



Revista Politécnica

ISSN: 1900-2351

ISSN: 2256-5353

rpolitecnica@elpoli.edu.co

Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid
Colombia

Ortega Sinning, Eberto Rafael; Vanegas Padilla, Angélica Patricia
ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN
DISTRITO DE RIEGO EN EL DEPARTAMENTO DE ATLÁNTICO – COLOMBIA.

Revista Politécnica, vol. 18, núm. 36, 2022, Julio-Septiembre, pp. 17-29

Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid
Medellín, Colombia

DOI: <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v18n36a2>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=607872732002>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en [redalyc.org](https://www.redalyc.org)

[redalyc.org](https://www.redalyc.org)

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN DISTRITO DE RIEGO EN EL DEPARTAMENTO DE ATLÁNTICO – COLOMBIA.

Eberto Rafael Ortega Sinning¹, Angélica Patricia Vanegas Padilla²

¹Ingeniero Civil, Magister en Geotecnia. Esp. En Vías y Transporte. Magister Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Esp. Análisis y Diseño de Estructuras. Esp. Diseño y Construcción de Pavimentos. Docente de la Universidad Popular del Cesar. Valledupar, Colombia. Contacto: ebertoortega@unicesar.edu.co.

² Ingeniera Ambiental y Sanitaria, Esp. Gestión Ambiental. Magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Docente de la Universidad Popular del Cesar. Valledupar, Colombia. Contacto: angelicavanegasp@unicesar.edu.co. <https://orcid.org/0000-0001-5087-6172>

RESUMEN

Se realizó el análisis de la incidencia geotécnica de los suelos presentes en el municipio de Ponedera, (Atlántico, Colombia) para la construcción de un distrito de riego mediante la toma de muestras a través de apiques manuales y ensayos de penetración estándar (SPT). Esta información fue procesada en una base de datos para su análisis. Se obtuvo el tipo de suelo el cual en su mayoría se clasificó como arcillas y limos inorgánicos (CL y ML) y en poca medida arenas limosas y arcillosas (SM y SC), se realizaron mapas en (SIG) de zonificación del tipo de suelo y capacidades admisibles. No se encontró nivel freático en el área de suelo investigada. Siguiendo los lineamientos del Reglamento Colombiano Sismo Resistente (NSR-10) y el RAS, se concluye la utilidad para futuros estudios. Finalmente, el suelo explorado puede soportar capacidades de carga a 3,0 metros de profundidad de 31,8 Ton/m².

Palabras clave: Zonificación; geotecnia; tipos de suelos, SIG.

Recibido: 16 de marzo de 2022. Aceptado: 19 de septiembre de 2022

Received: March 16, 2022. Accepted: September 19, 2022

GEOTECHNICAL ZONING FOR THE CONSTRUCTION OF AN IRRIGATION DISTRICT IN THE DEPARTMENT OF ATLANTICO.

ABSTRACT

The analysis of the geotechnical incidence of the soils present in the municipality of Ponedera, (Atlántico, Colombia) for the construction of an irrigation district was carried out by taking samples through manual piping and standard penetration tests (SPT). This information was processed in a database for analysis. The type of soil was obtained, which was mostly classified as inorganic clays and silts (CL and ML) and to a lesser extent silty and clayey sands (SM and SC), maps were made in (GIS) of soil type zoning and allowable capacities. No water table was found in the investigated soil area. Following the guidelines of the Colombian Earthquake Resistant Regulation (NSR-10) and the RAS, the usefulness for future studies is concluded. Finally, the soil explored can support load capacities at a depth of 3.0 meters of 31.8 Ton/m².

Keywords: Zoning; geotechnics; types of soils, GIS.

Como citar este artículo: Ortega-Sinning, E. R., Vanegas-Padilla, A. P. (2022). Análisis de la incidencia geotécnica para la construcción de un distrito de riego en el departamento de Atlántico – Colombia. Revista Politécnica, 18(36), 17-29. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v18n36a2>

1. INTRODUCCIÓN

Desde sus inicios la geotecnia, ha sido importante para las diferentes actividades de los programas y disciplinas que lo requieren. Durante muchos años ha brindado apoyo a las diferentes investigaciones que se han desarrollado a lo largo y ancho del país.

Según el censo de 2018, la población en el municipio de Ponedera, departamento del Atlántico era de 23.848 habitantes, y las proyecciones para el año 2035 están alrededor de 30.201 habitantes [1], lo que muestra que hay un crecimiento poco significativo en la población, a causa de los pocos cascos urbanos presentes en el municipio y que la gran mayoría de su extensión es de tipo rural donde se practica la agricultura y la ganadería.

Dichas prácticas agrícolas y ganaderas requieren de un sistema de riego en la mayoría de su extensión y por las características de un sistema de riego se debe tener en cuenta las normas como el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) para toda la parte de distribución de agua y la NSR-10 para las construcciones complementarias de este sistema. Por las razones anteriormente expuestas, se hace necesaria la investigación de los tipos de suelo que allí predominan, debido a que la ejecución de este tipo de proyectos demanda tener un amplio conocimiento de los suelos y las capacidades que estas pueden soportar.

