ANÁLISIS DE SUELOS CON ÉNFASIS EN HIDROCARBUROS

PROYECTO "CONSTRUCCIÓN DE LA SUBESTACIÓN TERMINAL Y LÍNEA ASOCIADA A 115 kV"

TABLA DE CONTENIDO

1. GENERALIDADES 6
1.1 Alcance 6
1.2 Objetivos 6
1.3 Normatividad 6
1.4 DESARROLLO METODOLÓGICO 8
1.4.1 Precampo 9
1.4.1.1 Campo 9
1.4.1.2 Transporte, almacenamiento y procesamiento de las muestras 13
1.5 Resultados 13
1.5.1 Campo 13
1.5.2 Laboratorio 15
1.6 Conclusiones 23
BIBLIOGRAFÍA 25

LISTA DE TABLAS

Tabla 1-1 Normatividad jurídica 6
Tabla 1-2 Pruebas realizadas en el laboratorio y norma relacionada 8
Tabla 1-3 Tabla coordenadas 10
Tabla 1-4 Observaciones de los suelos in situ 14
Tabla 1-5 Resultados del laboratorio para las muestras de suelo 17
Tabla 1-6 Interpretación resultados químicos para las muestras de suelo 19
Tabla 1-7 Comportamiento de textura 22

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 Fase precampo 9
Figura 1-3 Ubicación de los puntos de muestreo de suelos 10
Figura 1-3 Secuencia de actividades para la toma de muestras de suelo 11
Figura 1-4 Curva de retención de humedad de los suelos 22

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1-1 Visualización de algunos criterios para seleeción puntos de muestreo 10
Fotografía 1-2 Registro fotográfico del trabajo de campo 12
Fotografía 1-3 Almacenaiento y transporte de las muestras 13
Fotografía 1-4 Hallazgos edáficos en los puntos de muestreo 14

1. GENERALIDADES

1.1 Alcance

Teniendo en cuenta la presencia de la estación de servicio EDS ESSO calle 13, localizada en el predio circundante del proyecto Subestación Terminal, como medida de prevención CODENSA, a través de laboratorios especializados, realizó el estudio de suelos con énfasis en hidrocarburos; toda vez que en la estación de servicio se desarrollan actividades de almacenamiento y venta de combustibles, y en casos eventuales podrían presentarse derrames de combustibles al suelo.

El desarrollo del análisis de suelos busca descartar la presencia de hidrocarburos en el lote de la SE Terminal, para ello se realizaron diversas pruebas en laboratorio a partir de tres muestras de suelos; promoviendo conocer el estado real del suelo y así poder definir las medidas necesarias para prevenir, mitigar, controlar y compensar los impactos negativos que sobre el medio ambiente se puedan llegar a generar.

1.2 Objetivos

Interpretación de resultados e informe técnico, considerando los aspectos ambientales relevantes inherentes a la identificación de posibles filtraciones de hidrocarburos (gasolina, gas, diésel, etanol) en el predio objeto de desarrollo del proyecto “EIA de la Subestación Terminal a 115kV”.

1.3 Normatividad

a. Jurídica

A continuación se relacionan las normas establecidas para estaciones de servicio en Bogotá D.C.

Tabla 1-1 Normatividad jurídica

Norma	Descripción
Ley 1333 de 2009, Congreso de la República	Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones
Ley 1755 de 2015	Por la cual se regula el derecho fundamental de petición y se sustituye un título del código de procedimiento administrativo y de lo contencioso administrativo.
Decreto 2811 del 18 de Diciembre de 1974 Presidencia de I.1	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente
Decreto 1521 de 1998	"Por el cual se reglamenta el almacenamiento, manejo, transporte y distribución de combustibles líquidos derivados del petróleo, para estaciones de servicio',
Resolución 1170 de 1997	"Por medio de la cual se dictan normas sobre estaciones de servicio e instalaciones afines y se deroga la Resolución 245 del 15 abril de 199T.

Norma	Descripción
Resolución 2069 del 2000	"Por la cual se adopta una guía ambiental para estaciones de servicio".
Resolución 1188 del 1 de septiembre de 2003	Por la cual se adopta el manual de normas y Procedimientos para la gestión de aceites usados en el Distrito Capital.
Resolución 3957 del 19 de junio de 2009	Por la cual se establece la norma técnica, para el control y manejo de los vertimientos realizados a la red de alcantarillado público en el Distrito Capital
Resolución 3956 del 19 de Junio de 2009	Por la cual se establece la norma técnica, para el control y manejo de los vertimientos realizados al recurso hídrico en el Distrito Capital
Resolución 5589 de 2011	Por la cual se fija el procedimiento de cobro de los servicios de evaluación y seguimiento ambiental.
Resolución 288 de 2012	Por la cual se modifica la Resolución 5589 de 2011
Ley 1564 de 2012	Por medio de la cual se expide el Código General del Proceso y se dictan otras disposiciones
Decreto 0631 de 2015	Por la cual se establecen os parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1076 de 2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.
Resolución 1168 de 2015	“Por medio de la cual se modifican parcialmente las Resoluciones 5575 de 2009, 6788 de 2010, 1909, 4629, 5867 y 6681 de 2011 y 85, 875 y 3166 de 2014 y se modifica la Resolución 836 y 1416 de 2013 del Sistema Integrado de Gestión de la Secretaría Distrital de Ambiente, y se toman otras determinaciones”

Fuente: INGEDISA Ingeniería y Diseño, 2019

En virtud de lo anterior, se tomó como referente dicha normatividad enfocándose en el cumplimiento de la resolución 1170 de 1997, para garantizar los parámetros técnicos que permiten asegurar la presencia o no de Hidrocarburos en los puntos objeto de monitoreo, aunque el predio no ostenta actividades de distribución o almacenamiento de hidrocarburos.

b. Técnica

Está relacionada con las competencias técnicas para la toma de muestras y pruebas de laboratorio. En campo se tuvieron en cuenta los protocolos y normas Icontec correspondientes, para las pruebas fisicoquímicas de suelos, se realizó la contratación de un laboratorio certificado por el IDEAM, incluyendo certificación de procesos para las pruebas requeridas.

