



Análisis de la problemática del hincado de pilotes en relleno sanitario para la gestión de  
proyecto en la ciudad de Bogotá, D.C.

Andrés Yohany Vega González

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

julio de 2025

Análisis de la problemática del hincado de pilotes en relleno sanitario para la gestión de proyecto  
en la ciudad de Bogotá D.C.

Andrés Yohany Vega González

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en Gerencia de  
Proyectos

Asesora  
Doris Amanda Rosero García  
Microbióloga, M.Sc., PhD.  
Posdoctorado en Microbiología Ambiental

Corporación Universitaria Minuto de Dios  
Rectoría Virtual  
Programa Especialización en Gerencia de Proyectos  
julio de 2025

## Contenido

Resumen .....	5
Abstract.....	6
Introducción.....	7
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
1.1 Descripción del problema .....	9
1.2 La pregunta de investigación .....	10
1.3 Los objetivos de investigación .....	10
1.3.1 Objetivo general.....	10
1.3.2 Objetivos específicos.....	11
1.4 Justificación de la investigación .....	11
2. MARCO DE REFERENCIA.....	14
2.1. Marco de Antecedentes.....	14
2.2. Marco Teórico .....	14
2.2.1. Fundaciones .....	14
2.2.2. Tipificación de cimentaciones profundas .....	15
Las cimentaciones profundas se pueden tipificar de la siguiente forma. ....	15
2.2.3. Proceso constructivo .....	15
2.3. Marco normativo .....	16
FEMA 450 .....	16
3. METODOLOGÍA .....	17
3.1. Enfoque y alcance de la investigación .....	17
3.2. Población y muestra.....	17
3.2.1. Definición de la población.....	17
3.2.2. Cálculo y selección de la muestra .....	18
3.3. Instrumento .....	18
3.4. Descripción de procedimientos .....	18
3.4.1. Datos recolectados .....	18
3.5. Análisis de información.....	19
3.6. Consideraciones éticas.....	20

## Análisis del hincado de pilotes en gestión de proyecto en relleno sanitario

3.6.1. Análisis de consideraciones éticas .....	20
4. RESULTADOS .....	20
4.1. Resultados de las entrevistas.....	20
4.2. Categorías de análisis.....	24
4.2.1. Consideraciones propias del terreno.....	24
4.2.2. Pilotaje .....	25
4.2.3. Proceso constructivo de la cimentación .....	26
5. DISCUSIÓN .....	27
6. CONCLUSIONES.....	29
7. RECOMENDACIONES.....	30
Referencias.....	31

## Resumen

Este trabajo de investigación expone la problemática presentada en la gestión de un proyecto de construcción, en un relleno sanitario clausurado. Este lote sirvió como depósito de basuras sin ningún control técnico o ambiental en la década del 80. La dificultad abordada radica en el rechazo de algunos pilotes hincados a presión, donde no hay explicación aparente, teniendo en cuenta que se ha llevado a cabalidad la totalidad de las recomendaciones técnicas emitidas por el especialista en suelos y diseñador estructural. La totalidad de la población fue 1250 elementos, de los cuales la muestra ascendió a 13, muestreo determinado a conveniencia del investigador. Este estudio cualitativo determinó, por medio de entrevistas, la opinión de expertos conocedores del tema, las posibles causas del fenómeno sujeto a revisión. Las entrevistas se categorizaron y procesaron de manera manual, permitiendo concluir que el arrastre de materiales del relleno antrópico tanto al momento del pre barrenado como en el hincado del pilar, cuando llega a la zona de la arena de consistencia media, genera un tapón debido a la mezcla de los materiales desconfiados con el agua, a pesar de que la compacidad de la arena es intermedia se considera que en la zona de los rechazos, puede ser mucho mayor que el resto del lote, generando que el paso de los elementos por este estrato de suelo sea muy difícil, por lo tanto, los 13 pilotes no lograron alcanzar la profundidad requerida en el diseño. Se sugiere, para los potenciales interesados en estos procesos, realizar el ingreso de los pilotes, por medio de una máquina hincadora a golpes, donde la fuerza ejercida sobre el pilar sea mayor a la que puede proporcionar una máquina a presión.

**Palabras clave:** relleno sanitario, pilotaje hincado, cimentaciones profundas.

### **Abstract**

This research work exposes the problems presented in the management of a construction project in a decommissioned landfill. This lot was used as a garbage dump without any technical or environmental control in the 80s. The difficulty addressed lies in the rejection of some piles driven under pressure, where there is no apparent explanation, taking into account that all the technical recommendations issued by the soil specialist and structural designer have been fully implemented. The total population consisted of 1250 elements, with the sample amounting to 13, determined at the researcher's convenience. This qualitative study determined, using interviews, the opinion of experts knowledgeable on the subject, and the possible causes of the phenomenon under review. The interviews were categorized and processed manually, allowing us to conclude that the dragging of materials from the anthropic fill, both at the time of pre-drilling and during the driving of the pillar, when it reaches the zone of medium consistency sand, generates a plug due to the mixing of the deconfined materials with the water, although the compactness of the sand is intermediate, it is considered that in the area of the rejects, it can be much greater than the rest of the lot, generating that the passage of the elements through this soil stratum is complicated, therefore, the 13 piles failed to reach the depth required in the design. It is suggested, for those potentially interested in these processes, that they drive the piles through a ramming machine, where the force exerted on the pile is greater than that which a pressurized machine can provide.

Key words: landfill, pile driving, deep foundations.

## Introducción

Con el crecimiento de la población colombiana, ha surgido la necesidad de replantear la organización de las ciudades, la manera en que estas se abastecen, satisfacen sus necesidades y modifican sus prácticas para proteger los recursos naturales disponibles. Parte de estos cambios implica una planeación urbana que proporcione orden en las diferentes zonas, considerando los factores, vivienda, zonas de recreación, bibliotecas, vías y lugares adecuados para la disposición de residuos sólidos. En el pasado, los residuos sólidos se depositaban a cielo abierto, una práctica común en muchas ciudades y poblaciones del país, sin embargo, estos se han clausurado para dar paso a rellenos sanitarios tecnificados, los cuales reciben desechos clasificados de acuerdo con su origen. Estos espacios deben estar adecuadamente preparados y cumplir con las disposiciones establecidas por las autoridades competentes. Para evitar la contaminación del subsuelo se protege el terreno con una geomembrana impermeable, además todos los rellenos deben contar con filtros de lixiviados y chimeneas para la evacuación del gas metano generado por la descomposición de los residuos, y una capa de arcilla que asegure que los desechos no representen un riesgo para la salud pública ni el medio ambiente incluyendo las fuentes hídricas y la atmosfera (Gutierrez Palomino & Martinez Sanabria, 2023).