Se consideró de vital importancia realizar el análisis de incidencia geotécnica en toda la zona donde se construirá el distrito de riego en el municipio de Ponedera - Atlántico. Esto se llevó a cabo por medio de ensayos idóneos para la exploración del suelo según las normas ya previamente mencionadas.

Por lo anterior, en el presente artículo se evaluaron diferentes parámetros geotécnicos tales como el tipo de suelo según la clasificación SUCs, los perfiles del suelo, la capacidad de carga admisible, cohesión y el ángulo de fricción interna para determinar su incidencia en la ejecución del distrito de riego en el municipio de Ponedera, en el departamento del Atlántico.

2. MATERIALES Y MÉTODO

Área de estudio: La investigación abarca un área de 7731,25 Ha dentro el municipio de Ponedera – Atlántico más exactamente entre los corregimientos Santa Rita y Puerto Giraldo.

En la figura 1 se visualiza la metodología seguida para cada una de las etapas planteadas de la presente investigación.

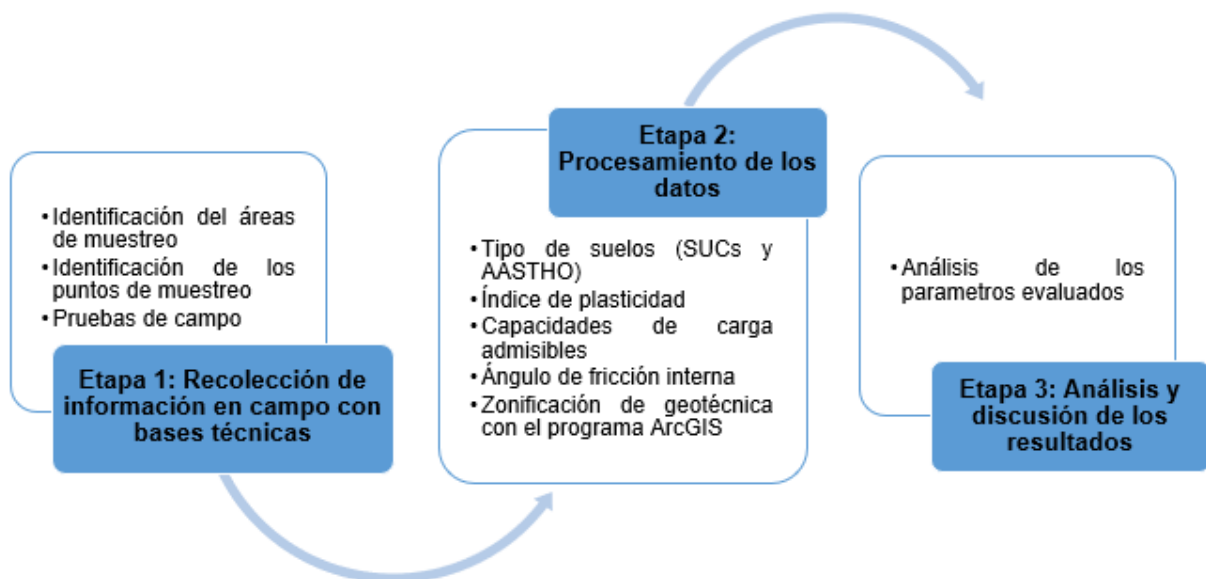


Figura 1. Etapas de la metodología empleada

Etapa 1: Recolección de información en campo con bases técnicas.

Identificación del área de muestreo: Se identificó el área de muestreo según la envergadura y magnitud del sistema de riego que se planteó construir en el municipio de Ponedera, dicha área se estipuló entre los corregimientos Santa Rita y Puerto Giraldo delimitada el Google Earth Pro.

Identificación de los puntos de muestreo: Previa a la determinación del área de investigación, se realizó la ubicación de los puntos de muestreo tanto para los apiques como para los sondeos, teniendo en cuenta la localización de las obras que se proyectaron realizar. En las figuras 2 y 3, se ilustra la localización de los sondeos, estos fueron distribuidos sobre las obras proyectadas, de igual forma en la figura 4 se evidencia la ubicación de todos los apiques ejecutados.

