango de 21,69 – 22,58, localizado en los barrios (tomando una gran parte del barrio el centro, Chapinero y Salesiano.), igualmente se visualiza que el color amarillo que está localizado en los barrios (El Buque , San Luis , Juan XXIII , Humilladero) presentan Ángulos de Fricción que varían en un rango de 23,67– 25,00. También se aprecia que el rango más alto dentro del casco urbano se representa con el color naranja claro el cual está en un rango de 26,63–28,61 localizado en la zonas de San francisco, Brighton, El Carmen , Cristo Rey y Barrios Unidos.

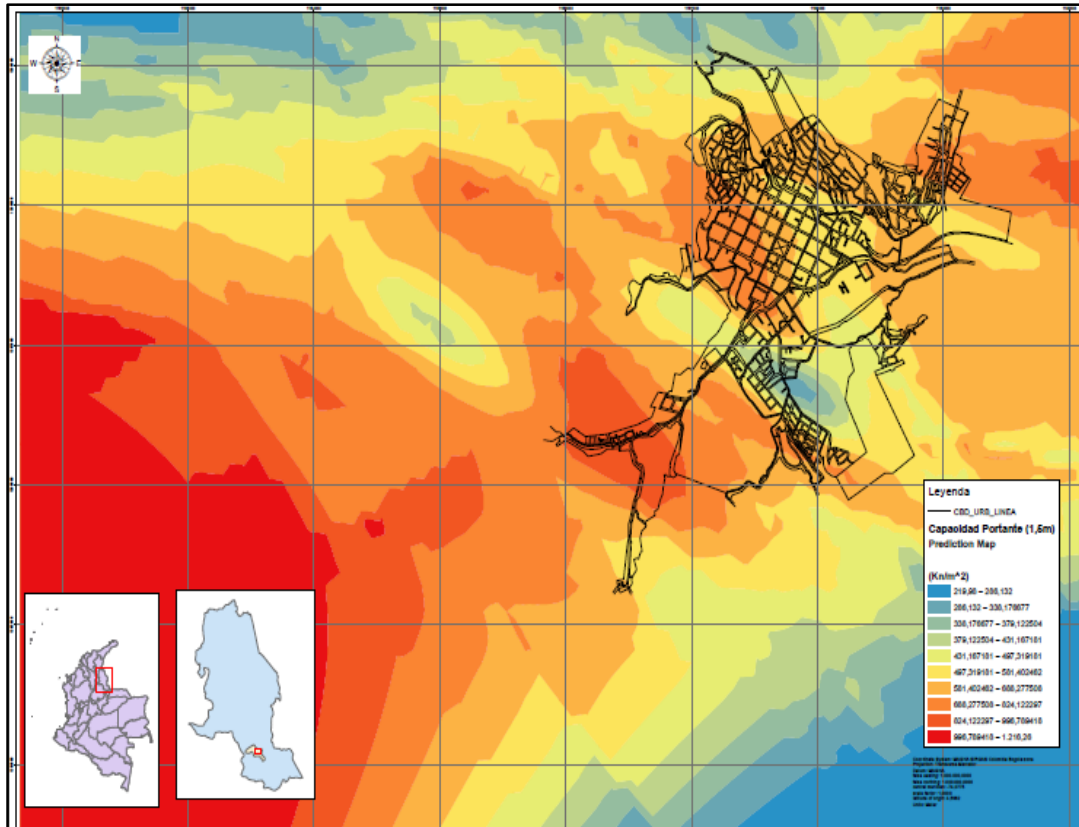


Ilustración 8 Mapa de predicción capacidad portante 1.5 m
Fuente (Autor)

En la Ilustración 8 se observa el mapa de zonificación para la capacidad portante a un nivel de desplante de 1.5 metros de los suelos contemplados en el casco urbano del Municipio de Pamplona, donde el color amarillo identifica la capacidad entre un rango de 497,31 – 581,40 (Kn/m²) prediciendo la carga máxima admisible que puede soportar esta zonas en una relación suelo- estructura y el color naranja presenta el rango más alto estando dentro de 581,40 – 688,27 (Kn/m²).

