

Análisis de propiedades físicas y mecánicas para suelos contaminados con hidrocarburos

Alexánder Molina Villalobos
alexander.molinav@ufide.ac.cr, Universidad Fidélitas, San José, Costa Rica
Andrea Marcela García Valverde
amgarcia09@hotmail.com, Universidad Fidélitas, San José, Costa Rica

Abstract

This article seeks to determine the behavior of soil samples contaminated with hydrocarbons. This is because in the construction sector, any soil that contains a toxic substance should not be used for another activity, so the study determines if contaminated soil can be reused as fill material, providing a benefit. This research establishes a need that has not been given the importance it requires, considering that there is greater awareness among citizens about the problems that this represents. The methodology used was developed by washing granulometry tests, moisture content, Atterberg limits, modified Proctor and CBR, and involved consulting bibliographic sources, national and international regulations. As conclusions, this information is important for possible contamination events in the country, since research similar to this topic focuses on the remediation of contaminated soil.

Keywords: Test, soil, granulometry, hydrocarbons, substances.

Resumen

El presente artículo busca determinar el comportamiento de muestras de suelo contaminadas con hidrocarburos. Esto debido a que en el sector de la construcción, todo suelo que contenga alguna sustancia tóxica no debe ser empleado para otra actividad, por lo que el estudio determina si se puede reutilizar un suelo contaminado como material de relleno, brindando un aprovechamiento. Dicha investigación establece una necesidad a la que no se ha otorgado la importancia que requiere, considerando que hay una mayor concientización en la ciudadanía sobre los problemas que esto representa. La metodología empleada se desarrolló por ensayos de granulometría por lavado, contenido de humedad, límites Atterberg, Proctor modificado y CBR, implicó la consulta de fuentes bibliográficas, normativa nacional e internacional. Como conclusiones, esta información es importante para posibles eventos de contaminación en el país, ya que las investigaciones similares a este tema se centralizan en la remediación de un suelo contaminado.

Palabras clave: Ensayo, suelo, granulometría, hidrocarburos, sustancias

1. Introducción

En el estudio y análisis de contaminación, es de considerar que este corresponde a uno de los problemas de mayor dificultad en aspectos medioambientales, además de ser uno de los conflictos de mayor relevancia a nivel mundial y nacional que implica la necesidad de atención y abordaje por parte de los profesionales pertinentes. Debe considerarse que en la actualidad existen diversas actividades tales como, la explotación y comercialización de combustibles que pueden provocar daños irreparables en el medio ambiente. La distribución y venta de combustibles como actividad económica fundamental en el país, tiene como uno de los riesgos de mayor relevancia, el que estos combustibles se derramen, generando un impacto negativo al ambiente; afectando al suelo, además de la fauna y flora existente que en él habitan, generando un deterioro considerable y ocasionando cambios en su ecosistema de manera abrupta, así como también una problemática a la salud pública.

De acuerdo a lo que indica la Universidad de Murcia (2013) con respecto a los efectos nocivos de combustibles, y con base en unos estudios realizados por parte del área de investigación de la universidad, esta menciona que:

“Los efectos nocivos de una gasolinera se perciben a menos de 100 metros de estas estaciones de servicio. Este trabajo de investigación se centra en la contaminación que se pueda producir en los suelos a nivel de Costa Rica y la afectación al entorno natural de los mismos. La presente investigación tiene como finalidad determinar por medio de ensayos de laboratorio, tales como Proctor modificado y un Ensayo de Relación de Soporte de California, o por su siglas en inglés California Bearing Ratio, (CBR) si la presencia de hidrocarburos interfiere de manera que la composición del suelo, así como su textura y parámetros como la compactación y la capacidad de soporte del mismo se ven alterados. El análisis de pruebas como CBR ayudan considerablemente a establecer cuánto es lo que resistiría un suelo al esfuerzo cortante ante una eventual contaminación y así tomar este valor para evaluar la calidad y control del mismo, además de tomarlo como un factor de diseño, con el fin de concretar qué tipo de estructura soportaría ese suelo. (p.46)”

Es claro que estos tipos de análisis permiten a los profesionales tener una estimación de las afectaciones que pueden estar presentes en los entornos cercanos a estaciones de combustible, y los daños que estas pueden generar al ambiente, el suelo y la naturaleza como tal, por lo tanto, su estudio permite mejorar calificativamente los actuare por parte de los profesionales para con las soluciones del caso.

De acuerdo a lo que expresa Pinedo (2019), con respecto a la definición de suelo contaminado, este autor plantea que:

“Puede considerarse suelo contaminado aquél cuyas características han sido alteradas negativamente por la existencia de diversos componentes químicos de carácter peligroso y de origen humano, en concentración tal que comporte un riesgo inaceptable para la salud humana o el medio ambiente. (p.2).”

