



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**CORRELACIONES INTERPOLINÓMICAS DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA EN LOS DISTINTOS TIPOS DE SUELOS DE LOS SECTORES DE:
“CARCELÉN, ARGELIA ALTA Y VALLE DE TUMBACO”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero e Ingeniera Civil

AUTORES: Kevin Mauricio Coyago Simbaña
Josselyn Lizeth Vivanco Escobar

TUTOR: Juan Pablo Tarambís Rodríguez

Quito - Ecuador
2023

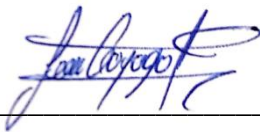
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Kevin Mauricio Coyago Simbaña con documento de identificación N° 1751610229 y Josselyn Lizeth Vivanco Escobar con documento de identificación N° 1726229170; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 21 de julio del 2023

Atentamente,



Kevin Mauricio Coyago Simbaña

1751610229



Josselyn Lizeth Vivanco Escobar

1726229170

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Kevin Mauricio Coyago Simbaña con documento de identificación N° 1751610229 y Josselyn Lizeth Vivanco Escobar con documento de identificación N° 1726229170; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: Correlaciones interpolinómicas de los Parámetros de resistencia en los distintos tipos de Suelos de los Sectores de: “Carcelén, Argelia Alta y Valle de Tumbaco”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 21 de julio del 2023

Atentamente,



Kevin Mauricio Coyago Simbaña

1751610229



Josselyn Lizeth Vivanco Escobar

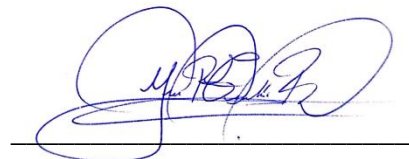
1726229170

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Juan Pablo Tarambís Rodríguez con documento de identificación N° 1715336879, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: CORRELACIONES INTERPOLINOMICAS DE LOS PARAMETROS DE RESISTENCIA EN LOS DISTINTOS TIPOS DE SUELOS EN LOS SECTORES DE: “CARCELÉN, ARGELIA ALTA Y VALLE DE TUMBACO”, realizado por Kevin Mauricio Coyago Simbaña con documento de identificación N° 1751610229 y por Josselyn Lizeth Vivanco Escobar con documento de identificación N° 1726229170, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 21 de julio del 2023

Atentamente,



Ing. Juan Pablo Tarambís Rodríguez, MSc.

1715336879

CORRELACIONES INTERPOLINÓMICAS DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA EN LOS DISTINTOS TIPOS DE SUELOS DE LOS SECTORES DE: “CARCELÉN, ARGELIA ALTA Y VALLE DE TUMBACO”

INTERPOLYNOMIC CORRELATIONS OF THE RESISTANCE PARAMETERS IN THE DIFFERENT TYPES OF SOILS OF THE SECTORS OF: “CARCELÉN, ARGELIA ALTA AND TUMBACO VALLEY”

Kevin Coyago-Simbaña¹, Josselyn Vivanco-Escobar²

Resumen

La presente investigación, plantea el desarrollo de correlaciones polinómicas (lineal múltiple) enfocadas en los parámetros de resistencia al corte del suelo (cohesión y ángulo de fricción), en función de las propiedades físicas de los suelos de los Sectores de: Carcelén, Argelia Alta y Valle de Tumbaco; para constatar o complementar información al momento de ser evaluada, en relación con los campos Geotécnicos o de Ingeniería Civil, reduciendo costos y tiempo al realizar ensayos de campo y laboratorio.

Para el comienzo de la parte experimental, se procede a fijar zonas de estudio, con el propósito de extraer bloques de muestras inalteradas y detallar las condiciones de los sitios al momento de la extracción; para posteriormente ejecutar los distintos ensayos de laboratorio (humedad, gravedad específica, densidad natural, límites de consistencia, clasificación SUCS y corte directo). También, se implementa el uso de relaciones fundamentales obtenidas en laboratorio como: porosidad, índice de vacíos, densidad seca, saturación y peso específico sumergido; con la finalidad de obtener más propiedades de suelos.

Finalmente, para el análisis de datos se plantea el uso de un Software estadístico, con el propósito de realizar los análisis de varianza (ANOVA),

Abstract

The present research proposes the development of polynomial correlations (multiple linear) focused on the resistance parameters of soils (cohesion and friction angle), depending on the physical properties of the soils of the Sectors of: Carcelén, Argelia Alta and Tumbaco Valley; in order to verify or complement information at the time of being evaluated, in relation to the Geotechnical or Civil Engineering fields, reducing costs and time when performing field and laboratory tests.

At the beginning of the experimental part, study areas are fixed, with the purpose of extracting blocks of unaltered samples and detailing the conditions of the sites at the time of extraction; to then execute the different laboratory tests (moisture content, specific gravity, natural density, consistence limits, SUCS classification and direct shear). Also, the use of weight-volume relationships is implemented such as: porosity, void index, dry density, saturation, and specific submerged weight; to obtain more soil characteristics.

Finally, for data analysis, the use of a statistical software is proposed, to carry out analysis of variance (ANOVA), residual assumptions, confidence levels, statistical error, etc., related to a degree of viable efficiency, which is oriented to obtain equations and adequate correlation coefficients.

¹ Estudiante de Ingeniería Civil –Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador.

² Estudiante de Ingeniería Civil –Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador.

Autor para correspondencia: kcoyagos@est.ups.edu.ec¹, jvivancoe@est.ups.edu.ec²

supuestos residuales, niveles de confianza, error estadístico, etc., asociado a un grado de eficiencia viable, que se orienta a obtener ecuaciones y coeficientes de correlaciones adecuados.

Palabras Clave: Correlaciones polinómicas, análisis experimental, ensayos de laboratorio, relaciones fundamentales, análisis de varianza (ANOVA), supuestos residuales, niveles de confianza, coeficiente de correlación.

Keywords: Polynomial correlations, experimental analysis, laboratory tests, weight-volume relationships, analysis of variance (ANOVA), residual assumptions, confidence levels, correlation coefficient.

1. Introducción

Debido a la falta de información relacionada con los “procesos de implementación de rellenos en la ciudad de Quito en tiempos primarios” [1] y al “existir un incremento del 65 % en las construcciones informales en sus alrededores” [2], se han presentado una variedad de problemas sobre colapsos, rupturas o asentamientos en edificaciones con respecto a la resistencia del suelo, “como los casos de Solanda en el 2017” [3] y el “de San Antonio en el 2011” [4]. Donde se considera que la falta de información relevante con relación a los parámetros de resistencia al corte del suelo es una de las posibles causas al momento de edificar una estructura, sea por motivos económicos, técnicos o procesos constructivos precarios.

El presente artículo establece realizar correlaciones empíricas entre los parámetros de resistencia al corte del suelo y una serie de propiedades de los suelos, “para estimar aproximaciones cercanas a los valores reales, a partir de otras propiedades más disponibles” [5], con el propósito de contribuir con información a las personas que están enfocadas en la construcción o geotecnia.

Para contar con un panorama más amplio, se procede a buscar y examinar investigaciones, como la de Jaramillo y Naranjo que expresa [6] “el desarrollo de correlaciones lineales múltiple de las propiedades geomecánicas en función de la clasificación SUCS y ensayos geofísicos”, o el de Paucar detallando [7] “correlación entre el coeficiente de compresibilidad y las propiedades con respecto al índice de vacíos”; que aumentan las posibilidades de una mayor eficacia en el desarrollo de este estudio.

Para el detalle de la investigación respecto a su ejecución, se procede a obtener muestras de manera inalterada, en el cual se mantienen las características de las muestras en su estado “in situ”; de acuerdo con la normativa que se plantea en la sección de metodología. Para luego llevar a cabo múltiples ensayos de laboratorios, como son: los ensayos de humedad (ASTM D 2216) [8], gravedad específica (ASTM D 854) [8], límites de consistencia (ASTM D 4318) [8],

clasificación de suelo SUCS (ASTM D 2487) [8], densidad natural (ASTM D 4531) [8] y corte directo (ASTM D 3080) [8].

Una vez obtenido los resultados de los ensayos ya detallados, se procede a determinar otros valores con respecto a las características de los suelos, a través de la utilización de relaciones fundamentales como son: porosidad (n), índice de vacíos (e), densidad seca (ρ_d), saturación (S) y peso específico sumergido (γ_{sum}). Además, de promover el uso de valores logarítmicos en base 10 con respecto a los resultados cuantitativos obtenidos; con el fin de proponer un mejor análisis y engrandecer las posibilidades de una mayor confiabilidad en los resultados finales.