El cuidado del ambiente y los recursos naturales, además del cumplimiento de las normas técnicas de los nuevos rellenos sanitarios no dieron total solución a la nueva planeación de las grandes urbes, el problema de la postclausura de los rellenos a cielo abierto continua, ya que las ciudades aumentaron sus territorios y estos quedaron en medio de zonas urbanizadas generando un gran problema a las comunidades que los contienen, buscando opciones, se determinó la construcción de parques ecológicos y recreativos en estos lugares con el ánimo de generar un nuevo propósito para estos territorios. Es así como se hacen los estudios y diseños para gestionar un proyecto que contenga un parque ecológico con escenarios deportivos y sociales, permitiendo espacios de aprovechamiento para los habitantes de la zona y para la ciudad en general, tanto en los diseños como en la ejecución del proyecto se deben cumplir con las determinantes ambientales para dicho lote. A partir de estas disposiciones de diseño, se elige el tipo de pilotaje, de los propuestos en el estudio de suelos del proyecto, siendo la cimentación profunda hincada la que cumple tanto con las especificaciones técnicas como con las ambientales, no obstante, durante su construcción se detectó que algunos pilotes presentaban rechazo en un sector, factor causante de sobrecostos, reprocesos y atrasos en el tiempo de

ejecución por lo que se hace necesario determinar la razón de la no aceptación de los pilotes a una profundidad inferior a la requerida en el lote del proyecto, en la ciudad de Bogotá en el año 2024.

Con el propósito de dar respuesta a esta problemática, se desarrolló una investigación de tipo cualitativo, dado que el conocimiento sobre ingeniería de fundaciones de suelos con rellenos antrópicos aún es limitado. Para ello, se recolectó información mediante entrevistas a diferentes expertos con el fin de conocer sus perspectivas y construir una explicación al fenómeno observado. Los resultados de la investigación permitieron concluir que el rechazo de los pilotes se debe al arrastre del material antrópico hacia la capa inferior de la arena de consistencia media. En una zona específica, esta arena presenta una mayor compacidad, y al producirse el desconfinamiento, se genera un tapón junto con el agua presente en el terreno, lo que impide la penetración adecuada de los pilotes.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Descripción del problema

En el territorio colombiano, solo hasta finales del siglo XX se tomó conciencia del problema que representa la disposición final de los residuos sólidos generados por las ciudades. Hasta entonces era común el uso de botaderos a cielo abierto, carentes de control técnico, ambiental o legal. Además, estos sitios no estaban contemplados dentro del Plan de Ordenamiento Territorial (POT), por lo que no se preveía el uso futuro de los terrenos donde se construyeran y clausuraran los rellenos sanitarios, sin embargo, según lo establecido por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2012) estos espacios deben ser definidos desde la etapa de diseño y garantizar que no representen riesgos para el ambiente ni para la salud pública. (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2012). En este contexto, y con el objetivo de transformar estos terrenos en espacios más amigables para las comunidades circundantes, surge la iniciativa de gestionar proyectos sociales y recreativos que permiten reconfigurar la zona y darles un nuevo propósito a los antiguos rellenos clausurados.

Para dar cumplimiento a tal propósito se plantea la ejecución de un parque recreativo y ecológico en la ciudad de Bogotá, en los diseños realizados para la construcción del proyecto se sugieren dos tipos de pilotaje de acuerdo con el estudio de suelos realizado al terreno, este recomienda que la cimentación para la edificación se debe hacer “con pilotes pre excavados y fundidos in situ o pilotes prefabricados e hincados a golpes o presión”. (Alfonso Uribe S y cia S.A., p 22).

Para definir el tipo de pilotaje idóneo en el proyecto se utilizaron las determinantes ambientales emitidas para esta zona, las cuales precisan que en caso de realizarse cimentaciones profundas se deben utilizar técnicas que garanticen que no se produzca conexión hidráulica alguna, ya sea intencional o accidental, entre el cuerpo de agua comprometido y el acuífero subyacente natural. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2023).

Por esta razón se decide realizar pilotes hincados ya que, estos son elementos prefabricados y no necesitan agua al momento de instalarse, caso contrario de los pilotes pre excavados y fundidos in situ, ya que estos utilizan grandes cantidades de agua en su proceso constructivo para estabilizar las excavaciones mientras se funde el concreto en estado fresco.

El proceso constructivo para acometer dichos pilotes se inicia con el pre barrenado de cada elemento para garantizar la inclusión del pilote en el relleno antrópico a la profundidad requerida en el estudio técnico. Sin embargo, se presenta que algunos elementos no logran la profundidad necesaria de cimentación, por esta razón se dirige esta investigación para determinar las razones por las cuales se presentan estos inconvenientes aleatorios, los cuales pueden generar reprocesos, sobrecostos y atrasos en los tiempos de ejecución del proyecto.

Para la gerencia del proyecto es fundamental encontrar una solución rápida al inconveniente mencionado, dado que el avance en la Ingeniería de suelos contaminados es limitado y se presentan múltiples factores que causan el fenómeno de rechazo de los pilotes. Estos factores deben ser examinados, discutidos y resueltos para no comprometer el avance en la ejecución. Al revisar la gestión del proyecto desde este contexto, se investiga cómo la innovación impacta la administración de proyectos que buscan mejorar la calidad de vida social y comunitaria en áreas urbanas desfavorecidas, teniendo en cuenta el uso eficiente de los recursos naturales, financieros y temporales disponibles que generan valor a su entorno.

## **1.2 La pregunta de investigación**

¿Cuál es la causa que ocasiona que algunos pilotes presenten rechazo a una profundidad inferior a la requerida en el lote del proyecto, en la ciudad de Bogotá en el año 2024?

## **1.3 Los objetivos de investigación**

### **1.3.1 Objetivo general**

Determinar la causa que ocasiona que algunos pilotes presenten rechazo a una profundidad inferior a la requerida en el lote del proyecto, en la ciudad de Bogotá en el año 2024.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar con claridad la o las zonas donde se presentan los rechazos de pilotes.
- Establecer con expertos en suelos, suelos contaminados, geotecnistas y demás, las posibles razones que puedan generar este efecto a través del instrumento para recolectar datos, entrevistas.
- Precisar con los expertos consultados cuál es el tipo de pilotaje adecuado para las condiciones del suelo del proyecto.

## 1.4 Justificación de la investigación

En el siglo XXI el crecimiento de la población a nivel mundial genera un reto muy grande para proporcionar todos los servicios e infraestructura necesaria para desarrollo de las urbes que alojan cada vez más personas, las cuales requieren servicios básicos como son: agua, energía, salud, aseo, transporte, telecomunicaciones, recreación, entre otros, por tal motivo el hombre ha tenido que ser más eficiente con el uso de los recursos naturales, su mantenimiento, administración y preservación buscando poder sostener el planeta que habitamos en las mejores condiciones por más tiempo.

Según el DANE la población en Colombia ha crecido tres veces y medio su tamaño desde la década de 1950, lo que ha generado cambios a nivel nacional para lograr cubrir las demandas necesarias de servicios básicos a su población.