Es por esto que se considera que la importancia de los diferentes estudios que buscan indagar y sentar evidencia sobre esta problemática permiten establecer nuevos análisis que se relacionen al cambio en las propiedades físicas y mecánicas de los suelos tipo polvo piedra y limos arenosos por medio de ensayos de laboratorio. Estos materiales son los más utilizados para rellenos en obras de construcción.

Es importante mencionar que, cuando un suelo entra en contacto con hidrocarburos, el suelo debe de ser extraído y desechado. Este análisis permite conocer si el suelo contaminado se puede utilizar para otros fines constructivos, concretamente, para material de relleno.

Los hidrocarburos que se utilizaron fueron el diésel y la gasolina; esta clase de materiales cuando se derraman sobre un suelo penetran rápidamente en el mismo, provocando así una gran contaminación en el agua subterránea y superficial. Este tipo de hidrocarburos tienden a flotar en la superficie cuando entra en contacto con el agua, lo cual afecta también a plantas y animales. En el caso de las gasolineras al ser instalaciones destinadas a la venta de este tipo de material están expuestas a un riesgo muy elevado de contaminación de suelos. El mal estado de sus tanques de almacenamiento o descuido de las personas que trabajan en ellas pueden ocasionar esta problemática.

Mecánica de suelos

Al hablar de mecánica de suelo, se debe considerar que esta corresponde a la aplicación de leyes de la mecánica y la hidráulica a los diferentes problemas de ingeniería que trabajan con sedimentos y otro tipo de acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, que son producidas por la desintegración mecánica o la descomposición química de las rocas, independientemente de que tengan o no materia orgánica.

La mecánica de suelos es la ciencia que permite determinar teorías sobre el comportamiento de los suelos cuando son sometidos a cargas. Los métodos de investigación de laboratorio son los predominantes para analizar los suelos y en la ingeniería civil no solo se tienen los problemas habituales del acero y el concreto, tales como el módulo de elasticidad y resistencia a la ruptura, sino que también se encuentra una gran variedad de clasificación de suelos, debido a que los procesos formadores de ellos están fuera del control del profesional.

Para Pinedo (2019), hablar de mecánica de suelos es expresar que:

“La mecánica de suelos corresponde a una disciplina que busca aplicar leyes de la mecánica e hidráulica a los diferentes problemas geotécnicos de los terrenos, busca estudiar las propiedades, el comportamiento y el uso de la aplicación del suelo como parte de un material estructural, de forma en que las deformaciones y la resistencia de este permitan ofrecer seguridad, durabilidad y estabilidad a las estructuras. (p.31) “

Es por ello, que la mecánica de suelos tiene dos sistemas para la clasificación de suelo, esto se define por sus características como el color, olor, texturas, distribución de tamaños y su plasticidad. Es importante que el profesional conozca del contexto geológico del suelo en análisis e incluso el climatológico. De esta manera tiene conocimiento de las principales propiedades, como su apariencia y su origen.

La Geotecnia

De acuerdo con lo que expresa Hernández (2020), la geotecnia corresponde a “una rama de la ingeniería encargada de estudiar el comportamiento de las construcciones sobre el suelo” (p.31). Esta es considerada asimismo como la ingeniería geotécnica, la cual corresponde a la aplicación de métodos científicos y principios de ingeniería para la adquisición, interpretación y uso de conocimiento de los materiales de la corteza. Ante lo cual, este autor también menciona y considera que es importante valorar aspectos como los inconvenientes más comunes del suelo, entre los cuales menciona que son los siguientes:

- El terreno como cimiento: toda obra de construcción debe posicionarse sobre un terreno, por lo que se considera de suma importancia analizar las propiedades físicas y mecánicas que tiene este apoyo y las transmisiones de cargas de las estructuras a realizar, por lo que se debe estudiar la capacidad soportante del suelo.
- El suelo como productor de cargas: esto sucede cuando se toma un terreno para crear un desnivel y que este cumpla la función de contener el terreno, por ejemplo, la construcción de muros de contención. Es por esto que se debe analizar la magnitud y distribución de empujes ejercidos por el terreno.
- El terreno como propia estructura: este caso se refiere a un talud y ocurre cuando se requiere realizar un desnivel, pero sin construir una estructura de contención, por lo que se debe estudiar el grado de su inclinación para garantizar su estabilidad.
- Terreno como material: en obras donde se necesite utilizar el suelo como material de relleno, terraplén o presas, pues es necesario considerar las propiedades del suelo y la influencia que tendrá la compactación. (p.32)

Geotecnia ambiental

De acuerdo a lo que indica Hernández (2020), con respecto a la geotecnia ambiental, explica que:

“En este ámbito de la geotecnia, se llevan a cabo actuaciones de asesoramiento geotécnico, en las diferentes fases del proyecto, ya sea construcción, servicio, el estudio de patologías, residuos, escombreras, zonas con duración y obras de protección ambiental. Este tipo de estudio busca dar análisis a las diferentes situaciones que involucran la geotecnia y el ambiente como tal. (p.32)”

Por lo tanto, esta es una rama de la geotecnia donde se brindan asesorías en las fases iniciales de un proyecto de construcción. Se analizan algunas patologías de suelos afectados por una contaminación, como en vertederos de basura, zonas degradadas o alguna zona de protección ambiental. Se realizan estudios de caracterización de materiales como barreras (geotextiles), que colaboren a la impermeabilización y contención de la contaminación para brindar protección ambiental. (Hernández, 2020)

Suelo

La definición de suelo, puede describirse considerando que este es una capa fina de material fértil que está sobre toda la superficie de la tierra. Se encuentra conformada por compuestos sólidos, líquidos y gases. Los suelos se forman de procesos como la meteorización, la desintegración de rocas y minerales, así también como de la colonización y actividad de seres vivos presentes en la tierra. De esta manera, el suelo ofrece soporte físico para el crecimiento de estos seres. (SACSA, 2015).

Composición del suelo

Propiedades físicas del suelo

El suelo se encuentra compuesto por diferentes materiales, entre ellos sólido, como rocas, plantas y animales. Estas propiedades son las que se pueden percibir, oler y medir, y se encuentran relacionadas con la textura, color y la capacidad para retener el agua. (Pinedo, 2019)

Propiedades mecánicas del suelo

Pinedo (2019), explica que con respecto a las propiedades mecánicas del suelo, puede considerarse que:

“Son todas aquellas propiedades que determinan la capacidad del suelo ante alguna situación. Estas se pueden analizar por medio de ensayos de laboratorio como plasticidad, granulometría, peso seco máximo, Proctor estándar y modificado, además de la comprensión confinada. Estas propiedades son las que se desean estudiar en este proyecto, para así con las muestras del suelo contaminado con gasolina verificar si se puede reutilizar para fines constructivos. (p.71)”

Propiedades químicas del suelo

Estas propiedades son variables y es necesario realizar un análisis para conocer con claridad cuales están presentes en el suelo. Este análisis permite observar cuales propiedades están en contacto con el suelo o faltan y además cuales están en exceso. Entre estas propiedades están las siguientes:

- Capacidad de intercambio Catiónico (CEC): Capacidad del suelo de retener iones positivos. Los valores altos en el CEC indican que hay mayores nutrientes en el suelo como lo es el magnesio, calcio, potasio, zinc, cobre, entre otros.
- pH: este indica el nivel de ácido presente en el suelo. El rango de valores esta entre 0 y 14, del 0 al 7 son valores ácidos mientras que del 7 al 14 son valores alcalinos, con un punto neutro en el 7. Para el caso de investigación es importante mencionar que los niveles peligrosos están por debajo de 5 y mayores a 8.
- Fertilidad: es la capacidad del suelo de retener los nutrientes, esto aplica para principalmente para dar vida a otros seres. (Pinedo, 2019, p.73)

Por lo tanto, hablar de propiedades químicas es intercalar el conocimiento por la capacidad de intercambio de sustancias y la productividad del suelo, lo que permite que estas influyan en la disponibilidad de nutrientes, el crecimiento de flora, contaminantes y la actividad biológica.

Contaminantes del suelo

La calidad del suelo está dada por las diferentes condiciones de equilibrio presentes en la naturaleza, esto garantiza la vida de los organismos que en él habitan. La presencia de contaminantes altera este equilibrio trastornando así las propiedades mecánicas y físicas del suelo, generando un riesgo para la salud y el ambiente. Debido a lo anterior, se debe tener en cuenta que la contaminación no solo afecta al suelo, sino que también a aguas superficiales, subterráneas, atmosfera y a ambientes sensibles como animales y plantas. La cantidad y diversidad de contaminantes se encuentra en un crecimiento abismal, esto debido al desarrollo agroquímico e industrial. Esta contaminación sucede cuando una sustancia química es derramada accidental o voluntariamente sobre un suelo, generando un daño en él, alterando así su estado natural. (Pinedo, 2019). Sin embargo, la conciencia sobre de la contaminación del suelo está creciendo a nivel mundial, por lo que esto conduce a un aumento en las investigaciones sobre la evaluación del material y el daño que se causa en el ambiente.