Con los antecedentes ya considerados, se emplea el uso del software estadístico, “que proporciona diversas herramientas, como el análisis de varianza (ANOVA); el cual permite evaluar el efecto de los factores sobre la media de una variable continua, identificando la relación entre variables” [6]. Al realizar este análisis se puede identificar los factores estadísticamente más representativos y determinar su influencia. Es decir, la formulación de variables independientes (propiedades del suelo) y una variable dependiente (ángulo de fricción interna o cohesión), y así determinar si existen diferencias significativas entre los grupos o categorías de las variables independientes.

Se debe estimar que estas correlaciones empíricas pueden variar dependiendo del tipo de suelo y las condiciones específicas del sitio. Por lo tanto, es necesario tener presente las limitaciones y las incertidumbres asociadas a estas correlaciones al utilizarlas en la práctica.

2. Materiales y Métodos

2.1. Muestra de suelo

2.1.1. Ubicación

Para la selección de sitios, se procede a dividir el cantón Quito en diferentes sectores como se detalla en la figura 1; para posteriormente elegir los lugares de donde se extraerán las diferentes muestras de suelos, presentadas en la tabla 1.



Figura 1. Sectores de estudio seleccionadas de la ciudad de Quito.

Tabla 1: Ubicación de muestras

Muestra N°	Sector	Ubicación
1	Tumbaco	Av. Oswaldo Guayasamín y Río Paute, Conjunto molino
2	Tumbaco	Calle Norberto Salazar, Conjunto Berakhah.
3	Tumbaco	Av. Oswaldo Guayasamín y Río Arrayan.
4	Tumbaco	Av. Oswaldo Guayasamín y Río San Pedro, Cancha barrial la esperanza.
5	Tumbaco	Calle Gral. Eloy Alfaro OE1-192
6	Argelia Alta	Av. Simón Bolívar, Catacocha y Tumbabiro.
7	Argelia Alta	Calle Catacocha y Majúa. Lote: S16272
8	Argelia Alta	Calle Catacocha y Majúa Lote: S16291
9	Argelia Alta	Calle Catacocha y Majúa Lote: 153
10	Argelia Alta	Calle Catacocha y Majúa Lote: 16278
11	Carcelén	Barrio Zabala, Calles De los Quindes y Condor

12	Carcelén	Calle de los Quindes y Faisanes.
13	Carcelén	Calle de los Quindes y Cucubes.
14	Carcelén	Av. Cóndor y calle de los Cucubes
15	Carcelén	Av. Cóndor Lote: S170208

2.1.2. Descripción de sitio y suelo

Debido a las diversas circunstancias naturales que exponen los sitios de extracción; se plantea detallar algunas condiciones que pueden hacer variar los datos al momento de realizar la extracción, como pueden ser: la cantidad de vegetación, la condición climática (temporada) y profundidad de excavación, como se detalla a continuación en la tabla 2.

Tabla 2: Condiciones naturales de extracción

Muestra N°	Vegetación	Condición Climática	Profundidad (m)
1	Baja	Soleado	2,00
2	Baja	Soleado	1,50
3	Baja	Soleado	1,50
4	Mediana	Soleado	1,50
5	Mediana	Soleado	1,50
6	Alta	Lloviznoso	1,75
7	Alta	Lloviznoso	1,75
8	Alta	Lloviznoso	1,75
9	Alta	Lloviznoso	1,75
10	Alta	Lloviznoso	1,75
11	Baja	Soleado	1,90
12	Baja	Soleado	1,90
13	Baja	Soleado	1,90
14	Baja	Soleado	1,90
15	Baja	Soleado	1,90

2.2. Metodología

2.2.1. Extracción de muestras inalteradas.

En esta primera etapa, se detalla sobre los criterios que se deben emplear al momento de extraer una muestra de una forma inalterada; ya que según Frankie [9] “plantea operar un corte en base a la profundidad o de manera lateral de un terreno, obteniendo un bloque de 30cmx30cmx30cm

reduciendo los daños lo más mínimo posible”. Una vez que la muestra es extraída inmediatamente se procede a sellarla por medio de material de parafina o un sistema de plastificación para conservar todas sus propiedades en condiciones naturales.



Figura 2. Extracción de muestras inalteradas.

2.2.2. Ensayos de Contenido de humedad

Este tipo de ensayo “se desarrolla en base a la Normativa ASTM D 2216” [8]:

- Se selecciona de un recipiente con un peso conocido para luego colocar una porción de muestra de suelo en su interior, procediendo a determinar su masa en conjunto.
- Posteriormente, se coloca el recipiente con la muestra en un horno con una temperatura constante de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, durante 24 horas para su respectivo secado.
- Finalmente se procede a sacar y pesar su masa en conjunto. Determinado el contenido de agua en su estado natural, como se detalla en el anexo 1.



Figura 3. Determinación de contenido de humedad.

2.2.3. Ensayos de Granulometría por lavado

Para el ensayo granulométrico por lavado “se emplea la tutela de la Normativa ASTM D 421” [8]:

- Se toma una cierta cantidad de muestra obteniendo su masa; para luego proceder a lavarla sobre el tamiz N.40 y N.200 (como medida de precaución), dado que el material del tamiz N.200 posee una fibra muy susceptible de romperse.
- Terminado el proceso de lavado, se recolecta todo el material de los dos tamices (todas las partículas posibles) en un recipiente, para después llevar a secar al horno con una temperatura constante de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas para su respectivo secado.
- Finalizado el proceso de secado, se procede a tamizar la muestra de forma mecánica o manual, el cual se determina el porcentaje de cada material sólido que posee la muestra (Gravas, arenas, finos) de acuerdo con la normativa antes mencionada. Anexo 2.



Figura 4. Proceso de granulometría por lavado.

2.2.4. Ensayos de límites de consistencia

Para explicar el ensayo de límites de consistencia, “se puede emplear el uso la norma ASTM D 4318, para el desarrollo de los ensayos de límite líquido y límite plástico; además de la preparación de muestra por dos diferentes métodos, siendo por muestra húmeda o seca” [8].

2.2.4.1. Ensayo de límite líquido

El objetivo del ensayo de límite líquido es de obtener porcentajes de humedad a través de la agregación de diferentes cantidades de agua destilada en una muestra de suelo; "permitiendo obtener las diversas humedades por medio del cierre de las mezclas en el surco en la cuchara de Casagrande" [8], entre los golpes 30-40, 20-30 y 10-20 (como buena práctica). Para posteriormente obtener la humedad del límite líquido en el golpe N.25, mediante la curva de flujo (Humedad vs N. golpes). Como se detalla el anexo 3.



Figura 5. Ensayo de límite líquido "Muestra en surco de la cuchara de Casagrande".

2.2.4.2. Ensayo de límite plástico

De igual manera, el ensayo de límite plástico se emplea en la utilización de la mezcla de suelo y agua destilada, "en formar un rollo de muestra de aproximadamente al de un diámetro de 3mm, produciendo agrietamientos y desmoronamientos de forma natural" [8] (sin presión excesiva del manipulador), para luego determinar el porcentaje de humedad que posee la mezcla obtenida. Anexo 4.



Figura 6. Ensayo de límite plástico "Rollo de muestra de 3mm"

Nota: Los planteamientos, procedimientos y sugerencias de los ensayos de límites de consistencia se encuentran en la normativa ya mencionada "ASTM D4318".

2.2.5. Ensayo de densidad natural

Este ensayo "se lleva a cabo bajo la normativa ASTM D 4531, definiendo la relación entre la masa y los vacíos que contienen aire agua u otra sustancia del suelo" [8]:

- El procedimiento que se sugiere es el de tallar 3 muestras en forma de cubos entre 3 a 5cm, determinado su masa.
- Para luego sellar de forma uniforme los cubos con parafina líquida, dejando secar correctamente y determinar su masa.
- Acabado el proceso anterior, se sumerge las muestras cubiertas en un recipiente con agua dentro de una canastilla, determinado igualmente su masa sumergida. Anexo 5



Figura 7. Ensayo de densidad natural "Muestras cubiertas con parafina"

2.2.6. Ensayo de gravedad específica

Dentro del ensayo de gravedad específica "por la normativa ASTM D 854, establece la relación entre la masa y la masa del volumen de agua libre de gas, de los sólidos con tamaños menores a 4.75mm (Tamiz N.4) a una temperatura dada" [8]; limitando su gran importancia al instante de determinar otras características de los suelos.

- Para un rápido detalle de este ensayo, se procede a colocar una cantidad de muestra de suelo dentro de un picnómetro.