Tabla 1-2 Pruebas realizadas en el laboratorio y norma relacionada

ANÁLISIS DE LABORATORIO	TÉCNICA ANALITICA	METODO	LIMITE DE CUANTIFICACIÓN
FÍSICOS Y MICROBIOLÓGICOS:			
Btex	Cromatografía	5021A/EPA 8015D	0,25
Fenoles totales	Fotométrico	NTC 5596/ SM 2580 B,D	10
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	Cromatografía	EPA 3550C/EPA 8100	0,0667
Retención de humedad	Método interno	LBC388	N.A.
Hidrocarburos totales	Extracción por ultrasonido-infrarrojo	NMX-A-145_SCFI-2008, NTC 3362:2005-06-29, numeral 7. Método F	0,01
Estabilidad estructural	Elutriador	N.A.	N.A.
Textura	Bouyoucos	IGAC. 6a edición	N.A.
pH	Electrométricos	EPA 9045 D	N.A.
Conductividad eléctrica	Electrométricos	NTC 5596:2008	N.A.
Capacidad de intercambio catiónico	Volumetría	NTC 5268	4
Carbono orgánico total	Volumetría	NTC 5403	0,08%
Grasas y aceites	Extracción soxhlet	EPA9071B / SM 5520 F	55,44 mg/Kg

Fuente: Instituto de higiene ambiental, IHA, 2019, Bogotá

1.4 DESARROLLO METODOLÓGICO

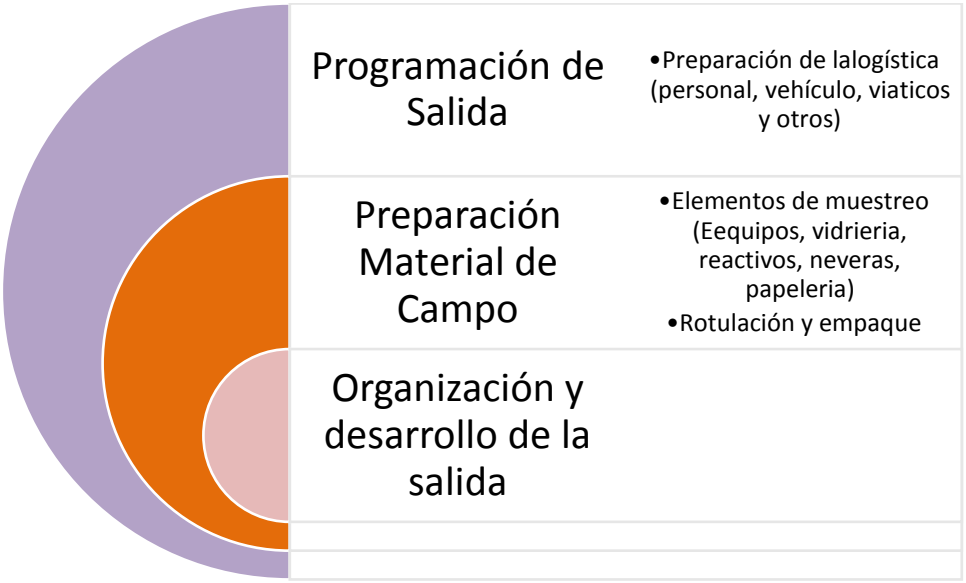
La empresa GEOSOLUM CONSULTORES S.A.S, contrató los servicios del INSTITUTO DE HIGIENE AMBIENTAL S.A.S., laboratorio de análisis ambientales, entidad acreditada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM); para la realización de los respectivos análisis en laboratorio, como del muestreo de los tres puntos establecidos en campo teniendo en cuenta todos los protocolos establecidos para esto.

El trabajo de campo se desarrolló con el fin de tomar las muestras de suelos en tres puntos diferentes, en el área del predio más cercana y conexa a la estación de gasolina. El respectivo monitoreo se realizó el pasado 28 de agosto de 2019, en el lote ubicado en la calle 17 #78 G-33/45 de Bogotá D.C., las muestras de suelos son: SETERMINAL-S1, SE-TERMINAL-S2 y SE-TERMINAL-S3., con una profundidad de sondeo hasta de 1 metro y 20cm a 30 cm de diámetro aproximadamente.

1.4.1 Precampo

Se refiere a las actividades previas a trabajo de campo, estas fueron realizadas y verificadas por medio de un plan de muestreo creado por el área de Operaciones del Instituto de Higiene Ambiental (IHA), de acuerdo a las especificaciones y requerimientos exigidos por el Cliente.

Figura 1-1 Fase precampo



Fuente: Laboratorio IHA, 2019

1.4.1.1 Campo

Es importante discurrir sobre el principio del suelo como medio heterogéneo y pentadimensional, por ende, sus propiedades fisicoquímicas presentan variabilidad espacial. Los parámetros y la toma de muestras de suelos para análisis, se conjugan con la exactitud de las determinaciones de laboratorio y el criterio de interpretación de los resultados. Conscientes de ello se trabajó con un procedimiento estandarizado que garantice homogeneidad en las muestras obtenidas.

El trabajo de campo se realizó en el lote SE Terminal, en tres puntos georreferenciados (Tabla 1-3) preliminarmente pero que en campo se ajustaron y modificaron ligeramente; los cuales se seleccionaron teniendo en cuenta criterios técnicos previos como dirección de los vientos, grado de inclinación del terreno, posible ubicación y profundidad reglamentaria de los tanques de almacenamiento en la estación de gasolina vecina al predio, y otros de observación in situ como la microtopografía y distancia de la pared que limita el predio (**Figura 1-2 y Fotografía 1-1**).