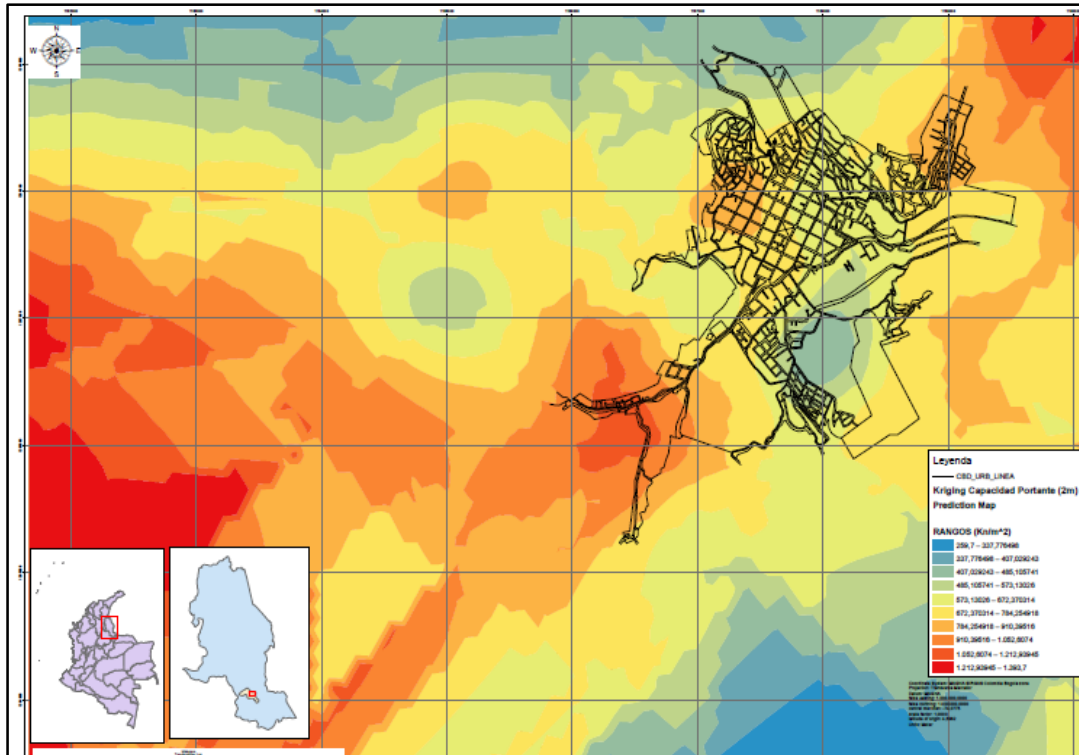


Ilustración 9 Mapa de predicción capacidad portante 2 m
Fuente (Autor)

En la Ilustración 9 Mapa de predicción capacidad portante 2 m se observa el mapa de zonificación para la capacidad portante a un nivel de desplante de 2 metros de los suelos contemplados en el casco urbano del Municipio de Pamplona, donde el color azul claro identifica la capacidad entre un rango de 259,7 – 337,77 (Knm²) prediciendo la carga máxima admisible que puede soportar esta zonas en una relación suelo- estructura y el color verde claro presenta el rango más alto estando dentro de 573,13 – 672,37 (Knm²).

Conclusiones

Se recolecto la información geotécnica consulta de estudios (tesis, consultorías, interventorías, etc.), de donde se determinaron las características de los suelos existentes en la zona de estudio. La información del suelo se procesó obteniéndose una base de datos de 105 apiques para un área de investigación que comprende 59.214 Km² correspondientes al sector urbano del municipio de Pamplona, con propiedades de capacidad portante, cohesión, Angulo de fricción, % de arenas, % gravas, % finos, índice de plasticidad, finos, se completaron las bases de datos mediante el método de promedio vecinos para el llenado de datos faltantes, y de esta manera se integraron los datos al sistema de información geográfico (ArcGIS).