- Para posteriormente colocar un porcentaje de agua y proceder a retirar los vacíos por medio manual o con ayuda de un mecanismo de succión.
- Finalizando con la obtención de la masa en conjunta. Esto en base a lo establecido por la normativa especificada. Anexo 6



Figura 8. Ensayo de gravedad específica “Retiro de vacíos por medio mecánico”

2.2.7. Clasificación de suelos SUCS

La clasificación SUCS es un sistema “que permite proporcional una clasificación no cuantitativa sino de forma cualitativa de los diferentes tipos de suelos” [8]. “Además, este sistema usa dos ensayos ya expuestos con anterioridad como son de granulometría y límites de consistencia” [6], para determinar al grupo que pertenece, de los diferentes que existen en el campo de la Ingeniería Civil. La normativa que expone este tipo de metodología es la Norma ASTM D 2487.

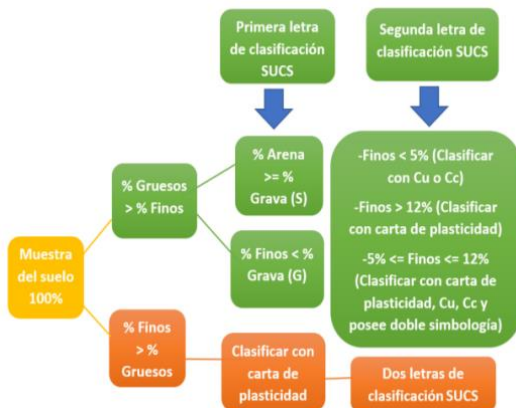


Figura 9. Proceso de Clasificación SUCS [6]

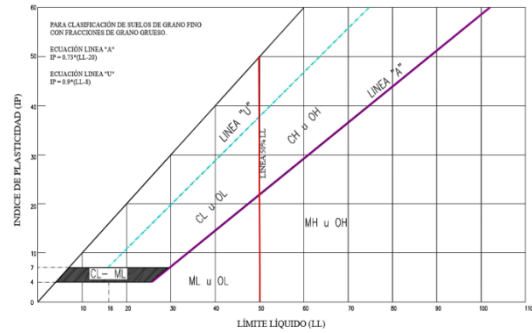


Figura 10. Carta de Plasticidad (SUCS) [6]

2.2.8. Ensayo de corte directo

El ensayo de corte directo enfoca en explorar un esfuerzo cortante de un suelo, mediante en ensayo de corte directo consolidado no drenado, no saturado. Estableciendo según Chávez “la relación entre el esfuerzo y la deformación, considerando la aplicación de una carga; por lo cual, se presenta una falla en el plano horizontal paralela a aplicación del esfuerzo”. Para la ejecución de este ensayo se utiliza la normativa ASTM D 3080 [8]:

- Se tallan 3 muestras en forma rectangular con unas dimensiones aproximadas de 10cmx10cmx2cm, esto con ayuda de un molde metálico evitando los daños lo mínimo posibles.
- Se procede a acoplar la caja de corte fijando los pernos de seguridad.
- Se coloca el orden de ensamble de la caja de corte directo siendo el siguiente: placa de retención, placa porosa rejilla con ranura, muestra de suelo, rejilla con ranura, placa porosa y placa de carga.
- Se inserta en la máquina de corte y se monta el pistón vertical con el transductor vertical, para después retirar los pernos de seguridad.
- Se procede a colocar los datos determinados con anterioridad (Esfuerzo normal, velocidad de desplazamiento, tiempo de falla) en la máquina de corte.
- Se repite el mismo proceso nuevamente con las todas las muestras, pero aplicando

diferentes esfuerzos normales (100, 200 y 400 KPa) respectivamente.

- Finalmente se determina los parámetros de resistencia (ángulo de fricción y cohesión), a través de la gráfica de esfuerzo de Corte vs esfuerzo normal. Anexo 7

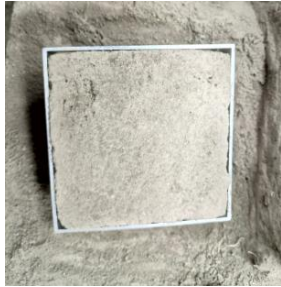


Figura 11. Tallado de muestra “Corte directo”



Figura 12. Ensayo de corte directo “Colocación de caja de corte en máquina de corte”

2.2.9. Análisis Estadístico

2.2.9.1. Análisis de regresión polinómica (Lineal Múltiple)

El análisis de regresión es un método para construir un modelo estadístico que describa el impacto de un “factor cuantitativo independiente (humedad, densidad natural, límite líquido u otros) en una variable dependiente (ángulo de fricción o cohesión), permitiendo modelar matemáticamente el comportamiento, en el uso de un polinomio de primer orden” [10].

Los criterios que se determinan en el análisis son los siguientes [11]:

- El coeficiente cero o intercepto, es la ordena en el origen, donde el valor de la variable Y es de acuerdo las variables independientes cuando son cero.

- Los coeficientes de regresión son las constantes del modelo, que predica sobre las variables X_n .
- El error observado, es la diferencia entre el valor observado y el valor estimado por el modelo.
- El valor-P, estipula los efectos de las variables independientes sobre cada una de las variables independientes ajustadas, siendo los valores significativos menores a 0,05.
- Coeficiente R^2 -ajustada, es la penalización del cuantificador del ajuste del modelo, que depende el número de predictores utilizados y el tamaño de la muestra (grados de libertad), enfocando los modelos más aceptables superiores al 80%.

Para el caso de la investigación se utiliza la ecuación polinómica de primer orden, descrito a continuación:

$$Y = (\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n) + \varepsilon \quad [11]$$

Donde:

- Y= Variable dependiente
- β_0 =Coeficiente cero o intercepto
- β_n =Coeficientes de regresión
- X_n =Variables independientes
- ε =Error observado

2.2.9.2. Análisis de Varianza (ANOVA)

Es un método estadístico empleado para detectar variaciones significativas en las medias de tres o más categorías. El método es beneficioso cuando se trata de variables continuas y se analiza el impacto de uno o más factores en esas variables. “El procedimiento funciona comparando varianzas entre las medias de los grupos y la varianza, de manera que determina si los grupos son todos parte de una población más grande o poblaciones separadas con características diferentes” [12]. Este método ayuda a determinar si es necesario rechazar la hipótesis nula o la

hipótesis alternativa.

La metodología que emplea en la utilización del ANOVA es referente a [13]:

- *Hipótesis nula (Ho)*: Afirma que no hay diferencias significativas entre las medias de los grupos.
- *Hipótesis alternativa (Ha)*: Indica que existen diferencias significativas entre al menos dos de las medias de los grupos.

Mayor sea el valor de F; mayor es la evidencia en contra de la hipótesis nula, de que las medias de los grupos son iguales.

La interpretación de los resultados examina que el valor-P es asociado al estadístico F, expresando que el valor $P > 0.05$; rechaza hipótesis nula del ANOVA y acepta la hipótesis alternativa.

2.2.9.3. Supuestos Residuales

En los supuestos residuales la máxima importancia, es realizar una evaluación exhaustiva antes de realizar inferencias o tomar decisiones basadas en los resultados de un modelo de regresión. Asegurando un modelo que sea válido y que las conclusiones obtenidas sean confiables.

“En los supuestos residuales se debe verificar los supuestos básicos del análisis, que incluyen” [13]:

- *Normalidad de los datos*
- *Homogeneidad de las varianzas*
- *Independencia de observaciones*

“La evaluación de los supuestos residuales es respecto al valor-P, aceptando diversos criterios para hipótesis nula y la hipótesis alternativa. Tomando valores mayores a valor- $P > 0,05$ como datos significativos” [14]. Como se describen a continuación.

Tabla 3: Supuestos residuales para el análisis estadístico ANOVA y regresión lineal múltiple

	Supuestos residuales	Prueba	Hipótesis Nula	Hipótesis Alternativa
ANOVA	Independencia	Durbin-Watson	Existe independencia de residuos.	No existe independencia de residuos.
	Normalidad	Shapiro-Wilk	Los residuos se distribuyen de forma normal, con media cero y varianza constante	Los residuos no se distribuyen de forma normal, con media cero y varianza constante
	Homocedasticidad	Levene's	Los residuos presentan varianzas similares	Los residuos no presentan varianzas similares

2.2.9.4. Intervalos de Confianza

Los límites de confianza detallan que a medida que el tamaño de la muestra aumenta, estos límites se vuelven más estrechos, lo que indica una estimación más precisa.

Cuando se calcula un intervalo de confianza da dos informaciones [14]:

- Un intervalo de valores inferior y superior, calculado a partir de los datos.
- Una probabilidad o nivel de confianza. Se usa un nivel de confianza del 95%, pero podría variar según el caso.