Tabla 1-3 Tabla coordenadas

PUNTO MUESTREO	COORDENADAS	
	N	O
1	04º 39´ 12,8´´	74º 07´ 52,9´´
2	04º 39´ 12,3´´	74º 07´ 53,2´´"
3	04º 39´ 12,2´´	74º 01´ 53,6´´

Fuente: INGEDISA Ingeniería y Diseño, 2019

Figura 1-2 Ubicación de los puntos de muestreo de suelos

Fuente: INGEDISA Ingeniería y Diseño, 2019

Fotografía 1-1 Visualización de algunos criterios para seleeción puntos de muestreo

Imagen Google Eatrh 10/2012

Imagen Google Eatrh 12/2013

Coberturas y microtopografía	Evidencia de remociones anteriores

Fuente: INGEDISA Ingeniería y Diseño, 2019

El muestreo se realizó teniendo en cuenta lo establecido en la en la Resolución IDEAM No 0062 de 2007 “Por la cual se adoptan los protocolos de muestreo y análisis de laboratorio para la caracterización fisicoquímica de los suelos o desechos peligrosos en el país”, así como las normas NTC 3656 (Toma de muestras de suelo para determinar contaminación), NTC 4113-1, NTC 4113-2, NTC 4113-3, NTC 4113-4 (Calidad del suelo. Muestreo) y NTC-150 11464 (calidad del suelo. Pre tratamiento de las muestras de suelo para análisis fisicoquímicos). En términos de las fases, el muestreo se desarrolló contemplando las actividades identificadas en la **Figura 1-3** y que se pueden observar en la
Fotografía 1-2.

Figura 1-3 Secuencia de actividades para la toma de muestras de suelo

Fuente: INGEDISA Ingeniería y Diseño, 2019

Fotografía 1-2 Registro fotográfico del trabajo de campo

Apertura de los huecos de donde se toman las muestras de suelos

Aprestamiento del material empleado en el muestreo

ıctivos y recipientes a emplear, los cuales cumplen con los Protocolos de seguridad y calidad Exigidos en la Norma.

Suelo esparcido y acondicionado para ser reservado en los recipientes de plástico y vidrio según análisis

Empaque de las muestras de suelo

Cierre de los puntos y abandono del lugar de muestreo

Fuente: INGEDISA Ingeniería y Diseño, 2019

1.4.1.2 Transporte, almacenamiento y procesamiento de las muestras

Una vez son tomadas las muestras de suelo, éstas son rotuladas y almacenadas en recipientes plásticos y de vidrio para evitar su contaminación y los cambios en los resultados por reacciones químicas con sustancias químicas no identificadas. El transporte se realiza en neveras de icopor, amplias y organizadas para tal fin. Luego, estás son transportadas por el Laboratorio IHA a sus instalaciones para proceder con los procesos y marchas analíticas respectivas (
Fotografía 1-3).

Fotografía 1-3 Almacenaiento y transporte de las muestras

Disposición final de las muestras para cada variable a evaluar	Empaque en frasco de vidrio para muestreo de VOCS y BCT.

Fuente: INGEDISA Ingeniería y Diseño, 2019

1.5 Resultados

Para la construcción de éste ítem se abordó el tema desde los resultados en campo y los análisis de laboratorio, enfocados en los objetivos de identificación de la presencian p no de combustibles en el suelo (etanol, gasolina, diesel).

1.5.1 Campo

En el proceso de apertura de los puntos de muestreo se realizó un análisis visual y descriptivo de cada sitio, reconociendo los limitantes y diferentes profundidades de los horizontes reconocibles, donde se revisó color,

cambios texturales, presencia de fragmentos líticos o de construcción, entre otros (**Tabla 1-4** y **Fotografía 1-4**). La topografía es plana con espacios cóncavos y convexos, la pendiente no supera el 1% y las coberturas dominantes son pastos naturales.

Tabla 1-4 Observaciones de los suelos in situ

PUNTO	COORDENADAS	ALTURA Msnm	OBSERVACIONES
1	18N0596346 UTM 0514425	2559	Capa de suelo discontinuo, color epipedón 10YR 3/2 que llega hasta los 40 cm, capas subsecuentes de arcilla color GLEY 23/10BG predominando desde los 80 a 95 cm de profundidad.
2	18N0596336 UTM 0514410	2561	Epipedón de suelo mineral hasta los 20 a 25 cm, color 10YR 4/3, endopedón cámbico de 40 a 45 cm de espesor de color 10YR 5/6, limitados por una capa de material de relleno (antrópico) a los 70 y 75 cm., lográndose profundizar solo hasta los 90 cm.
3	18N0596324 UTM 0514411	2558	Suelos con epipedón de menos de 10 cm y color 10YR 6/4, el cual reposa en una matriz de suelo con abundante presencia de material antrópico (<70%) y materiales líticos de bajo a medio grado de intemperización. Se toma muestra a los 70 cm.

Fuente: INGEDISA Ingeniería y Diseño, 2019

Fotografía 1-4 Hallazgos edáficos en los puntos de muestreo

Presencia de trozos de ladrillo y restos de construcción

Fragmentos líticos a profundidades variables

Excavamiento visto desde la parte superior	Endopedón de 15 a 20 cm, color 10YR3/2, abundante actividad biológica (raíces y mesofauna edáfica) y bien drenados.
Presencia de meso fauna edáfica	Restos de ladrillos en descomposición

Fuente: INGEDISA Ingeniería y Diseño, 2019

Los hallazgos determinan que son suelos antrópicos, régimen de humedad ústico, presentan evidencias de intervención pasada (rellenos), a pesar de los horizontes superficiales que conservan propiedades de suelos minerales. Su génesis no está determina por agentes internos sino por factores externos antrópicos. En los endopedones se aprecia un buen drenaje natural e interno, estructura en bloques angulares a subangulares medio a finos, ligeramente plásticos, friables y firmes, con contenidos medios de raíces y mesofauna edáfica. No se aprecian rasgos de humedad excesiva no nivel freático superficial, por el contrario es muy profundo.