Una de las principales problemáticas a las cuales darle solución, está dada por los botaderos de basura a cielo abierto que funcionaban antiguamente, ya que generaban problemas a nivel de salud pública, ambiental, social, y legal. Estos botaderos operaban a las afuera de las ciudades sin ningún tipo de seguimiento técnico-ambiental, ni hacían parte de los planes de desarrollo de las administraciones públicas, sin embargo, con el crecimiento de la población las ciudades también crecieron y la urbanización de las mismas alcanzó los lugares donde funcionaban estos botaderos, al mismo tiempo la cantidad de basura que producían las ciudades también aumentó y generó la necesidad de disponer de lugares especiales con un tratamiento técnico y ambiental que no forjara más daños irreparables a los recursos naturales.

Las administraciones locales y el gobierno colombiano optaron por apropiarse de la problemática, estableciendo normatividad pertinente, tal es el caso del reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico – RAS, documento que contempla los requisitos técnicos que deben cumplir tanto el servicio de agua, como el saneamiento ambiental en todas sus etapas. El Título F considera lo pertinente al sistema de aseo en el país (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2012).

El sistema de Aseo Urbano, contemplado en el RAS, establece los criterios básicos, los requisitos mínimos y las buenas prácticas técnicas de ingeniería que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la implementación y construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación, el mantenimiento, el cierre, la clausura y la post clausura y las actividades de salvamento de infraestructura de los diferentes componentes y subcomponentes del sistema de aseo urbano que se desarrollen en el país, con el fin de garantizar la seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, efectividad, sostenibilidad, redundancia e integralidad dentro del nivel de complejidad determinado para el proyecto (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2012, p. 9)

Al determinar la normatividad y requisitos que garantizan los adecuados lineamientos a seguir, se reflexiona sobre los posibles usos a dar a los botadores clausurados, donde se cuentan con terrenos amplios y debidamente desgasificados, listos para usarse en proyectos a beneficio de la comunidad y la ciudad. Es de recordar que estos lugares, por el desarrollo urbano, se ubican en sitios poblados con grandes complejos de viviendas, surge entonces, la idea de destinarlos como parques eólicos o recreativos para darle un propósito y aprovechamiento.

Un ejemplo del caso anterior es la recuperación de un terreo, usado como botadero de basura, cuya propuesta es la construcción de un gran parque ecológico, con escenarios deportivos, generando así una renovación en la zona y un aprovechamiento no solo para las localidades cercanas, sino también, para la ciudad. Al determinar el proyecto a ejecutar, se adelantaron los estudios y diseños para el desarrollo de la construcción, siempre con un acompañamiento de las autoridades ambientales, por la naturaleza de los materiales depositados en el lote, ya que se debe garantizar un adecuado manejo de estos residuos para que no representen peligro a la comunidad y contratistas, durante de la construcción y operación del parque.

Es importante señalar que existen pocos antecedentes de construcciones realizadas sobre antiguos botaderos de basura clausurados, debido a la escasa evolución de desarrollos geotécnicos especializados en cimentaciones sobre rellenos antrópicos. Esta carencia de conocimiento técnico representa un reto significativo para el sector de la construcción, lo que motivó la presente investigación, orientada a generar nuevo conocimiento tanto para el investigador como para la comunidad técnica y profesional involucrada en este tipo de proyectos.

Durante la gestión del proyecto, se inició la ejecución del sistema de pilotaje seleccionado para cimentar la edificación. Desde el primer pilotaje hincado se evidenció una recurrencia inusual de rechazo, sin una causa clara que explicara el fenómeno. Esta situación impidió que varios pilotes alcanzaran la profundidad requerida para cumplir las condiciones de diseño estructural, lo que obligó a su descarte y reemplazo. Tal inconveniente no solo implicó sobrecostos y retrasos, sino que también planteó un riesgo potencial de asentamientos diferenciales en la estructura a futuro, lo que podría comprometer su estabilidad y durabilidad.

Debido a la escasa experiencia documentada en cimentaciones profundas sobre este tipo de suelos, los hallazgos de esta investigación resultan especialmente valiosos. Contribuyen al fortalecimiento del conocimiento técnico en contextos similares, permitiendo ofrecer aportes más contextualizados en la formulación de dictámenes, recomendaciones y orientaciones técnicas en futuros proyectos. El valor de esta investigación no se limita al beneficio individual del investigador; también representa un aporte significativo para los distintos actores que intervienen directa o indirectamente en procesos constructivos en suelos con esas características. Entre ellos se encuentran geotecnistas, ingenieros ambientales y empresas dedicadas a la construcción de cimentaciones profundas y proyectos de infraestructura.

## **2. MARCO DE REFERENCIA**

### **2.1. Marco de Antecedentes**

En el análisis de viabilidad estructural de un sistema de generación de energía solar, se determinó que las mejores zonas para la instalación de torres fotovoltaicas son los rellenos sanitarios clausurados debido a que son zonas abiertas y no van a tener actividades agrícolas, el único inconveniente radica en las estructuras necesarias para la instalación de los paneles las cuales deben ser livianas, ya que la capacidad de soporte del suelo con rellenos contaminados es muy baja y se evita tener cimentaciones profundas (Vega, 2023).

En una tesis de grado de la universidad de Pamplona en el cual aplican las diferentes técnicas geofísicas para estudiar los parámetros dinámicos del suelo del relleno sanitario clausurado “La Cortada” Municipio de Pamplona, a través de la NSR 10 con el objetivo de generar algún uso posterior de este lugar que sea provechoso para la sociedad. En conclusión, debido a los datos obtenidos de manera no invasiva, se recomienda un factor de seguridad alto (cuatro) para el cálculo de soporte del suelo, toda vez que hay que salvaguardar la seguridad y estabilidad de una edificación para la comunidad (Sánchez et al, 2018, p.192).

Las construcciones informales realizadas en rellenos sanitarios clausuradas generan inconvenientes en su estructura y seguridad, estudio realizado en Lima, Perú, demuestra que estas estructuras son inestables y de poca rigidez (Bueno, 2020), razón por la cual se denota la gran importancia que genera las cimentaciones profundas en toda clase de construcciones, especialmente en zonas tan poco estudiadas a nivel general como son los rellenos sanitarios.

### **2.2. Marco Teórico**

#### **2.2.1. Fundaciones**

En construcción existen las cimentaciones de las edificaciones, cuyo propósito es transmitir la carga de la edificación al terreno. La base de una buena construcción radica en los cimientos, los cuales

darán estabilidad y seguridad a la edificación, las cargas (peso) se distribuyen de manera uniforme y se trasmite al terreno que garantiza el soporte requerido (Ferrovial, 2025). Las cimentaciones en general se pueden determinar en superficiales o profundas, para los fines del estudio nos enfocaremos en ésta últimas.