2.2.9.5. Similitud de medias

La prueba se basa en la comparación de las medias muestrales y permite observar si las diferencias son estadísticamente significativas o si son resultados del azar.

Algunas pruebas de similitud de medias disponibles en el software estadístico son [15]:

- *Prueba t de Student*: evalúa si la diferencia observada entre las medias es estadísticamente significativa o no.

- *Análisis de varianza (ANOVA)*: nos permite determinar si hay diferencias significativas entre al menos dos de las medias.
- *Prueba de Kruskal-Wallis*: se utiliza cuando los datos no cumplen con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas.

Estas pruebas son útiles para determinar si las diferencias observadas entre las muestras son estadísticamente significativas o simplemente producto del azar. Se recomienda consultar la documentación o recursos de ayuda del software para obtener instrucciones detalladas sobre la versión que se esté utilizando.

3. Resultados y Discusión

En esta sección, al culminar la obtención de todos valores logarítmicamente necesarios de cada variable dependiente, como expone el anexo #; se procede a detallar los diferentes resultados de análisis del software, con sus respectivas discusiones. En el cual, se exponen el análisis de acuerdo con la variable dependiente ángulo de fricción y cohesión.

3.1. Análisis estadístico

3.1.1. Análisis de regresión polinómica (Lineal Múltiple)

Para que el análisis de una regresión lineal múltiple sea explícitamente aceptable, se establece la evaluación de los factores referentes de P y error estándar; dado que los coeficientes de las variables más representativas son con relación a los valores de P que sean menores a 0,05 y poseer un error estándar proporcionalmente bajo. De igual forma, otro de los factores es el coeficiente R^2 -ajustado que plantea un porcentaje de correlación, catalogándolo como bueno todo el posea más del 70%. Se expone a continuación en la tabla N.3 los resultados de un análisis lineal múltiple y catalogar que todos se encuentra en el anexo 8.

Tabla 3: Resumen estadístico de regresión lineal múltiple con datos logarítmicos para Ángulo de Fricción (Alternativa 2)

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	Valor P
Constante	-7,72004	1,68845	-4,56661	0,0010
% Arenas	2,38379	0,49072	4,85778	0,0007
% Finos	3,33022	0,53029	6,28005	0,0001
Gravedad Especifica	-1.35616	0,47158	-2,87579	0,0165
% Índice plástico	-0,08923	0,02646	-3,37212	0,0071
Error estándar residuos	Coefficiente correlación	R²	R²ajustado	
0,02227	0,9189	84,4296%	78,2015%	

Al observar la tabla 3 el estadístico R^2 -ajustado que es 78,2015%, el error estándar estimado de la muestra respecto a la desviación estándar de los residuos es 0,02227, el error estándar mejor estimado de las variables independientes es del 0,53029 que corresponde al %Finos; y para el valor-P más alto de las variables independientes es 0,0165 que corresponde a Gravedad específica. Se explicita que el modelo es apropiado con el número de variables independientes presentadas.

En la construcción de las correlaciones de acuerdo con el modelo de las variables dependientes se presentan en la tabla 4.

Tabla 4: Correlaciones de las variables dependientes e independientes logarítmicas.

Ángulo de fricción (Alternativa 1)	
$\Phi =$	$- 8,17769 - 6,87444*n + 2,77941*W + 2,75395*%Arenas + 3,2925*%Finos + 0,435771*LP + 10,3126*pd - 2,90633*Sat + 7,71421*\gamma_{sum}$
Cohesión (Alternativa 1)	
$C =$	$- 68,2698 + 3,2025*W - 17,1198*p + 78,7199*Gs + 1,87412*LL - 3,13238*LP - 0,48888*IP + 203,813*pd + 11,5289*e - 157,443*\gamma_{sum}$
Ángulo de fricción (Alternativa 2)	
$\Phi =$	$- 7,71049 + 2,38379*%Arenas + 3,33022*%Finos + 1,35616*Gs - 0,0892259*IP$
Cohesión (Alternativa 2)	
$C =$	$4,03007 + 2,58933*p - 1,93092*LP - 0,18782*IP$

Nota: Las correlaciones de la tabla 4, las variables independientes y dependientes trabajan en valor logarítmico, se recomienda utilizar todos los decimales para obtener resultados más precisos.

Donde, (en función logarítmica):

ϕ =Ángulo de fricción interna del suelo (grados)

C= Cohesión (KPa)

%W= Contenido de humedad del suelo (%)

%Arenas= Porcentaje de arenas (%)

%Finos= Porcentaje de finos (%)

Gs= Gravedad específica

ρ = Densidad natural (g/cm^3)

LL= Límite líquido (%)

LP= Límite plástico (%)

IP= Índice plástico (%)

e= Relación de vacíos

n= Porosidad

ρ_d = Densidad seca (g/cm^3)

S= Porcentaje de saturación (%)

γ_{sum} = Peso específico sumergido ($g-f/cm^3$)

Para un resumen rápido de los análisis de regresión lineal múltiple se detallan en la tabla N.5.

Tabla 5: Resumen estadístico lineal múltiple de las variables dependientes logarítmicas.

Variable dependiente	Alternativa	Error Estándar Variable	Razón P	R ² ajustado
Ángulo fricción	Alternativa 1	1,91269	0,0166	99,2261%
	Alternativa 2	0,53029	0,0165	78,2015%
Cohesión	Alternativa 1	25,3341	0,01799	99,2228%
	Alternativa 2	0,63200	0,0021	91,0938%

3.1.2. Análisis de Varianza (ANOVA)

Para que una variable sea viablemente significativa, se analiza de valores de acuerdo con la razón F y el valor-P respectivamente, dado que estos valores son inversamente proporcionales.

Para un mejor detalle con respecto a los resultados de análisis, se expone un ejemplo obtenido de la variable dependiente cohesión, extraído del anexo 9.

Tabla 6: Resumen estadístico de valores logarítmicos ANOVA para Cohesión (Alternativa 2)

Fuente	Suma de cuadrados	Grado libertad	Cuadrado medio	Razón F	Valor P
Densidad Natural	0,0131662	1	0,0131662	7,65	0.0184
%Límite líquido	0,21092	1	0,21092	122,48	<0,0001
Índice plástico	0,0276629	1	0,0276629	16,06	0.0021
Modelo	0,251749	3			

Al exponer la tabla 6, se acata que valores con respecto a valor-P, son absolutamente menores a 0,05; que de igual manera las cifras de la razón F son inversamente altas. Sobreentendiendo que las variables independientes son mediáticamente significativas con respecto a las variables dependientes.

3.1.3. Intervalos de Confianza

Los intervalos de confianza dentro del campo de análisis, chequea la limitación estadística de los valores que pueden ser incluidos dentro de las correlaciones, de las variables independientes respecto hacia las variables dependientes; descartando toda variable que tengan valores menores o iguales al cero de acuerdo con los valores decimales y no en base logarítmica. Los resultados se indican en el anexo 10.

Tabla 7: Límites de confianza de valores logarítmicos del ángulo de fricción (Alternativa 2)

	Límite Inferior	Límite Superior
%Arena	1,6012	1,64649
%Finos	1,73587	1,77877
Gravedad Específica	0,38666	0,401105
%Índice plástico	0,371752	0,663803

Tabla 8: Límites de confianza de valores decimales del ángulo de fricción (Alternativa 2)

	Límite Inferior	Límite Superior
% Arena	39,9263	44,3088
% Finos	54,4340	60,0855
Gravedad Específica	2,4359	2,51829
% Índice plástico	2,3537	4,61108

Nota: Para la utilización de las correlaciones se limitan los valores que se encuentren fuera del rango de los intervalos de confianza, esto debido a la presencia de errores mucho mayores.

Conforme al ejemplo que se presenta en la tabla 8, se tiene que la mayoría de las variables independientes poseen sus valores dentro de los rangos de los límites establecidos, favoreciendo la estimación de la regresión lineal múltiple.

3.1.4. Supuestos Residuales

En este punto del análisis, se verifican los resultados que describen las pruebas de los supuestos con respecto a los residuos; pretenda ser efectiva a la "Hipótesis Nula" toda prueba que posea su valor-P mayor del 0,05. Para la exhibición de los resultados, se encuentran en el anexo 11.

Tabla 9: Límites de confianza de valores decimales de Cohesión (Alternativa 1)

	Supuestos residuales	Prueba	Valor-P (>0,05)
ANOVA	Independencia	Durbin-Watson	0,37
	Normalidad	Shapiro-Wilk	0,36
	Homocedasticidad	Levene's	0,74

De acuerdo con los resultados de la prueba ANOVA enfocadas en la tabla 9, se concluye como efectivas las pruebas de independencia, normalidad y Homocedasticidad de los supuestos de residuos.

