

ESTUDIO GEOTÉCNICO EN LA ZONA DE BOYÁ, MONTE PLATA

Adalberto Espino Moya
Franklin Sánchez Mota
Víctor Manuel Frías Pérez

Asesor: Ing. Lenin Alberto Montás

Resumen

Esta investigación se desarrolló en el Distrito Municipal de Boyá, provincia Monte Plata donde el objetivo principal del estudio fue realizar un estudio geotécnico en la zona de Maná, con el fin de determinar los parámetros mínimos del terreno para ser considerado en el diseño de cimentaciones, así también los perfiles estratigráficos, tipo de suelo y roca y sus condiciones físicas, los parámetros geotécnicos del terreno y la profundidad de cimentación y asentamiento.

El problema atender en este municipio es que requiere que se realice estudios geotécnicos para la construcción de cimentaciones que sustenten una estructura. Ahora bien, las comunidades con limitaciones económicas como es el caso de Boyá no disponen de suficientes recursos para contratar servicios de consultoría privada para caracterizar el terreno lo que dificulta el conocimiento de las áreas factibles para la construcción de cualquier tipo de estructura. El desconocimiento de los perfiles estratigráficos de las formaciones geológicas pudiese general problemáticas en los diseños estruc-

turales al ignorar o subestimar las condiciones reales de la litología del suelo o roca.

De acuerdo al alcance esta investigación es un estudio de caso, debido al análisis de características y rasgos importantes específicos de los componentes del estudio en cuestión. La metodología desarrollada se llevó a cabo en varias etapas como: trabajo de gabinete, reconocimiento del área de estudio, realización de trabajo de campo y ensayos de laboratorio.

Palabras Claves: Geotecnia, Geotécnico. Zona de Boyá, Estudio, Monte Plata

Asbtract:

This research was developed in the Municipal District of Boyá, Monte Plata province where the main objective of the study was to conduct a geotechnical study in the Maná area, in order to determine the minimum parameters of the land to be considered in the design of foundations, thus also the stratigraphic profiles, type of soil and rock and their physical conditions, the geotechnical parameters of the terrain and the depth of foundation and settlement.

The problem to be addressed in this municipality is that it requires that geotechnical studies be carried out for the construction of foundations that support a structure. However, communities with economic limitations such as the buoy case do not have sufficient resources to hire private consulting services to characterize the land, which makes it difficult to know the feasible areas for the construction of any type of structure. The ignorance of the stratigraphic profiles of the geological formations could be problematic in the

structural designs when ignoring or underestimating the real conditions of the lithology of the soil or rock.

According to the scope, this research is a case study, due to the analysis of characteristics and important features specific to the components of the study in question. The methodology developed was carried out in several stages such as: cabinet work, recognition of the study area, realization of field work and laboratory tests.

Keywords : Geotechnics, Geotechnical. Buoy Zone, Studio, Monte Plata

Introducción

El término “geotecnia” hace alusión al conjunto de reconocimientos y ensayos o pruebas realizadas al terreno y a la interpretación de los datos obtenidos en los mismos, que permiten caracterizar los diversos suelos presentes en la zona de estudio y sus propiedades, en función de los objetivos y características del proyecto. El estudio geológico-geotécnico debe contener todos los datos relevantes para la correcta ejecución del proyecto y se elabora en base a ensayos de campo y de laboratorio adecuados al tipo de proyecto, incluyendo las recomendaciones propias en función de la naturaleza de las actuaciones (explanadas, estructuras, taludes, etc.). Todo ello hace que sea necesario establecer las directrices para determinar la necesidad y aplicación de los estudios geotécnicos. (farfan figureroa, 2016).

En general se consideran dos tipos de estudios geotécnicos: a nivel preliminar para obtener una aproximación a las características geotécnicas de un terreno, para establecer la factibilidad de construcción de un

proyecto incluyendo amenazas geotécnicas, criterios generales de cimentación y obras de adecuación del terreno. A nivel definitivo con fines de diseño y construcción para un proyecto específico. Por otro lado, el comportamiento de toda obra apoyada sobre el terreno dependerá un gran porcentaje de las condiciones de este y de la forma como hayan sido incorporadas al diseño sus características. (Guardo, 1999).

Desde los inicios de las construcciones civiles, los proyectos de ingeniería civil han necesitado contar con un diseño y construcción lo más exacto posible de la cimentación en donde se desplantan, lo que ha obligado a quienes realizan las construcciones a una búsqueda e investigación más exhaustiva de las características del terreno donde se llevara a cabo algún proyecto de construcción.

El estudio de los suelos es amplio y variado ya que, desde la antigüedad, los pobladores buscaban lugares planos y de orografía estable para ahí desplantar las ciudades y que a su vez no significaran un reto o problema para el transporte y donde se encontraran los recursos para satisfacer las necesidades básicas del hombre.

La mecánica de suelos surge desde principios del siglo XX como una ciencia particular para el estudio y caracterización de los mismos y a lo largo del tiempo ha tenido grandes avances y peculiaridades que distinguen a esta ciencia como una de las más abstractas y peculiares de la física. La mecánica de rocas, que es junto con la mecánica de suelos una disciplina más de la hoy llamada Geotecnia, tiene que ver en muchos de los problemas que se presentan en las obras civiles. Dichos problemas se han resuelto en el pasado aplicando

el sentido común y las consideraciones de una buena ingeniería.

No fue sino hasta 1957 cuando la mecánica de rocas empieza a trascender de forma más clara como disciplina de estudio en conjunto con la mecánica de suelos, para el desarrollo del conocimiento orientado a los proyectos ingeniería civil, con la obra “Mecánica de Rocas” de Jhon Talobre que fue la primera obra de síntesis referida a este tema particular. Desafortunadamente, también hubo ciertos desastres que condujeron al avance de la Mecánica de Rocas y que han forzado a los ingenieros a entender de mejor manera el comportamiento de los macizos rocosos.

Uno de esos desastres tuvo lugar en Francia, en diciembre de 1959 cuando la presa de Malpasset colapsó debido a una inestabilidad en su margen izquierda, lo que provocó la muerte de más de 400 personas que se encontraban trabajando ahí.

En los últimos 30 años, el número de proyectos de ingeniería que implica una obra de cualquier tipo en roca ha ido creciendo de manera drástica. Principalmente en proyectos como túneles carreteros, obras subterráneas de minería y cimentaciones. La cimentación en roca, se presenta principalmente en proyectos como presas, puentes, obras mineras y en general obras de infraestructura de gran tamaño. Las consecuencias drásticas de la rotura y las circunstancias de ubicaciones con condiciones rocosas relativamente pobres, se combinan para hacer de este campo uno de los que presentan más claros estímulos y ventajas para mejorar las prácticas corrientes por medio de la investigación y el análisis. También hoy en día podemos ver ciudades desplantadas sobre grandes macizos rocosos principalmente en Europa y en algunas partes de Asia.

En México y en el mundo como se ha mencionado las grandes obras de ingeniería deben ser cimentadas sobre un material firme que asegure la estabilidad de la estructura, es por eso que en las grandes presas, termoeléctricas y puentes se busca por lo general un cimiento de estas características. Debido a la geología propia de México, se pueden encontrar diferentes tipos de roca aunque en su mayoría son rocas sedimentarias e ígneas a lo largo del territorio y también de diferentes eras geológicas principalmente del Cenozoico y Mesozoico.

En la parte de la Península de Yucatán principalmente es donde se ha tenido la necesidad de realizar cimentaciones directas de viviendas y obras pequeñas en roca debido a que es una zona calcárea emergente y en donde los suelos no tienen gran presencia como en la mayor parte del país. La principal problemática en esta zona, radica en el hecho de que existen gran cantidad de cavidades que dificultan la cimentación de las obras, por lo que se opta en gran medida por realizar antes que nada exploraciones directas en las que se pueda detectar la presencia de estas discontinuidades.