### **2.2.2. Tipificación de cimentaciones profundas**

Las cimentaciones profundas se pueden tipificar de la siguiente forma.

1. Muros Pantalla: Consiste en realizar un muro alrededor de la excavación para evitar de esta forma el desplome del terreno, luego se excava la zona a construir (Conarsac, 2023).
2. Cimentaciones profundas por flotación y sustitución: La primera se basa en el principio de Arquímedes, “todo cuerpo sumergido dentro de un fluido experimenta una fuerza ascendente llamada empuje, equivalente al peso del fluido desalojado por el cuerpo” (Terán, S.f), la segunda, se basa en reemplazar el material de relleno por uno que contenga un peso similar al suelo retirado, el material usado es el concreto.
3. Los pilotes: Consiste en introducir en la zona de cimentación unos elementos verticales a una profundidad determinada según terreno y especificaciones necesarias para garantizar la seguridad y estabilidad de la estructura (Conarsac, 2023)

### **2.2.3. Proceso constructivo**

Para realizar una cimentación profunda de forma idónea se deben tener en cuenta estudio de suelos, diseño de estructuras y ejecución. En el estudio de suelos se realizan pruebas sobre el terreno con el fin de determinar su composición mecánica, hídrica y física, de esta manera el especialista emite en su informe la cimentación más adecuada. En el diseño estructural se realizan los cálculos pertinentes para determinar las dimensiones, forma y materiales a usarse. En la ejecución se funden o disponen los elementos verticales en los lugares determinados por el diseñador (Conarsac, 2023).

### **2.3. Marco normativo**

#### **FEMA 450**

La Agencia Federal estadounidense para el manejo de emergencias (FEMA 450), emite recomendaciones y contempla criterios de construcción con determinantes mínimos a cumplir. El documento de las Disposiciones ha sido revisado exhaustivamente y votado por las comunidades de arquitectura, ingeniería y construcción y, por lo tanto, constituye una fuente adecuada para el desarrollo de códigos de construcción (Ministerio de vivienda, 2010), éstas disposiciones componen la base de la norma colombiana NRS-10 donde se estipula normatividad básica para construcciones sismo resistentes donde se garantice seguridad, elasticidad, y soporte adecuado de las construcciones.

#### **NRS-10**

Colombia cuenta con la norma NRS-10 que regula actualmente la construcción sismo resistente, en ella determina los requerimientos mínimos en cuanto a materiales, diseños, revisiones y mantenimientos de edificaciones para dar soporte ante fuerzas sísmicas.

La NRS-10 genera disposiciones sobre diseño de diferentes clases de cimentaciones, entre las cuales se contemplan los pilotes, determinando los principios fundamentales de transmisión de fuerzas sobre estos elementos que deben llegar al suelo con distribución uniforme. Esta norma también establece la obligatoriedad de los estudios geotécnicos para todas las edificaciones urbanas y suburbanas de cualquier grupo de uso, en cuyo caso enfatiza en la ejecución y análisis necesarios para la determinación de posibles riesgos geotécnicos, identificación de subsuelo, investigación de estabilidad de la edificación, construcciones cercanas e infraestructura existente. (Ministerio de vivienda, 2010)

#### **Concepto técnico 03441 Secretaria de ambiente.**

Determina las características ambientales de la zona a construir, generando aportes importantes para determinar de manera responsable y adecuado el tratamiento del terreno desde este punto de vista, adicionalmente considera algunos lineamientos de seguridad para los

receptores sensibles. La norma también contempla el manejo del material contaminado y peligroso y será tratado de acuerdo con el decreto 1076 del 2015. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2023)

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Enfoque y alcance de la investigación**

La temática, el planteamiento de la pregunta y lo que se espera de la investigación son determinantes al momento de elegir el enfoque, para este caso, se establece el enfoque cualitativo como opción de diseño, ya que la experiencia y conocimiento del investigador unido a las opiniones de expertos serán los recursos que se usarán en la posible solución del problema.

El planteamiento de la pregunta lleva a determinar que la muestra que se tomó es delimitada por el área de pilotaje del proyecto constructivo (16.000 m<sup>2</sup>), los pilotes que están presentando rechazo generan opiniones subjetivas de acuerdo con el investigador y a cada experto al que se recurra. El desarrollo de esta investigación se realizó en 5 meses, tiempo aproximado que demora el proceso de pilotaje, tiempo donde se pretende determinar de forma descriptiva, las razones que pueden causar el problema que actualmente se está dando en la ejecución del proyecto. “Dentro del enfoque cualitativo, el término diseño adquiere otro significado, principalmente porque las investigaciones cualitativas están sujetas a las condiciones de cada contexto en particular” (Hernández & Mendoza, 2018, p. 524)

#### **3.2. Población y muestra**

##### **3.2.1. Definición de la población**

La población para esta investigación está dada por los 1250 pilotes que el diseño estructural determinó para la cimentación del proyecto en la ciudad de Bogotá. Estos pilotes son prefabricados, conformados por tres secciones e hincados con maquinaria especializada. Para la totalidad de los pilotes se realiza un pre barrenado a la profundidad designada.

### **3.2.2. Cálculo y selección de la muestra**

El muestreo es no probabilístico ya que no se recurre a ninguna clase de herramienta matemática que garantice una cantidad representativa, para esta investigación de forma particular se toma un muestreo a conveniencia (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018) con los pilotes que efectivamente han presentado rechazo en su hincado, al momento de realizar esta selección, se detectan 13 de ellos, cantidad que podría cambiar a medida que se desarrolle la actividad en campo.

### **3.3. Instrumento**

Siguiendo con la temática y en coherencia con el diseño metodológico, se opta por usar como instrumento de recolección de datos, la entrevista semiestructurada, donde la flexibilidad del instrumento aporta libertad para que el entrevistador pueda realizar aportes a conveniencia y así, generar un vínculo más cercano con el entrevistado (Hernández & Mendoza, 2018)

### **3.4. Descripción de procedimientos**

#### **3.4.1. Datos recolectados**

Se diseñó una entrevista semiestructurada que se aplicó de forma presencial a cada uno de los cuatro profesionales determinados por el investigador, entre ellos se encuentran un ingeniero civil con especialización en gerencia de proyectos, otro, con especialización en gerencia de construcciones y gerencia de proyectos, un ingeniero ambiental con especialización de gestión del riesgo y prevención de desastres y, por último, un ingeniero civil con especialización en ingeniería de suelos y fundaciones. Esta recolección de información se llevó a cabo durante los meses de enero y febrero del año 2025. El instrumento se aplicó en la oficina del director del proyecto, tomando la oportunidad de las visitas frecuentes de los profesionales, de acuerdo con citas previas acordadas con ellos, por medio de una grabadora y con una duración de 20 minutos aproximadamente, se realizaron las entrevistas. Las preguntas aplicadas a los entrevistados fueron las siguientes:

1. ¿Podría realizar una descripción del suelo contaminado por el relleno sanitario que se está trabajando?
2. ¿Usted considera que el tipo de pilotaje escogido es el idóneo para este tipo de suelo?
3. ¿Puede describir el proceso constructivo que se está ejecutando para pilotaje hincado?
4. ¿Qué teoría considera que puede dar explicación, al fenómeno del rechazo de los pilotes hincados en el suelo contaminado?
5. ¿Si tuviera que liderar este proyecto que solución propondría al rechazo de los pilotes?

