

Influencia de las propiedades índice del suelo en la distancia de viaje de movimientos en masa de
la Región Andina Nororiental

Jose Enrique Avila Reyes

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil

Director

Gustavo Chio Cho

Ph.D., Ingeniero Civil

Codirector

Daniel Camilo Roman Quintero

Ms.C, Ingeniero Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas,

Escuela de ingeniería civil

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

Dedico este proyecto en especial a Dios, por ser mi guía en cada paso y por toda la fortaleza que he recibido desde el inicio de mi carrera hasta su culminación. Doy gracias por todas las pruebas que se presentaron a lo largo de esta etapa. A mis padres Jose Angel y Olga Reyes quienes siempre creyeron en mí, me apoyaron incondicionalmente y son ese pilar incondicional en mi vida.

A mis hermanos Andres, Jhon, Maria y Sofia quienes con sus voces de aliento me apoyaron en cada semestre para no desfallecer. Sin el apoyo, consejos y sabiduría. No habría podido lograrlo.

Jose Enrique Avila Reyes

Agradecimientos

Agradezco a mis padres por el apoyo incondicional y el gran esfuerzo que realizaron al permitirme esta gran oportunidad.

De igual manera a la Universidad Industrial de Santander y a la Escuela de Ingeniería Civil, por brindarme el apoyo en momentos difíciles, el conocimiento de alta calidad y las herramientas y métodos usados para brindarme el conocimiento, la formación profesional y ética.

A los ingenieros Gustavo Chio Cho y Daniel Camilo Román los cuales con sus enseñanzas fueron claves en el desarrollo de cada fase del proyecto de investigación.

Tabla de Contenido

Introducción	12
1. Marco teórico	14
1.1 Movimientos en masa	14
1.2 Sistema de clasificación de suelos y propiedades índice	16
<i>1.1.1 Humedad natural</i>	17
<i>1.1.2 Ensayo granulometría por tamizado</i>	18
<i>1.1.3 Ensayo de límites de Atterberg</i>	18
<i>1.1.4 Plasticidad</i>	19
<i>1.1.5 Índice de plasticidad</i>	19
1.2 Correlaciones entre variables	20
2. Generalidades	22
2.1 Proyecto general	22
2.2 Suelos y características	22
2.3 Preparación de las muestras	31
3. Metodología	32
3.1 Toma de muestras en campo	32
<i>3.1.1 Ruta Bucaramanga – Tona (Zona 1)</i>	33
<i>3.1.2 Ruta Bucaramanga – Girón (Zona 2)</i>	34
<i>3.1.3 Ruta Bucaramanga – Rio Negro (Zona 3)</i>	36
3.2 Desarrollo de ensayos de laboratorio	37
<i>3.2.1 Ensayo por granulometría INVIAS E-123</i>	37

<i>3.2.2 Ensayo límites de Atterberg INVIAS E-125 (límite líquido)</i>	39
<i>3.2.3 Ensayo límites de Atterberg INVIAS E-125 (límite plástico).</i>	41
4. Análisis y resultados	43
4.1 Granulometría por tamizado INVIAS E-123	43
4.2 Límites de Atterberg INVIAS E-125 y E-126.	49
4.3 Correlación entre las propiedades índice de los suelos y la movilidad de los movimientos en masa.	52
<i>4.3.1 Distancia de viaje medida.</i>	52
<i>4.3.2 Altura máxima del desplazamiento.</i>	55
<i>4.3.3 Área total afectada.</i>	55
<i>4.3.4 Volumen de la masa desplazada.</i>	58
5. Conclusiones	61
Referencias	64
Apéndices	67

Lista de figuras

Figura 1. <i>Características morfométricas de un movimiento en masa.</i>	15
Figura 2. <i>Desvió en hacia la ruta prevista</i>	23
Figura 3. <i>Ruta prevista y muestras obtenidas.</i>	24
Figura 4. <i>Desvió en hacia la ruta prevista</i>	26
Figura 5. <i>Ruta prevista y muestras obtenidas</i>	26
Figura 6. <i>Muestra adicional obtenida. (Km 3.7 vía Girón – Aeropuerto).</i>	27
Figura 7. <i>Desvió en hacia la ruta prevista</i>	28
Figura 8. <i>Ruta prevista y muestras obtenidas.</i>	29
Figura 9. <i>Muestra adicional obtenida. - (Km 17 vía Rio Negro – El Playón).</i>	29
Figura 10. <i>Ruta prevista y muestras obtenidas.</i>	32
Figura 11. <i>Deslizamiento en la zona 1.</i>	33
Figura 12. <i>Panorámica en la zona 1.</i>	34
Figura 13. <i>Erosión observada.</i>	35
Figura 14. <i>Erosión y cárcamos.</i>	35
Figura 15. <i>Obstrucción en la vía por movimiento en masa y paso inseguro de motocicletas.</i>	36
Figura 16. <i>Movimiento en masa activo y en desplazamiento constante hacia una finca aledaña.</i>	37
Figura 17. <i>Tamices desde n°200 hasta 2'', gramera, pala de recolección, contenedor de aluminio y bolsa plástica de sellado hermético.</i>	38
Figura 18. <i>Equipo Casagrande, espátula, acanaladores o ranuradores y mortero de mezclado muestras más agua.</i>	40

Figura 19. <i>Sección de la muestra a depositar dentro de la capsula.</i>	40
Figura 20. <i>Bolita de suelo formada y rollo con su respectiva grieta de falla.</i>	42
Figura 21. <i>Capsulas usadas y secado al horno.</i>	42
Figura 22. <i>Granulometría obtenida para la zona 1 municipio de Tona.</i>	43
Figura 23. <i>Granulometría obtenida para la zona 2 municipio de Girón.</i>	45
Figura 24. <i>Granulometría obtenida para la zona 3 municipio de Girón.</i>	47
Figura 25. <i>Límites de Atterberg e índice de plasticidad zona 1 municipio de Tona.</i>	50
Figura 26. <i>Límites de Atterberg e índice de plasticidad zona 2 municipio de Girón.</i>	50
Figura 27. <i>Límites de Atterberg e índice de plasticidad zona 3 municipio de Rio Negro.</i>	51

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Listado de muestras y punto de desvió. Con sus respectivas coordenadas.</i>	24
Tabla 2. <i>Listado de muestras, punto de desvió y muestra adicional. Con sus respectivas coordenadas.</i>	27
Tabla 3. <i>Listado de muestras, punto de desvió y muestra adicional. Con sus respectivas coordenadas.</i>	30
Tabla 4. <i>Listado de muestras con su respectiva clasificación a la fracción gruesa, fina y clasificación general de la muestra.</i>	44
Tabla 5. <i>Listado de muestras con su respectiva clasificación a la fracción gruesa, fina y clasificación general de la muestra.</i>	46
Tabla 6. <i>Listado de muestras con su respectiva clasificación a la fracción gruesa, fina y clasificación general de la muestra.</i>	48
Tabla 7. <i>Resultados correlaciones coeficiente de correlación, coeficiente de determinación y tipo de ecuación.</i>	53
Tabla 8. <i>Resultados correlaciones coeficiente de correlación, coeficiente de determinación y tipo de ecuación.</i>	56
Tabla 9. <i>Resultados correlaciones coeficiente de correlación, coeficiente de determinación y tipo de ecuación.</i>	58

Lista de apéndices

Apéndice 1: Tablas de resumen para los datos obtenidos en las rutas estudiadas.	67
---	----

Resumen

Título: Influencia de las propiedades índice del suelo en la distancia de viaje de movimientos en masa de la Región Andina Nororiental*

Autor: Jose Enrique Avila Reyes**

Palabras clave: movimientos en masa - MM; propiedades índices; correlaciones.

Descripcion

En el presente documento se realiza un análisis por correlaciones entre las propiedades índice de los suelos de la región andina nororiental para los municipios de Rio Negro, Girón y Tona, con la altura máxima de deslizamiento, ancho de la masa desplazada, distancia de viaje medida, espesor de la masa desplazada, longitud de la masa desplazada y volumen de la masa desplazada. Este análisis tiene como finalidad observar el comportamiento de algunos de los movimientos en masa – MM, que han registrado constantes desplazamientos y afectaciones en algunos de los corregimientos aledaños a los municipios previamente mencionados en los cuales se tomaron las muestras necesarias para iniciar los ensayos en el laboratorio, siguiendo las especificaciones y procedimientos del Instituto Nacional de Vías – INVIAS de las cuales se usaron: la norma INVIAS E – 123 cuyo objetivo es determinar la curva granulométrica, la norma INVIAS E – 125 con la cual se determina el límite líquido y por último la norma INVIAS E – 126 con la cual se determina el límite plástico e índice de plasticidad. Teniendo en cuenta los resultados en cada uno de los ensayos para su respectiva clasificación del tipo de suelo se usará el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos – SUCS por sus siglas en inglés, este siendo uno de los más aceptados y utilizados en el ámbito de la geotecnia. Realizando la toma de muestras en campo, los procedimientos en el laboratorio y su respectiva clasificación, se procede con la elaboración de las correlaciones para las muestras obtenidas en cada uno de los municipios, los resultados nos indicaran si existe o no una correlación confiable en cada uno de los ítems a relacionar así se podrá profundizar en futuros estudios para los ítems que cuentan con baja confiabilidad usando métodos o ensayos los cuales podrían aumenten este valor y mejorar su comprensión.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de ingeniería civil. Director Gustavo Chio Cho. Ph.D., Ingeniero Civil. Codirector. Daniel Camilo Roman Quintero. Ms.C, Ingeniero Civil

Abstract

Title: Influence of soil index properties on the travel distance of mass movements in the north-eastern andean región *

Author: Jose Enrique Avila Reyes **

Keywords: mass movements – MM; properties index correlation.

In the present document, a correlation analysis is conducted between the index properties of the soils in the northeastern Andean region for the municipalities of Rio Negro, Girón, and Tona, with the maximum slide height, width of the displaced mass, measured travel distance, thickness of the displaced mass, length of the displaced mass, and volume of the displaced mass. This analysis aims to observe the behavior of some of the mass movements – MM, which have recorded constant displacements and impacts in some of the districts adjacent to the previously mentioned municipalities, where the necessary samples were taken to initiate laboratory tests, following the specifications and procedures of the National Institute of Roads – INVIAS, using: the INVIAS E – 123 standard, whose objective is to determine the granulometric curve, the INVIAS E – 125 standard, which determines the liquid limit, and finally the INVIAS E – 126 standard, which determines the plastic limit and plasticity index. Taking into account the results of each test for the respective classification of the soil type, the Unified Soil Classification System – USCS will be used, as it is one of the most accepted and utilized in the field of geotechnics. Carrying out the sampling in the field, the laboratory procedures, and their respective classification, we proceed with the development of correlations for the samples obtained in each of the municipalities. The results will indicate whether or not there is a reliable correlation for each of the items to be related, thus allowing for further study in future research for items with low reliability using methods or tests that could increase this value and improve their understanding.

* Thesis

** Faculty of Physical and Mechanical Engineering, School of Civil Engineering, Director Gustavo Chio Cho. Ph.D., Civil Engineer. Co-director. Daniel Camilo Roman Quintero. Ms.C, Civil Engineer

Introducción

Los movimientos en masa -MM pueden definirse como el desplazamiento de suelo, escombros y/o rocas de forma vertical (o ladera abajo), debido a factores naturales y factores humanos en la zona. Estos tipos de movimientos en masa se clasifican internacionalmente en ocho tipos básicos: Caídas, flujos, deslizamientos, volcamientos, propagación natural, hundimientos, reptación, movimientos complejos avenidas torrenciales y avalanchas. Además, pueden ser descritos y cuantificados según su velocidad o tasa de movimiento, desplazamiento relativo y material transportado. Su cuantificación está dada por su magnitud en relación con el volumen desplazado, actividad recurrente, velocidad de desplazamiento e intensidad en los daños que ocasiona a nivel local [1].

En entornos con características tropicales los movimientos en masa son mucho más frecuentes y con altas afectaciones a las poblaciones, en estos movimientos intervienen diferentes factores como lo son la cobertura natural del suelo, las pendientes encontradas para cada terreno, las características intrínsecas de los materiales, las altas precipitaciones y la actividad tectónica [2]. Algunos de los datos relevantes a nivel mundial dejan ver el continente asiático como uno de los más afectados respecto a víctimas mortales dejando como referente a Nepal con 186 víctimas fatales, seguido de Japón y China con 170 y una cifra aproximada de entre 140 – 150 víctimas fatales por año respectivamente. En América latina las cifras decrecen relativamente comparado con los países con un mayor número de habitantes, esta lista la encabeza Brasil con 88 víctimas fatales. Las mayores afectaciones económicas se ven reflejadas en países como Japón con cuatro mil millones de dólares anualmente, seguido por Italia, estados unidos e India con pérdidas que

oscilan entre uno y dos mil millones de dólares anualmente. Esto representa no solo pérdidas humanas si no pérdidas materiales, económicas y atrasos en el desarrollo de un país [3].

En Colombia la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres – UNGRD, reporta que Enel 2015 se actualizaron los mapas nacionales de amenaza relativa por movimientos en masa a escala 1:100.000 con el cual se logró categorizar 50% del territorio nacional en amenaza baja, el 22% en amenaza media, el 20% en amenaza alta y el 4% en amenaza muy alta por movimientos en masa. En los últimos 100 años se tienen registro de más de 11.800 eventos asociados a los movimientos en masa, debido a esto más de 7590 personas han perdido la vida y un aproximado de 239.740 familias se han visto afectadas [4].

Los departamentos con mayores registros son: Antioquia (1.393), Cundinamarca (1.068), Nariño (1.046), Tolima (957), Boyacá (800), Santander (785), valle del cauca (781) y cauca (736). Delos cuales Santander es uno de los departamentos con un mayor número de personas y familias afectadas. [4].

Este trabajo busca correlacionar algunas de las propiedades índice más importantes de en las muestras de suelo obtenidas en cada uno de los municipios visitados, Tona, Girón y Rio Negro. Para clasificar mediante ensayos de laboratorio el tipo de curva granulométrica, si posee límites de Atterbrg o no y posterior mente dar una clasificación respecto a sus propiedades índice para identificar el tipo de suelo mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos – SUCS [5]. Además de estimar una correlación entre dichas propiedades y los datos tomados para los movimientos en masa estudiados.

1. Marco teórico

A continuación, se presentan algunos de los conceptos y definiciones más importantes para esta investigación.

1.1 Movimientos en masa

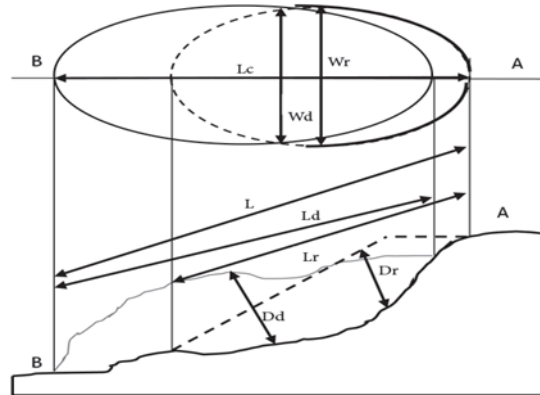
Los movimientos en masa, también conocidos como deslizamientos, derrumbes, movimientos de terreno y volcanes. En términos generales es el desplazamiento de suelo, rocas y/o tierras laderas abajo por acción de la fuerza de gravedad. Además, se cuenta con otros factores naturales y humanos como lo son: el clima, la meteorización, la degradación natural de cada tipo de suelo, la deforestación, la ganadería, las construcciones en laderas, los malos procesos de estabilización y drenaje [6].

Existen ocho tipos básicos: Caídas, flujos, deslizamientos, volcamientos, propagación natural, hundimientos, reptación, movimientos complejos avenidas torrenciales y avalanchas [7].

En el cual se definen las siguientes medidas morfométricas para los movimientos en masa. A continuación, se presenta la figura 1.

Figura 1.

Características morfométricas de un movimiento en masa.



Nota. Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgos por movimientos en masa.

Donde W_d es el ancho de la masa desplazada, W_r es el ancho máximo entre costados del movimiento en masa, L_d es la distancia mínima desde la punta de inicio, L es la distancia de viaje medida, D_r es la profundidad máxima de la superficie de falla, L es la distancia medida de viaje y la diferencia entre el punto A y B es la altura máxima del deslizamiento. [8].

El área afectada en un deslizamiento se conformaría por los dos semicírculos ilustradas en la figura 1, el volumen del deslizamiento se conforma del área afectada y la altura máxima del deslizamiento. En cual se conforma por la semi esfera construida a partir de W_r , L_r y D_r . Además, las variables implícitas como el largo, ancho y profundo tienen relación directamente con estas dos variables ya que cuando son cuantificados se deben tener claros los elementos que lo conforman, garantizando una medición acertada para su posterior caracterización y comparativa en una base de datos.

1.2 Sistema de clasificación de suelos y propiedades índice

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Unified Soil Classification System – USCS), fue presentado por Arthur Casagrande, usado para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo. Este sistema tiene limitaciones dado que el tamaño máximo de partícula es de tres pulgadas (3'') y se representan mediante un símbolo con dos letras mayúsculas (SW – Arena bien gradada) [9].

Los suelos de granos grueso y fino se distinguen mediante el tamizado del material por el tamiz N°. 200. Los suelos gruesos corresponden a los retenidos en dicho tamiz y los finos a los que lo pasan, de esta forma se considera que un suelo es grueso si más del 50% de las partículas de este son retenidas en el tamiz N°. 200 y fino si más del 50% de sus partículas son menores que dicho tamiz [5].

Los suelos se designan por símbolos de grupo. El símbolo de cada grupo consta de un prefijo y un sufijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres en ingles de los seis principales tipos de suelos (grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turbas), mientras que los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos [10].

Esta clasificación divide los suelos en:

- Suelos gruesos. Se dividen en gravas y arena, y se separan con el tamiz N° 4, de manera que un suelo pertenece al grupo de grava si más del 50% retiene el tamiz No 4 y pertenecerá al grupo arena en caso contrario (5).

- Suelos finos. El sistema unificado considera los suelos finos divididos entre grupos: limos inorgánicos (M), arcillas inorgánicas (C) y limos y arcillas orgánicas (O). Cada uno de estos suelos se subdivide a su vez según su límite líquido, en dos grupos cuya frontera es $Ll = 50\%$. Si el límite

líquido del suelo es menor de 50 se añade al símbolo general la letra L (Low Compressibility). Si es mayor de 50 se añade la letra H (Hight Compressibility) [10].

La propiedad índice son aquellas propiedades que nos permiten conocer de una manera rápida y practica la naturaleza en la cual se encuentra el suelo de estudio. Además de la creación de perfiles estratigráficos, clasificación de los suelos y parámetros de capacidad portante [11].

1.1.1 Humedad natural

Es la cantidad relativa de agua que se encuentra en un suelo respecto a la masa de solidos o al volumen de suelo analizado. Se expresa en porcentaje (%) y es una relación entre el peso de agua del espécimen y el peso de los sólidos. Para lograr llegar a esta relación se usa como herramienta el horno de secado a 115°- 120° en un rango de 18 a 24 horas para lograr un peso constante en el espécimen, y así garantizar lo que se conoce como suelo seco [12].

Para determinar esta relación se usa la siguiente formula:

$$\omega = \frac{m_h - m_s}{m_s} * 100\% \quad (1)$$

Donde:

ω : es la humedad natural calculada (%).

m_h : es la masa del espécimen con su respectiva humedad natural. (Kg)

m_s : es la masa del espécimen secado al horno (Kg).

1.1.2 Ensayo granulometría por tamizado

El ensayo de granulometría por tamizado determina el tamaño nominal de las partículas de la muestra para su respectiva clasificación.

Este ensayo consiste en tomar una fracción de la muestra pesarla antes y después de ponerla en el horno a 110 °C por 24 horas para un proceso de secado, luego se procede a lavar la muestra con el tamiz número 200, en el cual se lavan las partículas finas, ahora se procede a tomar el peso de la muestra para posteriormente pasarla por la gama de tamices los cuales van desde el de 2” hasta el número 200, al hacer esto se busca pesar el porcentaje de más retenido en cada tamiz para generar una curva granulométrica y poder caracterizar el suelo mediante el método SUCS [13].

1.1.3 Ensayo de límites de Atterberg

Los ensayos referentes a determinación de límites consisten en el ensayo para la determinación para el límite líquido, límite plástico y así poder determinar el índice de plasticidad.

El ensayo de limite plástico consiste en tomar una fracción de la muestra la cual mediante un proceso de secado se busca eliminar la humedad, para llevarla a un proceso de trituración generando un material fino el cual pasa por el tamiz número 40, se humedece una fracción de este material y se busca generar rollos de 3.2 mm de diámetro hasta ver fisuras transversales repitiendo el proceso de manera continua para obtener el cálculo de la humedad limite, se pesa una capsula sola y después con el suelo hasta completar más de 20 gr para llevarla al horno al proceso de secado a 110 °C por una hora y al final se pesa la cápsula para determinar la humedad [13].