En la cimentación de cualquier estructura no basta con el cálculo de la capacidad de soporte, ya que con este aspecto no se contempla otro punto fundamental para definir el comportamiento de la cimentación, las deformaciones que el terreno pueda sufrir por la formación de las cargas de trabajo. Es mayor el número de fracasos en cimentaciones por problemas de deformación lenta y constante o de deformación rápida y de pequeña magnitud, que por problemas de capacidad de carga que involucren una falla violenta. (Rico del Castillo, 2005).

Planteamiento del Problema

En la actualidad se requiere que se realice estudios geotécnicos para la construcción de cimentaciones que sustenten estructuras. Ahora bien, el conjunto de trabajos de exploración, muestreo, análisis, modelización, cálculo e interpretación necesaria para conocer las características del terreno son de suma importancia. Usualmente en las comunidades pequeñas los ingenieros civiles asumen los parámetros del terreno lo que genera múltiples incertidumbres sobre el comportamiento del suelo o roca tanto en capacidad portante, asentamiento límite de excavaciones y estabilidad de taludes.

Las comunidades con limitaciones económicas como es el caso de Boyá no disponen de suficientes recursos para contratar servicios de consultoría privada para caracterizar el terreno lo que dificulta el conocimiento de las áreas factibles para la construcción de cualquier tipo de estructura. El desconocimiento de los perfiles estratigráficos de las formaciones geológicas pudiese generar problemáticas en los diseños estructurales al ignorar o subestimar las condiciones reales de la litología del suelo o roca.

Aunque las comunidades sean pequeñas o con limitaciones económicas no realizar un estudio geotécnico adecuado conlleva a una violación al reglamento (R-024) del Ministerio de Obras Públicas de República Dominicana para los estudios geotécnicos

La necesidad de aprovechar el agua en la zona de Boyá se ha convertido en un problema de mayor envergadura que arrastra a toda la población. Esta escasez no está estrictamente regida por la falta de agua sino más bien por la falta de una estructura que permita al-

macenar el agua que baja por gravedad, de forma que pueda ser aprovechada por los habitantes de la zona, quienes a pesar de contar con la construcción de un acueducto no tienen la forma de reguardar esta agua para momentos de escasez y para brindar un servicio equitativo a toda la población.

Para lograr subsanar o remediar este problema se hace necesaria la realización de un estudio geotécnico que permita la identificación de las características principales del suelo y que sirvan de apoyo para el diseño y la construcción de un tanque de acueducto para abastecer de agua el Distrito Municipal de Boyá.

Preguntas de Investigación

Por lo anteriormente planteado se pretende dar respuesta a las siguientes interrogantes:

- 1) ¿Cuáles son los perfiles estratigráficos superficiales predominantes en el área?
- 2) ¿Qué propiedades geotécnicas muestran los suelos y rocas de la zona de estudio?
- 3) ¿Qué técnicas de exploración y ensayos de laboratorio son requeridos para obtener las características geotécnicas del terreno de estudio?
- 4) ¿Cuáles son los parámetros geotécnicos necesarios para determinar la capacidad portante del terreno y los asentamientos permisibles?

Justificación.

Tomando en cuenta que un estudio geotécnico es la base para cualquier tipo de construcción sobre el suelo,

se justifica y es apropiada una investigación geotécnica que otorgue la posibilidad de conocer las principales características que lo componen

Según el reglamento para estudios geotécnicos en edificaciones (R-024. Decreto No. 577-06), este reglamento debe ser de aplicación general para todas las edificaciones a ser construidas en el territorio nacional cuyo diseño de fundaciones se basa en los estudios geotécnicos aquí requeridos, para garantizar que cumpla con las características propias del suelo donde se aplique. No se aceptan cálculos estructurales de los proyectos que no cumplan con estas disposiciones.

Se justifica este estudio en base a dar respuesta a las necesidades de una comunidad de escasos recursos, dando a conocer las propiedades geotécnicas de la localidad de Maná, en el distrito municipal de Boyá; la información que se obtenga sobre la capacidad portante del terreno puede ser utilizado para cimentaciones y ser modelo de réplica para otros estudios que se hagan en comunidades con similar contexto geológico en la formación y beneficiando de manera directa a la comunidad de Maná, Boyá.

También servir de transferencia de conocimientos y educación de la población e instituciones públicas y privadas en aspectos relacionados con la gestión, la construcción bajo normas legales y diseño acorde a las condiciones del suelo. Ampliación de las capacidades de la UTECO para generar y difundir, mediante publicaciones especiales, conocimiento científico y aporte social al conocimiento sobre las características del terreno para la construcción de obras civiles. Esto servirá de orientación a la UTECO a abordar la realización de

otras publicaciones similares, lo que aumentará la visibilidad pública del trabajo de la universidad en el país.

Objetivo General

Realizar un estudio geotécnico en la zona de Boyá, Monte Plata, con el fin de determinar los parámetros mínimos del terreno para ser considerados en el diseño de cimentaciones.

Objetivos Específicos

Determinar y analizar los perfiles estratigráficos en la zona de estudio.

Caracterizar el tipo de suelo y roca y sus condiciones físicas.

Obtener los parámetros geotécnicos del terreno de formación.

Determinar la profundidad de cimentación y asentamiento.

MARCO TEÓRICO

Perfiles Estratigráficos

Estratos

Se define como estrato un cuerpo generalmente tabular de roca o sedimento con litología homogénea que se ha depositado durante un intervalo de tiempo determinado. La separación de estratos está ligada al reconocimiento de la superficie de estratificación y por tanto al espesor de cada unidad, por ello muchos autores (Mc Kee-weir, 1953; Igram, 1954) admiten la divi-

sión de estratos según el espesor, lo que ocasiona una cierta confusión en la nomenclatura. Un término muy relacionado con el de estrato es el de la lámina, que responde, no solo al concepto de menor espesor si no al de una subdivisión del estrato. (J.A.Agueda-2004).

Muestreo de Suelos

Una muestra del suelo es usualmente empleada para evaluar sus características. La muestra consiste en una mezcla de porciones de suelo tomadas al azar de un terreno homogéneo (ICA, 1992).

La metodología que se va a emplear va a depender siempre del tipo de análisis que se requiera o el objetivo con el que se vaya a hacer el análisis. Por ejemplo, el muestreo que se realiza para clasificar taxonómicamente un suelo es diferente del muestreo que se hace para evaluar su fertilidad, propiedades físicas, condiciones hídricas, etc. (Schoeneberger, 1998).

Parámetros Geotécnicos de Suelo y Roca

Resistencia

Según la real academia de la lengua española (RAE), la resistencia es la fuerza que se opone a la acción de otra fuerza. Ya desde antes de 1640, Galileo señaló la diferencia entre sólidos, semi-líquidos y líquidos. Este naturalista aseveraba que los semi-líquidos, a diferencia de los líquidos mantienen su forma cuando se les apila, y que, si se les hace un hueco o cavidad en la superficie, la agitación hace que se rellene el hueco, mientras que en los sólidos, la cavidad no se rellena. Esta es una descripción muy burda de la propiedad

llamada pendiente natural de los materiales granulares, una propiedad muy fácil de observar en arenas limpias y secas, aunque los suelos o terrenos con diversas cantidades de arcilla y humedad tienen diferentes pendientes. Es importante no confundir el ángulo de reposo natural con el ángulo de fricción interna, aunque muchos autores han seguido a Woltmann, quien, al traducir los escritos de Coulomb, cometió ese error.

Compresibilidad

Esta propiedad define las características de esfuerzo-deformación del suelo. La aplicación de esfuerzos agregados a una masa de suelo origina cambios de volumen y desplazamientos. Estos desplazamientos, cuando ocurren a nivel de la cimentación, provocan asentamientos en ella. La limitación de los asentamientos a ciertos valores permisibles suele regir el diseño de las cimentaciones, sobre todo cuando el suelo o el terrenos son granulares.