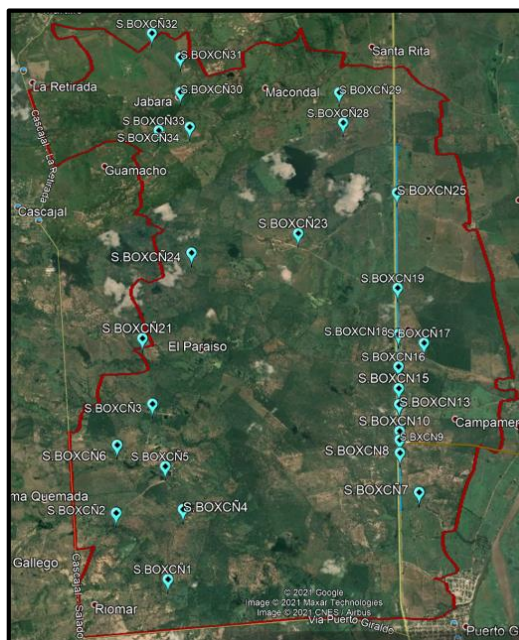


Figura 2. Localización de los sondeos de las obras menores (box culvert)
Fuente. Google Earth

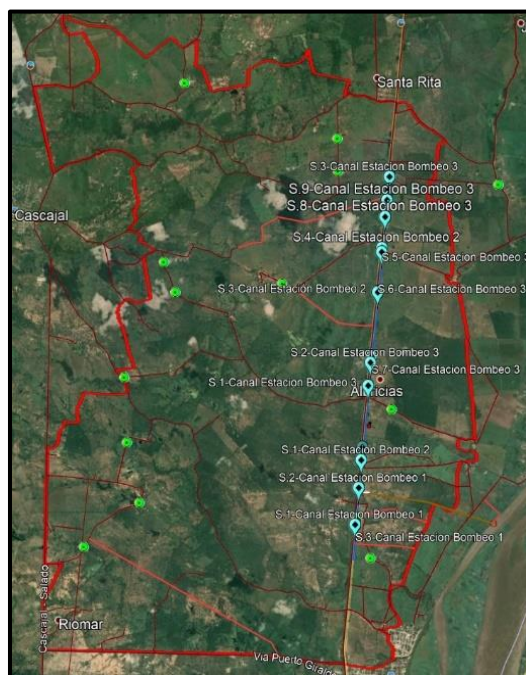


Figura 3. Localización de los sondeos de las obras mayores (canales, desarenador y estaciones de bombeo)
Fuente. Google Earth

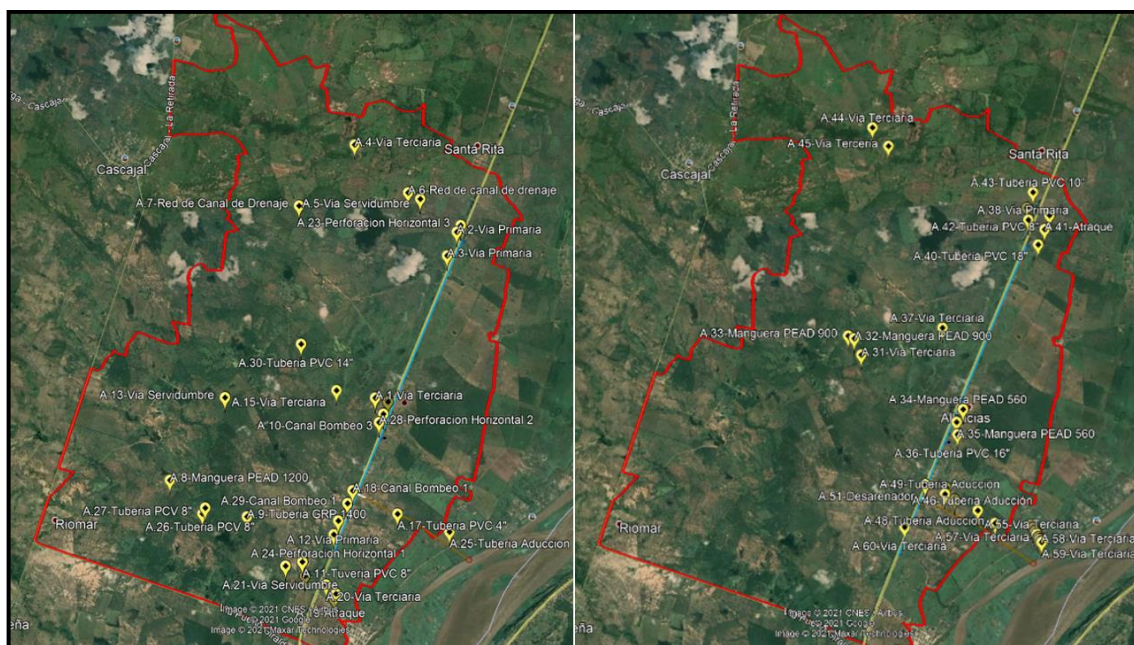


Figura 4. Localización de los apiques en distintas zonas del proyecto
Fuente. Google earth

Pruebas de campo: Se realizaron los respectivos ensayos de campo conformados con 79 apiques a una profundidad de 2.0 metros y 72 sondeos a profundidades entre 2.00 a 6.00 metros. De cada ensayo, se tomaron el número suficiente de muestras para la elaborar los siguientes ensayos de laboratorio.