El ensayo de limite liquido consiste en el uso del equipo Casagrande en el cual mediante el suelo triturado que pasa el tamiz número 40 se crea una masa y se enraza en la cazuela del equipo y así mediante un proceso repetitivo se busca mediante un ranurador y el número de golpes el cual varia en 4 fases las cuales son: 1. Entre 40-45 golpes, 2. 30-40 golpes 3. 20-30 golpes 4. 10-20 golpes. Los cuales buscan unir la ranura de la muestra más o menos un centímetro dentro de lacad fase de golpes para la cual se usan cuatro capsulas medidas previamente vacías y luego con la muestra que encierra el centímetro en la cazuela para llevarla al horno a un proceso de secado a 110 °C por una hora para luego calcular el porcentaje de humedad y mediante el límite plástico se calcula el índice de plasticidad para proceder a consultar la carta de plasticidad y clasificar el suelo [13].

1.1.4 Plasticidad

Se define como la consistencia que logra tener un suelo cuando su humedad está cerca del límite plástico. Es la menor o mayor facilidad que presenta un suelo para dejarse moldear cuando se encuentra en el límite plástico siendo alta, media, ligera y nula [14]

1.1.5 Índice de plasticidad

El índice de plasticidad ofrece gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento naturaleza y calidad de los suelos blandos. Este índice se define como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico [12].

La siguiente ecuación determina el índice de plasticidad.

$$IP = LL - LP \quad (2)$$

Donde:

IP: índice de plasticidad (%).

LL: limite líquido (%).

LP: limite plástico (%).

1.2 Correlaciones entre variables

Para la determinación de la existencia de una correlación de dos o más variables de un método conocido como método de correlación en el cual el primer paso es determinar si existe una relación entre dichas variables mediante el coeficiente de correlación de Pearson el cual varía entre -1 y 1, para lo cual un valor de 1 sea positivo o negativo indica que existe una relación lineal o recta positiva perfecta, cuando el valor se aproxima a cero indica que no existe ninguna correlación.

El coeficiente de correlación posee las siguientes características:

- Es un valor adimensional
- El valor para el coeficiente de correlación se altera de forma importante ante la presencia de valores atípicos.
- El coeficiente de correlación no se debe extrapolar más allá del rango de los datos, ya que más allá pueden cambiar los valores tanto para el eje de las abscisas como el eje de las coordenadas.

- La correlación no implica casualidad.

El coeficiente de Pearson también nos presenta que tan fuerte es la correlación. Ahora esta investigación presenta datos empíricos los cuales mediante un análisis con un modelo lineal simple ($y=mx+b$) sobre las variables de estudio en las cuales se lleva a un análisis en la pendiente de cada ecuación. Si el modelo lineal tiene una alta pendiente positiva, eso indica que existe una fuerte relación directa entre las variables. Si la pendiente es cero (o casi cero), quiere decir que no hay relación entre las variables. Si la pendiente es negativa quiere decir que, si hay relación entre las variables, pero es inversa (al aumentar una variable disminuye la otra) [15].

2. Generalidades

2.1 Proyecto general

En este proyecto se realizará el estudio de las propiedades índice de los suelos de tres municipios de Santander vulnerables antes movimientos en masa los cuáles son Tona, Girón y Rio Negro. En los cuales se tomaron muestras de suelo de deslizamientos de interés ya algunos recientes de la siguiente manera. Siete muestras en el municipio de Tona, seis muestras en el municipio de Girón y en el municipio de Rio Negro se contó con un total de cuatro puntos claves para mejorar la caracterización del movimiento en masa de los cuales tres contaron con tres muestras y uno conto con dos muestras, con un total de 11 muestras.

2.2 Suelos y características

En la elaboración de este tipo de proyectos se observaron suelos con distintas características morfológicas ya que su extracción se representa en diferentes municipios. Para las muestras obtenidas en el municipio de Tona se observó en una gran mayoría suelos finos de alta plasticidad y arenas limosas, ya que los puntos de interés se encuentran en una zona con altas precipitaciones y en ladera de montaña por lo cual se encuentra una gran capa de vegetación, biodiversidad y un alto grado de meteorización en la roca madre generando contantes movimientos en masa para la época de lluvias. En el municipio de Girón se presentaron suelos finos de baja plasticidad y arenas limosas, esto debido a que los puntos de interés se situaron donde hace algunos años se presentaron movimientos en masa, generando acumulaciones de material y características dispersas. Por

último, en el municipio de Rio Negro se presentaron suelos finos de baja plasticidad, arenas y gravas limosas

A continuación, se muestran las rutas que se siguieron en cada municipio con su respectivo listado de muestras.

Partiendo Desde la ciudad de Bucaramanga y ubicado a unos 16 Km en la vía nacional Bucaramanga- Cúcuta, se encuentra un desvió el cual nos lleva por la primera ruta predispuesta para la zona de estudio adjudicada al municipio de Tona. Tomando el camino de la izquierda sin salir de él y por maso menos unos 20 min llegamos a ver los primeros deslizamientos.

Como se muestra a continuación en la figura 2 y 3.

Figura 2.

Desvió en hacia la ruta prevista



Nota. Google Earth.

Figura 3.

Ruta prevista y muestras obtenidas.



Nota. Google Earth.

A continuación, en la tabla 1 se muestra el listado de muestras y el punto clave para el desvío.

Tabla 1.

Listado de muestras y punto de desvío. Con sus respectivas coordenadas.

Ruta Bucaramanga - Tona			
Muestra	Latitud	Longitud	Ref.
Punto de Desvío	7.140278	-73.029571	P.D.
1°_OBSTACULO	7.148478	-73.050558	1
Z_11_44_2	7.151734	-73.048086	2
Z_11_45	7.152327	-73.044061	3

Ruta Bucaramanga - Tona			
NUEVO_1_Z_11_45_ABAJO	7.152327	-73.044061	4
Z_11_46_1	7.155594	-73.040591	5
Z_11_46_2	7.154804	-73.039105	6
QUEBRADA	7.146008	-73.05129	7

Continuando con los recorridos previstos y saliendo de la ciudad de Bucaramanga con destino al municipio de Girón, tomando la salida hacia el municipio de Zapatoca doblamos hacia la derecha sobre el puente del río de Oro y unos 500 m adelante encontramos el punto de desvío. En el cual doblando hacia y la izquierda y por una aproximadamente una hora llegamos a una finca la cual cuenta con acceso y en la cual se debe caminar por 15 min más para llegar a la zona de estudio.

Como se muestra a continuación en las figuras 4, 5 y 6.

Figura 4.

Desvió en hacia la ruta prevista



Nota. Google Earth.

Figura 5.

Ruta prevista y muestras obtenidas



Nota. Google Earth.

Figura 6.

Muestra adicional obtenida. (Km 3.7 vía Girón – Aeropuerto).



Nota. Google Earth.

A continuación, en la tabla 2 se muestra el listado de muestras y el punto clave para el desvió.

Tabla 2.

Listado de muestras, punto de desvió y muestra adicional. Con sus respectivas coordenadas.

Ruta Bucaramanga - Girón			
Muestra	Latitud	Longitud	Ref.
Punto de Desvió	7.048683	-73.169944	P.D.
Z_11_41	7.023865	-73.178198	1
Z_11_41_#3	7.024153	-73.177752	2
Z_11_41_#4	7.024092	-73.17749	3

Z_11_41_#5	7.023928	-73.177131	4
Z_11_41_2	7.023829	-73.178007	5
AEREOPUERTO	7.080741	-73.18567	6

Por último, saliendo de la ciudad de Bucaramanga con destino al municipio de Rio Negro, pasando dicho municipio y a unos 12 Km sobre la vía encontramos el punto de desvió. En el cual doblando a la izquierda y por al menos una hora llegamos a ver los primeros deslizamientos de la zona de estudio.

Como se muestra a continuación en las figuras 7, 8 y 9.

Figura 7.

Desvió en hacia la ruta prevista



Nota. Google Earth.

Figura 8.

Ruta prevista y muestras obtenidas.



Nota. Google Earth.

Figura 9.

Muestra adicional obtenida. - (Km 17 vía Rio Negro – El Playón).



Nota. Google Earth.

A continuación, en la tabla 3 se muestra el listado de muestras y el punto clave para el desvío.

Tabla 3.

Listado de muestras, punto de desvió y muestra adicional. Con sus respectivas coordenadas.

Ruta Bucaramanga - Rio Negro			
Muestra	Latitud	Longitud	Ref.
Punto de Desvió	7.369759	-73.17616	P.D.
D_NUEVO_1	7.409831	-73.201629	1
D_NUEVO_1 # 1			
D_NUEVO_1 # 2			
D_NUEVO_1 # 3			
D_NUEVO_2	7.409831	-73.201629	2
D_NUEVO_2 # 1			
D_NUEVO_2 # 2			
D_NUEVO_2 # 3			
Z_12_1_3	7.403399	-73.194076	3
Z_12_1_3 # 1			
Z_12_1_3 # 2			
Z_12_1_3 # 3			
Z_12_14	7.411643	-73.184968	4
Z_12_14 # 1			
Z_12_14 # 2			

2.3 Preparación de las muestras

En total se analizaron 24 muestras las cuales se encuentran repartidas como se mostró anteriormente den los municipios de Tona, Girón y Rio Negro. Para la preparación de cada muestra se tuvieron en cuenta las siguientes recomendaciones sugeridas por el laboratorista encargado de la parte de geotecnia. Las cuales consisten en llevar un tubo de PVC cortado de forma tal que se logren almacenar más de dos kilogramos demuestra, la cual debe estar envuelta en vinipel para evitar las pérdidas de humedad, deben ser transportadas de manera cuidadosa evitando movimientos bruscos, los cuales podrían generar alteraciones en la muestra y como ultima recomendación se deben almacenar en un lugar seco alejado del sol y en bolsas negras preferiblemente hasta su procesamiento.

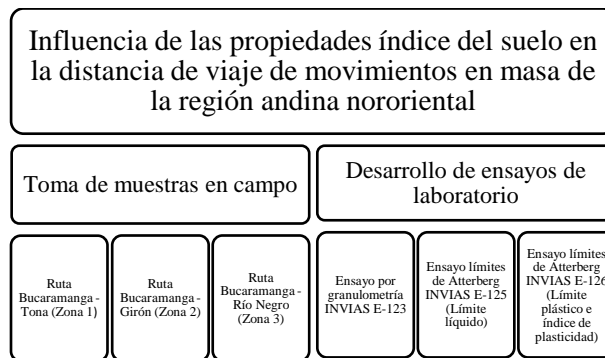
3. Metodología

En este apartado se describen los pasos en los cuales se desarrolló el proyecto de investigación planteado, así como equipos y procedimientos necesarios en su respectivo desarrollo.

Como se muestra a continuación en la figura 10.

Figura 10.

Ruta prevista y muestras obtenidas.



Nota. Elaboración propia.

3.1 Toma de muestras en campo

En este apartado se llevó a cabo el planteamiento de las tres rutas propuestas. Además de la logística que implica el desplazamiento de personal y herramientas necesarias para una buena toma de muestras en campo cumpliendo con las recomendaciones descritas en las normas INVIAS y por el supervisor de geotecnia en el laboratorio de la Universidad Industrial de Santander.

3.1.1 Ruta Bucaramanga – Tona (Zona 1)

Está siendo la ruta inicial, una de las más complicadas ya que el trayecto fue bastante largo, se contaron con inconvenientes de localización y la vía se encontró en un estado bastante deplorable ya que nos encontramos con un deslizamiento que obstaculizo nuestro avance en el vehículo, así que se optó por continuar a pie nuestro recorrido llegando a los puntos de estudio y con una espectacular toma.

Como se muestra en la figura 11 y 12.

Figura 11.

Deslizamiento en la zona 1.



Figura 12.

Panorámica en la zona 1.

**3.1.2 Ruta Bucaramanga – Girón (Zona 2)**

En esta ruta como en la anterior el recorrido fue bastante largo, al estar cerca de los puntos de estudio nos percatamos que para el acceso debíamos contar con el apoyo de la comunidad exactamente pidiendo permiso para el acceso a una de las fincas que colindaba con los puntos de estudio. Estando en la zona de estudio se pudo observar una alta erosión y cárcamos en el sitio los cuales se van formando debido a los efectos meteorológicos lo cual impiden la formación de una capa vegetal para contrarrestar estos efectos aumentado el riesgo de presentarse un movimiento en masa.

Como se muestra a continuación en la figura 13 y 14.

Figura 13.

Erosión observada.



Figura 14.

Erosión y cárcamos.



3.1.3 Ruta Bucaramanga – Rio Negro (Zona 3)

Siendo este nuestro último recorrido se pudo observar de cerca los estragos que causan los movimientos en masa ya que en uno de los puntos de estudio se observó como un movimiento en masa se desplazó de manera tal manera que se acercaba peligrosamente a una finca. Además, una de las vías se vio afectada generando paso lo para motocicletas de una manera insegura. Al estar tan cerca de movimientos en masa de tal magnitud se puede evidenciar la importancia de contar con herramientas para catalogar los posibles daños y áreas de afectación de una manera más precisa y en el menor tiempo posible.

A continuación, se muestran los puntos más impactantes ver figura 15 y 16.

Figura 15.

Obstrucción en la vía por movimiento en masa y paso inseguro de motocicletas.



Figura 16.

Movimiento en masa activo y en desplazamiento constante hacia una finca aledaña.

**3.2 Desarrollo de ensayos de laboratorio**

En el desarrollo de los ensayos de laboratorio se tuvo en cuenta la normativa INVIAS, específicamente las normas E-123 usada en el ensayo de granulometría por tamizado, E-125, usada en el ensayo límites de Atterberg (límite líquido) y E-126 usada en ensayo de límites de Atterberg (límite plástico). Además, se deja como aclaración que, sin límite plástico, no existe límite líquido.

3.2.1 Ensayo por granulometría INVIAS E-123

En este apartado se ensayaron todas las muestras tomadas en campo, mediante una granulometría por tamizado y lavado descrita en la norma INVIAS E-123 y con la ayuda del laboratorista encargado quien nos acompañó en cada una de las muestras corroborando que el

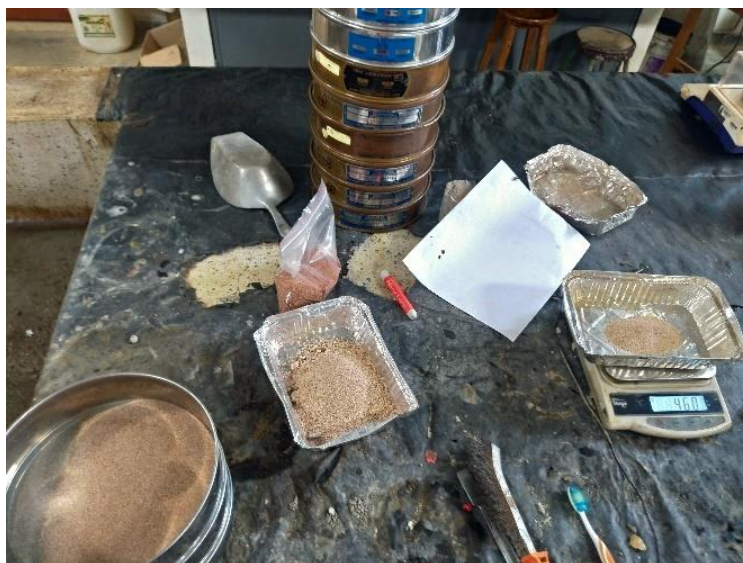
proceso se llevara a cabo de una manera eficiente y los datos obtenidos tuvieran concordancia para realizar una clasificación acertada En el tipo de suelo.

Para el desarrollo de este apartado se separó la muestra en dos partes de las cuales una se usó para la granulometría y otra en la comprobación de límites de Atterberg, continuando con el procedimiento se pesó la muestra para posteriormente dejarla en un recipiente con agua para ablandarla y facilitar su lavado en el tamiz N°200, para así llevarla al horno a una temperatura de $\pm 110^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas, al terminar el proceso de secado se pesa nuevamente y se procede a su respectivo tamizado.

A continuación, se muestran los elementos y herramientas empleados en este ensayo. Ver figura 17.

Figura 17.

Tamices desde n°200 hasta 2'', gramera, pala de recolección, contenedor de aluminio y bolsa plástica de sellado hermético.



3.2.2 Ensayo límites de Atterberg INVIAS E-125 (limite liquido)

Este apartado se llevaron a cabo los ensayos a 10 muestras de 24 en total. En las cuales se pudieron evidenciar suelos con un alto contenido de materiales particulares menores a un tamaño nominal de 200 micras. Además de pérdidas superiores al 50% de la muestra en el proceso de lavado para su caracterización granulométrica. Además, se presentó un comportamiento plástico en cada una de ellas.

Este ensayo consiste tomar una fracción de muestra la cual ha sido triturada en el mortero para su posterior tamizado en el tamiz N° 40 del cual se usa una fracción en el mortero mezclándola con pequeñas cantidades de agua hasta alcanzar la consistencia de los primeros 40 a 45 golpes en el equipo Casagrande hasta unir la ranura del medio +/- un centímetro para retirar la unión con una espátula y depositarla en una capsula para su posterior secado al horno este proceso se repite en 3 ciclos más añadiendo más agua y reduciendo el número de golpes de la siguiente forma entre 10–20, 20-30, 30-40 y 40-45. Tomando como muestra la unión formada en la ranura y posteriormente depositándolas en las capsulas para ser pesadas antes de llevarlas al horno para su secado a 110°C durante 24 horas para su registro de humedad.

A continuación, se muestran los elementos y herramientas empleadas en este ensayo. Ver figura 18 y 19.

Figura 18.

Equipo Casagrande, espátula, acanaladores o ranuradores y mortero de mezclado muestras más agua.

**Figura 19.** *Sección de la muestra a depositar dentro de la capsula.*

3.2.3 Ensayo límites de Atterberg INVIAS E-125 (límite plástico).

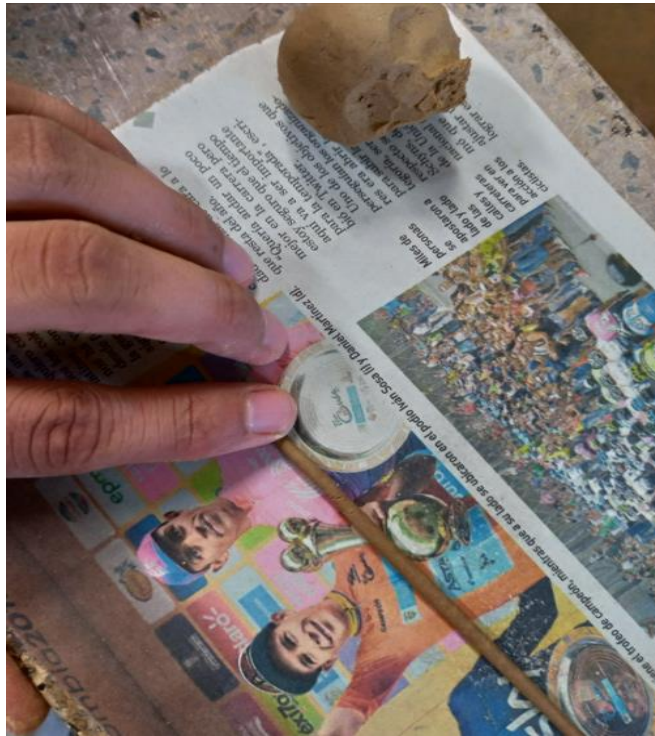
Este siendo el último apartado de los ensayos de laboratorio se evidencio una clara dependencia del límite plástico con el límite liquido ya que primero se debió hacer este ensayo. En el cual se presentaron 11 muestras que cumplieron con este requisito y se pudo llevar a cabo el ensayo anterior.

Este ensayo consiste tomar una fracción de muestra la cual ha sido triturada en el mortero para su posterior tamizado en el tamiz N° 40 del cual se usa una fracción a la cual se le añade agua formando una bolita de muestra consistente, para posterior a ello crear un rollo de +- 3 mm de diámetro en el cual se deben ver las grietas formadas debido a una falla en el suelo por perdida de humedad, los cuales se llevan a una capsula donde de pesan y el secado en al horno a 110°C durante 24 horas.

A continuación, se muestran cómo se forman las grietas y las cápsulas usadas en el secado. Ver figura 20 y 21.

Figura 20.

Bolita de suelo formada y rollo con su respectiva grieta de falla.

**Figura 21.**

Capsulas usadas y secado al horno.