### **3.5. Análisis de información**

Para el análisis de la información se definieron tres categorías, establecidas de la siguiente manera: Consideraciones propias del terreno, pilotaje y procesos constructivos de la cimentación.

Con las cuatro entrevistas realizadas a los expertos, se considera información relevante y suficiente que permite realizar un adecuado análisis de la “problemática en el hincado de pilotes en la gestión de proyecto en la ciudad de Bogotá”

Teniendo en cuenta que la recolección de datos cualitativos se convierte en información a través de los conceptos, percepciones y experiencias (Hernández & Mendoza, 2018), en este caso, por medio de las entrevistas realizadas.

El análisis de la información se realizó manualmente, las entrevistas se llevaron a cabo y grabaron, luego, se transcribieron a documento Word, se procedió a realizar clasificación de la misma forma de acuerdo con las categorías de análisis correspondientes. Se ejecutó una depuración de la información, tomando para la clasificación, aquellas respuestas que se consideran relevantes para el propósito de esta investigación.

### **3.6.Consideraciones éticas**

#### **3.6.1. Análisis de consideraciones éticas**

La aplicación de las entrevistas se realizó garantizando el anonimato y respetando la confidencialidad de los participantes, la información que se recolectó de ellas, así como su relación con cada entrevistado, es de uso exclusivo del investigador principal. La recopilación de la información se realizó de forma veraz, llevando a cabo cada entrevista con respeto a la autonomía del participante, garantizando que cada paso de la recolección de la información se realizó con transparencia y honestidad, por tal razón existe un compromiso de comunicar el resultado de la investigación de manera idónea y clara.

Continuando con los principios éticos, se realizó un formato dónde se definió claramente la naturaleza de la investigación y la forma en que se llevaría a cabo, mencionando la ley de protección de datos colombiana, adicionalmente el investigador se aseguró de que el participante de la entrevista tenga una comprensión clara y detallada del proceso a seguir, el propósito y contextualización del tema a tratar. Se conversó con cada participante, cada duda se aclaró y se enfatizó en la libertad de su participación siendo esta voluntaria y sin presión de ninguna índole.

## **4. RESULTADOS**

### **4.1. Resultados de las entrevistas**

Se realizó una entrevista a cuatro especialistas en pilotaje y suelos contaminados, basada en preguntas determinadas con anterioridad donde se contextualiza la situación del pilotaje y del terreno.

1. ¿Podría realizar una descripción del suelo contaminado por el relleno sanitario que se está trabajando?

Participante 1: *“Bueno, particularmente, este proyecto en especial, se encuentran estratos de arena, de grava, de consistencia bastante dura, más o menos a las profundidades de 13, 12 m que es la*

*primera capa que tiene, pues este relleno y posterior a los 33 m el mismo material y el tema de la basura con lixiviados que tiene el proyecto”*

Participante 2: *“Ok, en este relleno sanitario se han hecho varias excavaciones para mirar el tipo de suelo. El tipo de suelo contiene plásticos, botellas de vidrios, es un relleno antrópico de basura que sale de un hogar normal, adicionalmente, hay un costado que hemos notado que tiene pedazos de concreto de gran tamaño de posibles demoliciones de casas antiguos”*

Participante 3: *“Bueno, con respecto a las características del suelo contaminado, tenemos unas descripciones de un relleno antrópico en el cual encontramos diferentes elementos o metales pesados, material orgánico en residuos contaminados con hidrocarburos y demás que pueden estar también como los de residuos de escombros y demoliciones, y ahí encontramos cualquier variedad de residuos generados por diferentes actividades”*

Participante 4: *“Sí, el suelo en el que estamos trabajando actualmente consiste en un relleno que tiene espesores promedio de ocho m y es un relleno compuesto de material de obra, basuras, material en descomposición y ese relleno viene seguido por una capa de arena que puede tener alrededor de unos cuatro m o un poquito más en promedio. Y que tiene de compacidad media, y después viene una arcilla de una consistencia blanda que al final nos permite encontrar de nuevo otro estrato arenoso, es más o menos la estratigrafía del sector”*

2. ¿Usted considera que el tipo de pilotaje escogido es el idóneo para este tipo de suelo?

Participante 1: *“Sí, creo que es el correcto, porque el pre-excavado sería un daño ambiental teniendo en consideración el terreno que es basura y lixiviados. Puede ser algo muy grave ambientalmente y también para el personal operativo como administrativo que lo vaya a ejecutar. Siento yo que el prefabricado es una innovación a hoy en día en Colombia.”*

Participante 2: *“Yo creo que el piloto también cada vez en más idóneo en esta zona, ya que nos encontramos con un relleno antrópico y adicionalmente estamos cerca de un río, el cual está por debajo del relleno de los acuíferos que se pueden contaminar si se utiliza otro tipo de pilotaje, el más idóneo por estas características que se encuentran en el proyecto sería el pilotaje hincado”*

Participante 3: *“Realmente, aplica esta actividad constructiva con el pilotaje hincado, debido a que evita o mitiga realmente el impacto ambiental o evita que se potencie alguna contingencia frente al tema de lixiviados que es una de las grandes dificultades que se tienen en este proyecto entonces en el*

*hecho de incorporar un proceso de pilota hincado, evita obviamente la saturación del suelo con inyección de agua, en otros tipos de pilotajes como son pilotaje Kelly, se requiere obviamente inyectar grandes cantidades de volumen de agua.”*

*Participante 4: “Desde el punto de vista geotécnico-ambiental, consideró que sí es el adecuado porque se debía cuidar tanto el componente de cargas para poder apoyar la estructura como el tema ambiental que prima en la zona, se hace necesario que el uso de pilotes hincados sea prefabricado y no vayan a tener elementos de refuerzo expuestos desde la condición temporal, sería lo más idóneo para para poder llevar a cabo la cimentación del proyecto”*

3. ¿Puede describir el proceso constructivo que se está ejecutando para pilotaje hincado?