3.1.5. Graficas de variables dependientes observadas y predichas.

El análisis para esta sección es la inspección a través de medios gráficos con el fin de detallar los datos a través de puntos; con respecto a una línea de tendencia cercana a los 45° indicando forma más implícita el coeficiente de correlación. A continuación, se toma como ejemplo en la gráfica N. 13, describiendo los valores con respecto a la variable dependiente de ángulo de fricción alternativa 1. Anexo 12.

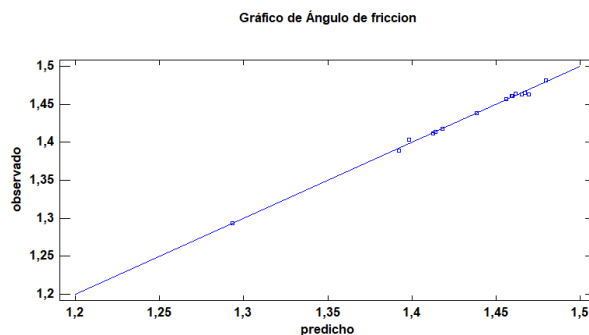


Figura 13. Gráfica de Ángulo de fricción predicho vs observado (Alternativa 1)

Como se observa en la figura N. 13, los valores presentes no influyen directamente en la existencia de valores atípicos o en la de una distribución asimétrica, esto con el fin de no realizar modificaciones en el modelo de la regresión lineal múltiple de la variable de ángulo de fricción (alternativa 2). Este tipo de gráficas permite estimar la relación que poseen dos valores; el valor observado (dato decimal) versus el valor predicho (dato de correlación) a través de una línea de tendencia, seleccionando el valor más representativo entre los dos.

3.1.6. Similitud de medias

La similitud de medias se realiza con respecto al estudio de la hipótesis nula, que indica la media de un grupo es igual a la media de otro, a través del parámetro de valor-P, efectuando aceptabilidad cuando su valor es mayor al 0,05 caso contrario se rechaza. Anexo 13.

Tabla 9: Resumen de la prueba t-Student de la variable ángulo de fricción (Alternativa 1)

	Ángulo de fricción	Corr. Ángulo de fricción
Media de muestra (valor logarítmico)	1,43738	1,43749
Media de muestra (valor decimal)	27,377	27,384
Valor-t	Grados de libertad	Valor-P
-0,00054	14	0,9996

Con respecto al valor-P que es del 0,9996 se determina, la aprobación de la hipótesis nula. Llegando a detallar que el valor cuantitativo de las medias del grupo de Carcelén, son relativamente semejantes a las de los grupos de Argelia Alta y Valle de Tumbaco, y de igual manera el grupo de Argelia Alta es semejante al del Valle de Tumbaco.

3.1.7. Errores relativos entre los valores observados y valores de correlación.

El margen de error descrito en la tabla 10, nos proporciona información sobre la precisión de las variables observadas en relación con las variables correlacionadas.

Tabla 10: Resultados del ángulo de fricción y correlación de ángulo de fricción con su error estándar (Alternativa 2).

MUESTRA	Ángulo de fricción (°)	Ángulo de fricción correlacionado (°)	Error (%)
Tumbaco 1	1,41417	1,41528	0,078
Tumbaco 2	1,29306	1,29950	0,498
Tumbaco 3	1,41192	1,41474	0,200
Tumbaco 4	1,40360	1,41237	0,625
Tumbaco 5	1,38898	1,41726	2,036
Argelia 6	1,43857	1,42627	0,855
Argelia 7	1,45743	1,42866	1,974
Argelia 8	1,46285	1,44551	1,185
Argelia 9	1,41810	1,44993	2,245
Argelia 10	1,46081	1,45824	0,176
Carcelén 11	1,48202	1,47230	0,656
Carcelén 12	1,46364	1,48717	1,608
Carcelén 13	1,46416	1,46380	0,025
Carcelén 14	1,46585	1,46706	0,083
Carcelén 15	1,46081	1,42789	2,254

En la tabla 10, se presentan los rangos recomendados para los datos del ángulo de fricción. Al observar los resultados, se nota que dos de las 15 muestras se encuentran fuera de esos rangos, lo que genera un error del 2,254% para la muestra Carcelén 15.

Según los datos recopilados en el resumen estadístico del anexo 14, se obtienen los siguientes porcentajes medios de errores relativos:

- Ángulo de fricción (Alternativa 1): 0,1345%
- Cohesión (Alternativa 1): 0,2988%
- Cohesión (Alternativa 2): 1,5671%

4. Conclusiones

Las regresiones polinómicas desarrolladas muestran coeficientes de determinación ajustados R^2_{ajus} superiores al 75%. En particular, la variable cohesión obtiene un valor del 99% en la alternativa 1 y 91% en la alternativa 2, dejando una media de 95% lo cual indica un ajuste muy bueno entre el modelo y los datos. Por otro lado, la variable dependiente ángulo de fricción alcanza un valor del 99% en la alternativa 1 y 78% en la alternativa 2, dejando una media de 88% lo cual se considera aceptable dentro de un rango adecuado.

Después de someter las variables independientes a pruebas estadísticas para el modelo ANOVA y regresión polinómica, se encontró que las variables ángulo de fricción y cohesión cumplen con todos los supuestos evaluados. Esto indica que las ecuaciones obtenidas son matemáticamente aplicables, siempre y cuando los errores no sean altos. Sin embargo, se recomienda dar mayor importancia a la variable cohesión debido a que cumple de manera más consistente con el supuesto de independencia requerido para el modelo de ANOVA.

Se recomienda evitar el uso de las correlaciones desarrolladas para el ángulo de fricción y cohesión en suelos gravosos. Esto se

debe a que las ecuaciones encontradas se basan en suelos donde predominan los finos, y es posible que, al probarlas en suelos gravosos, los resultados no se ajusten a la línea de tendencia esperada y los errores sean elevados. Por lo tanto, es necesario tener precaución al aplicar estas correlaciones en condiciones de suelos gravosos, ya que podrían no ser adecuadas en dicho caso.

Los resultados de esta investigación han proporcionado ecuaciones que serían útiles para el estudio de suelos donde los componentes finos predominen y en áreas cercanas a las ubicaciones de las muestras. Estas ecuaciones permiten calcular el ángulo de fricción y la cohesión del suelo solo conociendo su tipo, contenido de humedad y densidad, evitando así la necesidad de realizar otros ensayos y logrando ahorros financieros en el proceso.

Los resultados de esta investigación han generado ecuaciones basadas en valores logarítmicos. Por lo tanto, se sugiere transformar los datos decimales de las variables independientes a su forma logarítmica antes de utilizar las correlaciones obtenidas. Esto permitirá una mejor aplicabilidad y precisión al utilizar las ecuaciones desarrolladas en el análisis.

Después de obtener los resultados de las variables dependientes en su forma logarítmica, se realiza la conversión de los resultados a su valor decimal. Esta conversión se realiza con el propósito de obtener una mejor comprensión y apreciación de los parámetros de resistencia al corte del suelo.

Basándose en la revisión de investigaciones previas y en el desarrollo de este estudio, se concluye que factores como la humedad, la aplicación de carga constante, los vacíos o porosidad de la muestra y la profundidad pueden influir en las propiedades mecánicas de los suelos.

Referencias

- [1] D. Salazar, F. Demores, N. Bermudez, "De Trébol a girasol: consecuencias de un hundimiento ocurrido el 31 de marzo de 2008 en un eje esencial de la red vial de la ciudad de Quito" [En línea]. Ecuador: OpenEdition Journals, 2009 Disponible en: <https://journals.openedition.org/bifea/2360?lang=en#tocto1n3>
- [2] E. Jácome, "94% de construcciones en Quito no están listas para un terremoto" [En línea]. Ecuador: El Comercio, 2022 Disponible en: <https://www.elcomercio.com/actualidad/seguridad/casas-construccion-sismos-peligro-quito.html>.
- [3] V. Silva, "En Solanda, al sur de Quito, 43 casa están destruidas y 233 presentan daños; sus propietarios exigen soluciones, pero ni la empresa que construye el Metro ni la Alcaldía responden" [En línea]. Ecuador: El Universo, 2021 Disponible en: <https://www.eluniverso.com/noticias/ecuador/en-solanda-al-sur-de-quito-43-casas-estan-destruidas-y-233-presentan-danos-sus-propietarios-exigen-soluciones-pero-ni-la-empresa-que-construye-el-metro-ni-la-alcaldia-responden-nota/>
- [4] El Telégrafo, "En Turubamaba piden atención al hundimiento de sus casas" [En línea]. Ecuador: El Telégrafo, 2011 Disponible en: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/quito/1/en-turubamba-piden-atencion-al-hundimiento-de-sus-casas>
- [5] F. Caiza, F. Tenesaca, "Correlación entre el ángulo de fricción y relación de vacíos en arenas utilizando el ensayo de corte directo" Proyecto de titulación, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. Agos. 2019.
- [6] K. Jaramillo, Y. Naranjo, "Correlaciones múltiples entre propiedades geomecánicas, velocidades de onda de compresión (VP), corte (VS) y datos de clasificación SUCS en