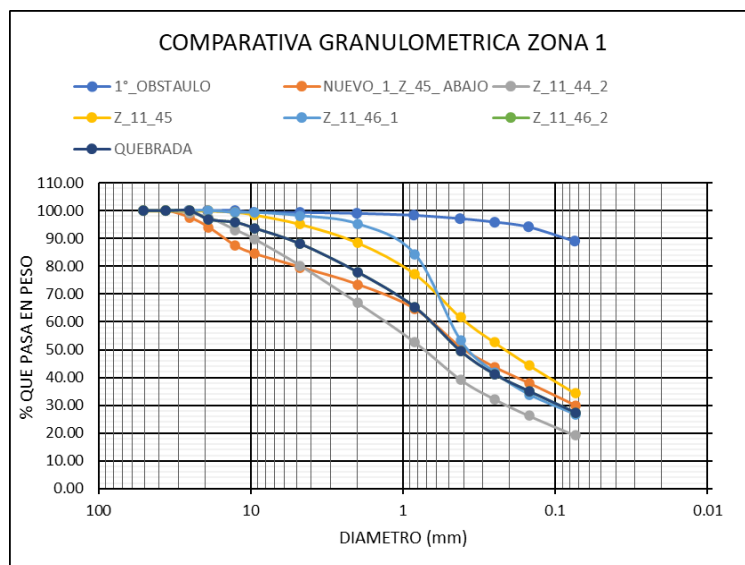
4. Análisis y resultados

4.1 Granulometría por tamizado INVIAS E-123

Se realizaron 24 granulometrías por tamizado las cuales se repartieron en las zonas de estudio de los tres municipios (Tona, Girón y Rio Negro). Para los cuales se consigna la información en las figuras 22, 23 y 24.

Figura 22.

Granulometría obtenida para la zona 1 municipio de Tona.



En la figura 22, se observa el comportamiento granulométrico de cada una de las muestras obtenidas para la zona uno, en las cuales se puede apreciar un comportamiento que tiende a ser uniforme con una persistencia de un estrado de suelo similar en seis de las siete muestras. Este tipo

de comportamiento muestra que existe una correspondencia en un estrato de suelo el cual está presente en cada muestra solo dejando algunas diferencias entre sus propiedades índice y su respectiva clasificación de suelo.

A continuación, se muestra en la tabla 4, la clasificación de cada muestra tanto a su fracción gruesa como a su fracción fina.

Tabla 4.

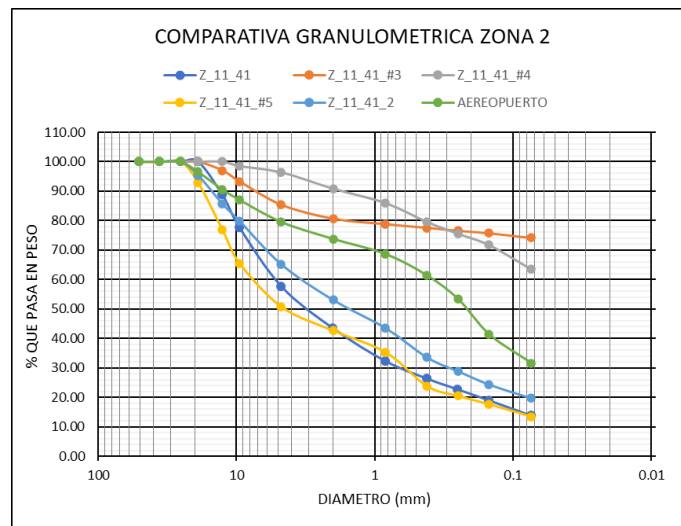
Listado de muestras con su respectiva clasificación a la fracción gruesa, fina y clasificación general de la muestra.

Ruta Bucaramanga Tona				
Muestra	Clas. Fracción Gruesa	Clas. Fracción Fina	Clasif. Suelo	Nombre
1°_OBSTACULO	N/A	MH	MH	LIMOS DE ALTA PLASTICIDAD
Z_11_44_2	SM	MH	S-M	ARENA LIMOSA
Z_11_45	SM	ML	S-M	ARENA LIMOSA
NUEVO_1_Z_ 11_45_ABAJO	SM	ML	S-M	ARENA LIMOSA
Z_11_43_1	SM	N/A	S-M	ARENA LIMOSA
Z_11_46_2	SM	N/A	S-M	ARENA LIMOSA
QUEBRADA	SM	ML	S-M	ARENA LIMOSA

En la siguiente figura, se consigna la información granulométrica respectiva para la zona de estudio dos ubicada en el municipio de Girón.

Figura 23.

Granulometría obtenida para la zona 2 municipio de Girón.



En la figura 23, se observa un comportamiento disperso de las muestras lo cual representaría que existen diferentes tipos de suelos y propiedades índice.

El comportamiento de tres de las seis muestras es uniforme representando que existe un estrato y tipo de suelo que permanece en la zona de estudio. Para lo cual se consigna la clasificación del suelo en la tabla 5.

Tabla 5.

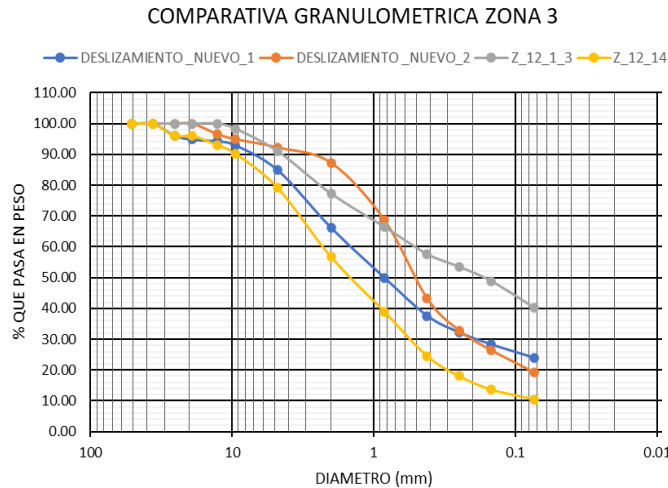
Listado de muestras con su respectiva clasificación a la fracción gruesa, fina y clasificación general de la muestra.

Ruta Bucaramanga Girón				
Muestra	Clas. Fracción Gruesa	Clas. Fracción Fina	Clasif. Suelo	Nombre
Z_11_41	S	ML	S-M	ARENA LIMOSA
Z_11_41_#3	N/A	ML	ML	LIMOS DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD
Z_11_41_#4	N/A	CL	CL	ARCILLAS DE BAJA PLASTICIDAD
Z_11_41_#5	S-C	N/A	S-C	ARENA ARCILLOSA
Z_11_41_2	SM	N/A	S-M	ARENA LIMOSA
AEREO PUERTO	SM	ML	S-M	ARENA LIMOSA

Por último, la figura 23 correspondiente a la granulometría obtenida en la zona de estudio tres en el municipio de Rio Negro.

Figura 24.

Granulometría obtenida para la zona 3 municipio de Girón.



En la figura 24, se observa uno de los comportamientos más uniformes respecto a las demás zonas de estudio, la cual presentaría una persistencia en el estrado de suelo para la zona de estudio, esto se vería reflejado en sus propiedades índice y su respectiva clasificación de suelo.

A continuación, en la tabla 6 se consigna la información respectiva a la clasificación del suelo en el cual se puede observar la clasificación de la fracción gruesa y fina en cada uno de los especímenes que conforman el punto de estudio.

En esta Zona de estudio fue la única en donde se tomaron más de un espécimen por punto de estudio ya que los movimientos en masa presentan más de un estrado de suelo y se optó por recolectar más información para obtener una clasificación más acertada.

Tabla 6.

Listado de muestras con su respectiva clasificación a la fracción gruesa, fina y clasificación general de la muestra.

Ruta Bucaramanga – Río Negro				
Muestra	Clas. Fracción Gruesa	Clas. Fracción Fina	Clasif . Suelo	Nombre
D_NUEVO_1	-	-	-	-
D_NUEVO_1_#1	GM	N/A	G-M	GRAVA LIMOSA
D_NUEVO_1_#2	SM	N/A	S-M	ARENA LIMOSA
D_NUEVO_1_#3	SM	N/A	S-M	ARENA LIMOSA
D_NUEVO_2	-	-	-	-
D_NUEVO_2_#1	SM	N/A	S-M	ARENA LIMOSA
D_NUEVO_2_#2	GM	N/A	G-M	GRAVA LIMOSA
D_NUEVO_2_#3	GM	N/A	G-M	GRAVA LIMOSA
D_NUEVO_3	SM	N/A	SM	ARENA LIMOSA

Ruta Bucaramanga – Río Negro				
Z_12_1_3_#1	SM	N/A	S-M	ARENA LIMOSA
Z_12_1_3_#2	N/A	MH	MH	LIMOS DE ALTA
Z_12_1_3_#3	SM	N/A	S-M	ARENA LIMOSA
Z_12_4	-	-	SW	ARENA LIMOSA
Z_12_4_#1	SM	N/A	S-M	ARENA LIMOSA
Z_12_4_#2	.2 SM	N/A	S-M	ARENA LIMOSA

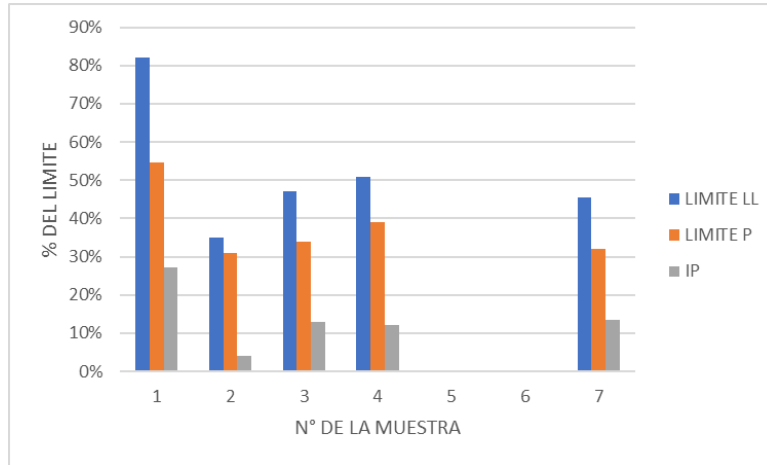
4.2 Límites de Atterberg INVIAS E-125 y E-126.

En las tres zonas analizadas se pudieron identificar una gran variedad de suelos, aunque algunos diferían y mostraban propiedades índices diferentes, aunque se tomaran las muestras en un radio de menos de 100 metros. Este tipo de comportamiento nos deja ver como existe una gran variación en los suelos.

En este apartado se consignan los resultados para los ensayos descritos en la norma INVIAS E125 y E-126. En los cuales no todas las muestras presentaron limites e índice de plasticidad como se muestra en las figuras 25, 26 y 27.

Figura 25.

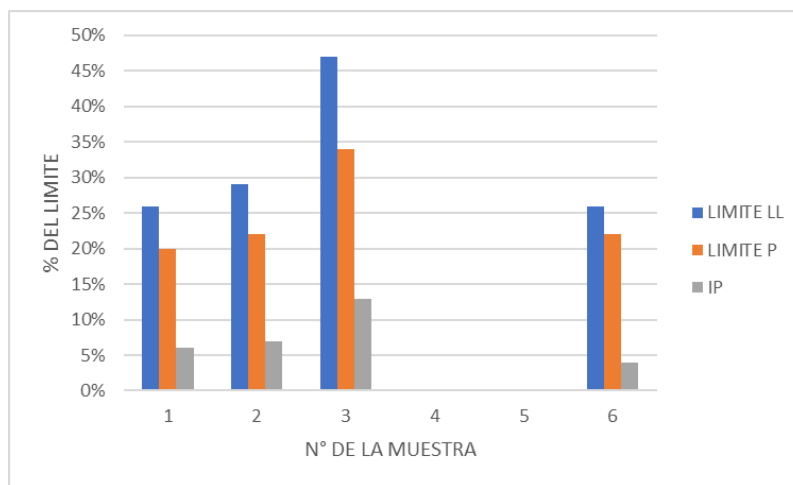
Límites de Atterberg e índice de plasticidad zona 1 municipio de Tona.



En la figura 25 se consigna la información para los límites de Atterberg obtenidos en la zona uno donde se tuvo un total de siete muestras de las cuales cinco presentaron límites y en dos se presentaron suelos arenosos a los cuales no presentaron limite plástico.

Figura 26.

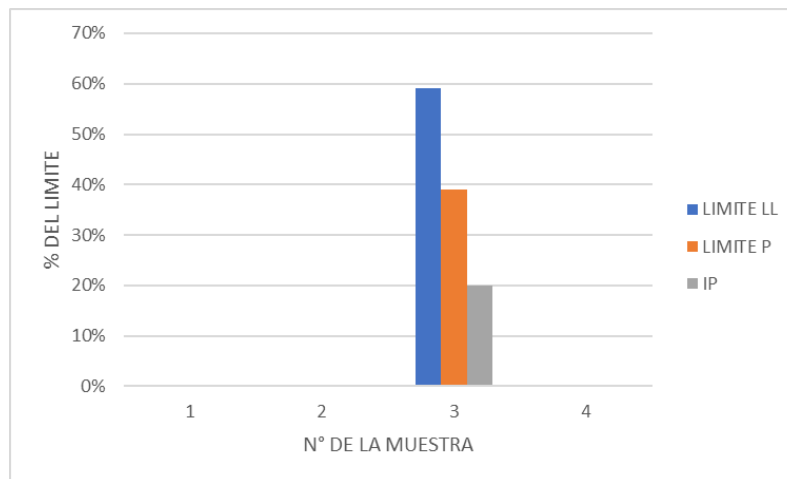
Límites de Atterberg e índice de plasticidad zona 2 municipio de Girón.



En la figura 26 se consignaron los resultados obtenidos para la segunda zona de estudio ubicada en el municipio de Girón con un total de seis muestras de las cuales cuatro presentaron límites y dos muestras presentaron una granulometría que no permite la obtención de dichos parámetros. Aunque se esperaban suelos los cuales no presentaran este tipo de comportamiento dado la estratigrafía que compone el municipio.

Figura 27.

Límites de Atterberg e índice de plasticidad zona 3 municipio de Rio Negro.



En la figura 27 se muestran los resultados para la zona 3 en la cual nos encontramos con deslizamientos recientes debido a las fuertes lluvias presentadas en el sector, en los cuales se observaban a simple vista estratos diferentes y distintos tamaños de material siendo esto factores claves al momento de identificar límites de Atterberg en cada muestra ya que de las cuatro muestras tomadas solo una presento limites dado la mezcla de material de diferentes tamaños en la granulometría.

4.3 Correlación entre las propiedades índice de los suelos y la movilidad de los movimientos en masa.

En las zonas de estudio se realizaron las siguientes correlaciones con las características morfométricas de un movimiento en masa y las propiedades índices de las muestras como lo son:

- D30
- D60
- Limite liquido
- Límite plástico
- Índice de plasticidad.

A continuación, se presentan los resultados para cada correlación. Descritas en los siguientes numerales.

4.3.1 Distancia de viaje medida.

Los resultados obtenidos para esta correlación se consignan en la tabla 7 y en su respectivo apéndice.

Tabla 7.

Resultados correlaciones coeficiente de correlación, coeficiente de determinación y tipo de ecuación.

Distancia de viaje medida / D30	
coeficiente de correlación	-0.0021
coeficiente de determinación (R²)	0.000005
Ecuación Lineal	
$y = -2.635x + 208.04$	
Distancia de viaje medida / D60	
coeficiente de correlación	-0.1705
coeficiente de determinación (R²)	0.0291
Ecuación Lineal	
$y = -19.413x + 243.48$	
Distancia de viaje medida / LL	
coeficiente de correlación	-0.2368
coeficiente de determinación (R²)	0.0561
Ecuación Lineal	
$y = -242.97x + 263.17$	
Distancia de viaje medida / LP	
coeficiente de correlación	-0.2343
coeficiente de determinación (R²)	0.0549
Ecuación Lineal	

$y = -346.22x + 263.8$	
Distancia de viaje medida / IP	
coeficiente de correlación	-0.2103
coeficiente de determinación (R²)	0.0442
Ecuación Lineal	
$y = -612.47x + 248.28$	

Las propiedades granulométricas como como lo son el tamaño de partícula representado en el D30 y D60, presentan una correlación inversamente proporcional a la distancia de viaje medida, ya que al aumentar el diámetro de la partícula la distancia de viaje se ve reducida considerablemente. Esto indica que a mayor cantidad de material “fino” mayor distancia de viaje.

Los límites de Atterberg, se vuelven más relevantes ya que se presenta una fuerte tendencia negativa en los tres casos de estudio. Además, como bien se sabe los límites representan la cantidad de agua que se requiere para que el material fino del terreno pueda cambiar su comportamiento mecánico, ya sea de estado sólido rígido ha solido plástico y de plástico a líquido. El índice de plasticidad representa la cantidad de agua necesaria para el suelo cambie su estado plástico a líquido. Por ello sería correcto afirmar que, en los movimientos en masa, la distancia de viaje es inversamente proporcional al contenido de agua que se requiere para inducir cambios en el comportamiento mecánico del suelo. Esto nos muestra que a menores límites mayor será la distancia de viaje.

4.3.2 Altura máxima del desplazamiento.

Este tipo de propiedad morfométrica representa un comportamiento similar con la propiedad anterior. Además de complementar la distancia de viaje medida ya que existe una relación entre la altura máxima del deslizamiento y la distancia de viaje. Esto debido a la acción de la fuerza de la gravedad ya que al iniciar el movimiento ocurre un cambio en las propiedades mecánicas del suelo. Esto genera desprendimiento en la ladera del talud arrastrando con una gran energía cinética todo el material hacia el pie del talud y aumentando la distancia de viaje medida según sea la altura y el tipo de suelo.

Este tipo de comportamiento se consigna en los apéndices de este documento específicamente en el numeral 1.4.2 en la tabla 13. Donde se representa la información de las propiedades granulométricas, coeficientes de gradación y límites. Los cuales tienen una similitud con la anterior correlación.

4.3.3 Área total afectada.

En esta correlación se obtuvieron los siguientes resultados los cuales se consignan en la tabla 8 y su respectivo apéndice.

Tabla 8.

Resultados correlaciones coeficiente de correlación, coeficiente de determinación y tipo de ecuación.

Área total afectada / D30	
coeficiente de correlación	-0.3420
coeficiente de determinación (R²)	0.117
Ecuación Lineal	
y = -5395.8x + 3553.5	
Área total afectada / D60	
coeficiente de correlación	-0.2704
coeficiente de determinación (R²)	0.0731
Ecuación Lineal	
y = -392.53x + 3476.7	
Área total afectada / LL	
coeficiente de correlación	0.2807
coeficiente de determinación (R²)	0.0788
Ecuación Lineal	
y = 3673.2x + 1912.8	
Área total afectada / LP	
coeficiente de correlación	0.3596
coeficiente de determinación (R²)	0.1293

Ecuación Lineal	
$y = 6776.5x + 1653.1$	
Area total afectada / IP	
coeficiente de correlación	0.0880
coeficiente de determinación (R ²)	0.0078
Ecuación Lineal	
$y = 3269.6x + 2535.3$	

Una de las propiedades más preocupantes al momento de referirnos a los movimientos en masa ya que la gran mayoría de preguntas surgen a raíz de que tanta será la afectación cuando ocurren este tipo de fenómenos naturales.

En la presente correlación se denota que las propiedades granulométricas de tamaño relacionadas entre el D30 y el D60 ratifican los resultados dos correlaciones anteriores, ya que si se aumenta el diámetro de la partícula el área de afectación se reduce.

La correlación entre el área afectada y los límites resulta ser de gran interés. Esto debido a que al aumentar la cantidad de agua presente en el material fino el área afectada será mucho mayor. Aunque esta área dependerá de donde suceda el movimiento en masa ya que si es en una zona donde pueda fluir como el agua causara que el área afectada sea mucho mayor, en cambio si el movimiento inicia en una zona escarpada y montañosa puede encausarse en uno de sus cárcamos, quebradas o detenida por los árboles que lo componen ya que estos crean una barrera oponiendo resistencia al movimiento.

4.3.4 Volumen de la masa desplazada.

Esta correlación es determinante en este estudio ya que se complementa con tres componentes importantes como lo es el espesor de la masa desplazada, longitud de la masa desplazada y ancho de la masa desplazada. La información para cada uno de ellos se encuentra en los apéndices desde el numeral 1.4.2, 1.4.3 y 1.4.4 respectivamente.

En esta correlación se busca confirmar la tendencia en las correlaciones anteriores las cuales están fuertemente ligadas y mostrando tendencias dominantes en las propiedades granulométricas y límites de Atterberg. Por lo cual se consigna los datos obtenidos para la correlación en la tabla 9 y en el respectivo apéndice.

Tabla 9.

Resultados correlaciones coeficiente de correlación, coeficiente de determinación y tipo de ecuación.