1.5.2 Laboratorio

A continuación, se presentan los resultados obtenidos tras realizar el análisis de laboratorio con sus correspondientes verificaciones y especificación mencionadas anteriormente, obteniendo los resultados (ver **Tabla 1-5**) cuyos certificados se adjuntan como ANEXOS.

Ahora bien, al momento de interpretar los resultados es conveniente indicar que los parámetros solicitados están centrados en identificar la presencia o no de residuos de hidrocarburos en el predio, para descartar fugaz provenientes del predio contiguo a la SE Terminal. Así mismo, las muestras representan los elementos y

compuestos orgánicos contenidos a la profundidad de muestreo logrado, es decir, no son los datos de la sección control ni de los horizontes diagnósticos de los suelos.

Al tratarse de una hipótesis es conveniente discurrir sobre los contaminantes que llegan hasta el subsuelo como consecuencia de un derrame o escapa discontinuo de combustibles ofertados en la gasolinera contigua al predio de la SE Terminal. El producto puede alcanzar las siguientes fases terminales (Wang, 1990):

a) El producto libre
b) La fase de sorción, en la cual el contaminante es adsorbido o se adhiere a las partículas de suelo y a los intersticios en la matriz geológica
c) La fase de soluto, en la cual el contaminante se disuelve en el agua subterránea

El objeto es determinar los compuestos orgánicos volátiles y semi-volátiles provenientes de la contaminación con hidrocarburos hasta una concentración máxima permisible de 200 mg/kg de TPHs fracción gasolina. Los parámetros seleccionados para dicho análisis son los siguientes: Punto de marchitez permanente, aceites y grasas, BTEX, saturación de humedad, capacidad de campo, capacidad de intercambio catiónico, carbono orgánico total, compuestos orgánicos volátiles, conductividad eléctrica, estabilidad estructural, fenoles, hidrocarburos policiclicos aromáticos, hidrocarburos totales, pH, arcilla, arena, limos y textura.

Tabla 1-5 Resultados del laboratorio para las muestras de suelo

VARIABLES	UNIDAD	RESULTADOS		
ENTIDAD ANÁLISIS LABORATORIO		LABORATORIO IHA		
CÓDIGO LABORATORIO		4943	4943	4943
CÓDIGO DE MUESTREO EN CAMPO		SE-TERMINAL-S1	SE-TERMINAL-S2	SE-TERMINAL-S3
COORDENADAS	N	04º 39´ 12,8´´	04º 39´ 12,3´´	04º 39´ 12,2´´
	E	74º 07´ 52,9´´	74º 07´ 53,2´´	74º 01´ 53,6´´
Ph 1:1		5,94	5,76	5,43
ARCILLAS-Ar	%	11	35	49
ARENAS-A	%	32	5	3
LIMOS-L	%	57	60	48
TEXTURA		Franco-Limosa	Franco-Arcillo-Limosa	Arcillo-Limosa
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	mg/kg de C	1.57	2.03	2.62
PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE (15 ATM). (SUB)	%	27,11	30,13	26,1
ACEITES Y GRASAS (SUB)	%	<0,0100	0,036	0,028
BTEX (BENCENO, TOLUENO,ETILBENCENO, XILENO) (SUB)	mg/kg de BTEX	<0,25	<0,25	<0,25
SATURACIÓN DE HUMEDAD (0 ATM)	%	55,2	56,00	43,20
CAPACIDAD DE CAMPO PUNTO (1,0 ATM)	%	42,62	45,6	36,68
CAPACIDAD DE CAMPO PUNTO (1,0 ATM)	%	36,89	39,85	32,77
CAPACIDAD DE CAMPO PUNTO (5,0 ATM)	%	31,26	34,06	28,63

VARIABLES	UNIDAD	RESULTADOS		
ENTIDAD ANÁLISIS LABORATORIO		**LABORATORIO IHA**		
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO (SUB)	meq/100g	26,97	33,82	24,76
COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (VOC,S) (SUB)	mg/L de VOC,S	< 0.02	< 0.02	< 0.02
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (SUB)	dS/cm	0,21	0,19	0,15
ESTABILIDAD ESTRUCTURAL (SUB)	%	29,31	18,00	19,67
FENOLES (SUB	mg/kg de fenol	<10,0	<10,0	<10,0
HIDROCARBUROS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS (SUB)	mg/Kg	<0,0667	<0,0667	<0,0667
HIDROCARBUROS TOTALES (SUB)	%	<0,005	<0,005	<0,005

Fuente: Instituto de higiene ambiental, IHA, 2019, Bogotá

a. Análisis Químicos

Las pruebas de carácter químico aplicadas se desarrollaron en laboratorio con las metodologías que le correspondían por ofrecer certificación IDEAM y confiabilidad en los resultados, y su análisis se aprecia en la Tabla 1-6.