- Análisis granulométricos
- Clasificación de suelos en los AASTHO y SUCs
- Cálculo de la capacidad de carga admisible
- Ángulo de fricción interna
- Determinación de limite líquido
- Determinación de limite plásticos

Se tuvo en cuenta uno de los puntos donde se entró nivel freático a una profundidad de 1.5 metros.

Etapas 2: Procesamiento de los datos

En esta etapa, se procesaron todos los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio, clasificando los suelos y las características de los mismos según los dichos resultados, como también la creación de mapas de zonificación geotécnica con el programa ArcGIS dando como resultados los siguientes mapas:

- Tipo de suelos (SUCs y AASTHO)
- Índice de plasticidad
- Capacidades de carga admisibles
- Ángulo de fricción interna

Etapas 3: Análisis y discusión de los resultados

El análisis procedente de los resultados del procesamiento de los datos se enfocó en las áreas geotécnicas en función de todas las pruebas de laboratorio ejecutadas en la etapa 1 y procesadas en la etapa 2 ajustadas

a los requerimientos que mencionan las normas anteriormente citadas, exponiendo las características geotécnicas del suelo en investigación tales como el tipo, el ángulo de fricción interna, cohesión, las capacidades de carga, entre otra.

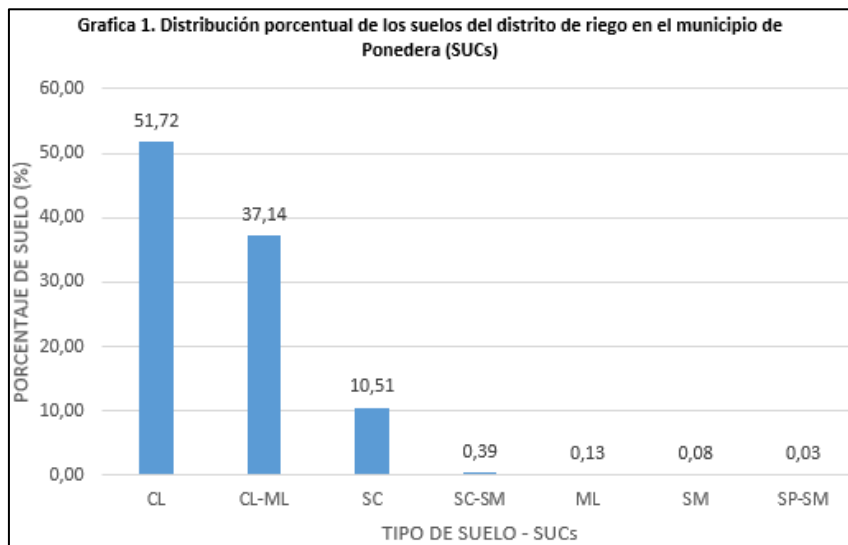
3. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los análisis de los resultados obtenidos posteriores a la identificación de las áreas de estudio, exploración de campo y pruebas de laboratorio, los cuales contaron con ensayos de análisis granulométrico, límites de consistencia (límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad) y cortes directos.

Todos estos ensayos fueron necesarios para la identificación de los parámetros en cada área identificada y a continuación se presenta el respectivo análisis y la zonificación de cada uno.

- **Zonificación del tipo de suelos de la zona del proyecto para distrito de riego en el municipio de Ponedera – Atlántico.**

El área donde se realizó el estudio de suelo se ubica en el municipio de Ponedera entre los corregimientos de Santa Rita y Puerto Giraldo.



Gráfica 1. Distribución porcentual de los suelos de del distrito de riego en el municipio de Ponedera de acuerdo al sistema unificado de clasificación de suelos (SUCs).

El área de estudio es de 7731,25 Ha, de los cuales predomina un tipo de suelos CL (arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres), de igual forma en segunda instancia hay una gran presencia de (arcillas limosas ligeramente plásticas) según la clasificación del Sistema Unificado de clasificación de Suelos (SUCs) [3] el suelo predominante son arcillas inorgánicas (CL) cuenta con un porcentaje del 51,72% de la totalidad del área estudiada mientras que las arcillas limosas (CL-ML) cuentan con 37,14% el porcentaje faltante corresponde a tipos de suelo conformados por arenas arcillosas y mal gradadas. (Gráfica 1).