- el suelo de cimentación del bloque G de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito - Campus Sur” Proyecto de titulación, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. Jun. 2021.
- [7] W. Paucar, “Correlación entre el coeficiente de compresibilidad versus el porcentaje de humedad, relación de vacíos y el límite líquido de los suelos del barrio el Garrochal” Proyecto de titulación, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. Mar. 2019.
- [8] V. Aguirre, S. Yépez, “Manual de laboratorio para ensayos de propiedades físicas y mecánicas de los suelos” Proyecto de titulación, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. Sep. 2019.
- [9] Frankie, “Muestras inalteradas” [En línea]. Estudios geotécnicos, 2019 Disponible en: <https://estudiosgeotecnicos.info/index.php/muestras-inalteradas/>
- [10] StatPoint, “Regresión Polinomial”, 2005. Disponible en: <https://www.statgraphics.net/wp-content/uploads/2011/12/tutoriales/Regresion%20Polinomial.pdf>
- [11] J. Amat, “Introducción a la regresión lineal múltiple” [En línea]. Ciencia de datos, 2016 Disponible en: <https://www.cienciadedatos.net/documentos/25-regresion-lineal-multiple#Introduccion%20a%20la%20regresion-lineal-multiple>
- [12] J. Amat, “ANOVA análisis de varianza para comparar múltiples medias” [En línea]. Ciencia de datos, 2016 Disponible en: <https://www.cienciadedatos.net/documentos/19-anova>
- [13] J. Serret, “Procedimientos estadísticos con Statgraphics”, [En línea]. 1998. Disponible en: <https://www.google.com.ec/books/edition/Procedimientos-estadisticos/812eR6i9Gj4C?hl=es&gbpv=1&dq=metodologia+anova&pg=PA233&printsec=frontcover>
- [14] C. Batanero, C. Diaz, “Análisis de datos con Statgraphics” [En línea]. Granada, 2008. Disponible en: <https://www.ugr.es/~batanero/pages/ARTICULOS/anadatos.pdf>
- [15] Minitab, “Explicación de análisis de media” [En línea]. <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/20/help-and-how-to/statistical-modeling/anova/supporting-topics/basics/understanding-analysis-of-means/>

Anexo 1. Datos de laboratorio

Angulo de fricción

MUESTRA	Profundidad (m)	SUCS	ϕ (°)	W (%)	Arenas (%)	Finos (%)	ρ (g/cm ³)	Gs	LL (%)	LP (%)	IP (%)	n
Tumbaco 1	2,00	CL-ML	25,952	13,184	41,919	58,081	1,696	2,585	24,653	20,293	4,360	0,420
Tumbaco 2	1,50	SM	19,636	12,927	51,790	43,945	1,741	2,483	21,915	20,552	1,363	0,379
Tumbaco 3	1,50	CL-ML	25,818	12,880	42,107	57,893	1,724	2,515	25,389	18,704	6,685	0,393
Tumbaco 4	1,50	CL-ML	25,328	12,694	41,559	58,316	1,655	2,537	24,207	18,463	5,744	0,421
Tumbaco 5	1,50	CL-ML	24,489	12,778	40,440	59,560	1,600	2,534	23,287	17,801	5,486	0,440
Argelia 6	1,75	ML	27,452	34,694	37,891	61,917	1,828	2,590	33,383	31,060	2,323	0,476
Argelia 7	1,75	ML	28,670	34,814	35,136	64,627	1,810	2,425	34,738	30,812	3,926	0,446
Argelia 8	1,75	ML	29,030	34,408	40,191	59,809	1,790	2,400	33,842	27,854	5,988	0,445
Argelia 9	1,75	ML	26,188	34,229	37,656	62,344	1,753	2,355	34,303	28,430	5,873	0,445
Argelia 10	1,75	ML	28,894	34,375	43,113	56,700	1,668	2,363	33,293	28,437	4,856	0,475
Carcelén 11	1,90	SM	30,340	10,903	43,671	56,329	1,562	2,488	26,799	25,103	1,695	0,434
Carcelén 12	1,90	SM	29,083	10,890	42,642	57,287	1,604	2,518	25,738	24,777	0,961	0,425
Carcelén 13	1,90	SM	29,118	10,793	43,030	56,541	1,627	2,457	26,014	24,028	1,986	0,402
Carcelén 14	1,90	SM	29,231	10,799	45,158	54,842	1,613	2,410	25,415	22,571	2,844	0,396
Carcelén 15	1,90	SM	28,894	10,898	47,236	52,711	1,606	2,507	26,252	22,991	3,261	0,422

MUESTRA	Profundidad (m)	SUCS	ϕ (°)	e	ρ_d (g/cm ³)	S (%)	γ (gf/cm ³)	γ_d (gf/cm ³)	γ_{sat} (gf/cm ³)	γ_{sum} (gf/cm ³)	Wsat (%)
Tumbaco 1	2,00	CL-ML	25,952	0,725	1,498	47,013	1,696	1,498	1,919	0,919	28,044
Tumbaco 2	1,50	SM	19,636	0,610	1,542	52,602	1,741	1,542	1,921	0,921	24,574
Tumbaco 3	1,50	CL-ML	25,818	0,646	1,528	50,115	1,724	1,528	1,920	0,920	25,701
Tumbaco 4	1,50	CL-ML	25,328	0,728	1,468	44,237	1,655	1,468	1,890	0,890	28,695
Tumbaco 5	1,50	CL-ML	24,489	0,786	1,419	41,206	1,600	1,419	1,859	0,859	31,010
Argelia 6	1,75	ML	27,452	0,909	1,357	98,856	1,828	1,357	1,833	0,833	35,095
Argelia 7	1,75	ML	28,670	0,806	1,343	100,00	1,810	1,343	1,789	0,789	33,246
Argelia 8	1,75	ML	29,030	0,802	1,332	100,00	1,790	1,332	1,777	0,777	33,430
Argelia 9	1,75	ML	26,188	0,803	1,306	100,00	1,753	1,306	1,751	0,751	34,108
Argelia 10	1,75	ML	28,894	0,903	1,241	89,917	1,668	1,241	1,716	0,716	38,230
Carcelén 11	1,90	SM	30,340	0,766	1,409	35,403	1,562	1,409	1,843	0,843	30,796
Carcelén 12	1,90	SM	29,083	0,740	1,447	37,044	1,604	1,447	1,872	0,872	29,398
Carcelén 13	1,90	SM	29,118	0,673	1,468	39,389	1,627	1,468	1,871	0,871	27,402
Carcelén 14	1,90	SM	29,231	0,656	1,455	39,680	1,613	1,455	1,852	0,852	27,216
Carcelén 15	1,90	SM	28,894	0,731	1,448	37,350	1,606	1,448	1,870	0,870	29,179

Cohesión

MUESTRA	Profundidad (m)	SUCS	C (KPa)	W (%)	Arenas (%)	Finos (%)	ρ (g/cm ³)	Gs	LL (%)	LP (%)	IP (%)	n
Tumbaco 1	2,00	CL-ML	107,670	13,184	41,919	58,081	1,696	2,585	24,653	20,293	4,360	0,420
Tumbaco 2	1,50	SM	122,400	12,927	51,790	43,945	1,741	2,483	21,915	20,552	1,363	0,379
Tumbaco 3	1,50	CL-ML	102,400	12,880	42,107	57,893	1,724	2,515	25,389	18,704	6,685	0,393
Tumbaco 4	1,50	CL-ML	106,940	12,694	41,559	58,316	1,655	2,537	24,207	18,463	5,744	0,421
Tumbaco 5	1,50	CL-ML	100,280	12,778	40,440	59,560	1,600	2,534	23,287	17,801	5,486	0,440
Argelia 6	1,75	ML	55,808	34,694	37,891	61,917	1,828	2,590	33,383	31,060	2,323	0,476
Argelia 7	1,75	ML	47,860	34,814	35,136	64,627	1,810	2,425	34,738	30,812	3,926	0,446
Argelia 8	1,75	ML	53,219	34,408	40,191	59,809	1,790	2,400	33,842	27,854	5,988	0,445
Argelia 9	1,75	ML	60,764	34,229	37,656	62,344	1,753	2,355	34,303	28,430	5,873	0,445
Argelia 10	1,75	ML	47,860	34,375	43,113	56,700	1,668	2,363	33,293	28,437	4,856	0,475
Carcelén 11	1,90	SM	61,809	10,903	43,671	56,329	1,562	2,488	26,799	25,103	1,695	0,434
Carcelén 12	1,90	SM	84,698	10,890	42,642	57,287	1,604	2,518	25,738	24,777	0,961	0,425
Carcelén 13	1,90	SM	66,564	10,793	43,030	56,541	1,627	2,457	26,014	24,028	1,986	0,402
Carcelén 14	1,90	SM	65,741	10,799	45,158	54,842	1,613	2,410	25,415	22,571	2,844	0,396
Carcelén 15	1,90	SM	62,826	10,898	47,236	52,711	1,606	2,507	26,252	22,991	3,261	0,422