Tabla 1-6 Interpretación resultados químicos para las muestras de suelo

VARIABLES	UNIDAD	RESULTADOS
Ph 1:1		Moderadamente ácido, adecuado para establecimiento de la mayoría de cultivos. Posibilita la acumulación de magnesio y azufre. EL potencial de hidrogeniones (pH) es aquella propiedad que establece el grado de acidez o de alcalinidad que se presenta en el recurso y tiene una gran influencia en muchas de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, siendo por esta razón una de sus propiedades más importantes. Para las muestras de interés se obtienen valores de 5,94 unidades (SE-TERMINAL-S1), 5,76 unidades (SE-TERMINAL-S2) y 5,43 unidades (SE-TERMINAL-S3).
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	mg/kg de C	El principal constituyente dela MO es el carbono, que llega a representar entre el 40% y 60% según el estado de transformación, teniendo marcado efecto sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, de allí la importancia de su cuantificación como uno de los indicadores más importantes de la calidad del mismo. El carbono orgánico total (COT) representa en su totalidad el porcentaje de material orgánico presente en el suelo, cabe resaltar que entre más grande sea este valor es más grande la fertilidad y calidad del suelo, ya que el material orgánico, permite el desarrollo de vida y crecimiento de plantas y cultivos, ya que permite la absorción de nitrógeno que naturalmente es deficitario, aumentando la capacidad de intercambio catiónico. Para las muestras se registraron valores de 2,62 % (SE-TERMINAL-S1), 2,03 % (SE-TERMINAL-S2) y 1,57 % (SE-TERMINAL-S3)
ACEITES Y GRASAS (SUB)	%	Los aceites y grasas son compuestos orgánicos compuestos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal e, hidrocarburos del petróleo. Presentan baja densidad, poca solubilidad en agua, y baja o nula biodegradabilidad. La determinación de los aceites y grasas contribuyen en la evaluación de la calidad del suelo y niveles de contaminación a los que puede estar sujeto. Se registraron valores de <0,0100 % (SE-TERMINAL-S1), 0,036 % (SE-TERMINAL-S2) y 0,028 % (SE-TERMINAL-S3), indicando baja solubilidad y niveles normales en las muestras evaluadas, es decir poca afectación en la calidad del recurso.
BTEX (BENCENO, TOLUENO,ETILBENCENO, XILENO) (SUB)	mg/kg de BTEX	Los BTEX son un grupo de compuestos orgánicos volátiles pertenecientes a la familia de los hidrocarburos aromáticos, que se caracterizan por encontrarse en forma de vapor a temperatura ambiente y por ser insolubles en agua, pero muy solubles en otras sustancias. Este alto poder disolvente hace que dichos compuestos, sobre todo tolueno y xileno, sean muy apreciados por la industria. Estos pueden proceder de fuentes naturales (incendios forestales o emisiones volcánicas) o artificiales, siendo estas últimas las más importantes. El hecho de que se encuentren de manera natural en el petróleo y en sus derivados hace que la mayoría de procesos de combustión de hidrocarburos (tanto ligados a la industria como al tráfico rodado) sean importantes fuentes de emisión de estos compuestos, su alta presencia determina contaminación y puede afectar cultivos y la salud de comunidades aledañas. Para las muestras se registraron valores de <0,25 mg/Kg en todos los casos, indicando una baja o nula exposición a estos compuestos del recurso

VARIABLES	UNIDAD	RESULTADOS
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO (SUB)	meq/100g	La CIC de los principales colides del suelo se encuentran alto, pero la saturación de bases totales no es calculable con los datos suministrados. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se refiere a la propiedad química del suelo, la cual hace referencia a la cantidad total de cargas negativas que están disponibles sobre la superficie de las partículas en el suelo. También se puede definir como el número total de cationes intercambiables que un suelo en particular puede o es capaz de retener (cantidad total de carga negativa). Conocer esta propiedad de un suelo es fundamental, pues este valor nos indica el potencial de un suelo para retener e intercambiar nutrientes. Para las muestras se registraron valores de 26,97 meq/100g (SE-TERMINAL-S1), 33,82 meq/100g (SE-TERMINAL-S2) y 24,76 meq/100g (SE-TERMINAL-S3), indicando un nivel alto en las muestras. Al tratarse de suelos con materiales de escombros, este material tiene a incrementar los niveles de acidez intercambiable y contenidos de bases intercambiables, sin tener relación con procesos de fertilización o aportes de materia orgánica por coberturas vegetales.
COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (VOC,S) (SUB)	mg/L de VOC,S	Son VOC´S todos aquellos hidrocarburos que se presentan en estado gaseoso a la temperatura ambiente normal o que son muy volátiles a dicha temperatura, se encuentran sustancias como los compuestos orgánicos volátiles, fenoles e hidrocarburos policíclicos aromáticos. Todas las muestras registran valores inferiores al límite de cuantificación del método de análisis establecido en el laboratorio, indicando baja o nula presencia de los mismos. Por el método de muestreo utilizado se puede decir que en los intersticios de la matríz de suelo, no se encuentran atrapadas moléculas que permitan inferir la presencia de VOC´S.
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (SUB)	dS/cm	La conductividad eléctrica del suelo es una variable empleada para determinar la presencia de sales y/o sodio, siendo indicador de toxicidad cuando supera los niveles máximos permisibles para el desarrollo radicular de las plantas. Los valores determinados en laboratorio son de 0,21 dS/cm (SE-TERMINAL-S1), 0,19 dS/cm (SE-TERMINAL-S2) y 0,15 dS/cm (SE-TERMINAL-S3), indicando que en las muestras de suelo existe una relación similar de las concentraciones de sales la cual es baja y representa baja afectación del recurso.
FENOLES (SUB	mg/kg de fenol	El fenol se obtiene a partir de la destilación del alquitrán de hulla. Según RÖMPP (1983), con 1 tonelada de hulla se obtiene aproximadamente 0,25 kg de fenol. Actualmente, sin embargo, predomina la producción sintética por disociación del hidroperóxido de cumeno, obteniéndose acetona como producto secundario. En parte aún se recurre a la síntesis a partir del benceno, utilizando ácido bencenosulfónico o clorobenceno. En este caso, se asocia como indicador de combustión de gasolina, los cuales en las muestras analizadas son menores a 10,0, es decir, no presentan valores significativos que pongan de manifiesto la presencia de combustibles en el suelo, o procesos de trasformación por efecto de diferenciales térmicos.
HIDROCARBUROS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS (SUB)	mg/Kg	Los BTEX son un grupo de compuestos orgánicos volátiles pertenecientes a la familia de los hidrocarburos aromáticos, que se caracterizan por encontrarse en forma de vapor a temperatura ambiente y por ser insolubles en agua, pero muy solubles en otras sustancias. Este alto poder disolvente hace que dichos compuestos, sobre todo tolueno y xileno, sean muy apreciados por la industria. Estos pueden proceder de fuentes naturales (incendios forestales o emisiones volcánicas) o artificiales, siendo estas últimas las más importantes. El hecho de que se encuentren de manera natural en el petróleo y en sus derivados hace que la mayoría de procesos de combustión de hidrocarburos (tanto ligados a la industria como al tráfico rodado) sean importantes fuentes de emisión de estos compuestos, su alta