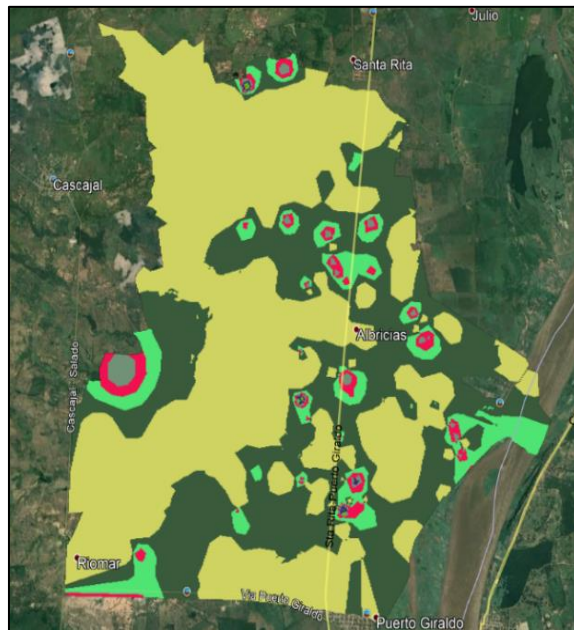
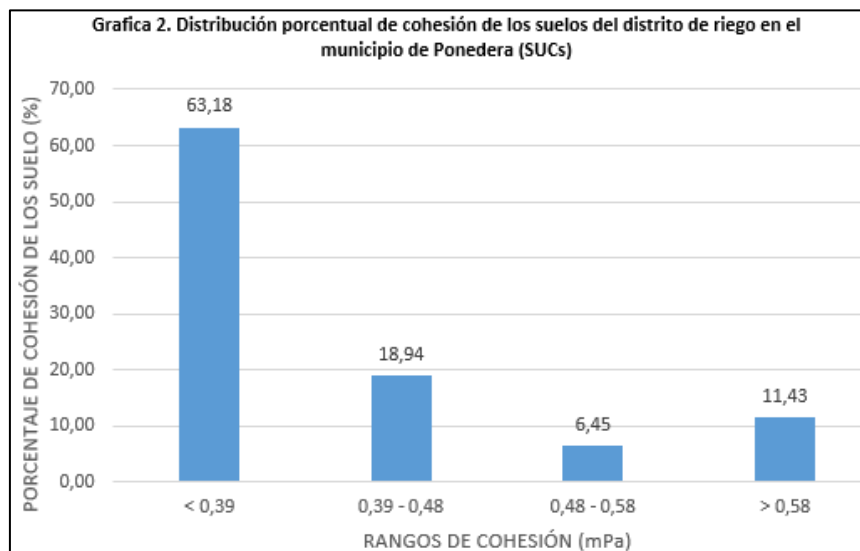


Figura 5. Distribución de los suelos en el área de influencia directa del proyecto de acuerdo al sistema unificado de clasificación de suelos (SUCs).

Fuente. Google Earth

- **Zonificación de la cohesión de los suelos presentes en el distrito de riego en el municipio de Ponedera - Atlántico**



Grafica 2. Distribución porcentual de la cohesión de los suelos en el área de influencia directa del proyecto.

En el área de influencia directa del proyecto del distrito de riego de Ponedera se puede encontrar suelos del con diferente rango de cohesiones y teniendo en cuenta el área total del de la zona de 7731.25 Ha se sacó la distribución porcentual de la siguiente manera: El 63,18 % del área total son suelo con una cohesión inferior a 0,39 MPa, el 18,94% está en un rango de 0,39 MPa a 0,48 MPa, el 6,45% están en un rango de 0,48 MPa a 0,58 MPa y el 11,43% superan los 0,58 MPa como se evidencia en la gráfica 2 y se ilustra en la figura 6.

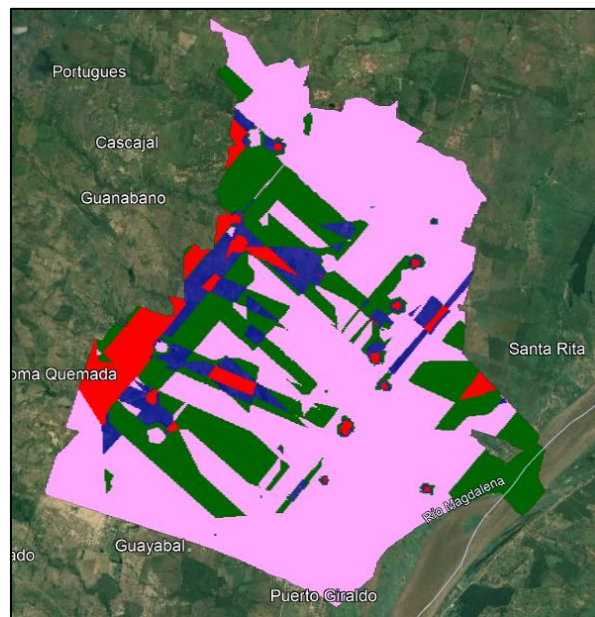
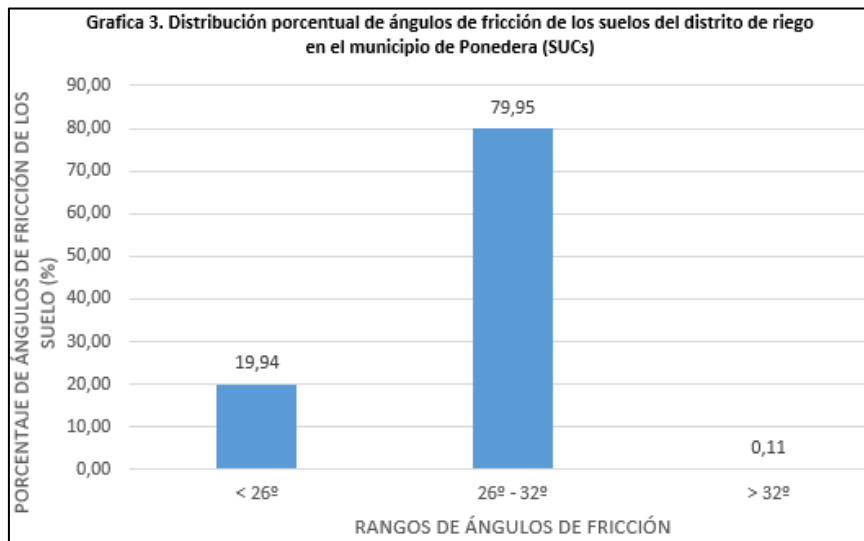