En el caso de los suelos granulares, la compresibilidad se expresa en términos del módulo de Young E , el cual suele considerarse equivalente al módulo secante de la curva de esfuerzo-deformación, obtenida por medio de una prueba triaxial estándar. El módulo disminuye al aumentar el esfuerzo axial, pero se incrementa al elevar la presión de confinamiento y al someter la muestra a cargas repetitivas. La compresibilidad de las arcillas saturadas se expresa como el índice de compresión C_c , junto con una evaluación de la máxima presión a la que hayan sido sometidos antes.

Ambos valores se calculan por medio de pruebas de laboratorios unidimensionales estándar de consoli-

dación (ASTM D2435). C_c , representa el cambio en la proporción de vacíos por ciclo logarítmico de esfuerzo y es una función del historial de esfuerzos del terreno. Para fines prácticos, es necesario saber el valor dentro de los límites específicos de esfuerzos que se desea manejar.

Permeabilidad

Es la capacidad de una masa de suelo o terreno de permitir el flujo de líquidos a través de un gradiente hidráulico. En el diseño de cimentaciones, por lo general lo único que es necesario saber es la permeabilidad en condiciones de saturación.

Las permeabilidades de casi todos los tipos de suelo son muy variables y dependen en gran medida de variaciones relativamente pequeñas de la masa edafológica. Puesto que generalmente depende del tamaño y la continuidad del espacio poroso del suelo y, en consecuencia, del tamaño de las partículas de éste, la permeabilidad es típicamente una propiedad anisotrópica cuyo valor es más alto en la dirección horizontal que en la vertical.

Los valores de permeabilidad de las distintas clasificaciones del suelo o terreno varían por un factor de más de 10 millones, lo que se ha constatado directamente por medio de pruebas de permeabilidad en el campo o en el laboratorio, e indirectamente por pruebas de consolidación y análisis del tamaño de las partículas. Las mejores cuantificaciones se obtienen con pruebas de bombeo en pozos a cielo abierto en el campo. (ASTM D1557 o D698).

Densidad

Se denomina densidad a la cantidad de materia sólida presente por unidad de volumen. En el caso de los suelos granulares y orgánico-fibrosos, la densidad en seco es el factor más importante desde el punto de vista de sus propiedades ingenieriles. Una de esas propiedades es el estado o grado de compactación, que se expresa generalmente en términos de densidad relativa, o razón (como porcentaje) de la diferencia entre la densidad del suelo natural en seco y su densidad en seco mínima, dividida entre la diferencia que hay en sus densidades máximas y mínima en seco.

Sin embargo, durante la construcción de rellenos ingenieriles, el grado de compactación suele especificarse como el cociente de densidad real en seco, in situ, dividida entre la densidad máxima en seco, determinada con una prueba de laboratorio diseñada para el cálculo de la relación humedad-densidad (ASTM D1557 o D698).

Humedad

Por definición, humedad es un agua que esta impregnando un cuerpo o que vaporizada, se mezcla con el aire. Dada esta definición por la (RAE) es claro que una vivienda, como en todas partes, siempre existe un grado de humedad ya que se puede encontrar agua en los cuerpos, en los materiales de construcción en el aire, en el suelo etc.(fernandez curotto, 2008).

El agua suele estar presente en los suelos o terrenos en forma de una delgada capa absorbida a la superficie de las partículas o como líquido libre entre éstas. Si el contenido de agua de un suelo está principalmente

en forma de capa, o humedad absorbida, entonces no se comporta como líquido. Todos los sólidos tienden a absorber o condensar en su superficie cualquier líquido (y gas) que entra en contacto con ellos. El tipo de ión, o de elemento metálico, presente en la composición química de un sólido, influye considerablemente en la cantidad de agua que éste pueda absorber. Por tanto, los procedimientos de intercambio iónico para la estabilización de los suelos y el control de la percolación forman parte importante de la mecánica de suelo. Las capas delgadas de agua son más fuertes que el agua de poros. (Terzagui, 1920).

Cohesión

Es la máxima resistencia del suelo a la tensión. Resulta de la compleja interacción de muchos factores, como la adherencia coloidal de la superficie de las partículas, la tensión capilar de las películas de agua, la atracción electrostática de las superficies cargadas, las condiciones de drenaje y el historial de esfuerzos. Sólo existe verdaderamente cohesión en el caso de arcillas que tienen contacto de canto con cara entre sus partículas.

El suelo o terrenos no plásticos de grano fino pueden exhibir una cohesión aparente cuando están en condiciones de saturación parcial. El valor de cohesión que se utiliza al diseñar depende directamente de las condiciones de drenaje bajo la carga impuesta, así como del método de prueba que se emplee para calcularlo, por lo que todo se debe evaluar cuidadosamente. (ASTM).

Fricción

La fricción pura de Coulomb equivale a la simple resistencia a la fuerza cortante en la teoría de la elasticidad. La fricción interna suele expresarse geométricamente como el ángulo de fricción interna (ϕ), donde $\tan \phi = f$, el coeficiente de fricción. Entonces la componente friccional de la resistencia a la cortante, $T_{\max}$ de una masa de suelo, equivale a $N \tan \phi$, donde N es la fuerza perpendicular que actúa sobre dicha masa. Los valores de ϕ van desde unos 28° en el caso de arenas sueltas y limos no plásticos, hasta unos 48° en el de arenas sueltas y gravillas.

El valor aumenta junto con la densidad, la angulosidad y la granulometría de las partículas; disminuye cuando el suelo contiene mica; es relativamente indiferente a la velocidad de carga y el tamaño de las partículas; y puede aumentar o disminuir bajo cargas repetitivas o cíclicas. Muchos ingenieros utilizan el valor de $T_{\max}$ como equivalente de la resistencia total a la fuerza cortante (suposición que también se hace en casi todas las ecuaciones para el cálculo de la presión en suelo o terrenos).

Fue (Coulomb, 1773) quien aplicó a los suelos las leyes fundamentales de la fricción. Él descubrió que la resistencia a lo largo de una superficie de falla dentro de un suelo es función tanto de la carga por unidad de área como de la superficie de contacto. Puede considerarse como la primera contribución importante a la Mecánica de Suelos.

Cálculo Capacidad Admisible

Los cálculos de la presión vertical que produce el hundimiento de una cimentación sobre un terreno poco permeable deben realizarse en hipótesis de que no se produzcan ninguna consolidación del terreno. Es la tensión de cimentación para la cual existe un coeficiente de seguridad adecuado frente al hundimiento. Puede expresarse en términos de tensiones totales o efectivas, brutas o netas. Esta tensión no tiene por qué ser admisible para la estructura, por lo tanto depende del tipo de estructura que sea rígida o flexible.

Profundidad de Cimentación

Las excavaciones profundas se realizan con mucha frecuencia para desplantar cimentaciones sobre todo en zonas urbanas debido a la escasez de espacio, por lo cual la construcción bajo cota de terreno natural ha cobrado gran importancia. En la actualidad, las edificaciones cuentan con la construcción de ciertos niveles de sótanos que pueden tener profundidades variables, generalmente por necesidades arquitectónicas, por optimización de espacios o por soluciones geotécnicas.

En general, cuando empieza una nueva estructura a edificarse y si esta requiere una excavación profunda para su cimentación, es estrictamente necesario estudiar bajo qué condiciones se realizarán los trabajos de excavación, ya que la misma podría causar pérdida de capacidad de carga, asentamientos, movimientos laterales en edificaciones colindantes, etc. Por esto es obligatorio determinar soluciones accesibles para realizar trabajos de excavaciones seguros y económicos. (ANZULES, 2008-2009)

Trabajo de Campo

El trabajo de campo es aquel que se realiza en el área en cuestión para identificar rasgos a escala real, el mismo facilita comprobar y recoger información nueva de la zona en tiempo presente. Existe una amplia variedad de técnicas para la investigación in situ de las condiciones sub-superficiales del suelo. Algunos de esos métodos se han estandarizado y muchos de ellos se utilizan en todo el mundo. Pozos y zanjas de prueba a cielo abierto, estos métodos permiten hacer una observación visual directa y posibilitan la toma manual de muestras del suelo, aunque están limitados a profundidades prácticas de 3 ó 4 metros.