MUESTRA	Profundidad (m)	SUCS	C (KPa)	e	ρ_d (g/cm ³)	S (%)	γ (gf/cm ³)	γ_d (gf/cm ³)	γ_{sat} (gf/cm ³)	γ_{sum} (gf/cm ³)	Wsat (%)
Tumbaco 1	2,00	CL-ML	107,670	0,725	1,498	47,013	1,696	1,498	1,919	0,919	28,044
Tumbaco 2	1,50	SM	122,400	0,610	1,542	52,602	1,741	1,542	1,921	0,921	24,574
Tumbaco 3	1,50	CL-ML	102,400	0,646	1,528	50,115	1,724	1,528	1,920	0,920	25,701
Tumbaco 4	1,50	CL-ML	106,940	0,728	1,468	44,237	1,655	1,468	1,890	0,890	28,695
Tumbaco 5	1,50	CL-ML	100,280	0,786	1,419	41,206	1,600	1,419	1,859	0,859	31,010
Argelia 6	1,75	ML	55,808	0,909	1,357	98,856	1,828	1,357	1,833	0,833	35,095
Argelia 7	1,75	ML	47,860	0,806	1,343	100,00	1,810	1,343	1,789	0,789	33,246
Argelia 8	1,75	ML	53,219	0,802	1,332	100,00	1,790	1,332	1,777	0,777	33,430
Argelia 9	1,75	ML	60,764	0,803	1,306	100,00	1,753	1,306	1,751	0,751	34,108
Argelia 10	1,75	ML	47,860	0,903	1,241	89,917	1,668	1,241	1,716	0,716	38,230
Carcelén 11	1,90	SM	61,809	0,766	1,409	35,403	1,562	1,409	1,843	0,843	30,796
Carcelén 12	1,90	SM	84,698	0,740	1,447	37,044	1,604	1,447	1,872	0,872	29,398
Carcelén 13	1,90	SM	66,564	0,673	1,468	39,389	1,627	1,468	1,871	0,871	27,402
Carcelén 14	1,90	SM	65,741	0,656	1,455	39,680	1,613	1,455	1,852	0,852	27,216
Carcelén 15	1,90	SM	62,826	0,731	1,448	37,350	1,606	1,448	1,870	0,870	29,179

Anexo 2. Datos logarítmicos utilizados para cada modelo

Angulo de fricción

MUESTRA	Profundidad (m)	SUCS	ϕ (°)	W (%)	Arenas (%)	Finos (%)	ρ (g/cm ³)	Gs	LL (%)	LP (%)	IP (%)	n
Tumbaco 1	2,00	CL-ML	1,414	1,120	1,622	1,764	0,229	0,412	1,392	1,307	0,639	-0,377
Tumbaco 2	1,50	SM	1,293	1,111	1,714	1,643	0,241	0,395	1,341	1,313	0,134	-0,421
Tumbaco 3	1,50	CL-ML	1,412	1,110	1,624	1,763	0,237	0,401	1,405	1,272	0,825	-0,406
Tumbaco 4	1,50	CL-ML	1,404	1,104	1,619	1,766	0,219	0,404	1,384	1,266	0,759	-0,375
Tumbaco 5	1,50	CL-ML	1,389	1,106	1,607	1,775	0,204	0,404	1,367	1,250	0,739	-0,357
Argelia 6	1,75	ML	1,439	1,540	1,579	1,792	0,262	0,413	1,524	1,492	0,366	-0,322
Argelia 7	1,75	ML	1,457	1,542	1,546	1,810	0,258	0,385	1,541	1,489	0,594	-0,350
Argelia 8	1,75	ML	1,463	1,537	1,604	1,777	0,253	0,380	1,529	1,445	0,777	-0,352
Argelia 9	1,75	ML	1,418	1,534	1,576	1,795	0,244	0,372	1,535	1,454	0,769	-0,351
Argelia 10	1,75	ML	1,461	1,536	1,635	1,754	0,222	0,373	1,522	1,454	0,689	-0,324
Carcelén 11	1,90	SM	1,482	1,038	1,640	1,751	0,194	0,396	1,428	1,400	0,229	-0,363
Carcelén 12	1,90	SM	1,464	1,037	1,630	1,758	0,205	0,401	1,411	1,394	-0,018	-0,371
Carcelén 13	1,90	SM	1,464	1,033	1,634	1,752	0,211	0,390	1,415	1,381	0,298	-0,395
Carcelén 14	1,90	SM	1,466	1,033	1,655	1,739	0,208	0,382	1,405	1,354	0,454	-0,402
Carcelén 15	1,90	SM	1,461	1,037	1,674	1,722	0,206	0,399	1,419	1,362	0,513	-0,374

MUESTRA	Profundidad (m)	SUCS	ϕ (°)	e	ρ_d (g/cm ³)	S (%)	γ (gf/cm ³)	γ_d (gf/cm ³)	γ_{sat} (gf/cm ³)	γ_{sum} (gf/cm ³)	Wsat (%)
Tumbaco 1	2,00	CL-ML	1,414	-0,140	0,176	1,672	0,229	0,176	0,283	-0,037	1,448
Tumbaco 2	1,50	SM	1,293	-0,215	0,188	1,721	0,241	0,188	0,284	-0,036	1,390
Tumbaco 3	1,50	CL-ML	1,412	-0,190	0,184	1,700	0,237	0,184	0,283	-0,036	1,410
Tumbaco 4	1,50	CL-ML	1,404	-0,138	0,167	1,646	0,219	0,167	0,276	-0,051	1,458
Tumbaco 5	1,50	CL-ML	1,389	-0,105	0,152	1,615	0,204	0,152	0,269	-0,066	1,491
Argelia 6	1,75	ML	1,439	-0,041	0,133	1,995	0,262	0,133	0,263	-0,079	1,545
Argelia 7	1,75	ML	1,457	-0,094	0,128	2,000	0,258	0,128	0,253	-0,103	1,522
Argelia 8	1,75	ML	1,463	-0,096	0,124	2,000	0,253	0,124	0,250	-0,110	1,524
Argelia 9	1,75	ML	1,418	-0,095	0,116	2,000	0,244	0,116	0,243	-0,124	1,533
Argelia 10	1,75	ML	1,461	-0,044	0,094	1,954	0,222	0,094	0,235	-0,145	1,582
Carcelén 11	1,90	SM	1,482	-0,116	0,149	1,549	0,194	0,149	0,265	-0,074	1,489
Carcelén 12	1,90	SM	1,464	-0,131	0,160	1,569	0,205	0,160	0,272	-0,059	1,468
Carcelén 13	1,90	SM	1,464	-0,172	0,167	1,595	0,211	0,167	0,272	-0,060	1,438
Carcelén 14	1,90	SM	1,466	-0,183	0,163	1,599	0,208	0,163	0,268	-0,070	1,435
Carcelén 15	1,90	SM	1,461	-0,136	0,161	1,572	0,206	0,161	0,272	-0,060	1,465