Figura 6. Distribución de la cohesión de los suelos en el área de influencia directa del proyecto.

Fuente. Google Earth

- Zonificación de ángulos de fricción de los suelos presentes en el distrito de riego en el municipio de Ponedera - Atlántico



Grafica 3. Distribución porcentual de ángulos de fricción de los suelos en el área de influencia directa del proyecto.

En la gráfica 3, se evidencia la predominancia de los suelos con un ángulo de fricción que puede variar de 26° a 32°, sin embargo, no es el único rango que arrojaron los resultados de los ensayos realizados, por lo que en la gráfica anteriormente mencionada y en la figura 7 se evidencia el porcentaje de los rangos menores a 26° y mayores a 32°.

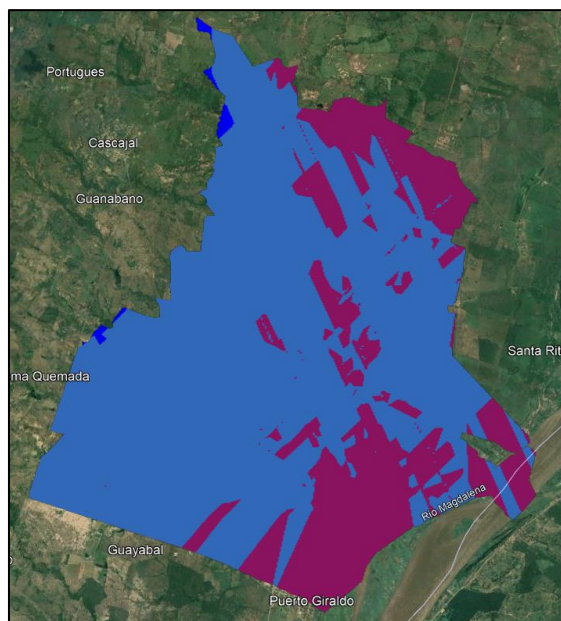


Figura 7. Distribución de ángulos de fricción de los suelos en el área de influencia directa del proyecto.

Fuente. Google Earth

- Capacidad de carga portante

La capacidad de carga en un suelo, es definida como la presión que puede soportar el suelo antes de presentarse la falla en la cimentación. Para el cálculo de la capacidad portante es necesario contar con las propiedades geotécnicas del suelo (cohesión y ángulo de fricción).

Teniendo en cuenta los valores arrojados por los ensayos de campo y laboratorio se calcularon las capacidades portantes de las diferentes zonas a profundidades que varían de 1 a 2 metros de profundidad utilizando la metodología de Terzaghi, los resultados de estas se evidencian en la tabla 1.

Tabla 1. Capacidades portantes del suelo en la zona de influencia directa del proyecto