Ensayos de Laboratorios

Durante los años 1960 y 1970, numerosos investigadores desarrollaron otras metodologías de ensayos alternativos, con la finalidad de reducir el tiempo de ensayo, a varios días, o incluso a varias horas. Los ensayos de velocidad de carga constante (CRL, ConstantRate of Loadingconsolidation test), los de gradiente controlado (CG, Controlled Gradientconsolidation test), los de velocidad de deformación constante (CRS, ConstantRate of Strainconsolidation test) y los que mantienen una relación velocidad de carga/presión de poros (en la base impermeable) constante (CL, Continuous Loadingconsolidation test) son los ensayos, alternativos al edómetro convencional, más habituales.

El denominador común de todos estos ensayos es que la carga vertical que se aplica sobre las probetas es continua y variable con el tiempo, además de la posibilidad de registrar la presión intersticial que se genera

en la base impermeable de la muestra durante todo el ensayo. Por el contrario, en el edómetro convencional la carga vertical se aplica por escalones, es constante en cada escalón aplicado y no ofrece la posibilidad de registrar presiones intersticiales. Algunos de estos ensayos son los que se han reproducido en el laboratorio de Geotecnia del Departamento de Ingeniería del Terreno. (Martín, 2002).

Metodologia

En esta parte se describe la forma en que se realizó la investigación para obtener la información necesaria sobre un estudio geotécnico en el distrito municipal de Boyá y las condiciones más favorables para la construcción de cimentaciones para la población, y la forma de presentación de los resultados del mismo.

Diseño de la Investigación

Esta investigación se desarrolló bajo el diseño no experimental. Según (Martins & Palella, 2010). El diseño no experimental es el que se realiza sin manipular en forma deliberada ninguna variable. El investigador no sustituye intencionalmente las variables independientes. Se observan los hechos tal y como se presentan en su contexto real y en un tiempo determinado o no, para luego analizarlos. Por lo tanto, en este diseño no se construye una situación específica, sino que se observan las que existen.

Tipo de Investigación

De acuerdo al alcance esta investigación es un estudio de caso, debido al análisis de características y

rasgos importantes específicos de los componentes del estudio en cuestión. El tipo de investigación a usar es la exploratoria y la descriptiva. Según (G. Arias, 2012), la investigación exploratoria es aquella que se efectúa sobre un tema u objeto desconocido o poco estudiado, por lo que sus resultados constituyen una visión aproximada de dicho objeto, es decir, un nivel superficial de conocimientos.

Según (Fidias, 2012). La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere.

Enfoque de la Investigación

Esta investigación se realizó mediante un enfoque mixto. Según, (Johnson & Onwuegbuzie, 2004), definieron los diseños mixtos como el tipo de estudio donde el investigador mezcla o combina técnicas de investigación, métodos, enfoques, conceptos o lenguaje cuantitativo o cualitativo en un sólo estudio.

Técnicas e Instrumentos

Las técnicas utilizada en esta investigación fue la ficha, a través de la cual se hizo la recopilación de la información existente de la zona evaluación geológica, la descripción de calicatas, ubicación y ejecución de calicatas, tomas de muestras, prueba de penetración, penetrómetro, carga puntual, prueba de penetración estándar (SPT), ejecución de análisis de laboratorio.

Análisis de Datos

Se utilizó la memoria geológica para realizarse un análisis detallado de la geología básica y principales estructuras geológicas presentes en el área. Para el análisis de suelo se elaboró calicatas en las cuales se observó y analizó el perfil estratigráfico tomando muestras y luego haciendo ensayos SPT en la misma calicata en la que se determina la capacidad de soporte del suelo. Posteriormente, se buscó y se anotó los resultados que se iban obteniendo el (números de golpes del SPT y análisis de la estratigrafía).

Presentación de los Resultados

Al finalizar este estudio geotécnico en la localidad de Maná, distrito municipal de Boyá, municipio Sabana Grande de Boyá, provincia Monte Plata. Se identificaron las zonas más favorables para la construcción y diseño de cimentaciones. Los resultados se presentan a través de tablas y fichas descriptivas.

Este mapa geológico abarca toda el área de estudio donde están plasmadas todas las estructuras geológicas presentes en el área como fallas geológicas, fallas supuestas, coluviones, canteras activas, canteras inactivas entre otras estructuras que son de suma importancia para este levantamiento geotécnico.

En el ángulo sureste de la Hoja 6272-IV (figura 7), a la entrada del pueblo de Boyá, una antigua cantera se localiza sobre lo que parece ser igualmente un centro de emisión fósil (neck) de lava ácida. La alteración supergénica de las rocas, debido a las condiciones climáticas tropicales, y la naturaleza discontinua de los afloramientos, impiden apreciar bien las relaciones y la disposición de las diferentes facies.

Es un potente conjunto en el que el espesor supera los 2500 m, y que tiene asociadas: Lavas de composición básica a intermedia: basalto, y en menor medida, andesita en coladas y/o protusiones; productos volcanoclásticos primarios: brechas y tobas piroclásticas provenientes de proyecciones, nubes ardientes, debris, etc.; productos volcanoclásticos secundarios o epiclastitas; la estratificación es siempre bien visible y genera bancos individualizados con espesor centimétrico a decimétrico. Describir imagen de arriba.

Parámetros Geotécnicos de Suelo y Roca

Calicatas de la zona de estudio: Se realizaron 4 calicatas a cielo abierto. Designadas como c-1, c-2, c-3 y c-4. Las cuales fueron ubicadas convenientemente y con profundidad considerable. Este sistema de exploración permitió evaluar directamente las diferentes características del subsuelo en su estado natural.

Las excavaciones alcanzaron las siguientes profundidades.

alicata	Profundidad	Coordenadas
C-1	2m	19Q 0417919 UTM 2085148
C-2	2m	19Q 0417896 UTM 2085152
c-3	2.30m	19Q 0417899 UTM 2085140
c-4	7m	19Q 0417906 UTM 2085130

Mediante la investigación de campo se definieron los siguientes perfiles de suelos por calicatas, como técnica de recogida de información que se describe en la metodología.

Descripción de la primera calicata:

Ficha de descripción de la Calicata 01

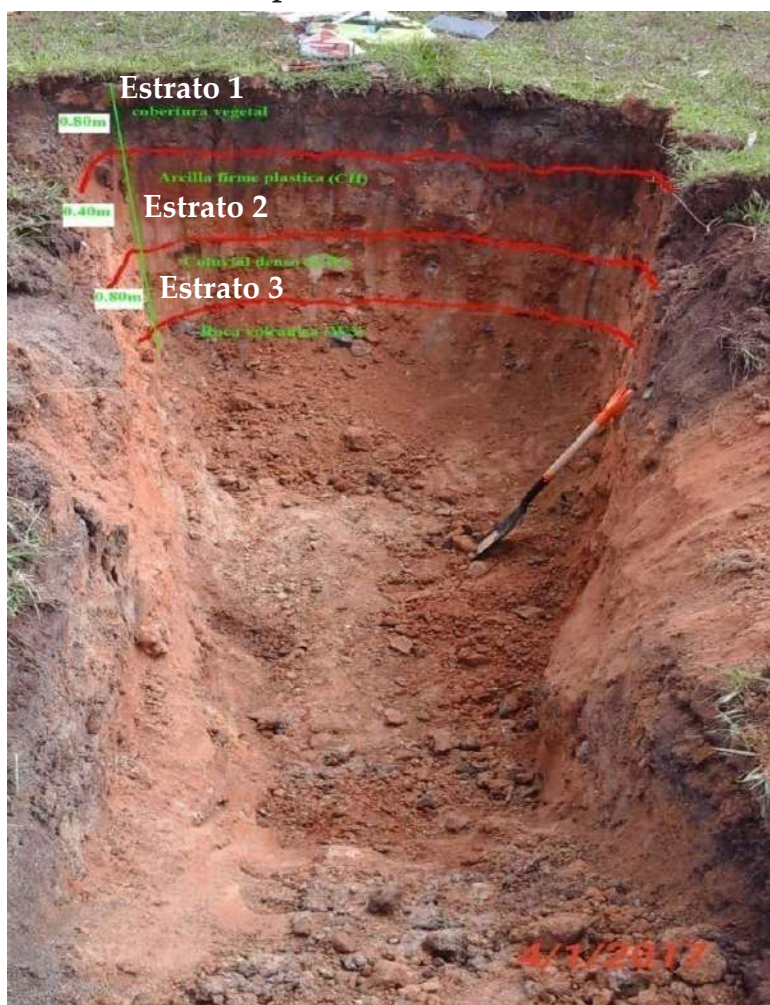


Figura 8: vista de excavación de calicata.