El modelo geoestadístico del kriging ordinario exige una nube de datos bastante densa y con un muestreo en campo de grillas regulares. Se pudo observar que la zona de estudio no cuenta con una red de muestreo y una densidad alta, para algunas zonas del casco urbano del municipio. Debido a la precaria densidad de datos en algunos barrios tales como San Pedro, Santa Martha, San Ignacio, se presenta resultados que pueden ser anómalos o de poca confiabilidad.

Utilizando el software ArcGIS se evaluó la información geotécnica representada en los diferentes mapas de zonificación de las condiciones del suelo por el modelo geoestadístico kriging y con un ajuste logarítmico se evidencio el mejor resultado de hasta un 5% de margen de error, en zonas lógicamente que por tener mayor distancia en los puntos muestreados se presentó mayor incertidumbre en la predicción.

La técnica Geoestadística utilizada en comparación con las tradicionales presentan mayores confiabilidades, ya que considera la correlación espacial para predecir una variable a los puntos que se consideran cercanos para la estimación, ya que en los resultados de la estimación de capacidad portante a 1,5 m se pudo evidenciar que en las áreas de Norte – Este de casco urbano del municipio presentaron rangos de 581,42 – 688,21 Kn/m² lo que significa que son buenos y para el área de Oeste – Sur correspondía a 996,78 – 1216 Kn/m² las cual no se puede considerar una buena predicción debido al poco muestreo en esta zona.

La clasificación de los suelos de acuerdo a las U.S.C.S, indica que los suelos encontrados en la zona urbana del municipio predominan las arenas arcillosas (SC) ocupan el mayor porcentaje seguido de las arenas limosas (SM), arenas mal gradadas (SP) con lo cual nos muestra que las arenas son las dominantes y representan un porcentaje del 59,67 % las arcillas de baja plasticidad (CL), limos de baja plasticidad (MI), arenas mal gradadas limosas (SP-SM), arenas mal gradada arcillosa (SP-SC), y las arenas mal gradadas con presencia de limos y arcillas representan el 31,25 % con lo que las gravas con presencia de arenas y limos

son del 9,08% con lo que se puede decir que los suelo más representativos en el casco urbano del municipio de Pamplona son las arenas con contenidos de limos y arcillas

Recomendaciones

Para mejorar la zonificación y poder delimitar cada zona de manera más precisa, se recomienda densificar el muestreo.

Es importante aclarar que tanto la información de los apiques, como los resultados de los ensayos realizados y presentados en este documento, no reemplazan los estudios de investigación para una obra directa, debido a la variabilidad de los suelos y a la escala de trabajo.

Se recomienda realizar análisis de correlación de datos geomecánicos con el objetivo de generar una mejor zonificación en función de varias variables

Se recomienda continuar esta investigación incluyendo nuevos datos para así mismo mejorar y calibrar continuamente los resultados

Bibliografía

al, N. e. (1973).

Andres Felipe Castaño;Francisco Vergara Elorza. (2004). *Simulacion Geoestadistica Aplicada al Modelamiento de Yacimiento de Petroleos*. Medellin: Universidad Nacional de Colombia Sede Medellin.

Armstrong , M y Caringnan. (1997). *Géostatistique Linéaire, Application au Domaine Minier*. paris: École de Mines de Paris.

Biggar y nielsen. (1976).

Carlos Portilla, Richard Baque, AlmirÁlvarez, Otto Vera, Carlos Malavé, Brenda Reyes, Kenny Escobar, Romel Erazo. (2017). simulación de facies mediante un modelo geoestadístico integrado para el desarrollo de un campo petrolero ecuatoriano. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, pág. 146-156.

Chilès, J.-P. (1999). *Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty*. New York: Jhon Wiley & Sons Inc.