VARIABLES	UNIDAD	RESULTADOS
		presencia determina contaminación y puede afectar cultivos y la salud de comunidades aledañas. Para las muestras se registraron valores de <0,25 mg/Kg en todos los casos, indicando una baja o nula exposición a estos compuestos del recurso.
HIDROCARBUROS TOTALES (SUB)	%	Los hidrocarburos, son compuestos aceitosos que se encuentran dentro del grupo de grasas y aceites, sin embargo, su presencia se deriva de la utilización de combustibles fósiles como el petróleo, ya que estos compuestos tiene una fuerte conexión de moléculas de hidrogeno y carbono; la presencia de estos en los suelos indica afectación y determina la calidad como tal del recurso, según esto para la muestras se registraron valores de <0,005 %P/V en todas las muestras, indicando baja afectación ya que se registraron valores inferiores al límite de cuantificación del método de análisis empleado en el laboratorio, además se refleja coherencia en los resultados ya que los compuestos aceitosos tienen un porcentaje mínimo en las muestras.

Fuente: INGEDISA Ingeniería y Diseño, 2019

b. Análisis Físicos

Con el ánimo de caracterizar físicamente el material del suelo resulta vital definir cuáles son las propiedades y métodos requeridos para su evaluación cuantitativa. En cumplimento del objeto normativo y las necesidades del estudio, se realizó la valoración de contenidos de arcilla, arena y limos (%), textura, estabilidad estructural, capacidad de campo, saturación de humedad y punto de marchitez permanente.

En lo relacionado con la textura del suelo, se refiere a la composición o proporción que tiene de partículas ya sea de arenas, limos y arcillas, este parámetro tiene implicaciones directas en multitud de procesos y eso condiciona el buen desarrollo de cultivos, por ejemplo a la hora de trabajar el suelo la textura será la que define la dificultad de trabajar, suelos arcillosos y muy pesados son muy difíciles de acondicionar, también proporciona la fase gaseosa del suelo, la cual depende del oxígeno entre partículas si se trata de un suelo arcilloso esta propiedad es limitada mientras que para suelos arenosos es muy considerable, la textura también influye en la capacidad de retención de agua

La estabilidad estructural se refiere a la capacidad que tiene el suelo para mantener sus partículas firmes y constantes durante cambios ambientales e incluso cambios antropogénicos, teniendo en cuenta que la estructura del suelo es el arreglo y la organización de las partículas constitutivas, las cuales son aproximadamente indivisibles por las fuerzas del agua de riego y las tensiones que se generan durante el secado, sin embargo, estas se encuentran en su estado natural formando agregados con diversos agentes cementantes y con diverso grado en la fortaleza de la cohesión que las mantiene unidas, formando agregados, también llamados Grumos, Terrones, Boronas. Lo que depende de dos fenómenos que son la floculación y la cementación. La floculación se debe a fenómenos electrocinéticos, y la cementación se da por el mutuo agregado de partículas floculadas, para las muestras obtuvo valores de 29,31 %V/V (SE-TERMINAL-S1), 18,00 %V/V (SE-TERMINAL-S2) y 19,67 %P/V (SE-TERMINAL-S3), de acuerdo a esto es posible determinar una mejor estabilidad estructural para la muestra 1, sin embargo, la estabilidad en general de las muestras compartes características similares.

De acuerdo a esto las muestras analizadas reflejan que para la muestra S1 existe una mayor proporción de partículas limosas y arenosas, para la muestra S2 existe una mayor proporción de partículas limosas y arcillosas, y para la muestra S3 existe una proporción similar entre partículas arcillosas y limosas, indicando en todos los casos que los suelos tienen un alto potencial de humedad y retención de agua. Confirmando los valores de estabilidad estructural y saturación de humedad.(ver Tabla 1-7).

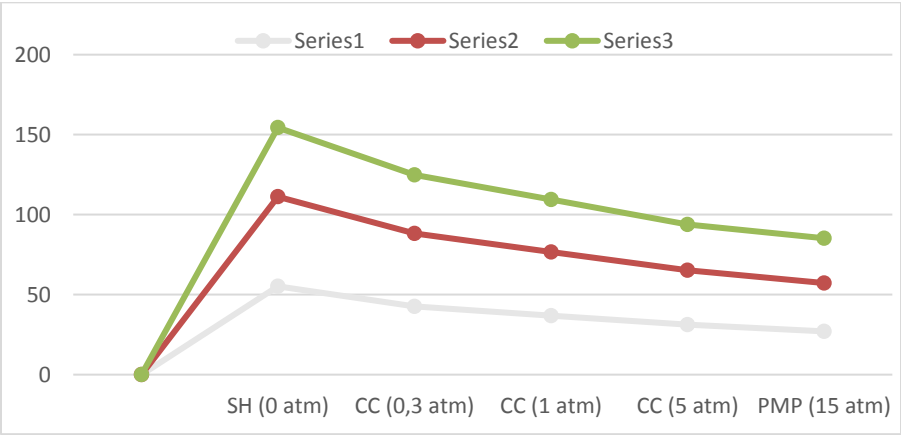
Tabla 1-7 Comportamiento de textura

	COMPORTAMIENTO TEXTURA		
	SE-TERMINAL-S1	SE-TERMINAL-S2	SE-TERMINAL-S3
Arcilla (%P/V)	11	35	49
Arena (%P/V)	32	5	3
Limo (%P/V)	57	60	48
CONCLUSIONES	Franco-Limosa	Franco-Arcillo Limosa	Franco-Limosa

Fuente: Instituto de higiene ambiental, IHA, 2019, Bogotá

Para comprender la dinámica del agua en el suelo se reconoce que el agua en el suelo permanece en constante movimiento, relacionadas con el tipo de suelo, flujo hídrico de la matriz del suelo y las condiciones de entrada de agua al sistema (artificial o natural). Los métodos para estudiar su comportamiento son diversos, para este caso, se desarrolló la curva de retención de humedad basados en la toris del flujo saturado y la ley de Darcy. Los resultados de los análisis de laboratorio dan cuenta de suelos con una capacidad de retención de humedad media a alta en la tres muestras, como se aprecian en la **Figura 1-4**.