Estrato 1



- a) Primer extrato de 0.0 a 0.80m cobertura vegetal. Corresponde a un material de suelo fino, con presencia de raíces, de color marrón. Presencia de limo, área y arcilla, de blanda a firme, de baja plasticidad, húmeda y homogéneo. Segundo extrato de 0.80m a 1.20m presencia de arcilla compacta de alta plasticidad.

Estrato 2



Tercer extrato de 1.20m a 2m apareció la roca la cual menos de la mitad del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado en suelo. Roca fresca decolorada está presente aun formando un esqueleto discontinuo o como núcleos de roca.

No se encontró el nivel freático.

Estrato 3



Descripción de la segunda calicata: Ficha de descripción de la Calicata 02

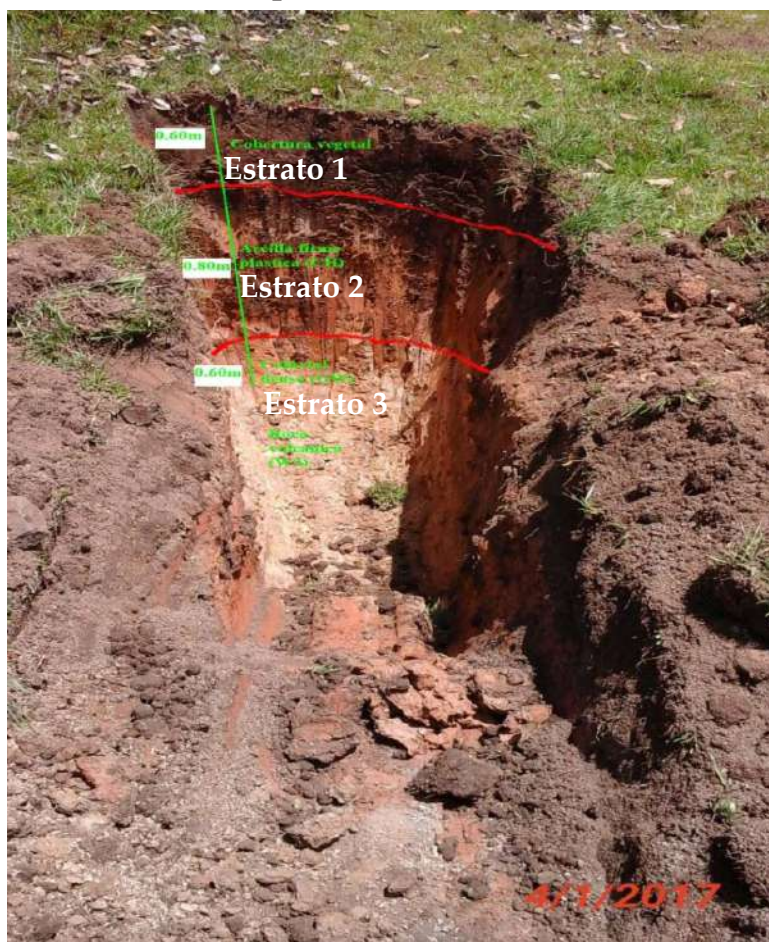


Figura 9: vista de excavación de calicata.

Estrato 1

- a) Primer estrato 0.0 a 0.60m corresponde al material de cobertura, conformado por raíces, clastos disperso, con presencia de una coloración marrón claro. Segundo estrato de 0.60m a 1.40m presencia de una arcilla compacta de color rojizo. En esta se necesita una fuerte presión para hincar el dedo. Por lo que corresponde a una arcilla rígida.

Estrato 2

Tercer estrato de 1.40m a 2m apareció la roca la cual presentó cierto grado de meteorización. Roca moderadamente meteorizada decolorada está presente aun formando un esqueleto discontinuo o como núcleos de roca.

Estrato 3

No se encontró el nivel freático.

Descripción de la tercera calicata:

Ficha de descripción de la Calicata 03

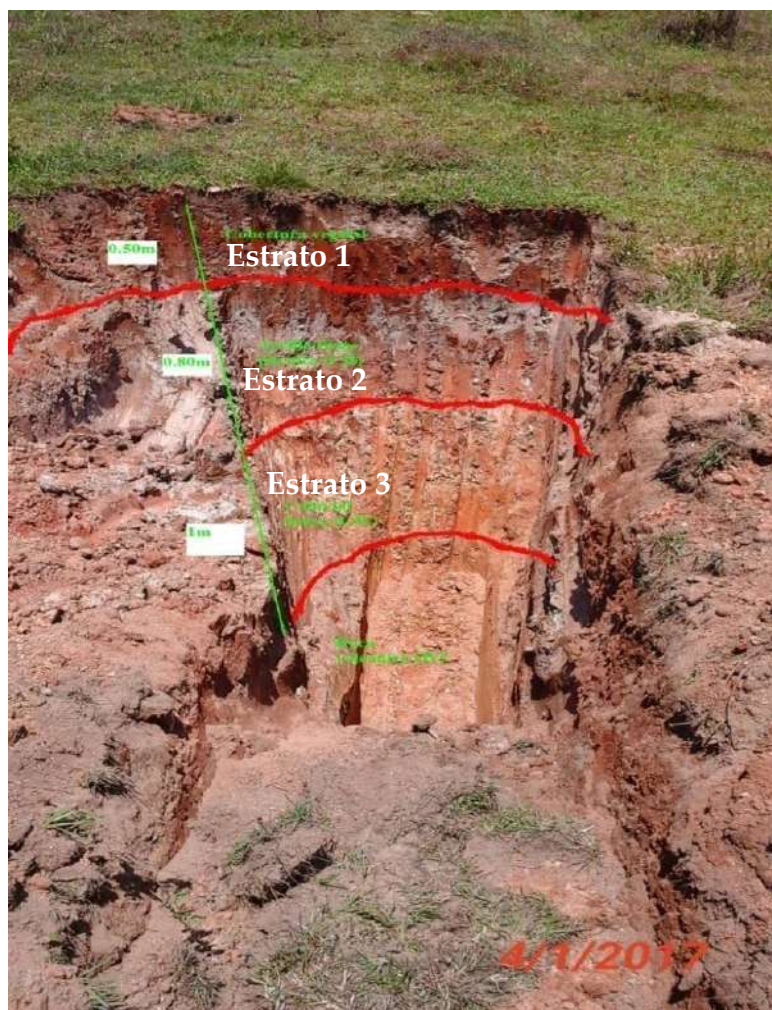


Figura 10: vista de excavación de calicata.

Estrato 1



a) Primer estrato 0.0 a 0.50m material de cobertura, conformado por raíces, con presencia de una coloración marrón claro. Segundo estrato de 0.50m a 1.30m presencia de una arcilla compacta de color rojizo con cierta presión puede marcarse con la una arcilla muy rígida.

Estrato 2



Tercer estrato de 1.30m a 2.30m apareció la roca la cual presentó cierto grado de meteorización. Puede rayarse con dificultad con la navaja, se pueden hacer marcas poco profundas golpeando fuertemente con la punta del martillo.

No se encontró el nivel freático.