Los hidrocarburos y sus características

Con respecto a los hidrocarburos y sus características, Mendoza (2018), explica que:

“Los hidrocarburos se obtienen de la descomposición y transformación por medio del calor de sedimentos de materia orgánica presentes a gran profundidad como las algas, plantas, animales. Estos compuestos están contenidos en la base rocosa del suelo, lo que comúnmente se denomina la roca madre. La temperatura y la presión a la que ha estado sometida la materia orgánica es la que permite que esta se transforme en líquido ya sea petróleo o gas. (párr.4)”

Cuando este proceso se ha realizado los hidrocarburos se trasladan hacia las arenas y rocas fragmentadas, ya que son permeables, por lo que tienen gran facilidad de absorber y expulsar el líquido presente en ellas. Además, los hidrocarburos están compuestos principalmente de átomos de carbono e hidrógeno, los cuales se pueden encontrar en varios estados de la materia como líquido, gaseoso o sólido.

El petróleo es un derivado de los hidrocarburos, los cuales son la fuente que derivan otras mezclas como el combustible. Este material no suele ser biodegradable, son insolubles en agua, tienen un color amarillento o hasta negro, el olor puede ser agradable y en algunos casos desagradable, además es un material que arde con facilidad. La toxicidad y los impactos ambientales dependen de las diferentes moléculas que tienen las diferentes mezclas. (Oiltanking, 2016, citado por García, 2022)

Clasificación de los hidrocarburos

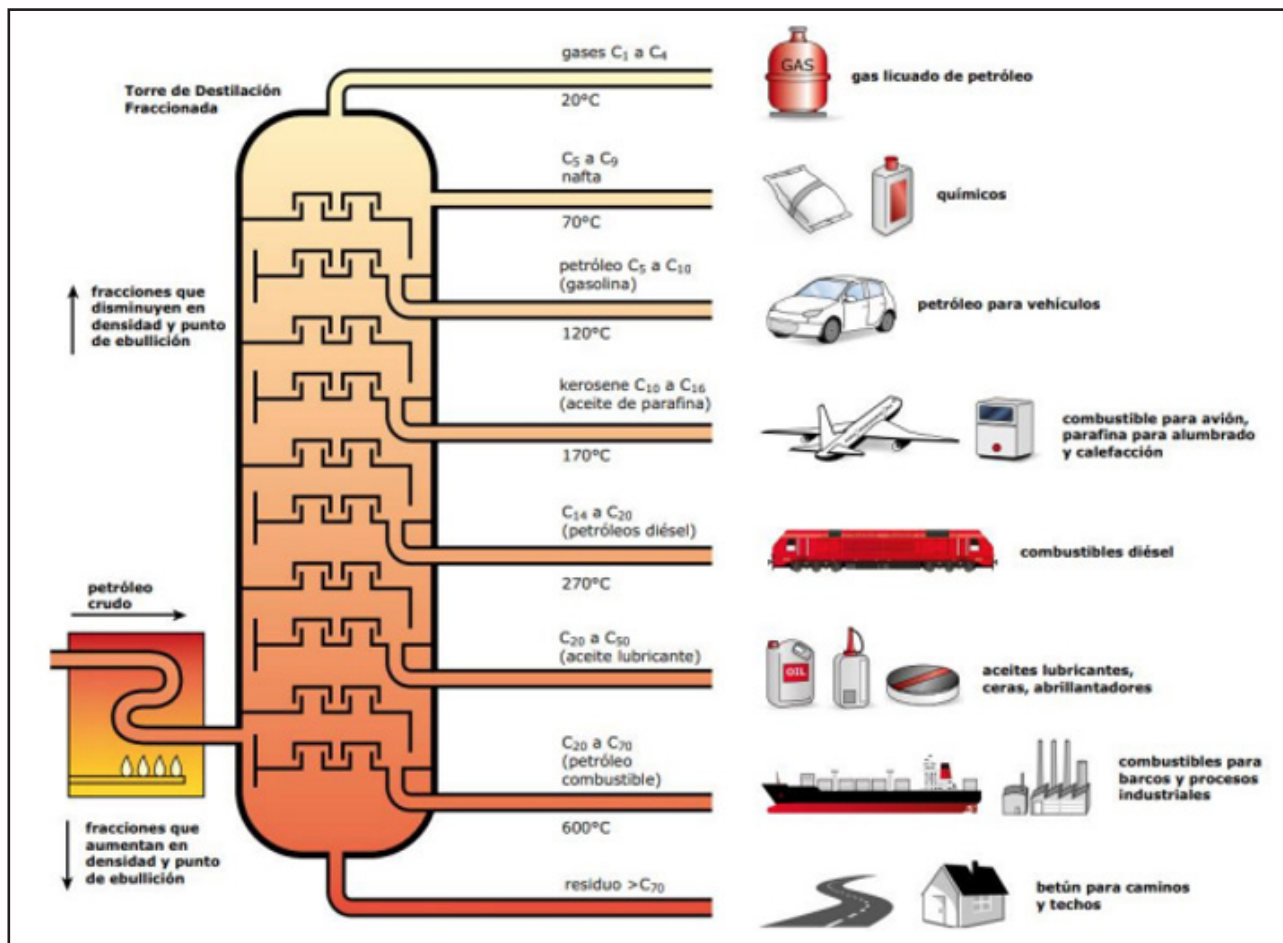
El petróleo, así como sus derivados están formados por compuestos químicos. Por ellos, los hidrocarburos se clasifican según su capacidad de disolverse en agua, tales como los hidrocarburos alifáticos, los cuales son insolubles en agua. También los hidrocarburos aromáticos que son muy solubles en agua y los naftenos que son muy poco solubles en agua. En el caso de los hidrocarburos aromáticos, al ser un material soluble tiene una alta probabilidad de que estos se licúen en el agua y por lo tanto penetren en las aguas subterráneas y en el suelo, afectando el ecosistema presente en el mismo. En el caso de los hidrocarburos de tipo alifáticos tienen facilidad de evaporarse y penetrarse en la atmósfera corriendo el riesgo de explosión si se superan las concentraciones límites. (Mendoza, 2018).