Volumen de masa desplazada / D30	
coeficiente de correlación	0.2335
coeficiente de determinación (R²)	0.0545
Ecuación Lineal	
y = 28430x + 15703	
Volumen de masa desplazada / D60	
coeficiente de correlación	0.1046
coeficiente de determinación (R²)	0.0109
Ecuación Lineal	

$y = 1172x + 17762$	
Volumen de masa desplazada / LL	
coeficiente de correlación	-0.2971
coeficiente de determinación (R²)	0.0883
Ecuación Lineal	
$y = -30003x + 26781$	
Volumen de masa desplazada / LP	
coeficiente de correlación	-0.2535
coeficiente de determinación (R²)	0.0643
Ecuación Lineal	
$y = -36867x + 25904$	
Volumen de masa desplazada / IP	
coeficiente de correlación	-0.3436
coeficiente de determinación (R²)	0.1181
Ecuación Lineal	
$y = -98488x + 26458$	

El volumen de masa desplazado una correlación que se encuentra fuertemente ligada al tamaño de partícula e inversamente proporcional a los límites de Atterberg. Este fenómeno se debe a que a mayor tamaño de partícula mayor volumen de masa como se representa D30 y D60.

En el caso de la longitud de masa desplazada para aumentar el volumen y su respectivo recorrido, las partículas de suelo deben ser finas facilitando el deslizamiento del material y transportando las partículas de mayor tamaño generando un estado mecánico en el suelo del tipo

plástico-liquido. Respectivamente el ancho de la masa desplazada con el volumen se debe analizar dependiendo de las características morfométricas del sitio.

En la sección de límites de Atterberg tanto para el volumen, espesor y longitud presentan una relación inversamente proporcional lo cual determina que menores limites representan un mayor alcance para cada una de las correlaciones, exceptuando el ancho ya que este es directamente proporcional y se puede afirmar que al tener limites mas altos el movimiento tratara de expandirse más sobre la superficie en la cual fluye el movimiento. Esto reduciendo el volumen, espesor y longitud dificultando su cuantificación y clasificación.

5. Conclusiones

En esta pasantía se logró ver más allá del punto académico brindado en la universidad y disponer de un ámbito laboral en cada una de las fases que se presentan para un laboratorista desde la toma de muestras en campo hasta la consignación de resultados.

Uno de los aspectos más notables es el comportamiento granulométrico en las diferentes zonas ya que estas presentan algunos rasgos muy similares en su granulometría, aunque las muestras difieren en metros o kilometro una de otra.

Las tres Zonas de estudio presentaron resultados acordes a su geografía ya que en Tona se encontraron los suelos más finos, en Girón se encontraron suelos arenosos con arcilla y en Rio Negro al ser un lugar sobre las montañas se encontraron deslizamientos de roca meteorizada y algunos suelos finos.

Siendo Santander uno de los departamentos con mayores afectaciones a nivel nacional en temas como lo son los MM las correlaciones presentadas en los resultados nos dejan ver que si existen y aunque algunas presentan mejores coeficientes de determinación como los son: El volumen de masa desplazado, la altura máxima del desplazamiento, el espesor de la masa desplazada y elmas significativo la distancia de viaje medida.

Las ecuaciones como resultado de la correlación son lineales y aunque con una ecuación polinómica se logra un coeficiente de Pearson mucho mayor la ecuación es demasiado grande y poco legible.

Las ecuaciones propuestas para cada una de las propiedades índice relacionadas con una propiedad morfométrica en su gran mayoría presentan una fuerte correlación ya sea directamente proporcional e inversamente proporcional.

Las propiedades morfométricas distancia de viaje medida y altura máxima del desplazamiento presentan comportamientos muy similares tanto en las ecuaciones como en los coeficientes de Pearson. Esto puede darse ya que las dos propiedades se relacionan con una distancia ya sea horizontal como vertical.

Las propiedades granulométricas presentan una gran influencia en los movimientos en masa, esto debido a las características morfométricas de la región Andina Nororiental la cual presenta un alto porcentaje de suelos finos y arenas, con un bajo porcentaje de gradas. Además, se presentan suelos los cuales con límites bajos podrían generar un movimiento en masa.

El volumen de masa desplazado al estar ligado a tres variables de las cuales dos presentan tendencias similares las cuales contribuyen a aumentar el volumen. Con la excepción del ancho el cual presenta límites altos y expansión a lo largo del movimiento en masa.

Las muestras analizadas en el presente documento muestran una gran concentración de arenas limosas presentes en la gran mayoría de movimientos en masa analizados. Además, las propiedades granulométricas No están presentando D10 esto debido a las características granulométricas de cada uno de los movimientos analizados.

El No presentar D10 en las muestras analizadas denota un comportamiento usual para suelos con tamaños de partículas relativamente grandes ya sea arenas o gravas. Esto muestra que los movimientos con mejor gradación y sin tanta variación de los diámetros de las partículas presentan mayores afectaciones a las comunidades ya que al cambiar su estado mecánico, de sólido a plástico y de plástico a líquido presentarían una menor resistencia al momento de iniciar el movimiento. Aumentando significativamente las características como Distancia de viaje, Área total afectada y Volumen de masa desplazado.

Se recomienda para futuras investigaciones relacionadas a movimientos en masa aumentar el numero de muestras para reducir la dispersión de las granulometrías, mejorando la caracterización del movimiento en masa y así aumentar la confianza de la correlación.

Referencias

- [1]. G. Vargas, “Criterios para la clasificación y descripción de movimientos en masa”. *Boletín De Geología*, 22(37), 39–67, 2000. Disponible en: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegologia/article/view/3965>
- [2]. E. Aristizábal, “Evaluación de la amenaza por movimientos en masa detonados por lluvias para una región de los Andes colombianos estimando la probabilidad espacial, temporal, y magnitud”. *Boletín de Geología*, vol. 41, núm. 3, pp. 85-105, 2019. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/3496/349664643006/html/>
- [3]. E. Aristizábal, “Una revisión sobre el estudio de movimientos en masa detonados por lluvias”. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales* 34(131):209-227, 2010. DOI:10.18257/raccefyn.34(131).2010.2413
- [4]. Unidad Nacional Para la Gestión del Riesgo de Desastres. “Riesgo por movimientos en masa en Colombia”, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2020/Riesgo-por-movimientos-en-masa-en-Colombia.aspx> [Accedido: 27-enero-2024]
- [5]. Ingeotécnica. “Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)”, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://ingeotecnica.com/sistema-unificado-de-clasificacion-de-suelos-sucs> [Accedido: 20-enero-2024]
- [6]. G. Vargas. “Criterios para la clasificación y descripción de movimientos en masa”. Vol. 22 Núm. 37 (2000): *Boletín de Geología*. Disponible en: [En línea]. Disponible en: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegologia/article/view/3965>

- [7]. Corpoboyacá. “ABC Lo que debes saber sobre los movimientos en masa”, 2020. <https://www.corpoboyaca.gov.co/noticias/abc-lo-que-debes-saber-sobre-los-movimientos-en-masa/> [Accedido: 27-enero-2024].
- [8]. Servicio Geológico Colombiano-SGC. Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Bogotá: imprenta nacional de Colombia, 2016.
- [9]. Braja M. Das, *Fundamentos De Ingeniería Geotécnica*. México: Cengage Learning Editores, 2015.
- [10]. Geoxnet, “Clasificación de suelos”, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://post.geoxnet.com/clasificacion-de-suelos/> [Accedido: 20-febrero-2024]
- [11]. E. Aristizábal, H. Martínez, J. Vélez. “Una revisión sobre el estudio de movimientos en masa detonados por lluvias”. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales* 34(131):209-227, 2010. Disponible en: www.researchgate.net/publication/234076770
- [12]. D. Escobar, “Relaciones Gravimétricas Y Volumétricas Del Suelo”, 2016. Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/relacionesgravimetricasyvolumetricasdsuelo.pdf>
- [13]. INVIAS, “Herramienta que permite evaluar el riesgo por movimientos en masa de los corredores viales y avanzar en la seguridad de las vías a cargo”, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.invias.gov.co/>

- [14]. H. Echezuría, "La Resistencia al Corte y la Licuación de Suelos con Plasticidad".
Universidad Católica Andrés Bello. Vol. 20 Núm. 1, (2017). Disponible en: DOI:
<https://doi.org/10.62876/tekhn.v20i1.3426>
- [15]. R. Ortega, Rosa María, L. Pendás, M. Ortega, A. Pérez. "El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman caracterización." Revista Habanera de Ciencias Médicas, vol. 8, núm. 2, 2009, págs. Redalyc. Disponible en:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180414044017>

Apéndices

Apéndice 1: Tablas de resumen para los datos obtenidos en las rutas estudiadas.

Con el propósito de ilustrar de una forma concisa los datos obtenidos para la presente investigación, se presentan a continuación las siguientes tablas, de acuerdo a cada ruta estudiada.

Ruta Tona.

Para esta ruta se presenta la siguiente información concerniente a posición geográfica, coeficientes de correlación, granulometría, límites y clasificación del suelo.

Tabla 1. *Posicionamiento geográfico y coeficientes de correlación ruta Tona.*

Muestra	Latitud	Longitud	Volumen de masa desplazada (m3)	Altura máxima de deslizamiento (m)	Ancho de masa desplazada (m)	Espesor de la masa desplazada (m)	Longitud de la masa desplazada (m)	Área total afectada (m2)	Distancia de viaje medida (m)
Ruta Tona									

Muest	Latitu	Longit	Volum	Altura	Ancho	Espeso	Longit	Área	Distan
ra	d	ud	en	máxim	de la	r de la	ud de	total	cia de
			masa	a de	masa	masa	la	afecta	viaje
			despla	desliza	despla	despla	masa	da	medid
			zada	miento	zada	zada	despla	(m2)	a (m)
			(m3)	(m)	(m)	(m)	zada		
							(m)		
Z_11_	7.1555	-	1102.1	97.52	10.36	3.12	44	486	126.82
46_1	94	73.040	16143						
		591							
Z_11_	7.1548	-	7128.3	133.05	42.72	3.1	69.46	4048.0	94.39
46_2	04	73.039	34231					3	
		105							
QUEB	7.1460	-	1306.4	79.5	45.32	1	37.2	1079.2	113.33
RADA	08	73.051	5116					6	
		29							

Tabla 2. Resultados y clasificación granulométrica muestras ruta Tona.

Muestra		Granulometria			
Ruta Tona	D1	D30	D60	CLASIFICACION	SIMBOL
	0			GRANULOMETRI	O DE
				CA	GRUPO
1°_OBSTACULO	N/ A	N/A	N/A	% DE SUELO MAYOR AL 50% EN EL TAMIZ N° 200	N/A
Z_11_44_2	0	0.2145838 21	1.4702048 04	ARENA LIMOSA	S-M
Z_11_45	N/ A	N/A	0.3899796 89	ARENA LIMOSA	S-M
NUEVO_1_Z_11_45_AB	N/ A	N/A	0.7091279 23	ARENA LIMOSA	S-M
Z_11_46_1	N/ A	0.1109874 52	0.5283347 07	ARENA LIMOSA	S-M
Z_11_46_2	N/ A	0.2073167 19	0.7175413 25	ARENA LIMOSA	S-M
QUEBRADA	N/ A	0.1017292 28	0.7115501 86	ARENA LIMOSA	S-M

Tabla 3. Resultados y clasificación límites muestras ruta Tona.

Muestra				Límites	
Ruta Tona	LL	LP	IP	CALSIFICACION	SIMBOLO
				FRACCION FINA DE	DE
				SUELO	GRUPO
1°_OBSTACULO	82%	55%	27%	LIMOS DE ALTA PLASTICIDAD	MH
Z_11_44_2	35%	31%	4%	LIMOS DE ALTA PLASTICIDAD	MH
Z_11_45	47%	34%	13%	LIMOS DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD	ML
NUEVO_1_Z_11_45_ABAJO	51%	39%	12%	LIMOS DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD	ML
Z_11_46_1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Z_11_46_2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
QUEBRADA	46%	32%	13%	LIMOS DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD	ML

Tabla 4. *Clasificación muestras ruta Tona.*

Muestra	CALSIFICACION DEL SUELO	
	NOMBRE	SIMBOLO DE GRUPO
Ruta Tona		
1°_OBSTACULO	LIMOS DE ALTA PLASTICIDAD	MH
Z_11_44_2	ARENA LIMOSA	S-M
Z_11_45	ARENA LIMOSA	S-M
NUEVO_1_Z_11_45_ABAJO	ARENA LIMOSA	S-M
Z_11_46_1	ARENA LIMOSA	S-M
Z_11_46_2	ARENA LIMOSA	S-M
QUEBRADA	ARENA LIMOSA	S-M

Ruta Girón.

Para esta ruta se presenta la siguiente información concerniente a posición geográfica, coeficientes de correlación, granulometría, límites y clasificación del suelo.

Tabla 5. Posicionamiento geográfico y coeficientes de correlación ruta Girón.

Muestra	Latitud	Longitud	Volumen	Altura	Ancho	Espesor	Longitud	Área	Distancia
			en masa desplazada (m3)	máxima de deslizamiento (m)	de la masa desplazada (m)	de la masa desplazada (m)	de la masa desplazada (m)	total afectada (m2)	de viaje medida (m)
Ruta Girón									
Z_11_41	7.023	-	149.92	29.23	14.5	1	13.38	-	49.58
	865	73.178	86892						
		198							
Z_11_41_#	7.024	-	2513.4	41	27.48	5.17	22.83	1853.2	122.2
3	153	73.177	7					4	
		752							
Z_11_41_#	7.024	-	1234.2	34	17.84	4.37	20.43	1599.3	86.8
4	092	73.177	6					9	
		49							
Z_11_41_#	7.023	-	1175.8	39	34.52	1.85	23.76	1881.1	93.52
5	928	73.177	4					8	
		131							

Muestra	Latitud	Longitud	Volumen	Altura	Ancho	Espesor	Longitud	Área	Distancia
			de masa desplazada (m3)	máxima de deslizamiento (m)	de la masa desplazada (m)	de la masa desplazada (m)	de la masa desplazada (m)	total afectada (m2)	de viaje medida (m)
Z_11_41_2	7.023	-	535.58	28	23.89	1	28.93	-	47.59
	829	73.178	07032						
		007							
AEREOPUERTO	7.080	-	375.26	34.34	12.18	1.51	26.33	1197.5	66.86
	741	73.185	27289						
		67							

Tabla 6. Resultados y clasificación granulométrica muestras ruta Girón.

Muestra		Granulometría			
Ruta Girón	D1	D30	D60	CLASIFICACION	SIMBOL
	0			GRANULOMETRIC	O DE
				A	GRUPO
Z_11_41	N/	0.68963218	5.41580140	ARENA LIMOSA	S-M
	A	6	7		
Z_11_41_#3	N/	N/A	N/A	% DE SUELO	N/A
	A			MAYOR AL 50% EN	
				EL TAMIZ N° 200	
Z_11_41_#4	N/	N/A	0.074	% DE SUELO	N/A
	A			MAYOR AL 50% EN	
				EL TAMIZ N° 200	
Z_11_41_#5	N/	0.66563627	7.88387474	ARENA ARCILLOSA	S-C
	A	8	8		
Z_11_41_2	N/	0.29159324	3.65041885	ARENA LIMOSA	S-M
	A	8	6		
AEREOPUERT	N/	N/A	0.39256188	ARENA LIMOSA	S-M
O	A		7		

Tabla 7. Resultados y clasificación límites muestras ruta Girón.

Muestra	Límites			CALIFICACION FRACCION FINA DE SUELO	SIMBOLO DE GRUPO
	LL	LP	IP		
Ruta Girón					
Z_11_41	26 %	20 %	6%	LIMOS DE BAJA PLASTICIDAD	ML
Z_11_41_#3	29 %	22 %	7%	LIMOS DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD	ML
Z_11_41_#4	47 %	21 %	26 %	ARCILLAS DE BAJA PLASTICIDAD	CL
Z_11_41_#5	N/ A	N/ A	N/ A	N/A	N/A
Z_11_41_2	N/ A	N/ A	N/ A	N/A	N/A
AEREOPUERTO	26 %	22 %	4%	LIMOS DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD	ML

Tabla 8. *Clasificación muestras ruta Girón.*

Muestra	CALSIFICACION DEL SUELO	
	NOMBRE	SIMBOLO DE GRUPO
Z_11_41	ARENA LIMOSA	S-M
Z_11_41_#3	LIMOS DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD	ML
Z_11_41_#4	ARCILLAS DE BAJA PLASTICIDAD	CL
Z_11_41_#5	ARENA ARCILLOSA	S-C
Z_11_41_2	ARENA LIMOSA	S-M
AEREOPUERTO	ARENA LIMOSA	S-M

D_NUE	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VO_1 #									
2									
D_NUE	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VO_1 #									
3									
D_NUE	7.409	-	67862.4	92.36	23.56	21.42	173.53	1487	148.1
VO_2	831	73.201	6913						9
		629							
D_NUE	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VO_2 #									
1									
D_NUE	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VO_2 #									
2									
D_NUE	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VO_2 #									
3									

Muest	Latit	Longi	Volume	Altura	Ancho	Espeso	Longit	Área	Dista
ra	ud	tud	n masa	máxima	de la	r de la	ud de	total	ncia
			desplaz	de	masa	masa	la	afect	de
					despla	despla	masa		viaje

Z_12_ - - - - - - - - - -

14 # 2

Tabla 10. Resultados y clasificación granulométrica muestras ruta Rio Negro.

Muestra		Granulometría			
	D1	D30	D60	CLASIFICACIONGRANULOME	SIMBOL
	0			TRICA	O DE
					GRUPO
Ruta					
Rionegro					
D_NUEVO					
_1					
D_NUEVO	N/	0.2246716	5.5817391	GRAVA LIMOSA	S-M
_1 # 1	A	64	42		
D_NUEVO	N/	0.1134282	0.4056204	ARENA LIMOSA	G-M
_1 # 2	A	98	74		
D_NUEVO	N/	0.1953498	1.5977263	ARENA LIMOSA	S-M
_1 # 3	A	75			
D_NUEVO					
_2					
D_NUEVO	N/	N/A	0.1708062	ARENA LIMOSA	S-M
_2 # 1	A		78		

D_NUEVO	N/	0.1368953	6.5143505	GRAVA LIMOSA	G-M
_2 # 2	A	04	19		
D_NUEVO	N/	0.1095229	4.9001759	GRAVA LIMOSA	G-M
_2 # 3	A	22	68		

Muestra		Granulometría			
	D10	D30	D60	CLASIFICACION GRANULOMETRICA	SIMBOLO DE GRUPO
Ruta					
Rionegro					
Z_12_1_3					
Z_12_1_3	N/A	0.40568104	2.960762453	ARENA LIMOSA	S-M
# 1					
Z_12_1_3	N/A	N/A	N/A	% DE SUELO MAYOR AL 50% EN EL TAMIZ N° 200	N/A
# 2					
Z_12_1_3	N/A	N/A	0.54087208	ARENA LIMOSA	S-M
# 3					
Z_12_14					
Z_12_14	N/A	0.555769833	1.953814969	ARENA LIMOSA	S-M
# 1					
Z_12_14	N/A	0.60377906	2.468922496	ARENA LIMOSA	S-M
# 2					

Tabla 11. Resultados y clasificación límites muestras ruta Rio Negro.

Muestra				Límites	
	LL	LP	IP	CALSIFICACION	SIMBOLO
				FRACCION FINA DE	DE GRUPO
				SUELO	
Ruta Rionegro					
D_NUEVO_1					
D_NUEVO_1 # 1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
D_NUEVO_1 # 2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
D_NUEVO_1 # 3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
D_NUEVO_2					
D_NUEVO_2 # 1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
D_NUEVO_2 # 2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
D_NUEVO_2 # 3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Muestra				Límites	
	LL	LP	IP	CALSIFICACION	SIMBOLO
				FRACCION FINA DE	DE GRUPO
				SUELO	
Ruta Rionegro					
Z_12_1_3					
Z_12_1_3 # 1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Z_12_1_3 # 2	59%	39%	20%	LIMOS DE ALTA PLASTICIDAD	MH
Z_12_1_3 # 3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Z_12_14					
Z_12_14 # 1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Z_12_14 # 2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Tabla 12. *Clasificación muestras ruta Rio Negro.*

Muestra	CALSIFICACION DEL SUELO	
	NOMBRE	SIMBOLO DE GRUPO
Ruta Rionegro		
D_NUEVO_1		
D_NUEVO_1 # 1	GRAVA LIMOSA	G-M
D_NUEVO_1 # 2	ARENA LIMOSA	S-M
D_NUEVO_1 # 3	ARENA LIMOSA	S-M
D_NUEVO_2		
D_NUEVO_2 # 1	ARENA LIMOSA	S-M
D_NUEVO_2 # 2	GRAVA LIMOSA	G-M
D_NUEVO_2 # 3	GRAVA LIMOSA	G-M
Z_12_1_3		
Z_12_1_3 # 1	ARENA LIMOSA	S-M
Z_12_1_3 # 2	LIMOS DE ALTA PLASTICIDAD	MH
Z_12_1_3 # 3	ARENA LIMOSA	S-M
Z_12_14		
Z_12_14 # 1	ARENA LIMOSA	S-M
Z_12_14 # 2	ARENA LIMOSA	S-M

Graficas de soporte tablas de correlaciones.