Estrato 3



Descripción de la cuarta calicata:

Ficha de descripción de la Calicata 04

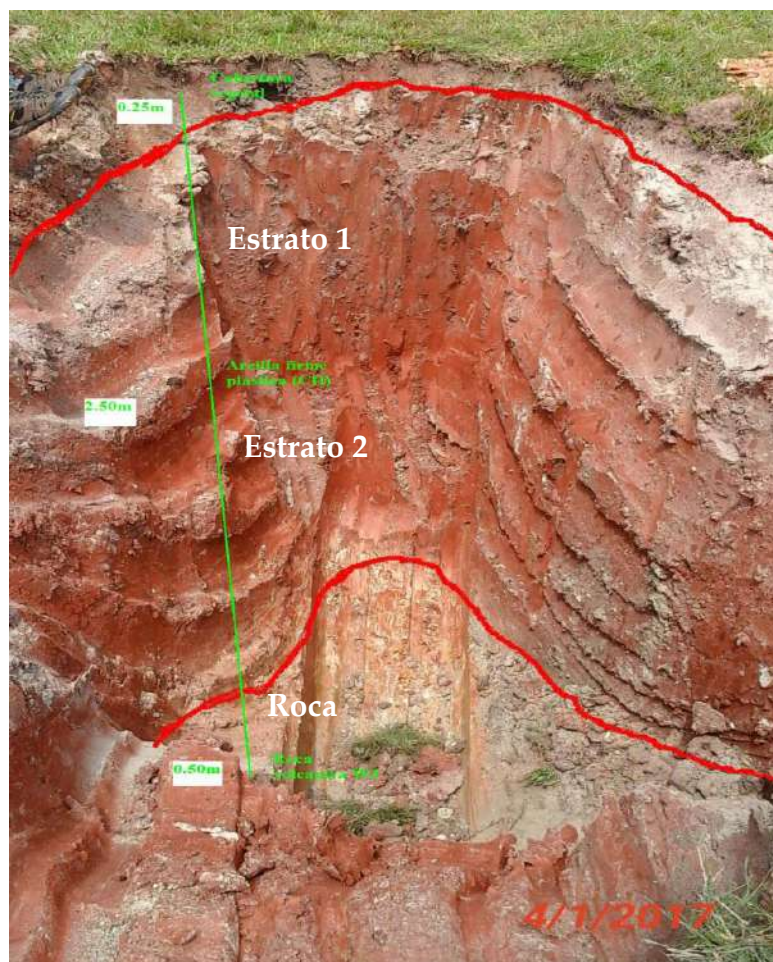


Figura 11: vista de excavación de calicata.

Estrato 1



- a) Primer estrato 0.0 a 0.25m material de cobertura, conformado por raíces, con presencia de una coloración marrón.

Segundo estrato de 0.25m a 2.5m presencia de arcilla compacta con cierta presión puede marcarse con la uña. Por lo que representa a una arcilla muy rígida de color rojizo.

Estrato 2



Tercer estrato de 2.5m a 7m apareció la roca, puede rayarse con una navaja. Se talla fácilmente con una navaja. Y se puede romper fácilmente con la punta del martillo geológico.

No se encontró el nivel freático.

Estrato 3



Capacidad Portante

Para poder determinar la capacidad portante y la carga puntual se realizaron cálculos, los cuales permitieron conocer la carga admisible del terreno en Maná, Boyá. Los cuales serán presentados en tablas de forma ordenada. Los resultados del ensayo de carga puntual son presentados en las siguientes tablas:

Muestra #1:

Largo	Ancho	Espesor	Espaciamiento entre punzones
55 mm	70 mm	40mm	40 mm

Tabla 1: medidas de las muestras para el ensayo de carga puntual.

$$De = 4A/3.14$$

$$De = 4(3850) / 3.1416 = 15,400 / 3.1416 = 4,901.9 \text{ mm}^2$$

Unidad de presión: 1 bar = 100kpa

Carga puntual= 1bar= 100kpa

Carga puntual= 1bar x 100kpa ÷ 1000= 0.1 mpa

Aquí se calcula a través de fórmulas matemáticas la resistencia de la roca en el ensayo de carga puntual, obtenido como resultado 0.1 mpa.

Muestra #2:

Largo	Ancho	Espesor	Espaciamiento entre punzones
55 mm	70 mm	40mm	40 mm

Tabla 2: medidas de las muestras para el ensayo de carga puntual.

$$De = 4A/3.14$$

$$De = 4(9,900) / 3.1416 = 39,600 / 3.1416 = 12,606 \text{ mm}^2$$

Unidad de presión: 1 bar = 100kpa

Carga puntual= 1bar= 100kpa

Carga puntual= 1bar x 100kpa ÷ 1000= 0.1 mpa

Este cuadro muestra a través de fórmulas matemáticas la resistencia de la muestra dos a través de un ensayo de laboratorio, dando como resultado 0.1 mpa.

Muestra #3:

Largo	Ancho	Espesor	Espaciamiento entre punzones
105 mm	80 mm	60mm	70 mm

Tabla 3: medidas de las muestras para el ensayo de carga puntual.

$$De = 4A / 3.14$$

$$De = 4 (8,400) / 3.1416 = 10,695.1$$

Unidad de presión: 1 bar = 100kpa

Carga puntual= 10bar= 1000kpa

Carga puntual= 10bar x 100kpa ÷ 1000= 1 mpa

Se muestra los resultados obtenidos en laboratorio sobre la resistencia de la roca con un resultado de 1 mpa.

Muestra #4:

Largo	Ancho	Espesor	Espaciamiento entre punzones
90 mm	70 mm	40mm	55 mm

Tabla 4: medidas de las muestras para el ensayo de carga puntual.

$$De = 4A / 3.14$$

$$De = 4 (6,300) / 3.1416 = 8021.39 \text{ mm}^2$$

Unidad de presión: 1 bar = 100kpa

Carga puntual= 10bar= 1000kpa

Carga puntual= 10bar x 100kpa ÷ 1000= 1 mpa

Aquí se muestran los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio sobre la resistencia de la roca con un resultado de 1 mpa.

Capacidad Portante del Terreno

Capacidad portante de Suelo arcilloso (CH)

Cohesión C' (kPa)*	100.0
Angulo de fricción Φ (grados)**	Cero (0)
Sección platea	Circular
Ancho de platea (metros)	15.0
Profundidad de desplante (metros)	0.5
Nivel freático (metros)	No encontrado
Carga ultima Terzaghi (KPa)	741.0
Factor de seguridad	3.0
Carga admisible (kPa)	247.0

Tabla 5: *Determinado mediante penetrómetro de bolsillo; *condición más desfavorable asumida por tipo de suelo.

En esta tabla se presentan los resultados obtenidos sobre la carga portante en suelo arcilloso tomando en cuenta las condiciones más desfavorables con un factor de seguridad de 3 obteniendo como resultado de carga admisible de 247.0 kPa.

Asentamiento elástico de Suelo arcilloso (CH)

Módulo de elasticidad (kPa)*	30,000.0
Numero de Poisson(ν)*	0.5
Zona de asentamiento	Centro, $\alpha=4$
Sección platea	Circular
Ancho de platea (metros)	15.0
Profundidad de desplante (metros)	0.5
Profundidad de asentamiento (metros)	1.25
Nivel freático (metros)	No encontrado
Esfuerzo efectivo en cambio (kPa)	45.0

Asentamiento (flexible, mm)	85.0
Asentamiento (rígido, mm)	80.0

Tabla 6: *condición más desfavorable asumida por tipo de suelo.

En esta tabla se presentan los resultados obtenidos sobre el asentamiento elástico de suelo arcilloso bajo los criterios de las normas dominicanas donde dice que permite un asentamiento de 50mm y en los resultados se obtuvo más de 100mm de asentamiento.

Asentamiento por consolidación de Suelo arcilloso (CH)

Limite liquido (w %)*	55.0
Profundidad de evaluación (metros)	2.0
Ancho de platea (metros)	15.0
Relación de vacíos (e)*	1.0
Profundidad de asentamiento (metros)	1.25
Nivel freático (metros)	No encontrado
Esfuerzo efectivo actual (kPa)	45.0
Esfuerzo efectivo en cambio (kPa)	21.88
Asentamiento por consolidación primaria mm)	121.0
Asentamiento por consolidación secundaria mm)	5.0

Tabla 7: *condición más desfavorable asumida por tipo de suelo.