Figura 1-4 Curva de retención de humedad de los suelos



Fuente: INGEDISA Ingeniería y Diseño, 2019

El punto de marchitez permanente, se refiere al contenido de agua de un suelo que ha perdido toda su agua a causa del cultivo y, por lo tanto, el agua que permanece en el suelo no está disponible para el mismo. En esas

condiciones, el cultivo está permanentemente marchito y no puede revivir cuando se le coloca en un ambiente saturado de agua. Al contacto manual, el suelo se siente casi seco o muy ligeramente húmedo, para las muestras se registraron valores de 27,11 %P/V (SE-TERMINAL-S1), 30,13 %P/V (SE-TERMINAL-S2) y 26,10 %P/V (SE-TERMINAL-S3), indicando que las tres muestras de suelo comparten características similares de humedad, siendo el suelo S2 con mayor punto de marchitez permanente, es decir, es más afectado en cuanto a humedad relativa.

La saturación de humedad se refiere al contenido de agua del suelo cuando prácticamente todos los espacios están llenos de agua. En los suelos bien drenados es un estado temporal ya que el exceso de agua drena de los poros grandes por influencia de la gravedad para ser reemplazada por aire. Para las muestras se obtuvieron registros de 55,20 %P/V (SE-TERMINAL-S1), 56,00 %P/V (SE-TERMINAL-S2) y 43,20 %P/V (SE-TERMINAL-S3), indicando que en todas las muestras la saturación es alta, es decir que los suelos tienen una alta capacidad para albergar agua de acuerdo a su porosidad.

La capacidad de campo se refiere a la cantidad relativamente constante de agua que contiene un suelo saturado después de 48 horas de drenaje. El drenaje ocurre por la trasmisión del agua a través de los poros mayores de 0,05 mm de diámetro; sin embargo, la capacidad de campo puede corresponder a poros que varían entre 0,03 y 1 mm de diámetro. Este concepto se aplica únicamente a suelos bien estructurados donde el drenaje del exceso de agua es relativamente rápido; si el drenaje ocurre en suelos pobremente estructurados, por lo general continuará durante varias semanas y este tipo de suelos de estructura tan pobre raramente tiene una Capacidad de Campo claramente definida. La Capacidad de Campo se determina mejor en el campo saturando el suelo y midiendo su contenido de agua después de 48 horas de drenaje. El suelo a capacidad de campo se siente muy húmedo en contacto con las manos. De acuerdo a esto se realizaron tres mediciones de capacidad de campo para cada una de las muestras, para capacidad de campo punto (0,3 ATM) se registraron valores de 42,62 %P/V (SE-TERMINAL-S1), 45,60 %P/V (SE-TERMINAL-S2) y 36,68 %P/V (SE-TERMINAL-S3); para capacidad de campo punto (1,0 ATM) se registraron valores de 36,89 %P/V (SE-TERMINAL-S1), 39,85 %P/V (SE-TERMINAL-S2) y 32,77 %P/V (SE-TERMINAL-S3) y para capacidad de campo punto (5,0 ATM) se registraron valores de 31,26 %P/V (SE-TERMINAL-S1), 34,06 %P/V (SE-TERMINAL-S2) y 28,63 %P/V (SE-TERMINAL-S3); indicando que mientras más presión existe menos capacidad de campo se determina; en términos generales las tres muestras comparten características similares.

1.6 Conclusiones

- Basados en el hecho de que los componentes de la gasolina son mucho más volátiles que los componentes del diésel, se encontró que con los valores reportados en los análisis de laboratorio de BTEX.
- Los suelos son de origen antrópico, lo cual incide en los valores pH y CIC reportados en el laboratorio, con niveles de materia orgánica medios a latos. Los contenidos de nitrógeno son altos.
- Con base en los valores determinados de punto de marchitez permanente, saturación de humedad, capacidad de campo y estabilidad estructural, se corrobora el óptimo flujo de agua en el suelo, buen drenaje interno y porosidad media a fina, con media capacidad de almacenamiento en los microporos.
- La capacidad de intercambio catiónico, carbono orgánico y CIC presenta niveles altos, causados por los procesos geoquímicos y de transformación que tienen los suelos actualmente.
- Según los resultados los compuestos aceitosos como hidrocarburos, grasas y aceites no representan un nivel de afectación en las muestras determinando una buena calidad del recurso, teniendo en

cuenta que su presencia está en niveles imperceptibles. Su causa puede estar asociada a los materiales de recebo y materiales de relleno puestos hace mucho tiempo.

- Los materiales dominantes pertenecen a la fracción arcilla y limo, confiriéndole al suelo condiciones óptimas de retención de humedad, presencia de abundantes microporos, adhesión del material edáfico y tendencia a la compactación cuando este es expuesto a presiones que superan su capacidad de carga.
- Según los resultados arrojados en la determinación de pH, se evidencia una tendencia acida en las muestras que puede repercutir con muchos factores bioquímicos del recurso, por lo tanto, es un factor de vital intervención según sea el uso establecido del mismo.
- Los suelos son superficiales a moderadamente profundos, tienen limitantes en la profundidad efectiva por presencia de material antrópico y fragmentos líticos. Los contenidos de las bases intercambiables, carbono orgánico y nitrógeno calculado indican una capa arable en descanso, por un periodo superior a 5 años.