*Participante 1: “Sí señor por ser el residente del proyecto en cuanto al área de pilotaje, nosotros estamos realizando un pilotaje prefabricado en donde está contemplado por tres módulos en donde los pilotes varían entre 25 a 37 m, perdón a 33.7 m, de secciones de 30, 35 y 40, la metodología es un pre-barrenado de 17 m para pasar los estratos como lo mencioné anteriormente de arena, para evitar rechazos del pilote y posterior a eso realizamos la ejecución de la hinca por medio de chequeos de verticalidad de las juntas que se utilizan para unir los módulos por medio de los pines”*

*Participante 2: “El proceso constructivo inicia con la fabricación de los pilotes, que se fabrican en planta. Se arma el acero y se funden en planta después de tener una resistencia mínimo para ser transportados. Se llevan al relleno sanitario del proyecto, eh, una vez estén en el proyecto se inicia con la ubicación mediante equipos topográficos, la ubicación de cada pilote. Se trae la máquina hincadora y se inicia el hincado de cada módulo, cada pilote cuenta con tres módulos. Se inicia con el módulo de punta una vez llegue a ras de terreno se unen mediante un PIN metálico, sigue el proceso, el intermedio y luego de la cabeza, dependiendo del tipo de pilote, se hinca a ras de terreno o se hinca a mayor profundidad, depende de cada ubicación sea un túnel, o sea de una columna, depende la longitud sobre hinca, ese sería el proceso constructivo general”*

*Participante 4: “El proceso constructivo que se tiene planteado actualmente consiste en hacer un pre barrenado que permita atravesar los rellenos superficiales, posteriormente, también vamos a atravesar las arenas y con eso quitamos tanto las posibilidades o la variable de arrastre que se pueda generar en esos primeros metros para instalar el pilote del diseño”*

4. ¿Qué teoría considera que puede dar explicación, al fenómeno del rechazo de los pilotes hincados en el suelo contaminado?

Participante 1: *“Yo considero que esto puede estar relacionado con un mayor contenido de material suelto o con sobre tamaños presentes en el relleno de basuras en esta zona, lo cual podría generar un tapón en el fondo de la excavación y ocasionar los rechazos superficiales observados. Vale la pena complementar, que el material se desprende muy fácilmente, lo cual hace que se vaya al fondo y cuando se está metiendo un pilote de una sección cuadrada, sí lo puede estar compactando, es lo que se va llevando y ahí es donde puede ocasionar el rechazo además de los materiales que encontraron los sondeos de los suelos como es una arena y grava de consistencia compactado”*

Participante 2: *“Pienso que el rechazo se debe, a que tenemos escombros en esa zona, ya que el rechazo no se genera en todo el proyecto, sino en una zona particular, pienso que, como en algunos momentos, del relleno sanitario, hubo escombros de demoliciones, al hacer nosotros, la perforación, la demolición puede caer dentro del hueco y genera el rechazo en ese momento. Esa es la teoría que tengo en estos momentos”*

Participante 3: *“Bueno, de acuerdo con la experiencia, hemos identificado algunas zonas hacia el perímetro exterior del predio, donde se han identificado en el proceso de pre huecos o de pre barrenados que se encuentra material de escombros, yo creería que esa es una de las principales causas en las que hemos tenido estos rechazos y que obedece a esa situación compleja para lograr llegar a la profundidad deseada con el pilotaje”*

Participante 4: *“Cómo lo comentaba en una de las preguntas anteriores, el relleno es un relleno heterogéneo. Los rellenos heterogéneos pueden tener palos, maderos, plásticos que hacen que cuando se esté hincando dichos elementos así uno garantice, la condición de pre barrenado en los primeros metros puede existir algo de inestabilidad de esos sobre tamaños y al ejecutar el hincado o el gateado, vamos a generar un arrastre. Este arrastre en algún momento genera rechazo y eso es lo que no nos permite que el elemento pueda seguir siendo instalado. Por eso es por lo que se están generando los rechazos. Actualmente una segunda teoría que se ha generado de esto es la condición de las arenas, que las arenas a pesar de tener una compacidad buena pueden generar inestabilidad en el estado de desconfinamiento cuando se hace el pre barrenado, generando también un tapón temporal que en la medida que se haga la instalación genera rechazo también”*

5. ¿Si tuviera que liderar este proyecto que solución propondría al rechazo de los pilotes?

Participante 1: *“Tengo una teoría que es pre barrenar el pilote con una broca de diámetro de 40 para una sección de 40x40 y así sucesivamente, para las diferentes secciones, manejar ese tipo de sección en la broca de la pre-barrenadora, posterior a eso generamos una extensión metálica que tiene el mismo cuerpo del pilote prefabricado con el fin de empujar cualquier material que esté taponando a las profundidades que tenemos los estratos de compactación dura y posterior a eso volvemos a pre barrenar, para poder tener más certeza de que evitemos obtener el rechazo e inmediatamente hincar el pilote”*

Participante 2: *“Pienso yo que como la zona de rechazo no es tan grande a comparación del área total del proyecto. Podría haber dos soluciones una, buscar otro tipo de pilotaje que sea hincado, pero de pronto puede ser por impacto para mirar qué tanto baja el pilote. La otra opción también puede ser pues excavar la zona y mirar qué tanto escombros y a qué profundidad estamos encontrando ese escombros, tratar de sacarlo y pues hacer el pilote de hincado común y corriente”*

Participante 4: *“Una alternativa a lo que se viene realizando podría ser un pre barrenado de mayor dimensión que permita garantizar la instalación del elemento en su totalidad, pero al realizar una dimensión superior en el diámetro hace necesario que se haga un relleno en la parte anular o digamos de los vacíos generados para garantizar la condición de confinamiento del elemento estructural”*

## 4.2. Categorías de análisis

### 4.2.1. Consideraciones propias del terreno.

Se respalda en las respuestas de los cuatro especialistas a la pregunta número uno.

Aquí se explica que el terreno objeto del análisis, está compuesto por plásticos, vidrio, desechos de demoliciones de antiguas construcciones, material orgánico, en gran parte los desechos allí encontrados corresponden a un relleno antrópico. Adicionalmente acompañado de estos desechos se encuentran lixiviados, propios de estos lugares. A una profundidad de 12 m, aproximadamente se

encuentran estratos de arena y grava de compacidad media, estos materiales, también se encuentran a profundidades mayores a 33 m, con una compacidad dura, espesor calculado en cuatro metros.

La problemática del hincado de pilotes en la gestión del proyecto en relleno sanitario se relaciona con la consideración del terreno por los diferentes materiales que allí se encuentran, siendo estos posibles promotores del nivel de profundidad inadecuado, de algunos de estos elementos verticales propios de la estructura diseñada para este proyecto.

La mención de componentes propios del suelo, en esta zona, basado en los estudios técnicos y en los hallazgos en campo, corresponden a otro factor que se relaciona con la problemática del desarrollo de la estructura planteada, siendo motivo de reflexión y consideración, en casos en que su dureza y densidad puedan afectar la profundidad requerida de los elementos, esta consideración también indica zonas que son objeto de análisis para determinar su composición y relación con la situación sujeta a investigación.

#### **4.2.2. Pilotaje**

Se apoya en las respuestas de los cuatro especialistas a la pregunta número dos.