En esta tabla se presentan los resultados obtenidos sobre el asentamiento por consolidación de suelo arcilloso según la teoría de Terzagui tomando en cuenta el suelo en su estado natural y usando los parámetros necesarios para el cálculo de asentamiento por consolidación.

Capacidad portante de Suelo coluvial (GW)

Sección platea	Circular
Ancho de platea (metros)	15.0
Profundidad de desplante (metros)	2.5
Angulo de fricción Φ (grados)**	35
Nivel freático (metros)	No encontrado
Peso específico arcilla (KN/m ³)	17.5
Carga ultima Terzaghi (kPa)	1,529.15
Factor de seguridad	3.0
Carga admisible (kPa)	509.72

Tabla 8: *condición más desfavorable asumida por tipo de suelo.

En esta tabla se muestra la capacidad portante de suelo coluvial a través de los cálculos de la fórmula de Terzaghi considerando según los resultados obtenidos una capacidad portante permisible.

Asentamiento elástico de Suelo coluvial (GW)

Módulo de elasticidad (kPa)*	100,000.0
Numero de Poisson(v)*	0.2
Zona de asentamiento	Centro, $\alpha=4$
Sección platea	Circular
Ancho de platea (metros)	15.0
Profundidad de desplante (metros)	0.5
Profundidad de asentamiento (metros)	2.5
Nivel freático (metros)	No encontrado
Peso específico arcilla (KN/m ³)	17.5
Esfuerzo efectivo en actual (kPa)	35.0
Esfuerzo efectivo en cambio (kPa)	45.0

Asentamiento (flexible, mm)	45.0
Asentamiento (rígido, mm)	41.85

Tabla 9: *condición más desfavorable asumida por tipo de suelo.

En esta tabla se muestra el asentamiento elástico de suelo coluvial considerados aceptables según lo establecido en la norma dominicana (R-024).

Capacidad portante de roca ígnea grano grueso (W3)

Sección platea	Circular
Ancho de platea (metros)	15.0
Profundidad de desplante (metros)	5.5
Nivel freático (metros)	No encontrado
Peso específico arcilla (KN/m ³)*	17.5
Peso específico arcilla (KN/m ³)*	21.5
Índice de carga puntual, I_s (kPa)	110.0
UCS (Mpa)	2.71
RQD (75%)*	75
Carga ultima Terzaghi (kPa)	1,246.0
Factor de seguridad	3.0
Carga admisible (kPa)	415.5

Tabla 10: *condición más desfavorable asumida por tipo de suelo.

En esta tabla se presentan los resultados de capacidad portante de roca ígnea de grano grueso arrojando estos datos como el lugar más idóneo para la cimentación de edificaciones.

Profundidad de Cimentación

A través de la creación de un perfil topográfico se logró levantar los distintos niveles de altitud entre los estratos encontrados en los diferentes perfiles, lo cual permitió determinar la profundidad a la que se encontraba la roca de forma general en el terreno que alcanzó los 7m de profundidad, lo que admite obtener una idea de la profundidad a la que se puede hacer la excavación para la construcción civil y que la misma sea soportada por el terreno sin representar un peligro económico ni de capital humano.

Análisis de los Resultados

Según los datos arrojados por los perfiles que se realizaron mediante calicatas, estos están compuestos por una capa vegetal fina os oscilando entre 0.25 a 2 metros, seguida de una capa de arcilla con espesor promedio de 2 metros y un coluvial de 0.80 metros que aparecía en la mayoría de los perfiles sólo exceptuando cuando se pasaba directamente de la arcilla a la roca. A través del uso de fichas de descripción de calicatas, ensayos de laboratorio, prueba de SPT y penetrómetro de bolsillo se obtuvo como resultado general que el suelo dispone de plasticidad baja, no competente ya que se encuentra totalmente fracturada, nivel de relleno y capa vegetal floja o poco compactada en el primer nivel mostrado en los perfiles; sin ningún nivel de arena ni de grava y sin que se encuentre el nivel freático. Siendo estas las primeras características geotécnicas conocidas del terreno en un estudio de exploración. Por lo que se considera apto para la construcción según los parámetros de la norma dominicana de construcción R-024.

Los datos obtenidos en este estudio permitieron reconocer los parámetros geotécnicos básicos permitidos según la norma dominicana con técnicas de exploración y ensayos de laboratorio tales como: mapeo de los diferentes perfiles encontrados, pruebas de penetración estándar (SPT), prueba con penetrómetro, ensayo de carga puntual. Se asumió datos para realizar el diseño basado en criterios desfavorables.

Los parámetros geotécnicos para determinar la capacidad portante del terreno y el asentamiento según los datos arrojados fueron aceptados en los estratos del coluvial y la toba volcánica. Sin embargo con la arcilla plástica no se cumplió con los asentamientos permisibles según la norma R-024 donde dice que permite un máximo de 50mm para no considerarse asentamiento, diferencia en plateas y los resultados de asentamiento total corresponden a 167mm aproximadamente; Lo que permite comprobar que se descarta como apto para cimentación.

El suelo coluvial cumple con la capacidad de carga y asentamientos. Según lo establecido mediante (R-024. Decreto No. 577-06), este reglamento será de aplicación general para todas las edificaciones a ser construidas en el territorio nacional. Sin embargo, debido a su naturaleza de formación, existen incertidumbres de construir sobre suelo transportado.

Conclusiones

Las conclusiones sobre la necesidad y utilidad de este tipo de estudio geotécnico en comunidades de bajos recursos en todas las obras apoyadas sobre el suelo y rocas en la corteza terrestre, responden a los objeti-

vos planteados en esta investigación, las cuales se describen a continuación: Durante el reconocimiento geológico del área de estudio (Distrito Municipal de Boyá, Maná) y alrededores se observó que las descripciones de la memoria geológica de la formación Los Ranchos corresponden con las observaciones y mapeos realizados por los sustentantes de este estudio.

Los perfiles observados en calicatas y mapeos, corresponden a un relieve montañoso de suave ha pronunciado de roca toba volcánica con coluviales y aluviales de arcilla plástica. La roca toba volcánica es de resistencia débil y fracturada. Se determinó su resistencia a la compresión con martillo geológico en campo y ensayo de carga puntual en laboratorio. La arcilla no cumple con los parámetros de asentamiento debido a que la norma dominicana establece un máximo de 50mm y los estudios obtenidos sobrepasaron los 100mm.

La profundidad de excavación propuesta para asiento de platea de fundación genera mayor seguridad con respecto a otra profundidad más cercana a superficie. Esto es debido a que en la roca toba volcánica no hay incertidumbre por capacidad de carga, asentamientos, erosión interna, licuación u otros riesgos geotécnicos a lo que los suelos son propensos.

La roca firme fue encontrada a una profundidad de 2m lo que representa la parte más factible para la construcción debido a que los cálculos de capacidad portante y asentamiento permisibles cumplen con lo establecido en la norma dominicana para la construcción.

Recomendaciones

Al Servicio Geológico Nacional, Sociedad Dominicana de Geología, Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones y la Comunidad de Boyá: Realizar otros estudios que arrojen más información que las calicatas, como un sondeo en la zona de estudio para garantizar mayor seguridad al momento de una construcción.

Se recomienda que una vez se inicien los trabajos de construcción, un Ingeniero Civil especializado revise la obra y verifique que las hipótesis que permitieron realizar este estudio se mantienen, o sí por el contrario, es necesario hacer alguna recomendación adicional a la cimentación. Utilizar este estudio de caso en las futuras construcciones en comunidades de escasos recursos con características similares a las de Maná, Boyá.

Diseñar y construir una estructura que sea acorde con el terreno de acuerdo a los datos arrojados en esta investigación. Ampliar la investigación con respecto a datos de sismicidad para evitar pérdidas futuras en cualquier tipo de construcción y el capital humano. Construir la cimentación sobre la roca toba volcánica. Para ello sería necesario excavar los suelos CH y GW. Mínimo sería adecuado para mantener la estabilidad de taludes producto de los cortes en la excavación.