David, M. (1977). *Geostatitital Ore Reserve Estimation*, Elsevier. Amsterdam.

Díaz- Francés, E. (1993). *Introducción a Conceptos Básicos de Geoestadística*. Guanajuato, México: CIMAT.

esri. (s.f.). *ArcGIS Resources*. Obtenido de <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>

Henao, R. G. (s.f.). *Introduccion a la Geoestadistica*. Bogota: Departamento de Estadistica Universidad Nacional de Colombia .

Jaramillo., D. (2012). Variabilidad espacial del suelo . *Revista de la facultad de ciencias.Unversidad Nacional de Colombia Sede Medellin*, 73-87.

Journel, A. G. (1978). *Mining Geostatistics*. New York: Academic Press.

Juan Camilo Jimenez Martinez,Breiner Andres Amesquita Gonzales . (2017). *Evaluacion de Estabilidad de un Talud en la Zona Norte de Pamplona Entre Los Barrios De Juan XXIII Y San Luis,Aplicando Metodos Deterministicos Para Diagnosticar Posibles Fenomenos De Remosión En Masa*. PAMPLONA.

Konoplev, A. V. (1990). *Migration of certain radioactive products in the soil and surface run off in the Chernobyl NPP zone*. Meteorol. Hidrol. Vol. 6 .

- Krige, D. G. (1951). *A Statistical Approach to Some Basic Mine Valuation*. South Africa: Journal of the Chemical, Metallurgical and.
- Loc'h, G. L. (2005). *Multivariate Geostatistics*. paris: Centre de Géostatistique – Centre de.
- Marta Patricia Ramos Gómez ,Neila Milena Martinez Ruiz. (2014). • *Caracterización, análisis geomecánico y propuesta de zonificación de los suelos en el sector urbano del municipio de pamplona, norte de Santander*. Pamplona,Colombia.
- Marta Patricia Ramos Gómez,Neila Milena Martinez Ruiz. (2014). *Caracterización, Análisis Geomecánico Y Propuesta De Zonificación De Los Suelos*.
- Martínez-Vargas, Adrián; Ramírez-García, Jairo. (Octubre-Diciembre, 2005). Desarrollo Actual De La Geoestadística En El Mundo. *Minería y Geología*, 3.
- Myers, D. (1991). *Interpolation and Estimation with Spatially*. Elsevier Science Publishers B.V.
- Nielsen. (1973).
- nielsen, n. e. (1973 ;1976).
- Olea, R. (1988). *Geostatistical Semantics, Geostatistics, Vol.2, No. 2,*
- Olea, R. A. (1999). *Geostatistics for engineers and earth scientists*. boston: Kluwer Academic Publishers.
- Olmo, M. C. (1987). *Análisis geoestadístico en el estudio de la explotación de los recursos minerales*. Granada: Univ. Granada.
- Oscar Mejia Rivera;Teresita Betancur Vargas;Libardo Londoño Ciro. (2007). Aplicacion de tecnicas geoestadisticas en la hidrologia del bajo antioqueño . *Red de revistas científicas de america latina y el caribe , españa y portugal* .
- p, J. O. (2012). *Diseño de obras de estabilizacion urbana valle de espiritu santo*. pamplona.
- Raagowski. (1972).
- Rodriguez-Aragon, L. J. (2011). *Metodos Cuantitativos Org*.
- Sampieri, R. H., Baptista, C. F., & Pilar, M. d. (2014). ¿Qué características posee el enfoque cuantitativo de investigación? En R. H. Sampieri, & R. H. Lucio, *Metodologia de la Investigacion 6° Edicion* (pág. 6). México D.F.: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. d. (2014). En R. H. Sampieri, C. F. Collado, & M. d. Lucio. México D.F: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Torres, J. O. (2012). *diseño de obras de estabilizacion urbana valle de espiritu santo*. pamplona.

Viera, M. D. (2002). *Geoestadística Aplicada*. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México.