Aquí los expertos mencionan y comentan su opinión con respecto al tipo de pilotaje utilizado para construir la estructura del proyecto, todos coinciden que el pilotaje hincado, con elementos prefabricados, genera, para la gestión de éste proyecto un beneficio al ambiente y a todo el personal que allí labora, adicionalmente, siendo el terreno un relleno antrópico, cerca de un río, con otro tipo de pilotaje, podría causar graves consecuencia por la exposición del agua con los lixiviados, pudiendo contaminar acuíferos cercanos. Esta clase de pilotaje, además del cuidado ambiental, cumple con los requerimientos y diseños realizados por el experto estructural, para brindar el soporte necesario y seguro a las cargas que debe soportar.

La problemática planteada en este trabajo de investigación se relaciona con el pilotaje, considerando que éste, sea el correcto y cumpla con los requerimientos técnicos y ambientales necesarios para llevar a cabo, de forma satisfactoria, la cimentación propuesta por el diseño estructural. Opciones diferentes, tomadas en consideración por los expertos, señalan las consecuencias a nivel

ambiental, que podrían traer por el uso de agua al contacto con los lixiviados y el posible efecto en la salud de las personas que desarrollan el proyecto en campo.

#### **4.2.3. Proceso constructivo de la cimentación**

Se sustenta en las respuestas de los participantes uno, dos y cuatro.

El proceso constructivo de la cimentación, según el concepto emanado de los expertos, consiste en primera instancia en la fabricación de los pilotes en planta, donde cada uno de estos elementos, está compuesto por tres secciones o módulos, con longitudes que varían entre 25 y 33,7 m, ya en el terreno donde se ejecuta el proyecto, se inicia un proceso de pre-barrenado a 17 m de profundidad, para pasar los desechos encontrados y los estratos de arena, luego se inicia con el hincado de la primera sección o punta, se une a la segunda y tercera sección por medio de pines, para culminar el proceso con éxito, debe llegar a la profundidad requerida en las especificaciones técnicas según la zona.

La problemática del hincado de pilotes en la gestión del proyecto, está directamente ligada con el proceso constructivo debido al estudio de condiciones iniciales que se tuvieron en cuenta al momento de producirse el diseño y la respectiva planeación de la ejecución de la cimentación, además de los temas relacionados con el cuidado del ambiente, mitigar el riesgo de rechazos de los pilotes en la zona, producto de la presencia de escombros y otro tipo de materiales que puedan obstruir el paso del elemento vertical al nivel requerido, fue el principal argumento, tomado en consideración para realizar el pre-barrenado y asegurar de ésta forma una adecuada profundidad.

## 5. DISCUSIÓN

Los desechos urbanos encontrados en el relleno sanitario no controlado, objeto de investigación, están relacionados con basuras que pueden tener grandes tamaños (Alfonso Uribe S y cia S.A., 2022), según plan de acción interno, emitido por el departamento administrativo del espacio público, los residuos en la ciudad, están caracterizados por la presencia de materiales como papel, cartón, plástico, vidrio, metales, residuos orgánicos no aprovechables y aquellos que lo son (Departamento Administrativo de la defensoría del espacio público., 2022) , en la zona donde se gestiona el proyecto, se encuentran referencias de la composición general de los residuos sólidos en el comercio (Cortes, 2023).

Basados en el terreno donde se gestiona el proyecto, se optó por el hincado a presión de pilotes prefabricados para cimentación profunda, funcionando como pilotes en forma de columna, donde las cargas se transmiten en punta al nivel del suelo solicitado (Vera, 2022). Según la experiencia del investigador los elementos que están presentes en el relleno sanitario corresponden a materiales que el equipo de hincado puede arrastrar sin ningún problema, podría presentarse inconvenientes en las zonas que se detectaron escombros de edificaciones antiguas, para tales casos, se optó por realizar un prebarrenado en condiciones diferentes a las que se realizaron en otras áreas.

Continuando en el mismo contexto se determina como posibles causas del rechazo de los elementos verticales a profundidad inadecuada, el material suelto, escombros de tamaño considerable, derivados de demoliciones de construcciones y el impacto que generan las arenas en el estado de desconfiamiento al hacer el prebarrenado. Sin embargo, según (Conarsac, 2023), al determinar el diseño de la estructura, se tienen en cuenta la forma, cálculos y materiales a usarse, no obstante, en el informe de suelos, la arena fina que se encuentra bajo la arcilla, tierra y residuos (Alfonso Uribe S y cia S.A., 2022), puede ser la causa del taponamiento temporal, impidiendo el ingreso de los elementos estructurales a los niveles adecuados, debido a la compacidad que alcanza este material en terrenos con características determinadas.

Por otra parte, considerando las condiciones del terreno donde se desarrolla el proyecto y atendiendo las recomendaciones técnicas emitidas por la autoridad ambiental competente, en este caso la (Secretaría Distrital de Ambiente, 2023), quien establece que “se deben utilizar técnicas de

cimentación profunda que garanticen que no se produce conexión hidráulica alguna, ya sea intencional o accidental, entre el cuerpo de agua comprometido y el acuífero subyacente natural” (p. 95), por esta razón, se determinó con los expertos que el pilotaje prefabricado, conformado por elementos de acero y concreto reforzado, diseñados para resistir las fuerzas generadas durante el proceso de hincado (Vega, 2024) es el adecuado para la gestión de este proyecto en particular, la técnica usada consiste en introducir los pilotes de forma vertical en el terreno, mediante golpes o presión permitiendo así que alcancen la profundidad requerida. Para este proyecto específico se están utilizando pilotes conformados por tres módulos, donde los elementos estructurales dependen de la clase y especificaciones del suelo, usando de esta manera una de las clases de cimentaciones profundas aceptadas y ejecutadas técnicamente (Carvajal, 2018). Adicionalmente, para la gestión de este proyecto en particular se determina un prebarrenado, técnica que consiste en realizar una excavación previa, (Chiriboga Zapata & Moreno Alvarez, 2018), si bien este método ofrece ventajas importantes como una mayor precisión en la ubicación del pilote, optimización de materiales y reducción del riesgo de rechazo a profundidades inadecuadas según los diseños estructurales, es un proceso complementario para optimizar el hincado de pilotes a presión. Esta elección cumplió, como se ha expuesto anteriormente, a consideraciones tanto ambientales como laborales dadas las restricciones del terreno y las recomendaciones de la autoridad ambiental.

## 6. CONCLUSIONES

De acuerdo con la investigación y observación realizada a la ejecución del hincado de pilotes, se evidencia que existe una zona especial donde se generaron la mayor cantidad de rechazos de los elementos, lo que determina que efectivamente en esta zona ocurre algún fenómeno particular con el suelo y que no es un problema generalizado de todo el lote.