PUNTO	Prof. de desplante (m)	CAPACIDAD ADMISIBLE (Ton/m ²)
S.BOXCN1	2,00	17,6
S.BOXCN2	2,10	29,9
S.BOXCN3	1,65	16,4
S.BOXCN4	1,95	22,1
S.BOXCN5	2,00	24,6
S.BOXCN6	2,30	28,1
S.BOXCN7	2,80	18,8
S.BXCN8	1,30	21,2
S.BXCN9	1,20	8,7
S.BXCN10	0,90	9,8
S.BXCN13	1,10	9,0
S.BXCN15	1,50	5,0
S.BXCN16	2,80	31,8
S.BOXCN17	2,00	31,6
S.BXCN18	2,60	24,9
S.BXCN19	1,10	6,0
S.BOXCN21	2,50	26,1
S.BOXCN22	2,20	27,3
S.BOXCN23	2,30	16,4
S.BOXCN24	1,95	25,2
S.BXCN25	1,80	10,0
S.BOXCN28	1,60	15,6
S.BOXCN29	1,60	17,2
S.BOXCN30	1,60	16,5
S.BOXCN31	1,60	9,9
S.BOXCN32	1,60	24,9
S.BOXCN33	1,60	16,1
S.BOXCN34	1,60	13,4
S.SIF 1	1,30	12,9
S.SIF2	1,00	8,1
S.SIF 3	1,80	22,8
S.SIF4	1,00	7,1
S.1-Canal Estación Bombeo 3	1,50	11,0
S.2-Canal Estación Bombeo 3	1,50	12,0
S.3-Canal Estación Bombeo 3	1,50	3,0
S.4-Canal Estación Bombeo 3	1,50	7,0
S.5-Canal Estación Bombeo 3	1,50	10,0
S.6-Canal Estación Bombeo 3	1,50	12,0
S.7-Canal Estación Bombeo 3	1,50	6,0
S.1-Tub. Aducción	1,50	8,1
S.2-Tub. Aducción	1,50	6,2
S.3-Tub. Aducción	1,50	6,7
S.4-Tub. Aducción	1,50	6,7
S.5-Tub. Aducción	1,50	6,2
S.6-Tub. Aducción	1,50	7,1
Estación de bombeo 1	1,00	11,0
Estación de bombeo 2	1,00	13,4
Estación de bombeo 3	1,00	14,4
Desarenador	1,00	12,4
Atraques	1,00	15,4
Oficinas	1,00	13,4

- **Ensayo de penetración estándar (SPT)**

El ensayo de penetración estándar se utiliza para hacer un reconocimiento geotécnico de los suelos [4], ya que permite caracterizar los suelos granulares (arenas y gravas arenosas), así como también en terrenos arcillosos para conocer la humedad natural del terreno u otras condiciones geotécnicas como lo es el tipo de perfil de los suelos [5], que para este caso en particular los suelos varían en dos tipo se perfiles dependiendo el número de golpes y velocidad de onda cortante que el ensayo de penetración estándar – SPT [6]. Como se evidencia en la tabla 2.

Tabla 2. Determinación del tipo de perfil del suelo en la zona de influencia directa del proyecto.

PUNTO	Vs (m/s)	N° de golpes corregido	Perfil
S.BOXCN1	168	7	E
S.BOXCN2	238	19	D
S.BOXCN3	197	11	E
S.BOXCN4	219	15	D
S.BOXCN5	238	19	D
S.BOXCN6	229	17	D
S.BOXCN7	159	6	E
S.BXCN8	246	21	D
S.BXCN9	149	5	E
S.BXCN10	159	6	E
S.BXCN13	238	19	D
S.BXCN15	190	10	E
S.BXCN16	183	9	E
S.BOXCN17	265	26	D
S.BXCN18	159	6	E
S.BXCN19	203	12	E
S.BOXCN21	224	16	D
S.BOXCN22	242	20	D
S.BOXCN23	159	6	E
S.BOXCN24	238	19	D
S.BXCN25	242	20	D
S.BOXCN28	183	9	E
S.BOXCN29	176	8	E
S.BOXCN30	176	8	E
S.BOXCN31	138	4	E
S.BOXCN32	250	22	D
S.BOXCN33	197	11	E
S.BOXCN34	168	7	E
S.SIF 1	159	6	E
S.SIF2	229	17	D
S.SIF 3	149	5	E
S.SIF4	219	15	D
S.1-Canal Estación Bombeo 3	258	24	D
S.2-Canal Estación Bombeo 3	265	26	D
S.3-Canal Estación Bombeo 3	168	7	E
S.4-Canal Estación Bombeo 3	219	15	D
S.5-Canal Estación Bombeo 3	242	20	D
S.6-Canal Estación Bombeo 3	265	26	D
S.7-Canal Estación Bombeo 3	208	13	E
S.1-Tub. Aducción	229	17	D
S.2-Tub. Aducción	208	13	E
S.3-Tub. Aducción	214	14	E
S.4-Tub. Aducción	214	14	E
S.5-Tub. Aducción	208	13	E
S.6-Tub. Aducción	219	15	D
Estación de bombeo 1	183	9	E
Estación de bombeo 2	183	9	E
Estación de bombeo 3	242	20	D
Desarenador	219	15	D
Atraques	219	15	D
Oficinas	183	9	E

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Teniendo en cuenta la zonificación realizada en el área del proyecto que abarca 7731,25 Ha, se observa que la mayoría de los suelos presentes según la clasificación de suelo SUCs son CL que denota arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, arcillas con gravas, arcillas arenosas, arcillas limosas y arcillas pobres [7]. En las pocas zonas donde se identificaron materiales con partículas más gruesas como las arenas mal gradadas también se encontró porcentajes de arcilla, lo que corrobora que en toda el área estudiada la predominancia de las arcillas es constante. Estos tipos de suelo poseen característica de impermeabilidad y no presentan drenaje debido a que es un suelo con partículas finas, de igual forma son suelos de buena compactación y una compresibilidad mediana [8].