A continuación, se presentan las gráficas de soporte para cada una de las correlaciones con las propiedades índice de cada una de las muestras. Las cuales corresponden a las zonas de estudio del proyecto en cuestión.

Distancia de viaje medida.

Figura 1. Grafica global de la correlación.

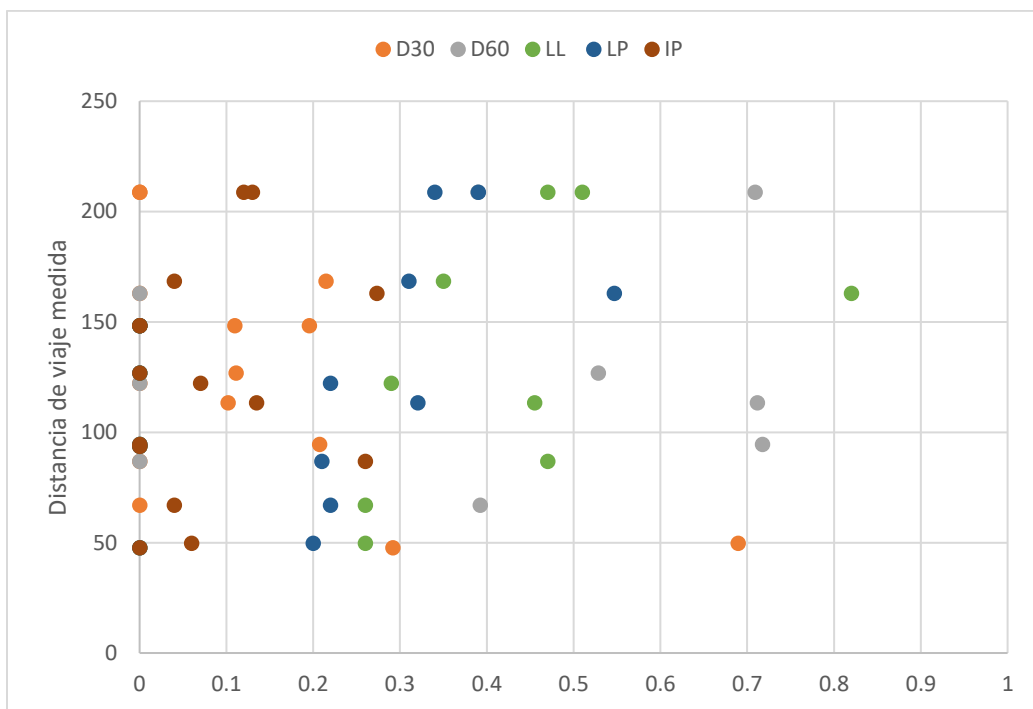


Figura 2. *Distancia de viaje medida y propiedades índices (D30).*

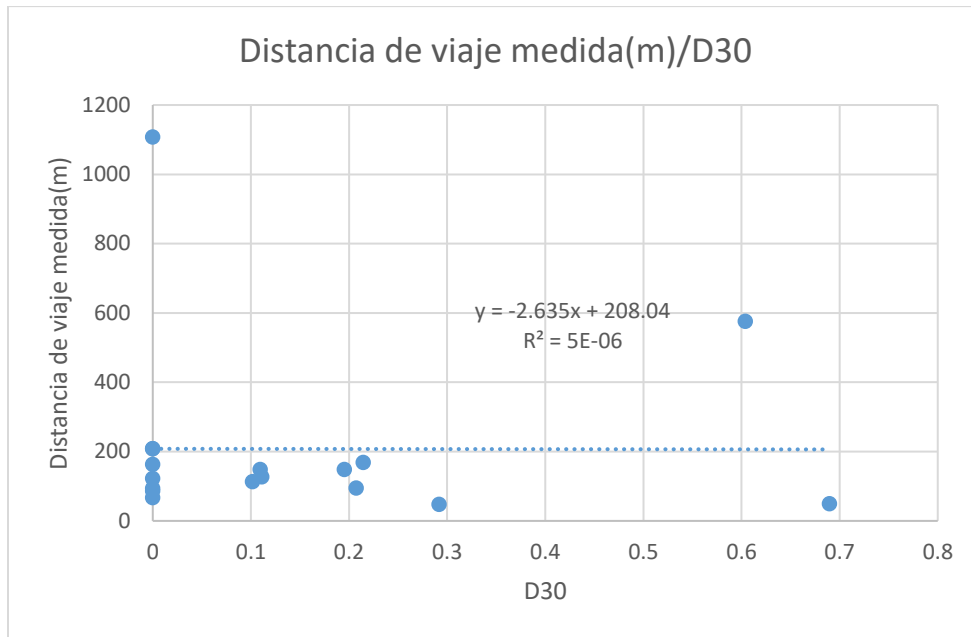


Figura 3. *Distancia de viaje medida y propiedades índices (D60).*

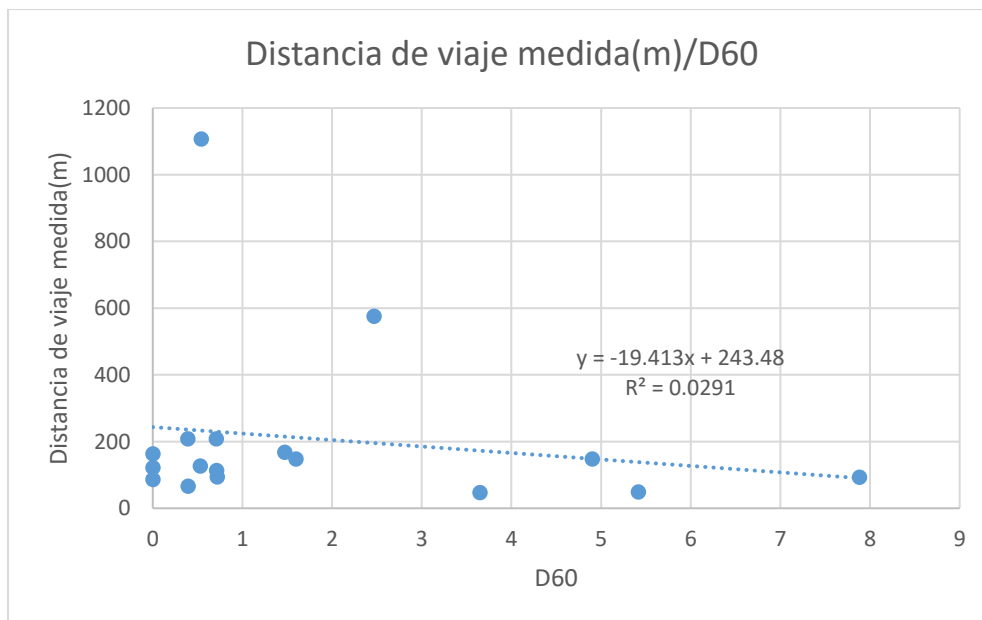


Figura 4. *Distancia de viaje medida y propiedades índices (LL).*

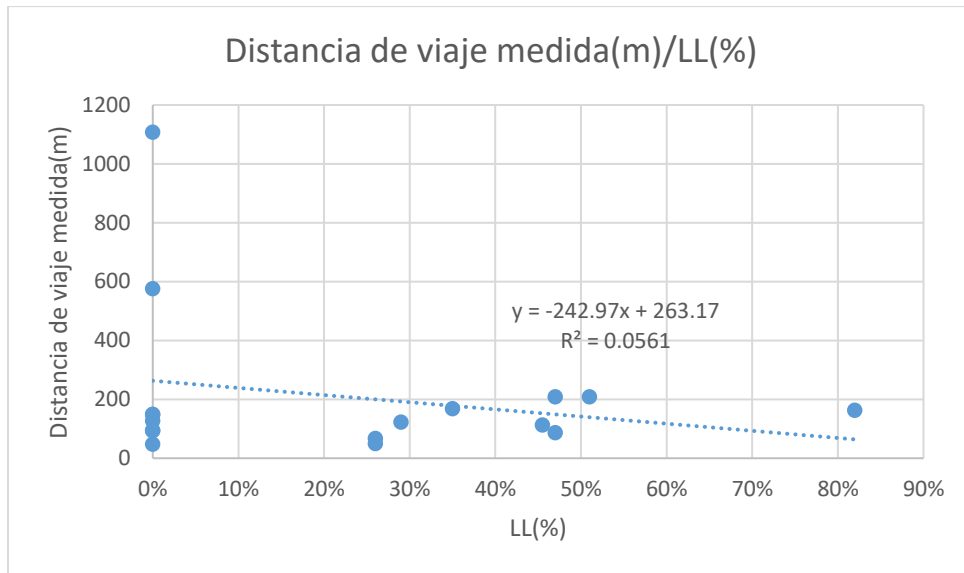


Figura 5. *Distancia de viaje medida y propiedades índices (LP).*

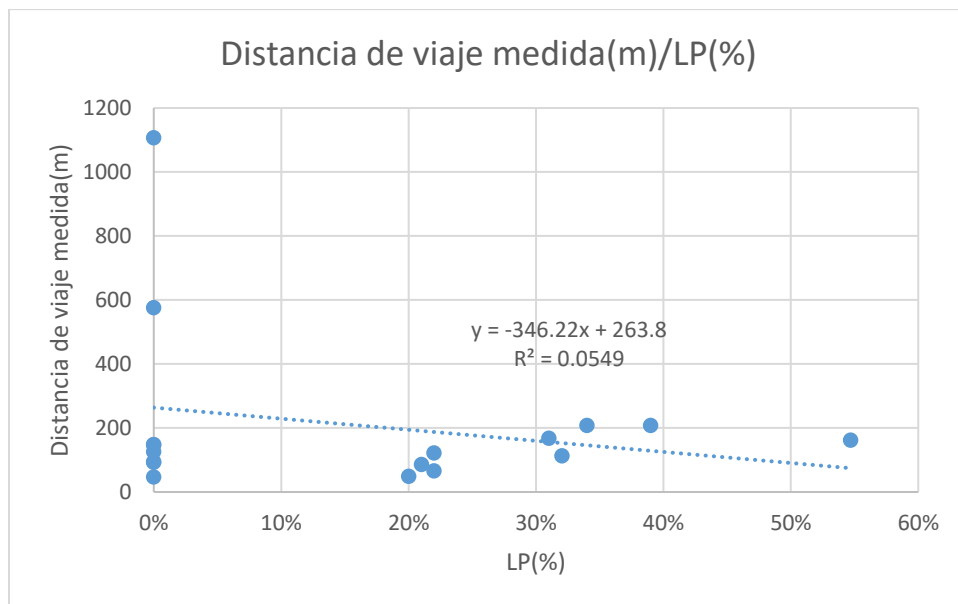
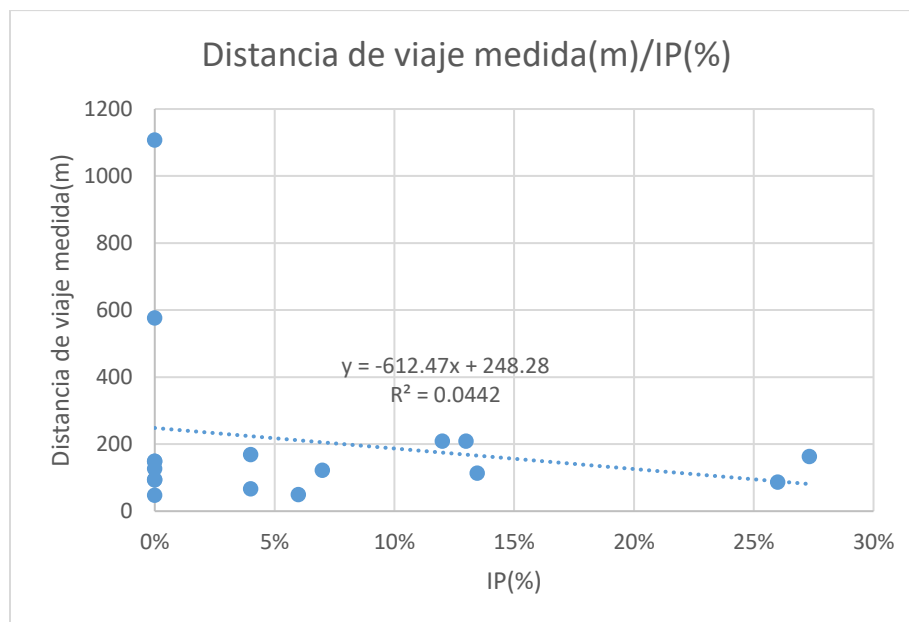


Figura 6. *Distancia de viaje medida y propiedades índices (IP).*

Altura máxima del desplazamiento.

Figura 7. Grafica global de la correlación.

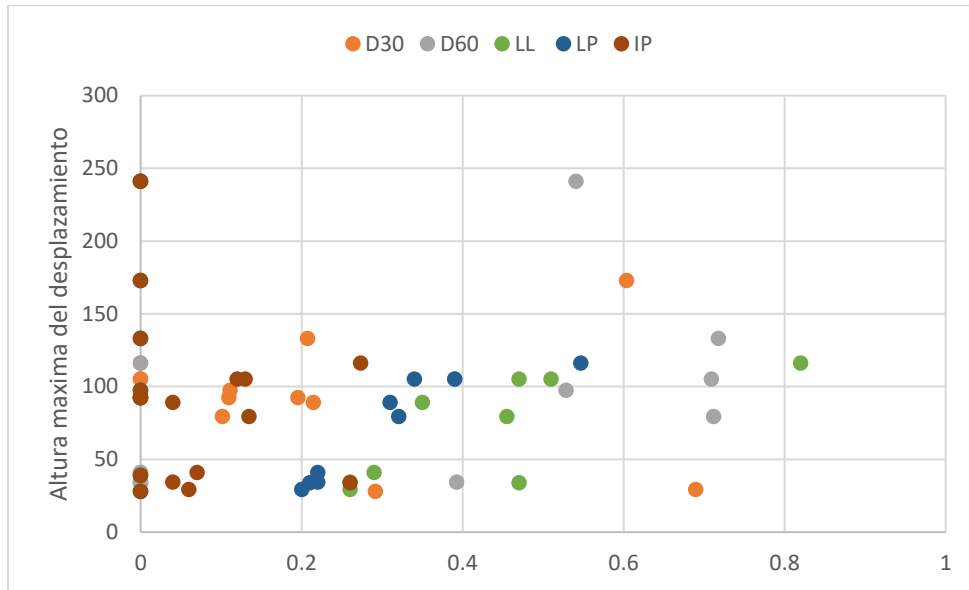


Figura 8. Altura máxima del desplazamiento y propiedades índices (D30).