BIBLIOGRAFÍA

AC ENERGY, Ingeniería de diseño. Informe de Estudio de Suelos, Subestación Terminal, OT16-152, 2016.

ACOSTA, J. (2001). GEOLOGÍA DE LA PLANCHA 227 LA MESA, MEMORIA EXPLICATIVA. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. Decreto 523 (16, diciembre, 2010). Por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C. Bogotá D.C.: La Alcaldía.

AUGE, Miguel. Vulnerabilidad de acuíferos, conceptos y métodos. Buenos Aires, 2004, 38 h. Investigación. Universidad de Buenos Aires. Disponible en el catálogo en línea de la Biblioteca de la Universidad de Buenos Aires: < http://www.filo.uba.ar/contenidos/investigacion/institutos/geo_bkp/geocritica2010/gaye/archivos_pdf/VulnerabilidadConceptos.pdf > [citado en 20 de abril de 2018]

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA. (2013). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca hidrográfica del Río Bogotá [en línea]. < http://www.car.gov.co/index.php?idcategoria=43316 [citado en 13 de abril de 2018].

DRAMSTAD, W., Olson, J., & Forman, R. T. T. (1996). Landscape Ecology Principles in Landscape Architecture and Land-Use Planning. Harvard.

ETTER, Andrés. Introducción a la ecología del paisaje [1991] [en línea] < https://www.researchgate.net/profile/Andres_Etter/publication/266391069_INTRODUCCION_A_LA_ECOLOGIA_DEL_PAISAJE_Un_Marco_de_Integracion_para_los_Levantamientos_Ecologicos/links/543052fb0cf29bbc12771d98/INTRODUCCION-A-LA-ECOLOGIA-DEL-PAISAJE-Un-Marco-de-Integracion-para-los-Levantamientos-Ecologicos.pdf > [citado en 16 de abril de 2018].

FORMAN, R. T. T., & Godron, M. 1986. Landscape Ecology: J. Wiley & N. Y. Sons, Eds. ISBN-13: 978-0471870371, p. 619.

FUNDACIÓN HUMEDALES BOGOTÁ. Humedal El Burro [en línea] < http://humedalesbogota.com/humedal-el-burro/> [citado en 16 de abril de 2018].

GONZALEZ, Álvaro. Calculo Simplificado de capacidad portante de cimientos superficiales en ladera. Escuela Colombiana De Ingeniería - III Encuentro de ingenieros de suelos y estructuras, 2003.

GONZÁLEZ-BERNALDEZ, F. 1981. Ecología y Paisaje: Blume, Ed. Barcelona. ISBN-10: 8472142272, p 256.

HISCOCK, K. 2005. Hydrogeology. Principles and Practice. XVI + 389 pp. Malden, Oxford, Carlton: Blackwell Publishing. ISBN 0 632 05763 7. Geological Magazine - Volume 144 Issue 1

IDEAM. Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo [en línea] < http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21135/CARACTERIZACION+CLIMATICA+BOGOTA.pdf/d7e42ed8-a6ef-4a62-b38f-f36f58db29aa> [citado en 11 de abril de 2018].

IDEAM. Guía metodológica para le elaboración de mapas geomorfológicos a escala 1:100.000 [en línea] < http://www.ideam.gov.co/documents/11769/152722/Guia_Enero_201401+%281%29.pdf/501aa421-a0e4-4a1d-a5c8-d6cb1b0de520 [citado en 11 de abril de 2018].

JULIVERT, M. (2014). Observaciones sobre el cuaternario de la Sabana de Bogotá. Boletín de Geología, [S.l.], n. 7. ISSN 2145-8553.

MONTOYA, R., Padilla, J., & Camargo, S. (2003). Valoración de la calidad y fragilidad visual del paisaje en el Valle De Zapotitlán De Las Salinas, Puebla (México). Boletín de la A. G. E., 35, 123–136.

PINZÓN, A., Edafología, 2010, ISBN: 978-958-44-6297-8.

SECRETARÍA DE AMBIENTE. Plan de manejo humedal de Techo [en línea] < https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&ved=0ahUKEwiQ_eX5lr_aAhUkxVkKHZeiBpQQFghmMAU&url=http%3A%2F%2Foab2.ambientebogota.gov.co%2Fapc-aa-files%2F57c59a889ca266ee6533c26f970cb14a%2Fplan_de_manejo_humedal_techo.pdf&usg=AOvVaw2zN2VLOu2ia-hY-mAn6bQf> [citado en 16 de abril de 2018].

SECRETARÍA DE AMBIENTE. Plan de manejo humedal La Vaca [en línea] < https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=9&ved=0ahUKEwiBgr2y3b_aAhXwp1kKHV_dCgMQFghgMAg&url=http%3A%2F%2Foab2.ambientebogota.gov.co%2Fapc-aa-files%2F57c59a889ca266ee6533c26f970cb14a%2FPMA_LaVaca.pdf&usg=AOvVaw3DqaYZf3642BIcsrq71JhH> [citado en 16 de abril de 2018].

SUAREZ, Jaime. Deslizamientos – Análisis Geotécnicos. 2001. [En línea]. Disponible en:http://www.erosion.com.co/index.php?option=com_content&task=view&id=155&Itemid=1. Citado en abril 20 de 2018.

TORRES, D. M. (2005). Geología de la sabana de Bogotá. Bogotá: INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA INGEOMINAS.

VARGAS CUERVO, German "Guía técnica para la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza por movimiento en masa" En: Colombia 1999. Ed: ISBN: 958-33-1276-2 v. 2500, pág. 197.

ROBINS, N. Groundwater pollution, aquifer recharge and vulnerability. En: Geological Society Special Publication No. 130 (1998); p ISBN-10 1897799985.