En cuanto a las características de cohesión en su mayoría son suelos con valores de cohesión inferiores a 0,39 MPa lo que coincide con el tipo de suelo encontrado que en su mayoría fueron arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad [8]. Esta característica presente en la totalidad del área explorada por el tipo de material fino brinda condiciones de estabilidad en las excavaciones por la unión entre las partículas. Caso contrario en los asentamientos debido que en suelos cohesivos la probabilidad de tener asentamientos que sobrepasen lo estipulado por la norma es mayor y aumenta si son suelos saturados [9].

De igual forma se observa que la predominancia en los ángulos de fricción también va acorde con las arcillas inorgánicas al estar en un rango entre 26° y 32°, este parámetro varía según la plasticidad del material analizado, puesto que a mayor plasticidad menor será el ángulo de fricción [10]. Así mismo es uno de los parámetros de mayor importancia para la evaluación de la resistencia al corte por medio del cual se evaluó y calculó las capacidades de carga portante del terreno, teniendo en cuenta también la cohesión que el suelo presentó [11]. Estas variables son importantes porque hay una relación directamente proporcional, debido a que a mayor ángulo de fricción mayor será la capacidad carga admisible.

Como último aspecto estudiado, se presenta la capacidad de carga portante del terreno a una profundidad máxima de 2,80 metros de profundidad [12], al ser suelos arcillosos y con los parámetros anteriormente mencionados, arrojó con el modelo de Terzagui capacidades que llegan hasta 31,8 Ton/m².

5. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados del Análisis Granulométrico realizado a cada una de las muestras del material que compone la zona de exploración se puede decir que los suelos están conformados por **SC, CL, ML, SM** de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación U.S.C [13]. Se determinó que los perfiles de suelo según los tipos de suelos encontrados fueron el perfil E y D de acuerdo a la Clasificación de los perfiles de los suelos del NSR-10.

Se realizaron 79 apiques a una profundidad de 2.00 m y 72 sondeos en donde las condiciones del proyecto al ser de baja complejidad y al presentar rechazo a una profundidad menor no fue posible llegar a la profundidad de 6.00 m en la mayoría de los sondeos.

El proyecto no representa mayor dificultad, ya que es un proyecto de baja complejidad y con el suelo tipo 2, tiene poca variación y las excavaciones no superarán 2,5 m en su mayoría. Dichas profundidades de excavaciones, número de apiques y separación de los mismos, se tomaron de acuerdo al manual de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) en su numeral 5.1.7.1.[14]

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la empresa de Consultorías, Interventorías, Construcción y Laboratorio de Suelos, Concretos y Asfaltos V&O INGENIERÍA SAS, por sus aportes para la realización de esta investigación.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Resultados y proyecciones (2005-2020) disponible en:
http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06_20/ProyeccionMunicipios2005_2020.xls
- [2] ESRI. Introducción al SIG. Disponible en: <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000000t000000.htm>
- [3] Bañón, L., & Beviá, J. F. Manual de carreteras. Alicante: Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, SA. (2000).
- [4] Covo et al (2012). Ángulo de fricción interna bidimensional en arenas en función de su gradación
- [5] Bañón, L., & Beviá, J. F. Manual de carreteras. Alicante: Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, SA. (2000).
- [6] López Flórez, L. V., & Robayo González, F. A. (2007). Zonificación geotécnica preliminar del casco urbano del municipio de Barrancabermeja, Santander. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/205
- [7] Guacaneme Berbeo, John Jairo (2006) "Zonificación de suelos en superficie de la ciudad de Tunja, Colombia," Épsilon: Iss. 6, Article 4.
- [8] Braja, M. (2001). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. México: Thomson Learning.
- [9] Alfaro, A. (2007, junio). Correlación entre el Valor N del Ensayo de Penetración Estándar y Velocidad de Ondas de Corte para Arcillas en Bogotá - Colombia. Revista Épsilon, (No. 8), 13–23
- [10] Alarcón G., & Jorge E. (2007). Integración de información geotécnica del Valle de Aburrá a un sistema de información geográfica SIG. Universidad Nacional, sede Medellín, Colombia.
- [11] Albarracín, Gómez, Alarcón, Sandoval. 2009, "Zonificación Geotécnica de La Zona Centro del Área Urbana del Municipio de Sangamoso por medio de un SIG – Bogotá - Colombia".
- [12] Guzmán, Martínez, Rubiano, Carlos Alvarado, Carrillo; Ministerio de Minas y Energía. 2001 "Zonificación Sismogeotécnica Indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga - Colombia".
- [13] Galli, C. Geología Urbana y suelo de fundación de Concepción y Talcahuano. Chile. Departamento de Geología y Mineralogía. Instituto Central de Química. U de C. 1967.
- [14] Suarez, 1992. "Diseño de Cimientos", Bogotá. Universidad Industrial de Santander. Edición: 1ª ed