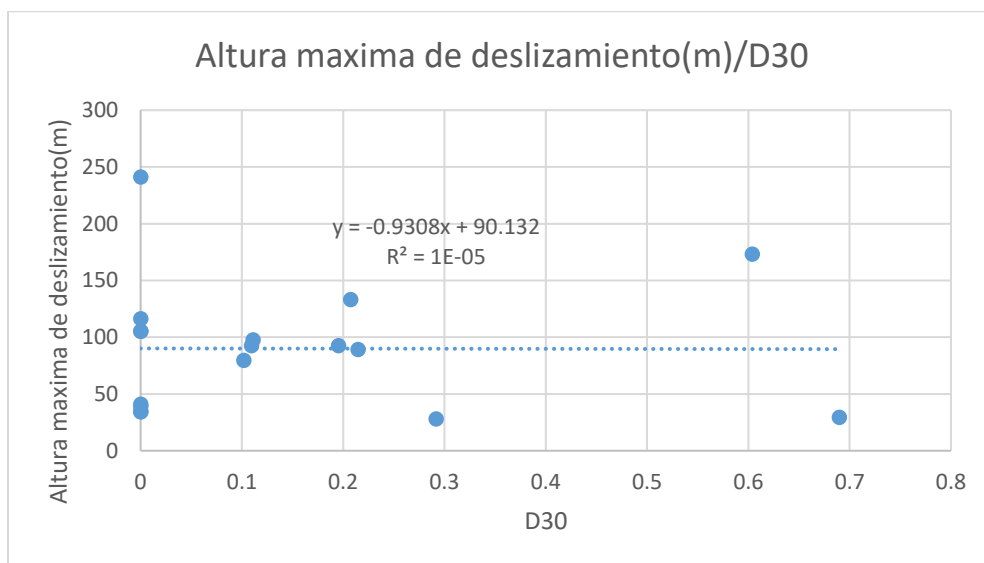


Figura 9. *Altura máxima del desplazamiento y propiedades índices (D60).*

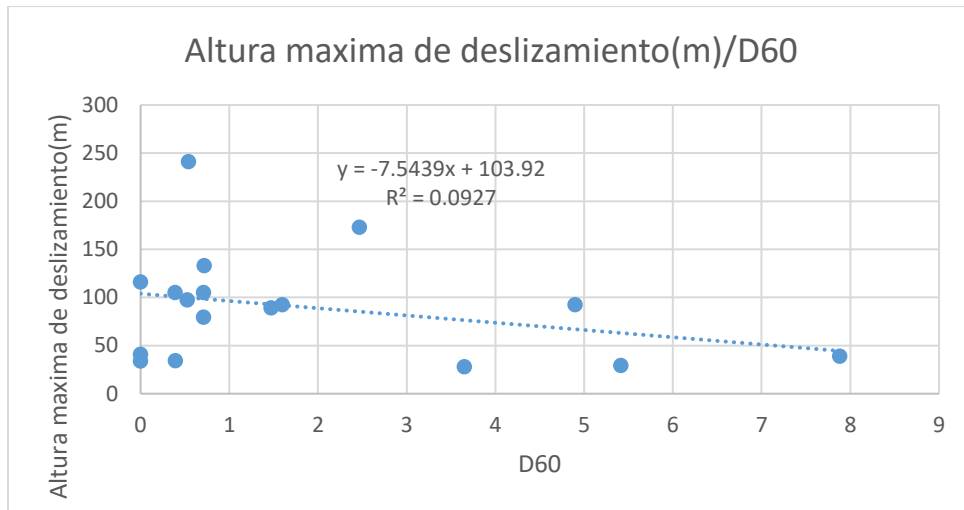


Figura 10. *Altura máxima del desplazamiento y propiedades índices (LL).*

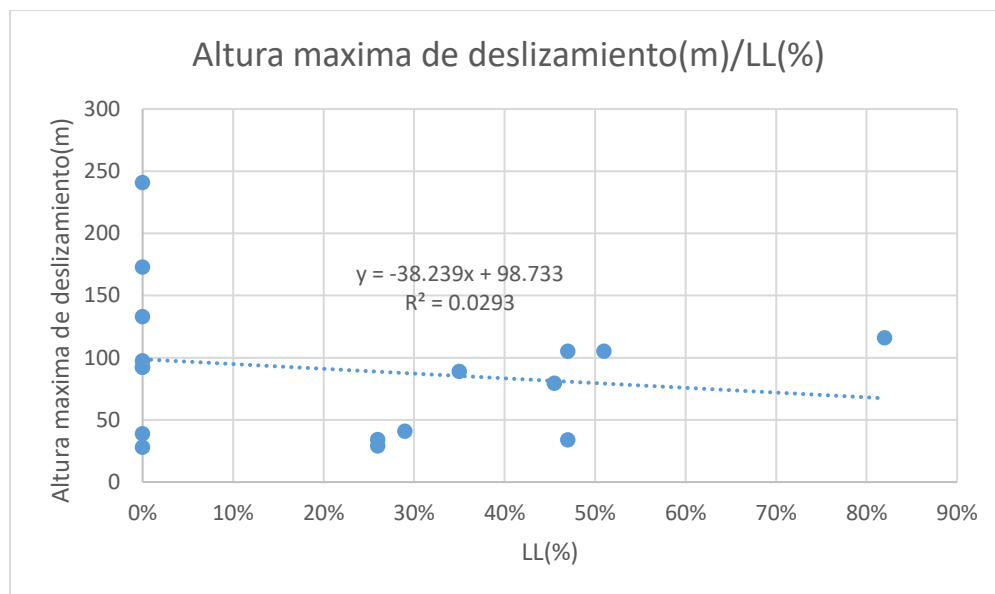


Figura 11. *Altura máxima del desplazamiento y propiedades índices (LP).*

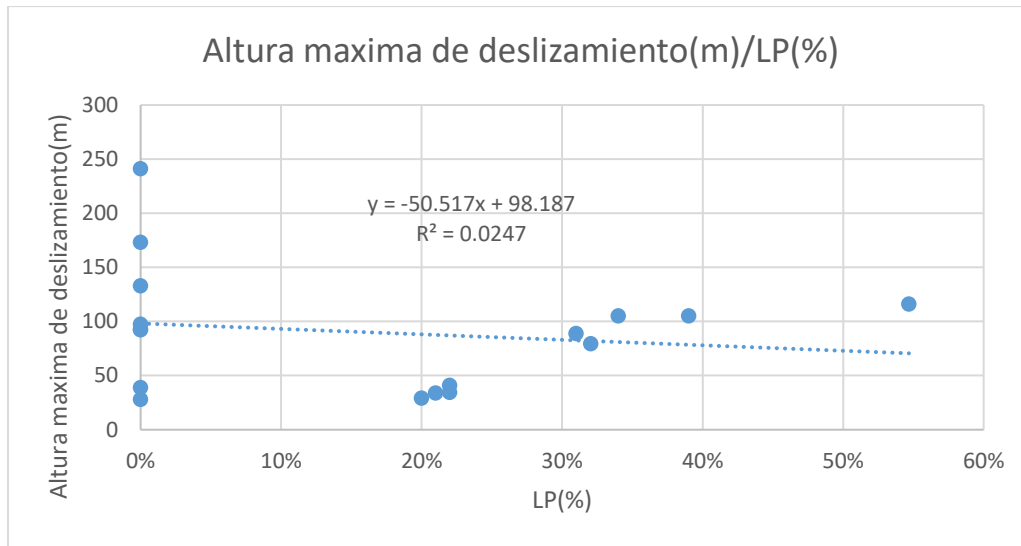
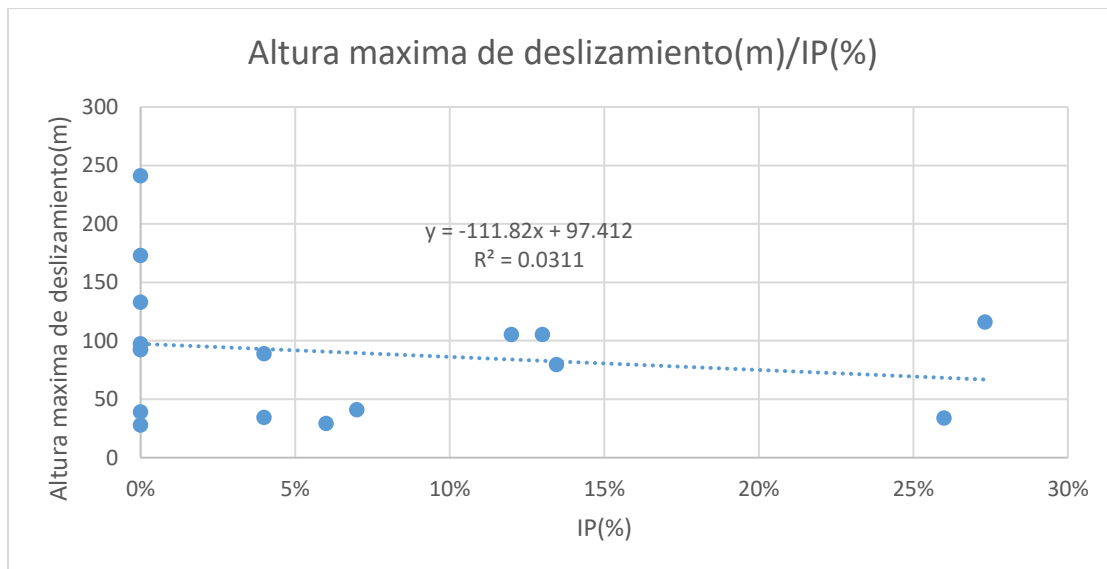


Figura 12. *Altura máxima del desplazamiento y propiedades índices (IP).*



A continuación, se presenta el resumen de resultados para esta correlación. Los cuales se consignan en la tabla 13.

Tabla 13. Resumen de resultados para la correlación altura máxima del desplazamiento.

Altura máxima del desplazamiento / D30	
coeficiente de correlación	-0.0035
coeficiente de determinación (R²)	0.00001
Ecuación Lineal	
y = -0.9308x + 90.132	
Altura máxima del desplazamiento / D60	
coeficiente de correlación	-0.3045
coeficiente de determinación (R²)	0.0927
Ecuación Lineal	
y = -7.5439x + 103.92	
Altura máxima del desplazamiento / LL	
coeficiente de correlación	-0.1712
coeficiente de determinación (R²)	0.0293
Ecuación Lineal	
y = -38.239x + 98.733	
Altura máxima del desplazamiento / LP	
coeficiente de correlación	-0.1571
coeficiente de determinación (R²)	0.0247
Ecuación Lineal	
y = -50.517x + 98.187	
Altura maxima del desplazamiento / IP	

coeficiente de correlación	-0.1764
coeficiente de determinación (R²)	0.0311
Ecuación Lineal	
y = -111.82x + 97.412	

Área total afectada.

Figura 13. *Grafica global de la correlación.*

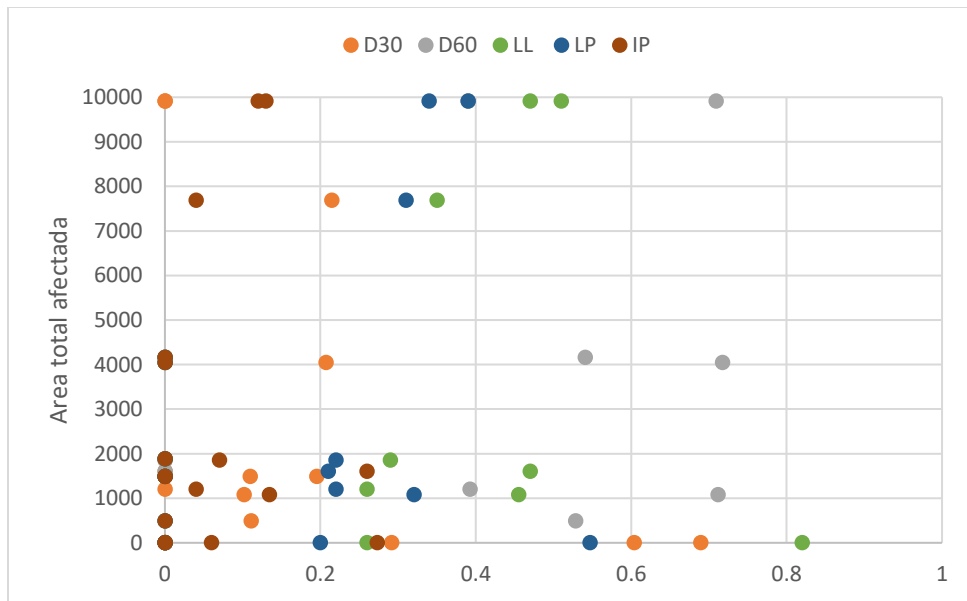


Figura 14. *Área total afectada y propiedades índices (D30).*

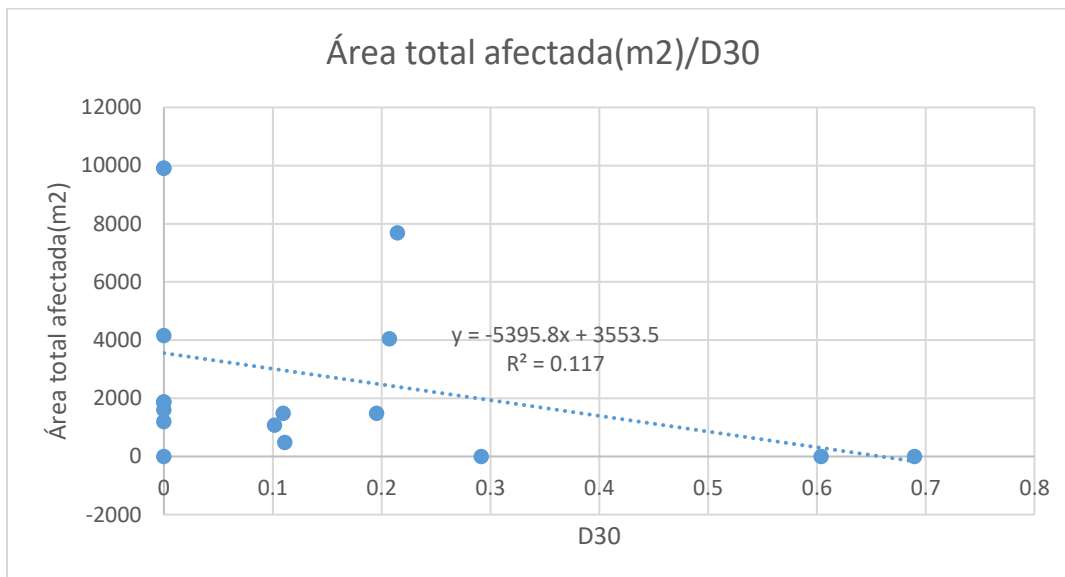


Figura 15. Área total afectada y propiedades índices (D60).

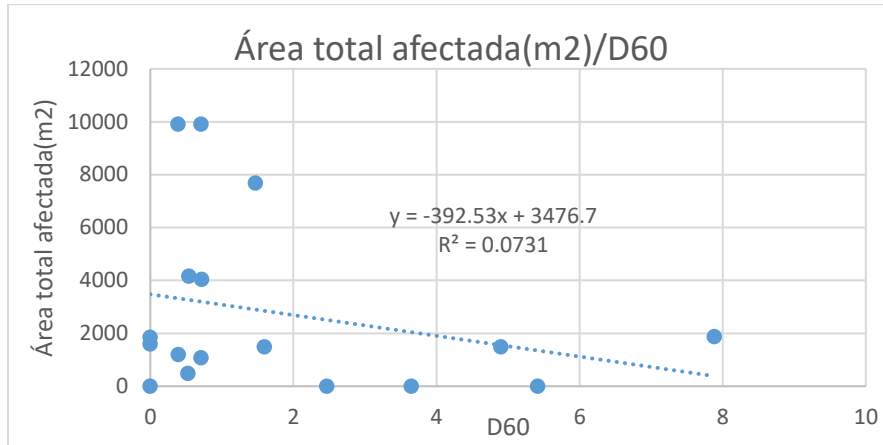


Figura 16. Área total afectada desplazada y propiedades índices (LL).

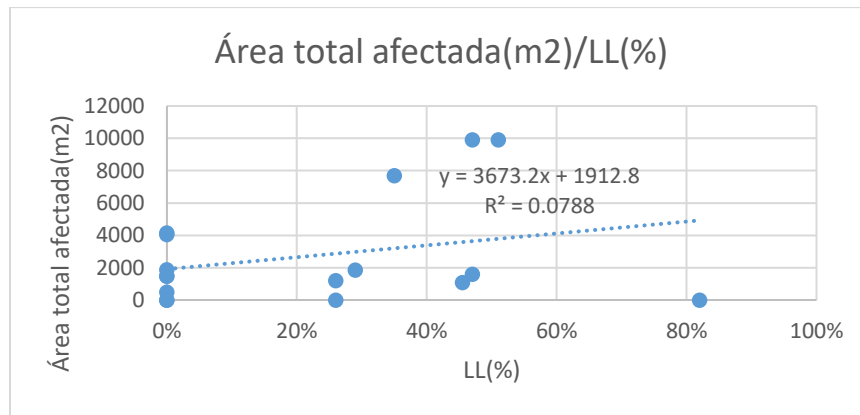


Figura 17. Área total afectada y propiedades índices (LP).

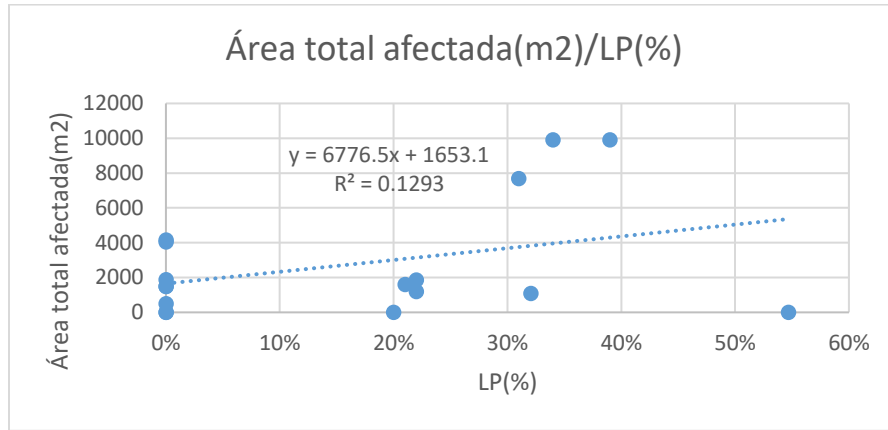
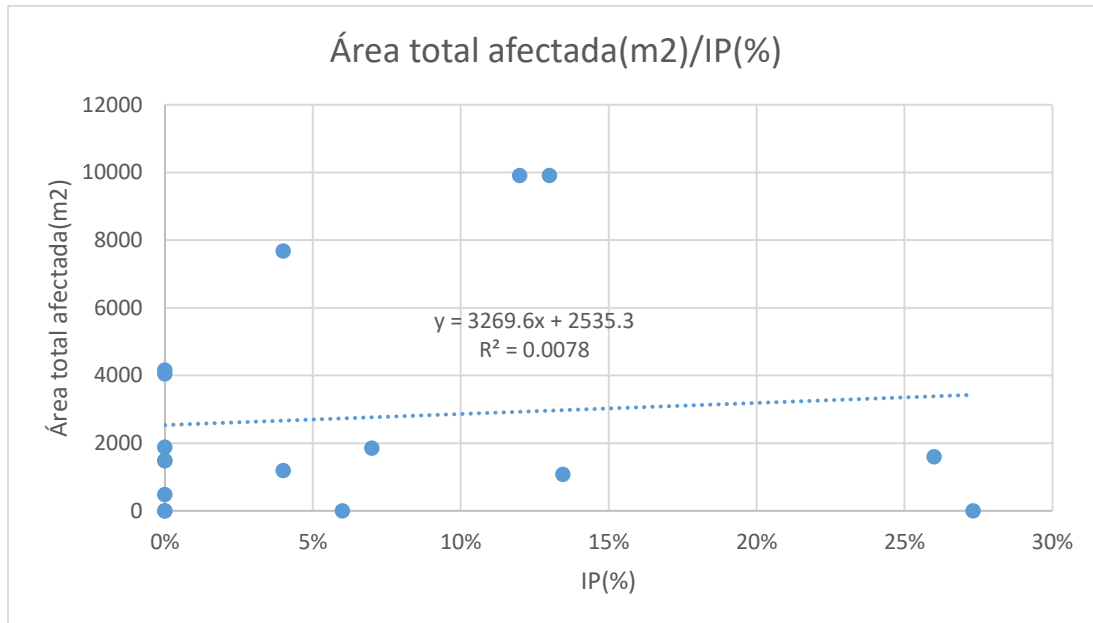


Figura 18. Área total afectada y propiedades índices (IP).



Volumen de la masa desplazada.

Figura 19. Grafica global de la correlación.

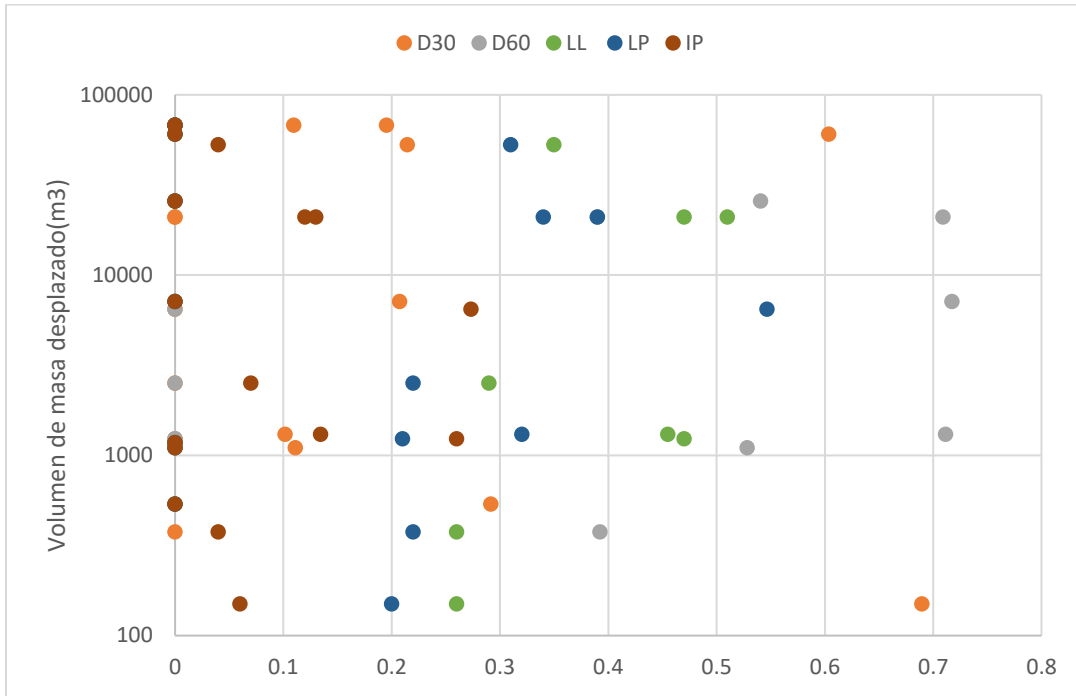


Figura 20. *Volumen de masa desplazada y propiedades índices (D30).*

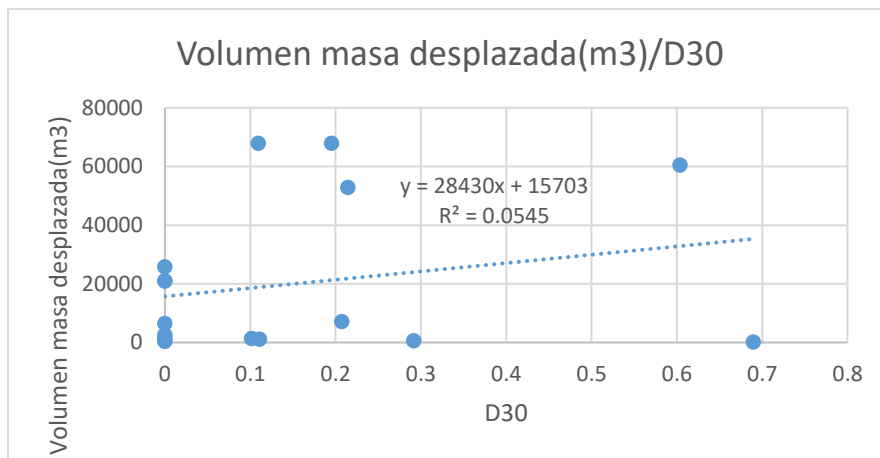


Figura 21. *Volumen de masa desplazada y propiedades índices (D60).*

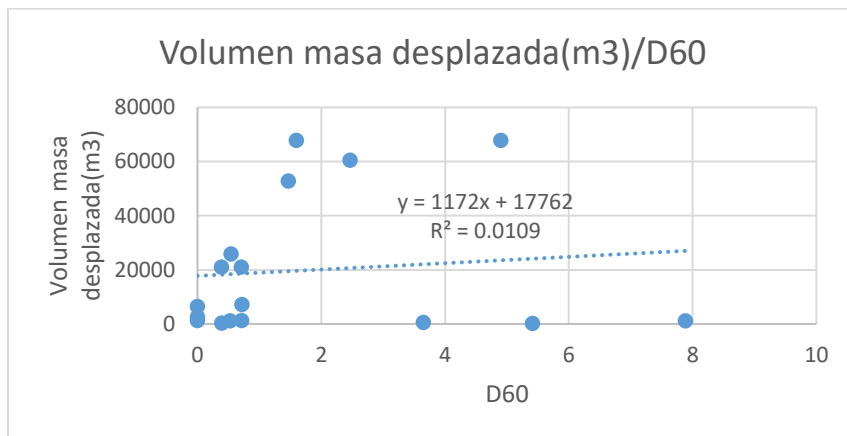


Figura 22. Volumen de masa desplazada y propiedades índices (LL).

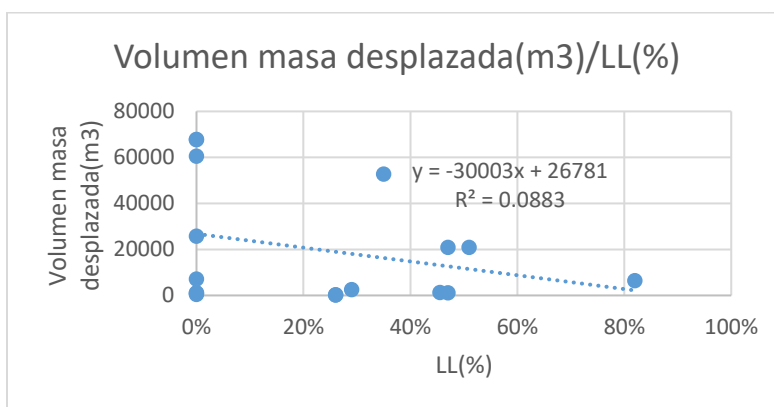


Figura 23. Volumen de masa desplazada y propiedades índices (LP).