Destilación del petróleo

Inicialmente el petróleo pasa por un horno de aproximadamente 370° C. Posteriormente se introduce por la torre de destilación, con el fin de que el material circule y se evapore. De esta manera, se separan los materiales finos y sus residuos. Este material ya procesado se utiliza para grasas, aceites pesados y textiles.

El vapor condensado del proceso anterior se vuelve a calentar para obtener fuel oil, el cual es un tipo de aceite más ligero. En cada proceso de destilación se obtiene un tipo de hidrocarburo más liviano que su antecesor, reutilizando los residuos para diferentes cosas, inclusive para medicamentos. (Oiltanking, 2016, citado por García, 2022). En la Figura 1 se muestra una torre de destilación de petróleo.

Figura 1. Torre de destilación del petróleo



Fuente: Página web: <https://www.microscopio.pro/torre-de-destilacion-fraccionada-del-petroleo-todo-lo-que-debes-saber/>

Tipos de hidrocarburos a utilizar

Gasolina

La gasolina se obtiene del petróleo crudo, el cual proviene del subsuelo, ya sea desde depósitos subterráneos o submarinos. Una vez que el petróleo se extrae a través de estos pozos es almacenado en tanques. El petróleo se transporta a las refinerías por medio de tuberías, buques o vía terrestre para ser llevado a varios procesos que permitirán obtener la gasolina. El petróleo crudo se somete a un proceso llamado destilación fraccionada. Se trata de que se caliente el crudo hasta su punto de ebullición, alrededor de 600 grados Celsius. A partir de lo anterior, se captura el vapor en una torre de destilación, que lo separa en una variedad de materias primas.

Después de este proceso, el producto obtenido se somete a operaciones de refinación adicionales que los purifican. Finalmente, una serie de productos se mezclan en proporciones precisas para crear gasolina en dos tipos, la regular y la premium. (Hernández, 2020).

Los derrames no controlados no solo contaminan el suelo, sino que también el aire y el agua. Cuando un suelo se contamina por un derrame de gasolina existen varias formas de remediación que permiten reducir las cualidades de la tierra. Sin embargo, el costo de estas técnicas es muy elevado, por lo que no son muy utilizadas. Este hidrocarburo afecta principalmente las propiedades físicas y químicas, alterando el pH del suelo, lo que impide que el mismo realicen las reacciones normales de su proceso, como el generar nutrientes para su organismo, las cuales son importante para el ecosistema.

Diésel

El gasóleo es un tipo de hidrocarburo líquido, conocido comúnmente como diésel, se obtiene por medio de la destilación del petróleo. Para ello se utiliza una torre de crackeo o destilación, la cual separa los diversos componentes del petróleo crudo por medio del calor. En el mercado se pueden encontrar tres tipos de gasóleo, los cuales están destinados para diferentes usos. Por ejemplo, el gasóleo tipo A es para los vehículos, el tipo B para embarcaciones y equipo agrícola y el tipo C para calderas de calefacción, este último tiene la característica de ser pesado en parafina, lo cual aporta un mayor nivel calórico. El diésel es más pesado que la gasolina, es por ello que se evapora más lentamente, sin embargo, tiene más poder calórico. Por lo anterior, el diésel es un 30% más eficiente en comparación con una misma cantidad de gasolina. (Hernández, 2020)

Sitios contaminados son todos aquellos sitios que tienen una acumulación de sustancias nocivas para el ambiente, esto debido al uso, infiltración o vertido, ya sea por circunstancias de manera intencional o accidental. Esta contaminación genera un desequilibrio a las propiedades del suelo al cual se le requiere dar un determinado uso, generalmente un suelo contaminado con hidrocarburos debe ser extraído y no se debe de usar para otro fin. Según informes del MINAE, los principales sitios contaminados están generalmente relacionados a malas prácticas de disposición final de sustancias químicas, de actividades comerciales, industriales y agropecuarias. (Hernández, 2020)