Referencias Bibliográficas

- Alvarez, t. (2002). reglamento para estudios geotécnicos en edificaciones. Santo Domingo.
- American Society for Testing and Materials, vol. 04.08, Soil and Rocks (I): D420- D5779, West Conshohocken, Pennsylvania.

- ASTM, (2004), Standard test method for prebored pressure-meter testing in soils.
- Barbosa, OA; MA Taboada & DJ Cosentino. 1999. Contracción al secado de agregados en diferentes fases de degradación de un suelo franco limoso de La Pampa Ondulada. *Ciencia del Suelo* 17 (1):1-7.
- Barnes, BT & Ellis FB. 1979. The effects of different methods of cultivation and direct drilling and disposal of straw residues on populations of earthworms. *J. Soil Sci.* 30: 669-679.
- Brady, N.C. and R.R. Weil. 1999. The nature and properties of soils. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Bearing Capacity of Piles in Cohesionless Soils.
- Bonne FR, Slager S, Miedma R, Eleveld R. 1976. Some influences of zero tillage on the structure and stability of a fine textured levee soil. *Neth. J. Agric. Sci.* 24: 105-119.
- BOWIN C. (1975) : The geology of Hispaniola, En : The ocean basins and margins; Volume 3, The Gulf of Mexico and the Caribbean, (NAIM A. y STEHLI F., Eds.), New York, Plenum Press, p. 501-552.
- BOWIN C. (1966) : Geology of the central Dominican Republic. A case history of part of an island arc. In Hess H.H. ed., Caribbean geological investigations. Geological Society of America Memoir 98, p. 11-98.
- Broderson. 1998. Field book for describing and sampling soils. Natural Resources Conservation Service, USDA, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
- Buol, Stanley W., F. D. Hole y. W. McCracken. 1997. Soil Genesis and Classification, 4th ed. Iowa State Univ. Press, Ames ISBN 0-8138-2873-2.

- BURKE K., GRIPPI J., SENGOR A.M.C. (1980) : Neogene structures in Jamaica and the tectonic style of the northern Caribbean plate boundary zone. *Journal of Geophysical Research*, v. 88, p. 375-386.
- Carillo, F.I., S. Suarez, J.R. Sanz. 1995. Como obtener una buena muestra para el análisis de suelos. *Cenicafé. Avances Técnicos*, 214: 1-4 p.
- Comité Departamental de Cafeteros de Antioquia. S.f. Fertilice adecuadamente sus cafetales, haga análisis de suelos. *Graficas Época*, Medellín, 8 p.
- Decay curves byseismicdilatometer (SDMT) (Doctoral γ Amoroso, S. (2011). G-dissertation, Dissertation for the Doctoral Degree, L'Aquila: University of L'Aquila).
- Dinámica de suelos y estructuras", R. Colindres, Limusa, 2 ed., México, 1993.
- farfan figueroa, f. (10 de julio de 2016). GEOLOGIA-TAREA1. Recuperado el 24 de julio de 2017, de GEOLOGIA-TAREA1: <https://documents.tips/documents/geologia-tarea1.html>.
- Finiteelements in GeotechnicalEngineering", D.J. Naylor, G.N. Pande, B. Simpson, R. Tabb, Pineridge Press, Swansea, 1981.
- Fidias, G. A. (2012). Caracas, Republica Bolivariana de Venezuela: Episteme.
- Gallardo, m. c. (2012). cimentaciones en rocas. mexico
- Geotecnia y Cimientos II y III", J.A. Jiménez Salas y otros, Editorial Rueda, Madrid, 1976 y 1980.
- G. Arias, F. (2012). El proyecto de Investigación: Introducción a la investigación científica (6ta ed.). Caracas, República Bolivariana de Venezuela: Episteme.

- Johnson, R. B., & Onwuegbuzie, A. J. (2004). A Research Paradigm Whose Time Has Come. American Educational Research Association , 33 (7), 17.
- Introduction to rock mechanics", R.E. Goodman, John Wiley, 2nd ed., 1989. Manual de ensayo de materiales (EM 2000)- MTC.
- ICA. 1992. Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación. Produmedios, Santafé de Bogotá.
- Martin A, et al. (2002) Prp43 is an essential RNA-dependent ATPase required for release of lariat-intron from the spliceosome. J Biol Chem 277(20):17743-50.
- Martins, F., & Palella, S. S. (2010). Metodología de la investigación cualitativa (2a. ed. ed.). Caracas; Venezuela.
- MANN P., DRAPER G., LEWIS J.F. (1991) : Geologic and tectonic development of the NorthAmerica-Caribbean plate boundary in Hispaniola. Geological Society of America SpecialPaper, 262 p.
- Measurement of In situ ShearStrength", Conference on In situ Measurement of SoilProperties, Vol.II, 1975 American Society of Civil Engineers. J. Schmerttmann.
- NLT Normas de Ensayos del Laboratorio de Geotecnia del CEDEX" - Suelos. MOPT.
- L. Rucks, F. García., A. Kaplán , J. Ponce de León.. M. Hill (2004). Propiedades Físicas del Suelo. Facultad de Agronomía, Universidad de la República.
- LEBRÓN M.C., PERFIT M.R. (1994) : Petrochemistry and tectonic significance of Cretaceous island-arc rocks, Cordillera Oriental, Dominican Republic. Tectonophysics, 229(1994), p. 69-100, Elsevier Science B.V., Amsterdam.

- Peck R. B., Hanson, Thornburn T. "Ingeniería de Cimentaciones" Editorial Limusa. México, 1982.
- PINDELL J.L. (1994) : Evolution of the Gulf of Mexico and the Caribbean, En: Caribbean geology: An introduction, (DONOVAN. S.K. y JACKSON, T.A. Eds), Kingston, Jamaica, University of the West Indies, Publishers Association, p. 13-39.
- PINDELL J.L., BARRET S.F. (1990) : Geologic of the Caribbean region; A plate- tectonic perspective. En: The Geology of North America: The Caribbean region (Dengo, G. y Case, J.E., eds.), Geological Society of America, Vol. H., Boulder, Colorado, p. 405-432.
- Rock Engineering", J.A. Franklin, M.B. Dusseault, Mc Graw Hill, 1989.
- Rock SlopeEngineering", E. Hoek, L. Bray, Institution of mining and metallurgy, London, 3rd ed. , 1981.
- Rucks, L., Garcia, F., Kaplán, Ponce de Laón, J., & Hill, M. (2004). Propiedades Físicas del Suelo. Disponible en URL:<http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf> [consulta 30 de enero de 2016].
- SoilMechanics in EngineeringPractice", John and Wiley, Inc. K. Terzaghi y R.B. Peck.
- Schoeneberger, P.J., D.A. Wysocki, E.C. Benham, W.D.
- Tamez Gonzales E. "Ingeniería de Cimentaciones" Editorial T.G.C. GEOTECNIA. México, 2001.
- The Standard Penetration Test", Proceedings of the Fourth Pan-American ConferenceonSoilMechanics and FoundationEngineering, Vol. 1, 1971, San Juan, Puerto Rico. V.F.B. de Mello.

- Túneles: Planeamiento, diseño y construcción". (2 vols)", T.M. Megaw, J.V. Barlett, Ed. Limusa, México, traducido de la versión inglesa de Ellis Horwood (Wiley), New York, 1981.
- Underground excavations in rock", E. Hoek, E.T. Brown, Institution of mining and metallurgy, London, 1980, Versión en español por Mc Graw Hill, México, 1980.
- Vera Torres, J. A. (1994): Estratigrafía. Principios y métodos. Madrid. Editorial Rueda. 806 pp. ISBN 84-7207-074-3.
- Zeevaert L. "Foundations Engineering for Difficult Subsoil Conditions" Editorial. Van Nostrand Reinhold, 1973