De acuerdo con el trabajo realizado con los expertos se resuelve que la problemática generada está dada por el arrastre de materiales de relleno antrópico tanto al momento del pre barrenado como en el hincado del pilote, que al llegar a la zona de la arena de consistencia media genera un tapón debido a la mezcla de los materiales desconfiados con el agua, a pesar de que la compacidad de la arena es media se considera que en la zona de los rechazos puede ser mucho mayor que al resto del lote, generando que el paso de los pilotes por este estrato de suelo sea muy difícil y, por tanto, estos elementos no lleguen al nivel de diseño.

Los expertos coinciden que el tipo de pilotaje es el adecuado, ya que brinda una solución de cimentación profunda integral, la cual contempla el desarrollo técnico necesario para el suelo y logra cimentar la edificación de manera correcta, más el cuidado ambiental que requiere el relleno antrópico presente en el lote, el cual no puede generar daños ambientales mayores a los existentes ni tampoco puede representar un peligro para los trabajadores ni para la comunidad del sector.

## **7. RECOMENDACIONES**

En el caso tal que un mismo pilote genere dos o varios elementos rechazados, se recomienda utilizar una máquina para hincado por golpe, que aporte una energía mayor y alcance a sobrepasar el estrato del relleno antrópico y arena existentes para poder llegar a la profundidad del diseño.

Los resultados ambientales del pilotaje hincados son satisfactorios, toda vez que no se necesitó utilizar agua, ni concreto en estado fresco, las condiciones del suelo no se alteraron significativamente, ni aumentó su grado de contaminación, por lo tanto, estos tipos de cimentación profunda se recomiendan para usos futuros en condiciones similares de rellenos antrópicos sobre suelos de consistencia media o blanda.

## Referencias

- Alfonso Uribe S y cia S.A. (2022). *Estudio de suelos y análisis de cimentación*. Bogotá.
- Bueno, R. Q. (2020). "Evaluación estructural de viviendas autoconstruidas sobre relleno sanitario , Barrio primero de Mayo, Lima 2020.
- Carvajal, N. (2018). *Cimentaciones Superficiales y Profundas* . Obtenido de (Unidad 2 Universidad del Quindío): [https://aulasvirtuales.uniquindio.edu.co/RecDigital/ConstruccionI20211/recursos/unidad2/Descargable\\_EA1.pdf](https://aulasvirtuales.uniquindio.edu.co/RecDigital/ConstruccionI20211/recursos/unidad2/Descargable_EA1.pdf)
- Chiriboga Zapata , F. M., & Moreno Alvarez, M. A. (Enero de 2018). Evaluación de la interacción suelo-pilote prebarrenado bajo carga lateral en suelos licuables, caso real. Puente Peatonal de Muisine (Disertación previa a la obtención del título Ingeniero civil, Pontificia universidad católica de Ecuador). *Tesis de grado*. Quito: Repositorio institucional Pontificia Universidad Católica de Ecuador. Obtenido de [repositorio.puce.edu.ec](http://repositorio.puce.edu.ec)
- Conarsac. (1 de 8 de 2023). *¿Qué son las cimentaciones profundas? Tipos y en que casos se utilizan*. Recuperado el 21 de 11 de 2024, de Conarsac.com: <https://conarsac.com>
- Cortes, J. A. (2023). *Análisis de la generación y composición física de los residuos sólidos en los cluster comerciales en la localidad de Kennedy, Bogotá (Trabajo modalidad pasantía, Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas)*. Bogotá: Repositorio institucional Universidad Francisco Jose de Caldas. Obtenido de <http://repository.udistrital.edu.co/GonzalezCortes,JohanaANDres2023>
- Departamento Administrativo de la defensoría del espacio público. (2022). Plan de Acción Interno-PAI Manejo adecuado de residuos sólidos 2022. Bogotá. Obtenido de [www.dadep.gov.co](http://www.dadep.gov.co)
- Ferrovial. (2025). *¿Qué son las cimentaciones?* Recuperado el 28 de 11 de 2024, de Ferrovial: <https://www.ferrovial.com>
- Gutierrez Palomino, C., & Martinez Sanabria, A. (2023). Ubicación De Rellenos Sanitarios. Universidad de Magdalena. Obtenido de [https://www.academia.edu/download/113480854/Ubicacion\\_De\\_Rellenos\\_Sanitarios\\_Geologia.pdf](https://www.academia.edu/download/113480854/Ubicacion_De_Rellenos_Sanitarios_Geologia.pdf)
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la Investigación, las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México: Mc Graw Hill.
- Ministerio de vivienda, c. y. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). *Decreto 926 de 19 de marzo de 2010*. Bogotá: Ministerio de vivienda, ciudad y territorio. Obtenido de <https://www.scg.org.co/Titulo-A-NSR-10-Decreto%20Final-2010-01-13.pdf>

- Ministerio de vivienda, ciudad y territorio. (2012). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico - RAS*. Bogotá, Republica de Colombia: Ministerio de vivienda, ciudad y territorio. Obtenido de [www.https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulo-f.pdf](https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulo-f.pdf)
- Sánchez, J., Contreras, M., & Torres, J. (2018). *SEMICIEBB - Memorias II Congreso Internacional Catatumbarí 2018*. Recuperado el 25 de 11 de 2024, de Repositorio institucional Universidad de Pamplona: [https://www.researchgate.net/profile/Deyanira-Munoz-Munoz/publication/335753581\\_Memorias\\_II\\_Congreso\\_Internacional\\_Catatumbari\\_2018/links/5d794ab1299bf1cb80997126/Memorias-II-Congreso-Internacional-Catatumbari-2018.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Deyanira-Munoz-Munoz/publication/335753581_Memorias_II_Congreso_Internacional_Catatumbari_2018/links/5d794ab1299bf1cb80997126/Memorias-II-Congreso-Internacional-Catatumbari-2018.pdf)
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2023). Concepto técnico 03441.
- Terán, L. V. (S.f). *Principio de Arquímedes*. Recuperado el 16 de 11 de 2024, de Universidad autónoma del estado de Hidalgo: <https://www.uaeh.edu.mx>
- Vega, B. G. (24 de 05 de 2023). Análisis de viabilidad estructural de un sistema de generación de energía solar fotovoltaica en un relleno sanitario. *Unisimon*. Recuperado el 11 de diciembre de 2024
- Vega, P. A. (2024). Diseñode la investigacióndel análisis por medio de elementos finitos del comportamiento de las cimentaciones especiales de edificaciones construidas en laderas (Trabajo de graduación,Universidad San Carlos de Guatemala). Obtenido de <https://biblio.ingenieria.usac.edu.gt/protocolos/2024/TGP1638.pdf>
- Vera, R. A. (2022). Las nuevas técnicas para el desarrollo y evaluaciones de las estructuras de hormigón. 593 Digital Publisher CEIT. Obtenido de <https://doi.org/10.33386/593dp.2022.3-1.1134>