Impacto de los hidrocarburos en los suelos

El suelo es un recurso natural y de gran importancia, ya que es el principal espacio en el que ocurren procesos hidrológicos, así como la agricultura y ganadería, que forman parte de procesos vitales de la cadena alimentaria. Para Mendoza (2018), “el equilibrio de este recurso depende de sus propiedades físicas, químicas y mecánicas y de lo que a él lo afecte o lo contamine” (p.3). Los elementos que afectan la concentración de los hidrocarburos en los suelos son: el volumen del derrame, la composición del suelo y la viscosidad del derivado del petróleo; este último debido a que algunos tienen una gran viscosidad por lo que su distribución es de manera horizontal. Mientras que la gasolina y aceites cuentan con una baja viscosidad por lo que afectan de manera directa al suelo.

Los microbios del suelo hacen que el petróleo tenga menos peso molecular; debido a lo anterior es que el petróleo sea más soluble cuando está en contacto con el suelo.

La contaminación se presenta cuando hay sustancias tóxicas en el suelo que a ciertas concentraciones afecta negativamente el comportamiento del mismo, degradándose, de manera que pierde sus propiedades físicas, químicas y mecánicas. Esta contaminación generalmente empieza por procesos que son consecuencia de las acciones humanas. A menudo ocurren por la poca planificación, de modo que llegan a impactar de manera negativa al suelo, por lo tanto es importante estudiar las variables que resaltan interés a la hora de analizar el impacto de los hidrocarburos en el suelo, por lo que se pueden considerar las siguientes:

- Concentración del contaminante
- Antigüedad de contaminante
- Microorganismos (Mendoza, 2018, p.3)

Condiciones ambientales

- Grado de acidez: el pH del suelo es un factor importante, ya que es el encargado de producir los microorganismos que ayudan a la degradación de los hidrocarburos. Los valores adecuados de acidez rondan entre 6 y 8. Sin embargo, cuando el suelo no está entre estos valores existen otros métodos para adecuarlo a ellos y así evitar que el suelo sea tóxico.
- Saturación: esta humedad se refiere al agua proveniente de la naturaleza o bien por el desarrollo del ser humano. Es la encargada de que los microorganismos se desarrollen de manera correcta, transportando a través de ella nutrientes y oxígeno para quienes habitan en el suelo. Es importante que esta humedad no exceda valores por más del 70% de saturación, ya que esto inhibe el avance del ecosistema.
- Temperatura: este factor afecta directamente en el tiempo de degradación. La temperatura ideal para un suelo ronda entre los 20°C y 40°C. Cuando se sobrepasan estos valores se da el inicio del proceso de compostaje, el cual es la etapa en la que se alcanzan temperaturas de 65°C, donde se estabilizan e higienizan los residuos orgánicos. (Mendoza, 2018, p.9)

2. Metodología

La investigación cuenta con un enfoque cuantitativo, ya que se evalúa la calidad y las características de los suelos contaminados con hidrocarburos, estos parámetros permiten que se conozcan las condiciones en que se encuentran las muestras para el uso deseado. Todo esto se logra una investigación, aplicación y análisis de los resultados que se extraen de los ensayos de laboratorio. Se trabaja un alcance exploratorio, puesto que se tiene poca información en relación al tema, por lo que la información que se recolectó es con énfasis en la calidad de los suelos seleccionados para muestra de estudio.

Muestreo

Se procedió a la recolección de 13 muestras de suelo de forma manual las cuales se tomaron en la provincia de Cartago, cantón central; en una propiedad que se encuentra sobre la avenida 11 de este sector. Se debe de considerar que existen diferentes formas de tomar una muestra representativa, pero es de interés considerar que la muestra tomada es homogénea.

Diseño

Se utilizó un diseño descriptivo, considerado que el método implica, observar, describir y analizar el comportamiento de los suelos tanto en el estado natural como contaminados, estos por medio de los ensayos de laboratorios.

Instrumentos y procedimiento

Como parte de los instrumentos se trabajó con la información bibliográfica para el desarrollo de esta investigación en donde se extrae información de textos no digitales, visitas a bibliotecas y revisión de los diferentes sitios de información existentes para este tipo de estudio. Asimismo, se da el empleo de laboratorios para el análisis del cambio de las propiedades físicas y mecanismos del material en estado natural y contaminado además de relacionar estos cambios con el uso de conceptualizaciones y principios generales de los suelos que han sido contaminados con hidrocarburos. Esto se logra por medio del horneado, tamizado y almacenamiento para la realización de los diferentes ensayos como lo son: análisis de granulometría, Coeficiente de uniformidad (cu) y Coeficiente de Curvatura (cc).