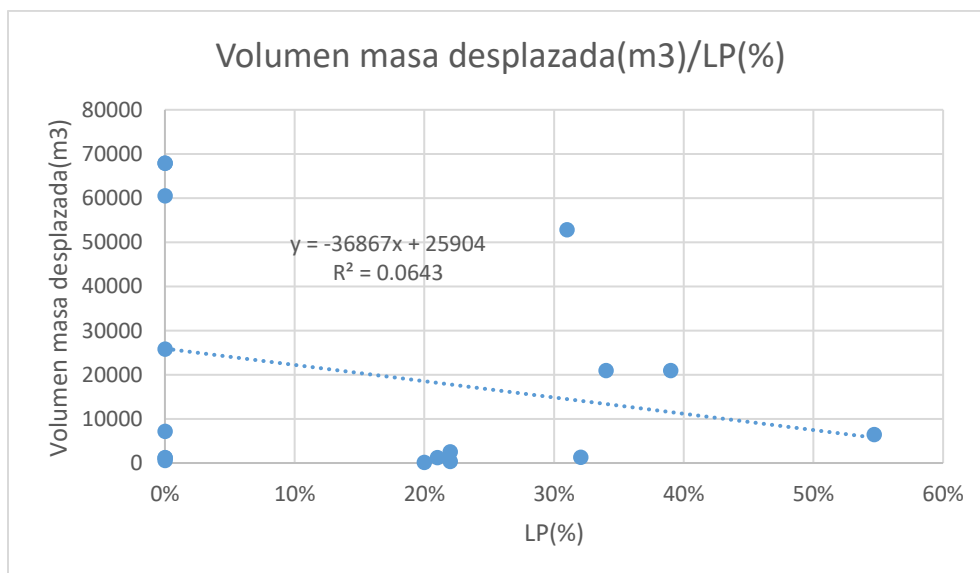
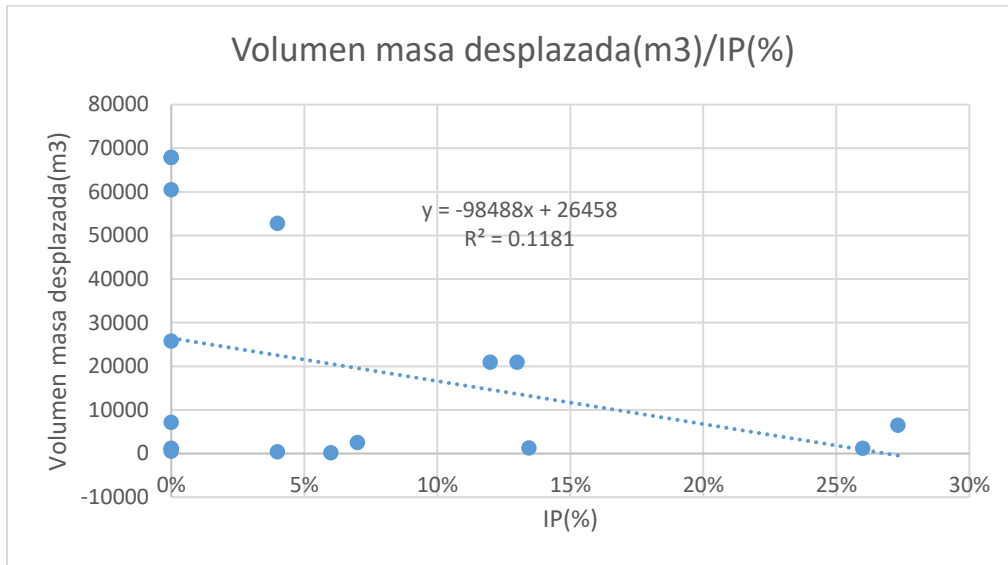


Figura 24. *Volumen de masa desplazada y propiedades índices (IP).*



Espesor de la masa desplazada.

Figura 25. Grafica global de la correlación.

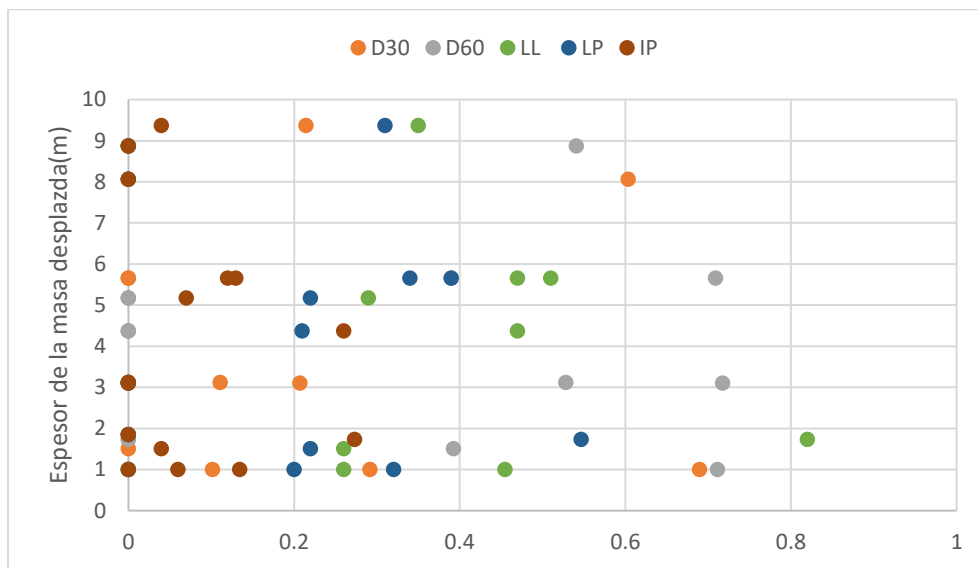


Figura 26. Espesor de masa desplazada y propiedades índices (D30).

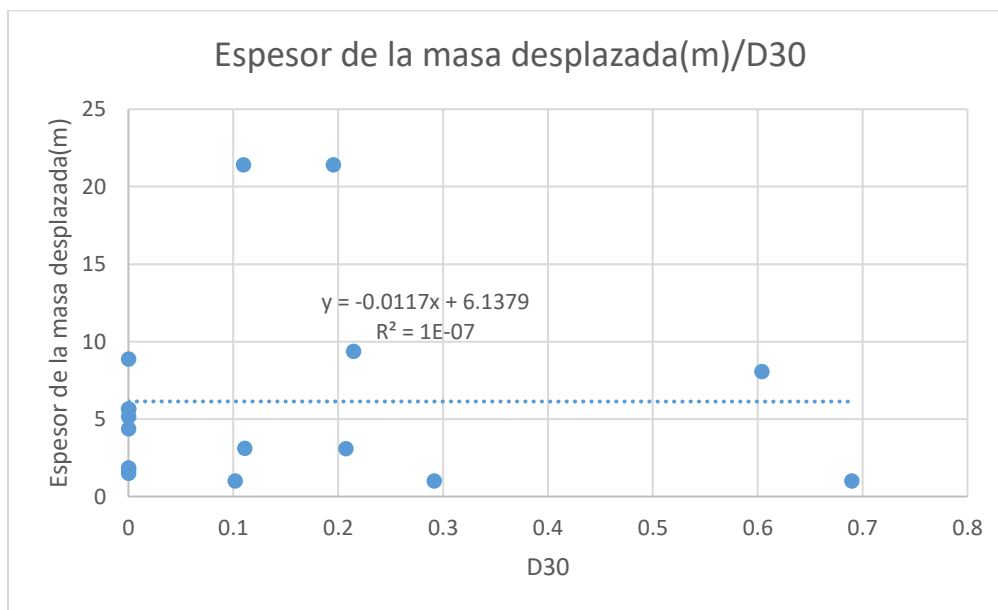


Figura 27. *Espesor de masa desplazada y propiedades índices (D60).*

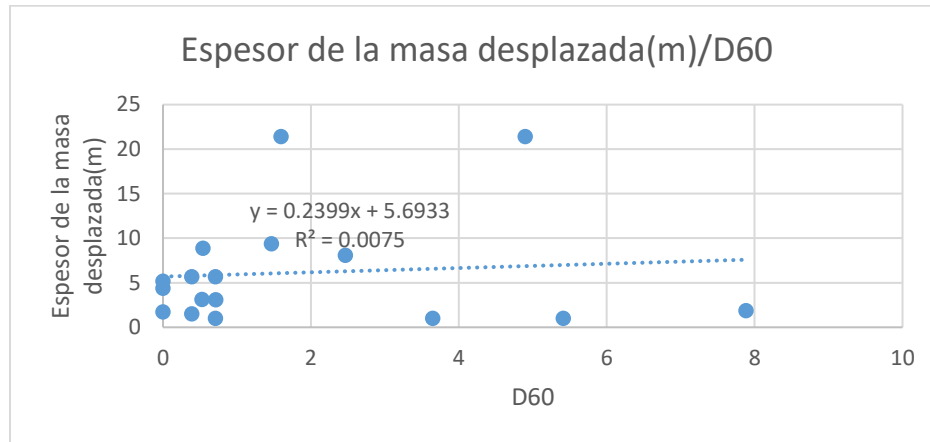


Figura 28. *Espesor de masa desplazada y propiedades índices (LL).*

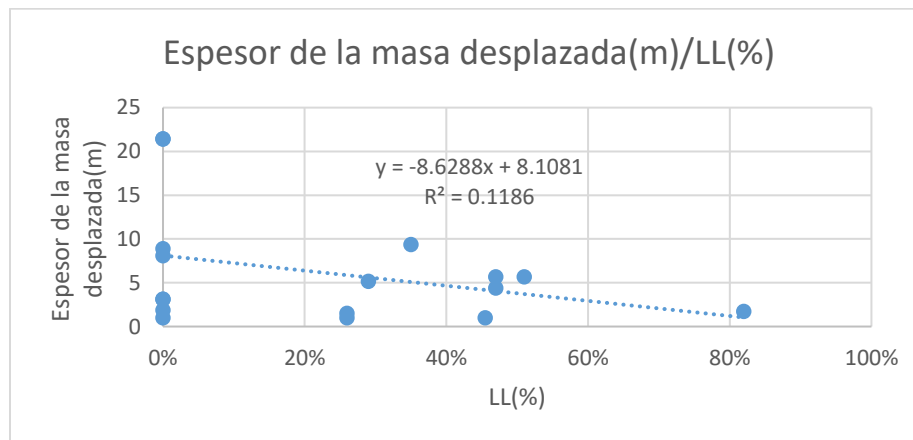


Figura 29. *Espesor de masa desplazada y propiedades índices (LP).*

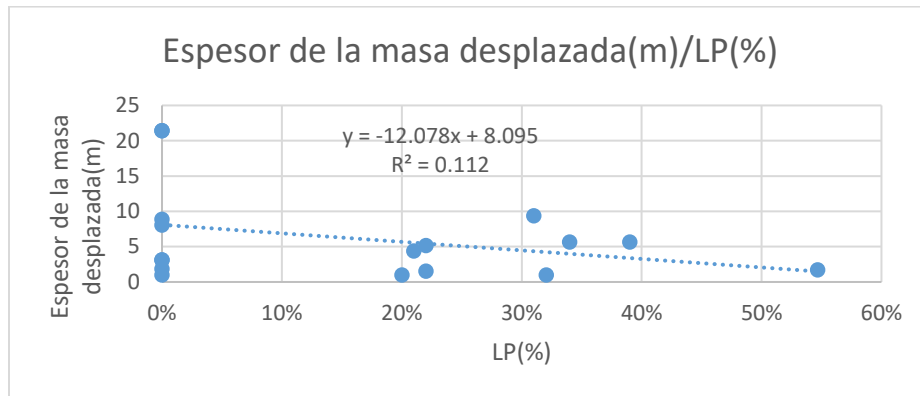
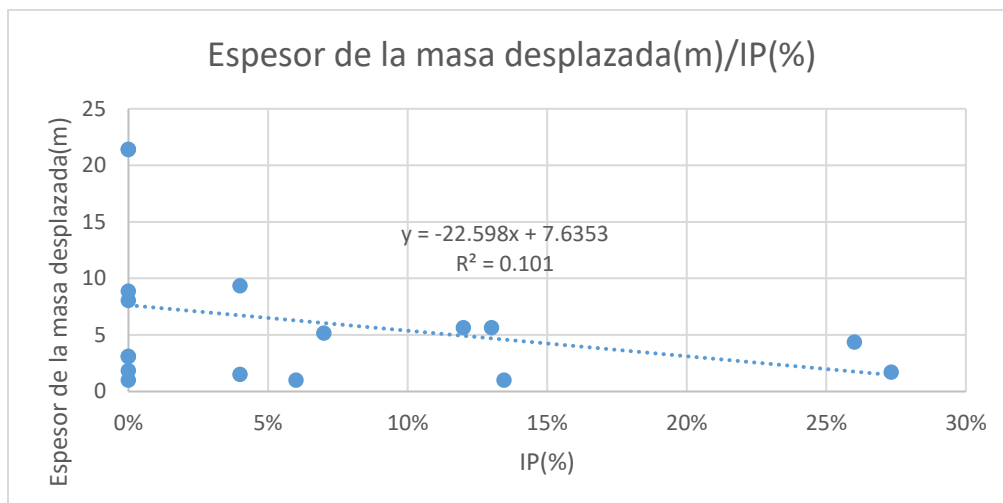


Figura 30. *Espesor de masa desplazada y propiedades índices (IP).*



A continuación, se presenta el resumen de resultados para esta correlación. Los cuales se consignan en la tabla14.

Tabla 14. *Resumen de resultados para la correlación espesor de la masa desplazada.*

Espesor de la masa desplazada / D30	
coeficiente de correlación	-0.0004
coeficiente de determinación (R²)	0.0177

Ecuación Lineal

$$y = -0.0117x + 6.1379$$

Espesor de la masa desplazada/ D60

coeficiente de correlación	0.0863
-----------------------------------	--------

coeficiente de determinación (R²)	0.0000001
---	-----------

Ecuación Lineal

$$y = 0.2391x + 5.6937$$

Espesor de la masa desplazada / LL

coeficiente de correlación	-0.3444
-----------------------------------	---------

coeficiente de determinación (R²)	0.1186
---	--------

Ecuación Lineal

$$y = -8.6288x + 8.1081$$

Espesor de la masa desplazada / LP

coeficiente de correlación	-0.3347
-----------------------------------	---------

coeficiente de determinación (R²)	0.112
---	-------

Ecuación Lineal

$$y = -12.078x + 8.095$$

Espesor de la masa desplazada / IP

coeficiente de correlación	-0.3178
-----------------------------------	---------

coeficiente de determinación (R²)	0.101
---	-------

Ecuación Lineal

$$y = -22.598x + 7.6353$$

Longitud de la masa desplazada.

Figura 31. *Grafica global de la correlación.*

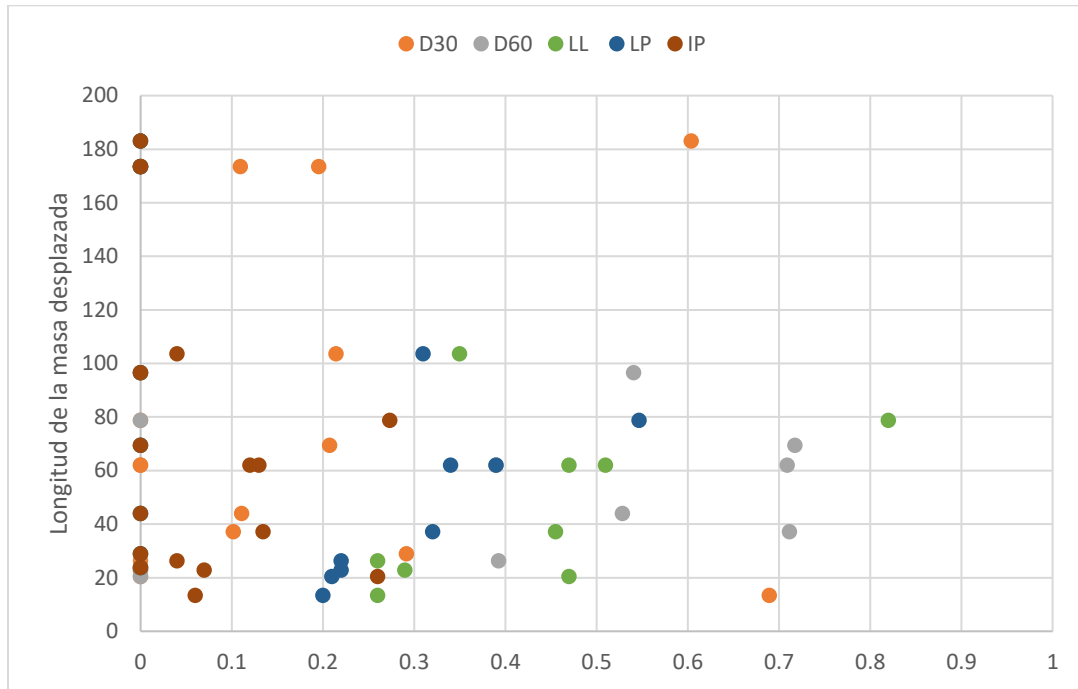


Figura 32. *Longitud de la masa desplazada y propiedades índices (D30).*

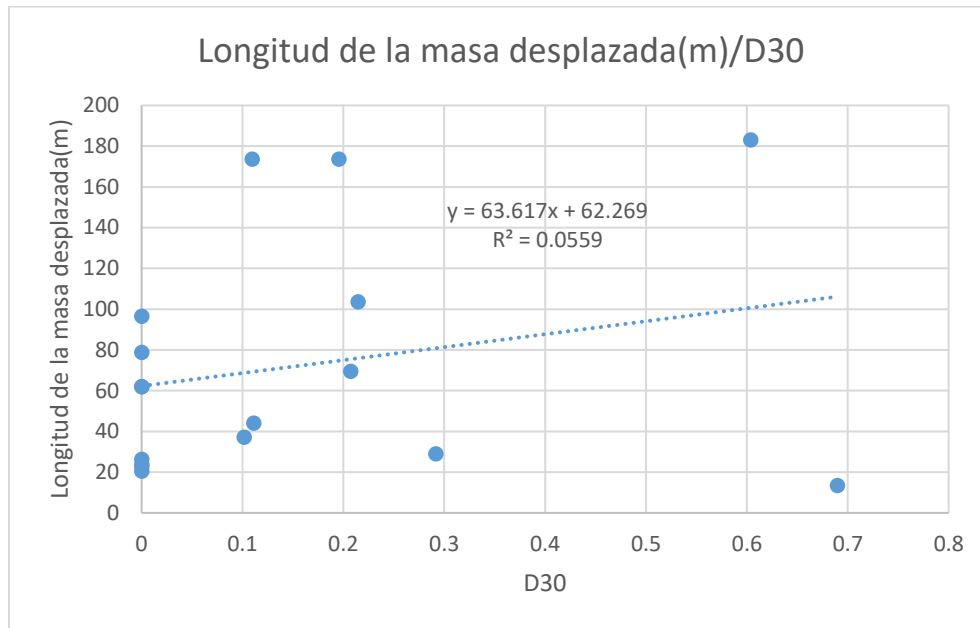


Figura 33. Longitud de la masa desplazada y propiedades índices (D60).

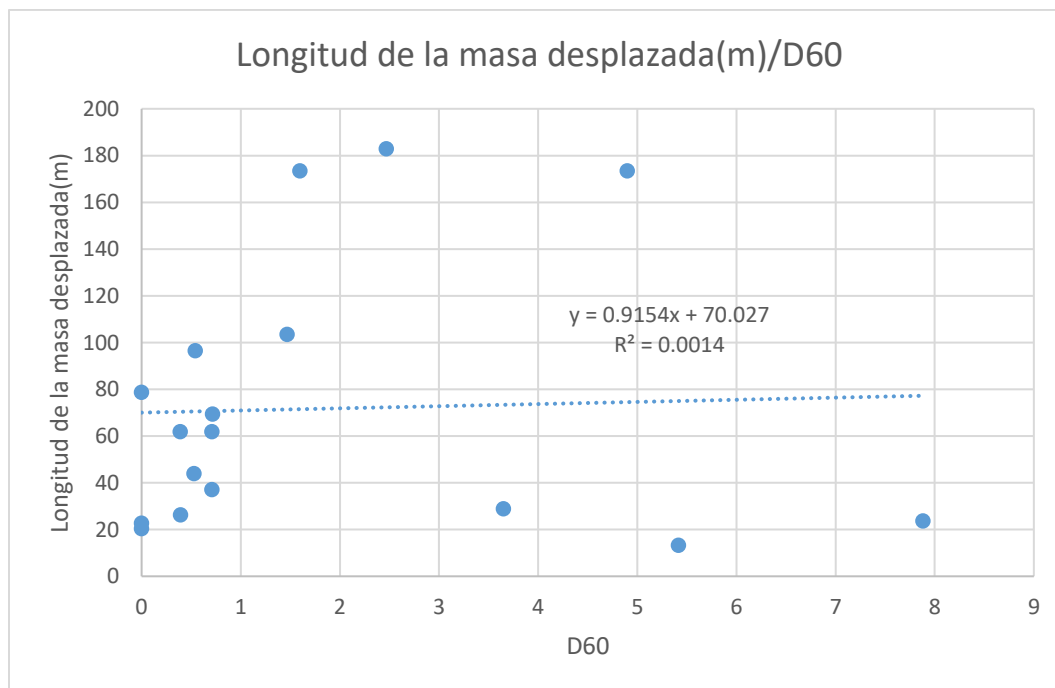


Figura 34. Longitud de la masa desplazada y propiedades índices (LL).