3. Resultados

Como parte de los resultados de la presente investigación se considera el hecho de que en investigaciones anteriores los análisis se han enfocado en determinar el comportamiento de los suelos ante las diversas situaciones, las cuales implican el uso de materiales idóneos, los cuales no son representativos a los que se requieren para los diferentes proyectos de construcción reales. Por lo que para esta investigación se opta por tomar muestras de un suelo natural, el cual no ha sido expuesto a ningún tipo de

procedimiento ni intervención humana. La ocupación de este suelo fue para la plantación de una pequeña hortaliza de ajos, sin embargo, corresponde a un suelo que no cuenta con ningún tipo de abono orgánico. En la Figura 2 se muestra una fotografía del suelo utilizado.

Figura 2. Muestra de suelo



Fuente: Muestra tomada para el análisis de suelo (García, 2022)

El análisis en la que se basa esta investigación se enfoca en suelos que en su mayoría tengan alto contenido de finos, ya que esta es una de las características del suelo utilizado como material de relleno. Luego del muestreo se procedió a colocar las muestras en el horno, para luego ser tamizadas por la malla, se dividieron en bolsas de aproximadamente 2.7 kg de peso y se almacenaron para ser utilizadas en los siguientes ensayos. El total es de 35 kg de muestra, extraído de forma manual, con pala. En la Figura 3 se observa la disposición de las muestras.

Figura 3. Muestras de 2.7 kg.



Fuente: Muestra en análisis (García, 2022)

En el análisis de granulometría realizado del material fino se obtuvo que la muestra es uniforme y su gradación es deficiente, esto debido a los valores de cu y cc alcanzados. Al dejar las muestras de suelo contaminadas por 13 días se determina que la gasolina pierde sus componentes y sus propiedades cambian, ya que estos se evaporan. Mientras que, con el diésel, al ser un combustible no volátil no sufre variación, por lo que conforme transcurre el tiempo el suelo sigue con la misma presencia de contaminación. Pese a que ambas muestras fueron alteradas en el mismo tiempo y con el mismo porcentaje de contaminante, la textura y el color de la muestra con gasolina volvieron a su estado natural, sin embargo, aun predominaba el olor del combustible.

4. Discusión

Es claro según la investigación realizada, que la capacidad del suelo incrementa en aquellos que fueron contaminados con gasolina, esto sucede gracias a que los suelos son porosos y estos poros pueden estar total o parcialmente saturados de gasolina. Para muestras contaminadas con este mismo hidrocarburo, pero complementando el porcentaje de humedad óptima con agua, la capacidad de soporte disminuye levemente. Lo anterior se debe al efecto que tiene combinar el agua con el hidrocarburo ya que estos no son compatibles, por lo tanto, no se disuelven, debido a que químicamente el agua contiene moléculas polares y la gasolina está comprendida por moléculas apolares de bajo peso molecular.

En el caso de las muestras alteradas con diésel, se determina que al mezclar ambos materiales a distintos porcentajes de contaminación su consistencia es muy líquida debido a la viscosidad del hidrocarburo, por lo que no se le pudo realizar las pruebas requeridas.

Se comprobó que, al dejar el suelo sin tratar, es decir, permitir la recuperación natural, se requeriría de mucho tiempo, esto dependiendo de las concentraciones y del tipo de contaminante, por lo que no se puede asegurar la restauración del suelo ya que algunos componentes no son degradables total o parcialmente. Este tipo de suelo contaminado con gasolina y diésel no es conveniente utilizarlo como material de relleno, ya que sus capacidades de soporte se ven muy afectadas y pone en riesgo cualquier estructura que se requiera construir sobre éste.

5. Conclusiones y recomendaciones

- Se logró muestrear el suelo para realizar los ensayos de laboratorio, en un lote que no se ha visto intervenido por ninguna actividad constructiva, el cual está destinado para cosechas de diferentes alimentos.
- Se pudo determinar que el suelo en análisis es clasificado según la carta de Casagrande como un suelo ML o OL y según SUCS esta muestra de suelo se encuentra dentro de la clasificación SP.
- Una vez realizada la comparación de las muestras, se determina que la capacidad soportante del suelo en estado natural es de 9.2 ton/m², mientras que para los suelos contaminados con gasolina al instante su capacidad aumenta. Los suelos ante la presencia de diésel tienen un comportamiento negativo, ya que debido a su volatilidad no se pudieron realizar los ensayos necesarios para el análisis; a excepción del caso en donde su capacidad portante disminuyó en gran manera con respecto a la capacidad del suelo sin contaminar.
- Los valores obtenidos del CBR para las muestras contaminadas al instante con gasolina indican que aumentaron su capacidad de soporte, sin embargo, tomar estos parámetros para evaluar de manera positiva la calidad del suelo podría ser perjudicial, ya que, para la muestra contaminada con este mismo hidrocarburo, pero trascurridos los 13 días su capacidad disminuyó cuantiosamente, por lo que pondría en riesgo la estructura a construir en un largo plazo.

6. Referencias

- Arrieta, E. (2018). Costa Rica es el tercer país con mayor densidad vehicular de Latinoamérica. Periódico La República. Recuperado de <https://www.larepublica.net/noticia/costa-rica-es-el-tercer-pais-con-mayor-densidad-vehicular-de-latinoamerica>
- Geotecnia y Mecánica de Suelos. (2021). Suelos: origen y formación. Página oficial. Recuperado de <https://geotecniaymecanicasuelosabc.com/origen-formacion-suelos/>
- Hernández, L. (2020). Cómo se fabrica la gasolina que utilizan los automóviles. Autocosmos. Recuperado de <http://noticias.espanol.autocosmos.com/2020/02/24/como-se-fabrica-la-gasolina-que-utilizan-los-automoviles>
- M., S. (2018). ¿De dónde viene el diésel y la gasolina?. abc. Recuperado de https://www.abc.es/motor/reportajes/abcdondevienedieselygasolina201809070118_noticia.html
- Matest. (2017). Penetrómetros de campo. Página oficial. Recuperado de <https://www.matest.com/es/suelo/penetrometros-para-ensayos-de-campo/> LanammeUCR, (s. f.) Ensayos de Geotecnia. Página oficial. Recuperado de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/labs/ensayos-laboratorios/ensayos-geotecnica>

- Mendoza, O. (2018). La influencia del IP, granulometría y el porcentaje de compactación, en la permeabilidad del material tipo Z1, para el recrecimiento del núcleo de una presa de relaves. (Tesis de Licenciatura). Universidad Privada del Norte. Recuperado de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/14585/Mendoza%20Aza%C3%B1ero%20Oscar%20Manuel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pardo De Sanayana, F. (s. f.). Geotecnia ambiental. CEDEX. Recuperado de http://www.cedex.es/CEDEX/LANG_CASTELLANO/ORGANISMO/CENTYLAB/LG/LI_NEAS/GEOAMBI.htm#:~:text=En%20el%20%C3%A1mbito%20de%20la,y%20obras%20de%20protecci%C3%B3n%20ambiental.
- Pérez, J. (s.f). Conceptos generales de la mecánica de suelo. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Recuperado de <https://www.udc.es/dep/dtcon/estructuras/ETSAC/Profesores/valcarcel/MaterMRHE0809/1a-Mecanica%20Suelo.pdf>
- Pinedo, F.C (2019) Mecánica de Suelos. Ingeniería en Universidad Cesar Vallejo. [SITIO WEB] Recuperado de: <https://es.linkedin.com/pulse/la-importancia-de-mecánica-suelos-flavío-cesar-pinedo>
- Poder Ejecutivo de la República de Costa Rica, (s. f.). Reglamento para la Regulación del Sistema de Almacenamiento y Comercialización de Hidrocarburos. Decreto N° 30131– MINAE-S. Sistema Costarricense de Información Jurídica Página Oficial. Recuperado de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=48016&nValor3=87513&strTipM=TC
- Poder Ejecutivo de la República de Costa Rica, (s. f.). Reglamento sobre valores guía en suelos para descontaminación de sitios afectados por emergencias ambientales y derrames. Decreto N° 37797-S. Sistema Costarricense de Información Jurídica Página Oficial. Recuperado de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=75223&nValor3=93682&strTipM=TC
- Terzaghi, K. & Peck, R. (1967). Mecánica de suelos en la ingeniería práctica. (2a . ed). Editorial: “El Ateneo” S.A Sáenz, E. (s.f). Fundamentos de geotecnia. Universidad de Chile. Recuperado de <https://infolibros.org/pdfview/14421-introduccion-a-la-geotecnia-open-course-ware/>
- Universidad de Murcia (2013). Ensayo de compactación. Proctor modificado. Página oficial. Recuperado de http://www2.caminos.upm.es/departamentos/ict/lcweb/ensayos_suelos/proctor_modificado.html
- SACSA (2015), Los cinco componentes del suelo. [SITIO WEB] Recuperado de: <https://www.gruposacsa.com.mx/los-cinco-componentes-del-suelo/>
- Oiltanking, (2016). Proceso de refinación de petróleo. Página oficial. Recuperado de <https://www.oiltanking.com/es/publicaciones/glosario/detalles/term/el-proceso-derefinacion-de-petroleo.html>