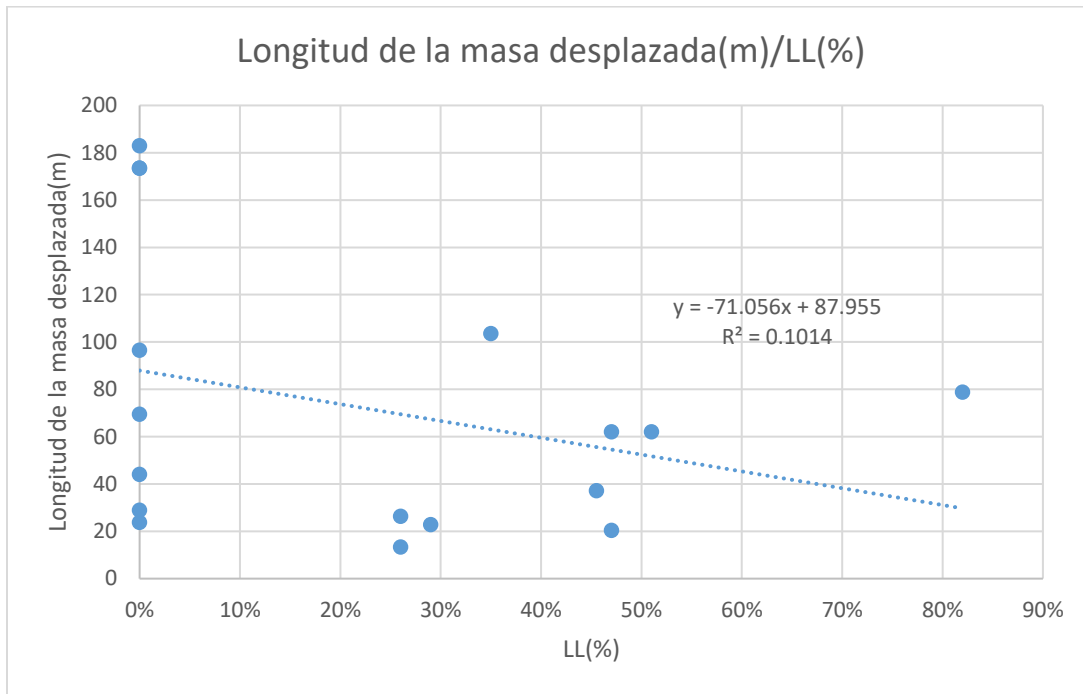


Figura 35. Longitud de la masa desplazada y propiedades índices (LP).

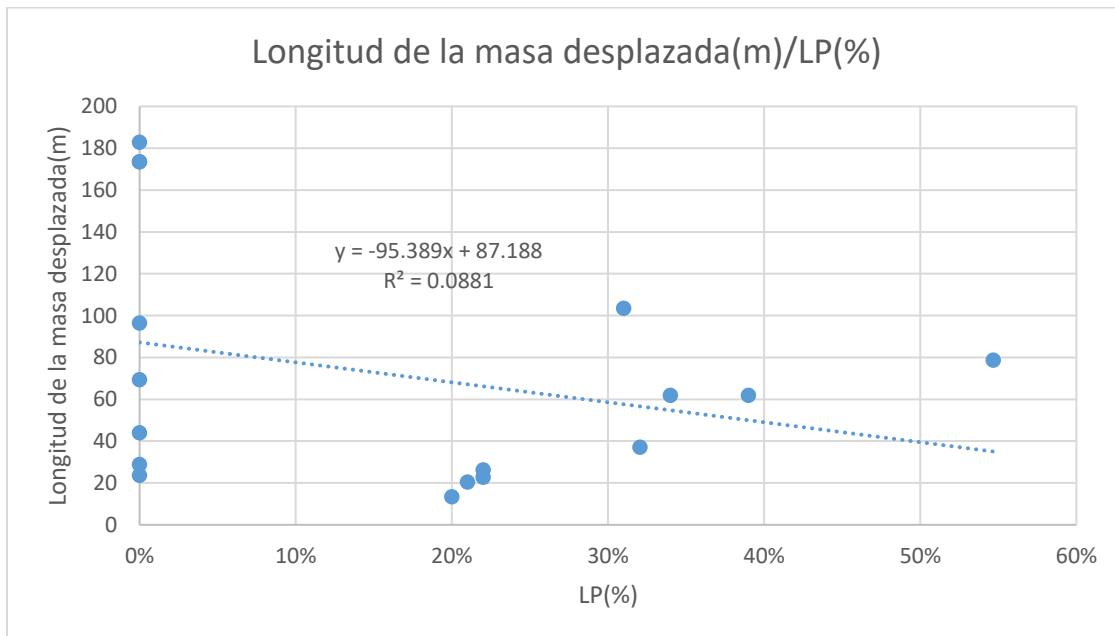
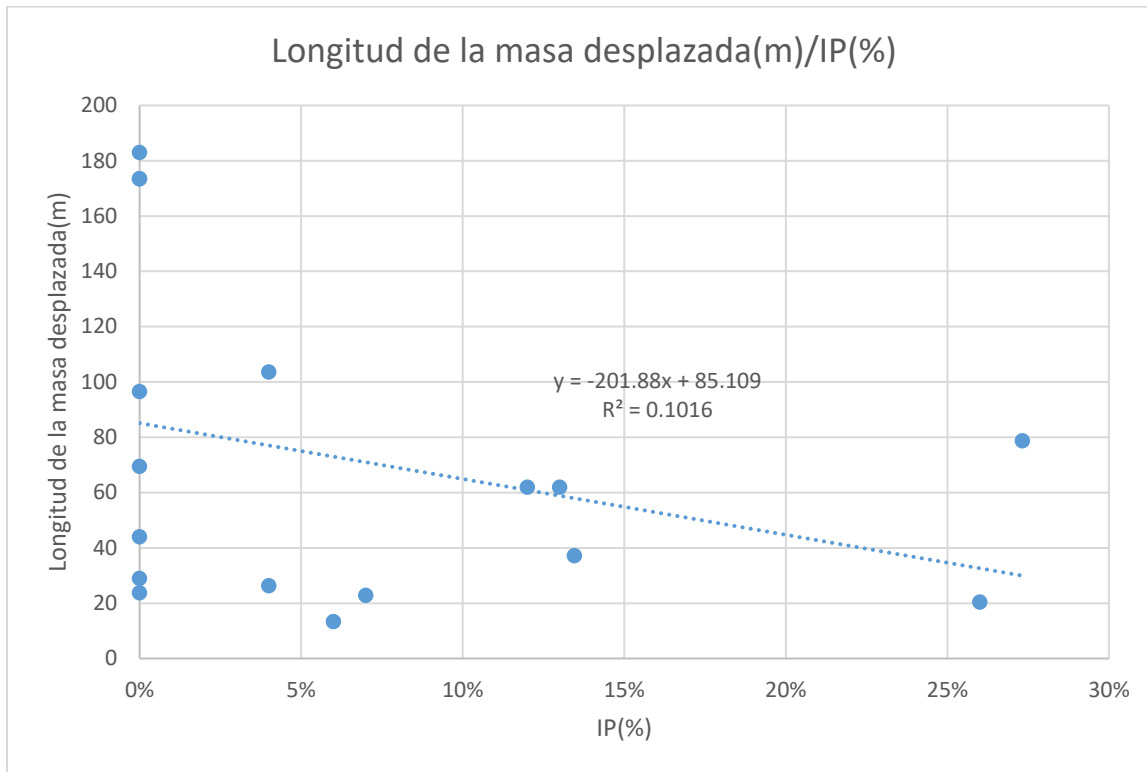


Figura 36. Longitud de la masa desplazada y propiedades índices (IP).



A continuación, se presenta el resumen de resultados para esta correlación. Los cuales se consignan en la tabla 15.

Tabla 15. Resumen de resultados para la correlación longitud de la masa desplazada.

Longitud de la masa desplazada / D30	
coeficiente de correlación	0.2364
coeficiente de determinación (R²)	0.0559
Ecuación Lineal	
y = 63.617x + 62.269	
Longitud de la masa desplazada / D60	
coeficiente de correlación	0.0370
coeficiente de determinación (R²)	0.0014

Ecuación Lineal	
$y = 0.9154x + 70.027$	
Longitud de la masa desplazada / LL	
coeficiente de correlación	-0.3184
coeficiente de determinación (R ²)	0.1014
Ecuación Lineal	
$y = -71.056x + 87.955$	
Longitud de la masa desplazada / LP	
coeficiente de correlación	-0.2968
coeficiente de determinación (R ²)	0.0881
Ecuación Lineal	
$y = -95.389x + 87.188$	
Longitud de la masa desplazada / IP	
coeficiente de correlación	-0.3187
coeficiente de determinación (R ²)	0.1016
Ecuación Lineal	
$y = -201.88x + 85.109$	

Ancho de la masa desplazada.

Figura 37. *Grafica global de la correlación.*

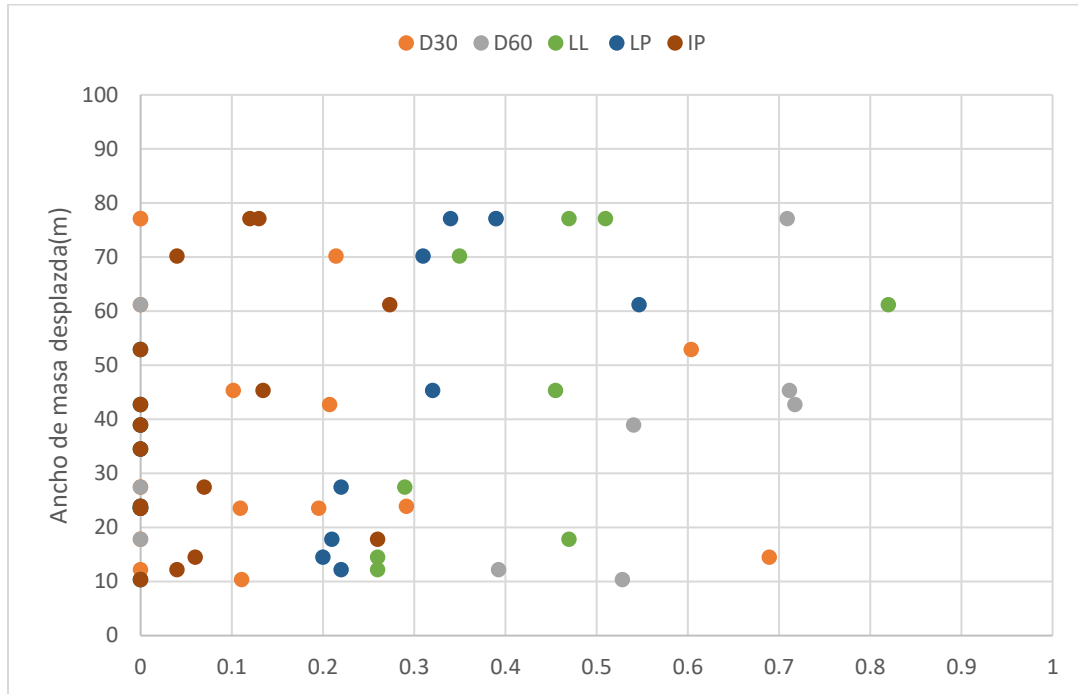


Figura 38. Ancho de la masa desplazada y propiedades índices (D30).

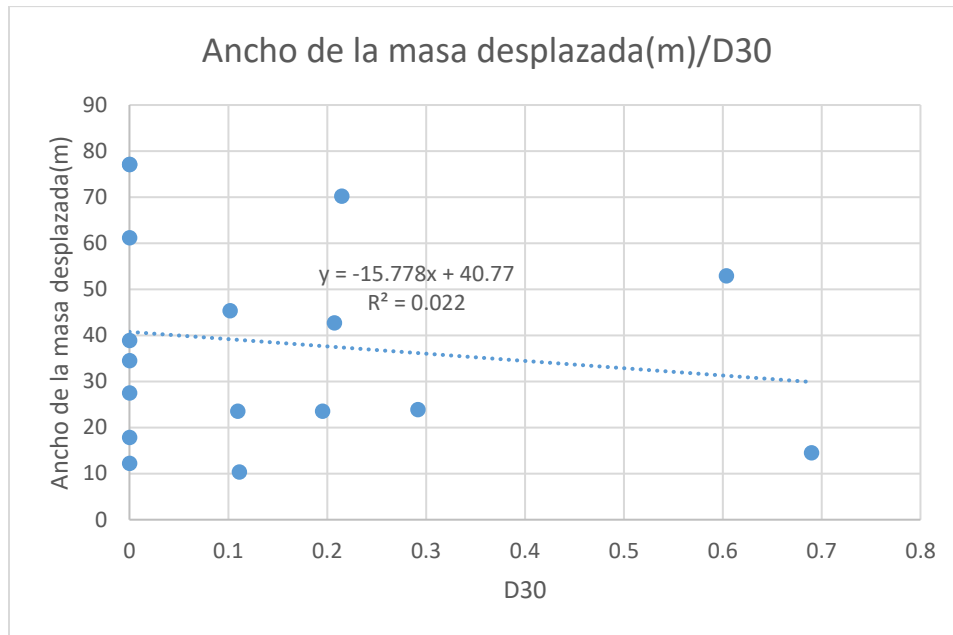


Figura 39. Ancho de la masa desplazada y propiedades índices (D60).

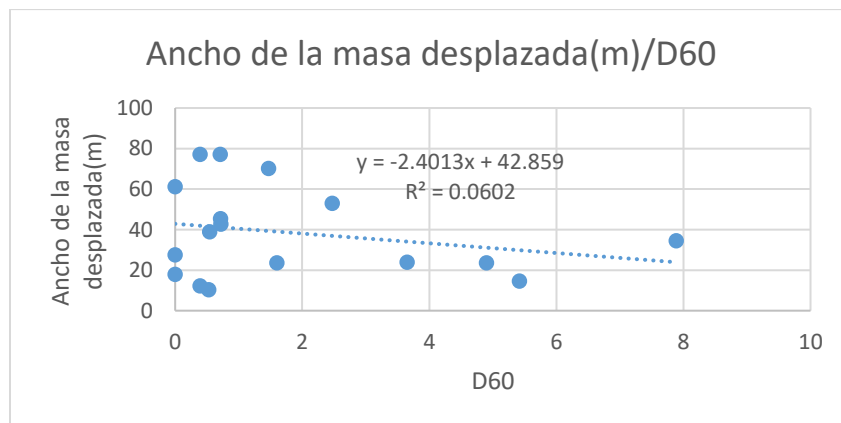


Figura 40. Ancho de la masa desplazada y propiedades índices (LL).

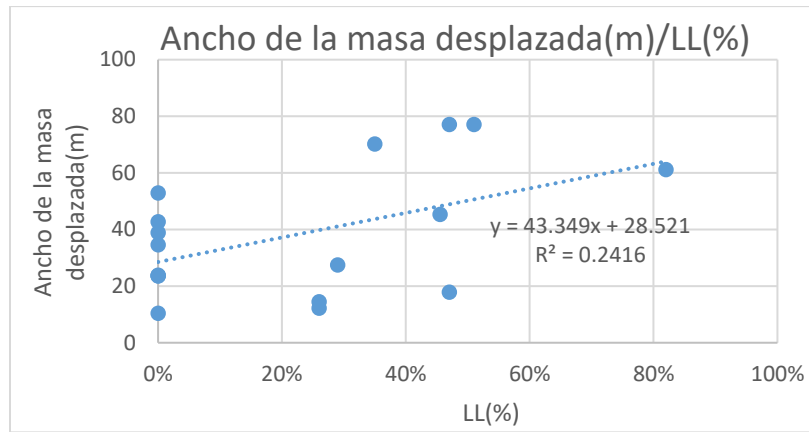


Figura 41. Ancho de la masa desplazada y propiedades índices (LP).

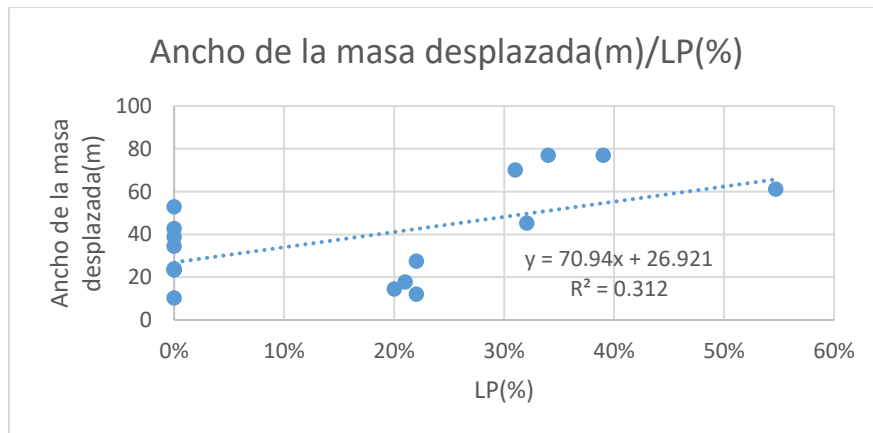
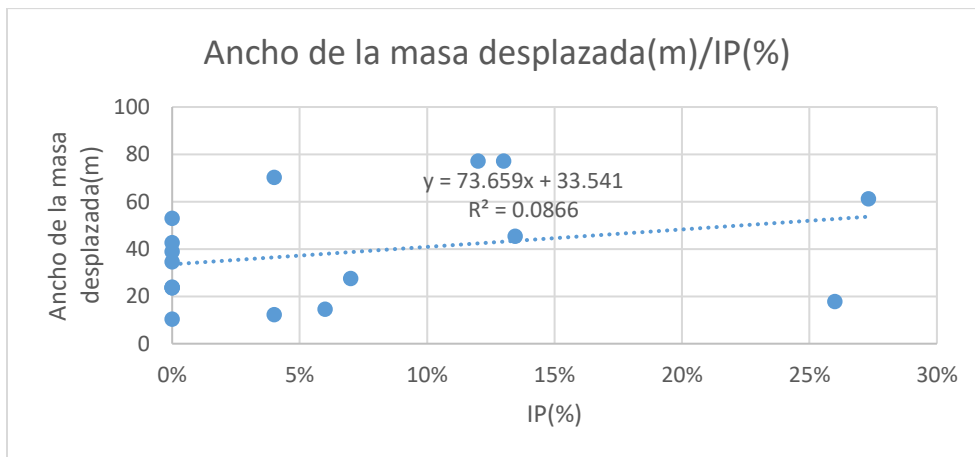


Figura 42. Ancho de la masa desplazada y propiedades índices (IP).



A continuación, se presenta el resumen de resultados para esta correlación. Los cuales se consignan en la tabla16.

Tabla 16. Resumen de resultados para la correlación ancho de la masa desplazada.

Ancho de masa desplazada / D30	
coeficiente de correlación	-0.1484
coeficiente de determinación (R²)	0.022
Ecuación Lineal	
y = -15.778x + 40.77	
Ancho de masa desplazada / D60	
coeficiente de correlación	-0.2455
coeficiente de determinación (R²)	0.0602
Ecuación Lineal	
y = -2.4013x + 42.859	
Ancho de masa desplazada / LL	

coeficiente de correlación	0.4916
coeficiente de determinación (R²)	0.2416
Ecuación Lineal	
$y = 43.349x + 28.521$	
Ancho de masa desplazada / LP	
coeficiente de correlación	0.5586
coeficiente de determinación (R²)	0.312
Ecuación Lineal	
$y = 70.94x + 26.921$	
Ancho de masa desplazada / IP	
coeficiente de correlación	0.2943
coeficiente de determinación (R²)	0.0866
Ecuación Lineal	
$y = 73.659x + 33.541$	