Cohesión

MUESTRA	Profundidad (m)	SUCS	C (KPa)	W (%)	Arenas (%)	Finos (%)	ρ (g/cm ³)	Gs	LL (%)	LP (%)	IP (%)	n
Tumbaco 1	2,00	CL-ML	2,032	1,120	1,622	1,764	0,229	0,412	1,392	1,307	0,639	-0,377
Tumbaco 2	1,50	SM	2,088	1,111	1,714	1,643	0,241	0,395	1,341	1,313	0,134	-0,421
Tumbaco 3	1,50	CL-ML	2,012	1,110	1,624	1,763	0,237	0,401	1,405	1,272	0,825	-0,406
Tumbaco 4	1,50	CL-ML	2,029	1,104	1,619	1,766	0,219	0,404	1,384	1,266	0,759	-0,375
Tumbaco 5	1,50	CL-ML	2,001	1,106	1,607	1,775	0,204	0,404	1,367	1,250	0,739	-0,357
Argelia 6	1,75	ML	1,747	1,540	1,579	1,792	0,262	0,413	1,524	1,492	0,366	-0,322
Argelia 7	1,75	ML	1,680	1,542	1,546	1,810	0,258	0,385	1,541	1,489	0,594	-0,350
Argelia 8	1,75	ML	1,726	1,537	1,604	1,777	0,253	0,380	1,529	1,445	0,777	-0,352
Argelia 9	1,75	ML	1,784	1,534	1,576	1,795	0,244	0,372	1,535	1,454	0,769	-0,351
Argelia 10	1,75	ML	1,680	1,536	1,635	1,754	0,222	0,373	1,522	1,454	0,689	-0,324
Carcelén 11	1,90	SM	1,791	1,038	1,640	1,751	0,194	0,396	1,428	1,400	0,229	-0,363
Carcelén 12	1,90	SM	1,928	1,037	1,630	1,758	0,205	0,401	1,411	1,394	-0,018	-0,371
Carcelén 13	1,90	SM	1,823	1,033	1,634	1,752	0,211	0,390	1,415	1,381	0,298	-0,395
Carcelén 14	1,90	SM	1,818	1,033	1,655	1,739	0,208	0,382	1,405	1,354	0,454	-0,402
Carcelén 15	1,90	SM	1,798	1,037	1,674	1,722	0,206	0,399	1,419	1,362	0,513	-0,374

MUESTRA	Profundidad (m)	SUCS	C (KPa)	e	ρ_d (g/cm ³)	S (%)	γ (gf/cm ³)	γ_d (gf/cm ³)	γ_{sat} (gf/cm ³)	γ_{sum} (gf/cm ³)	Wsat (%)
Tumbaco 1	2,00	CL-ML	2,032	-0,140	0,176	1,672	0,229	0,176	0,283	-0,037	1,448
Tumbaco 2	1,50	SM	2,088	-0,215	0,188	1,721	0,241	0,188	0,284	-0,036	1,390
Tumbaco 3	1,50	CL-ML	2,012	-0,190	0,184	1,700	0,237	0,184	0,283	-0,036	1,410
Tumbaco 4	1,50	CL-ML	2,029	-0,138	0,167	1,646	0,219	0,167	0,276	-0,051	1,458
Tumbaco 5	1,50	CL-ML	2,001	-0,105	0,152	1,615	0,204	0,152	0,269	-0,066	1,491
Argelia 6	1,75	ML	1,747	-0,041	0,133	1,995	0,262	0,133	0,263	-0,079	1,545
Argelia 7	1,75	ML	1,680	-0,094	0,128	2,000	0,258	0,128	0,253	-0,103	1,522
Argelia 8	1,75	ML	1,726	-0,096	0,124	2,000	0,253	0,124	0,250	-0,110	1,524
Argelia 9	1,75	ML	1,784	-0,095	0,116	2,000	0,244	0,116	0,243	-0,124	1,533
Argelia 10	1,75	ML	1,680	-0,044	0,094	1,954	0,222	0,094	0,235	-0,145	1,582
Carcelén 11	1,90	SM	1,791	-0,116	0,149	1,549	0,194	0,149	0,265	-0,074	1,489
Carcelén 12	1,90	SM	1,928	-0,131	0,160	1,569	0,205	0,160	0,272	-0,059	1,468
Carcelén 13	1,90	SM	1,823	-0,172	0,167	1,595	0,211	0,167	0,272	-0,060	1,438
Carcelén 14	1,90	SM	1,818	-0,183	0,163	1,599	0,208	0,163	0,268	-0,070	1,435
Carcelén 15	1,90	SM	1,798	-0,136	0,161	1,572	0,206	0,161	0,272	-0,060	1,465

Anexo 3. Dato de laboratorio Ensayo corte directo

MUESTRA	Profundidad (m)	SUCS	σ 100	σ 200	σ 400	Angulo de fricción ϕ (°)	Cohesión (KPa)
			Esfuerzos cortantes (KPa)				
Tumbaco 1	2,00	CL-ML	138,36	232,00	293,37	25,95	107,67
Tumbaco 2	1,50	SM	145,55	212,57	258,86	19,64	122,40
Tumbaco 3	1,50	CL-ML	132,39	227,52	286,89	25,82	102,71
Tumbaco 4	1,50	CL-ML	142,26	219,62	290,24	25,33	106,94
Tumbaco 5	1,50	CL-ML	128,43	217,49	273,79	24,49	100,28
Argelia 6	1,75	ML	95,73	177,75	257,59	27,45	55,81
Argelia 7	1,75	ML	91,09	174,41	260,85	28,67	47,86
Argelia 8	1,75	ML	93,99	174,57	265,65	29,03	53,22
Argelia 9	1,75	ML	93,54	183,73	249,28	26,19	60,76
Argelia 10	1,75	ML	89,10	176,31	261,07	28,89	47,86
Carcelén 11	1,90	SM	128,50	166,63	300,00	30,34	61,81
Carcelén 12	1,90	SM	138,13	199,20	306,07	29,08	84,69
Carcelén 13	1,90	SM	130,87	165,07	293,69	29,12	66,56
Carcelén 14	1,90	SM	130,09	165,07	293,77	29,23	65,74
Carcelén 15	1,90	SM	127,79	158,54	288,47	28,89	62,83

Anexo 4. Datos logarítmicos Ensayo corte directo utilizados para el modelo

MUESTRA	Profundidad (m)	SUCS	σ 100	σ 200	σ 400	Angulo de fricción ϕ (°)	Cohesión (KPa)
			Esfuerzos cortantes (KPa)				
Tumbaco 1	2,00	CL-ML	2,141	2,365	2,467	1,414	2,032
Tumbaco 2	1,50	SM	2,163	2,328	2,413	1,293	2,088
Tumbaco 3	1,50	CL-ML	2,122	2,357	2,458	1,412	2,012
Tumbaco 4	1,50	CL-ML	2,153	2,342	2,463	1,404	2,029
Tumbaco 5	1,50	CL-ML	2,109	2,337	2,437	1,389	2,001
Argelia 6	1,75	ML	1,981	2,250	2,411	1,439	1,747
Argelia 7	1,75	ML	1,959	2,242	2,416	1,457	1,680
Argelia 8	1,75	ML	1,973	2,242	2,424	1,463	1,726
Argelia 9	1,75	ML	1,971	2,264	2,397	1,418	1,784
Argelia 10	1,75	ML	1,950	2,246	2,417	1,461	1,680
Carcelén 11	1,90	SM	2,109	2,222	2,477	1,482	1,791
Carcelén 12	1,90	SM	2,140	2,299	2,486	1,464	1,928
Carcelén 13	1,90	SM	2,117	2,218	2,468	1,464	1,823
Carcelén 14	1,90	SM	2,114	2,218	2,468	1,466	1,818
Carcelén 15	1,90	SM	2,106	2,200	2,460	1,461	1,798

Anexo 5: Resumen del análisis de regresión lineal múltiple.

Resumen del análisis de regresión lineal múltiple con variable Ángulo de fricción (Alternativa 1)

Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico T	Valor-P
Constante	-8,17769	0,550809	-14,8467	<0,0001
Porosidad	-6,87444	1,11518	-6,16444	0,0008
%Humedad	2,77941	0,299551	9,27858	0,0001
%Arenas	2,75395	0,152248	18,0886	<0,0001
%Finos	3,2925	0,147938	22,2559	<0,0001
%Límite Plástico	0,435771	0,0235621	18,4945	<0,0001
Densidad Seca	-10,3126	3,13474	-3,28979	0,0166
%Saturación	-2,90633	0,302585	-9,60499	0,0001
Peso Esp. Sumergido	7,71421	1,91269	4,03317	0,0069
Error estándar residual	Coefficiente correlación	R²	R²-ajustado	
0,00411433	0,9984	99,6812%	99,2561%	

Resumen del análisis de regresión lineal múltiple con variable Ángulo de fricción (Alternativa 2)

Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico T	Valor-P
Constante	-7,71049	1,68845	-4,56661	0,0010
%Arenas	2,38379	0,490716	4,85778	0,0007
%Finos	3,33022	0,530286	6,28005	0,0001
Gravedad Especifica	-1,35616	0,471578	-2,87579	0,0165
Índice Plástico	-0,0892259	0,0264599	-3,37212	0,0071
Error estándar residual	Coefficiente correlación	R²	R²-ajustado	
0,0222719	0,9189	84,4296%	78,2015%	

Resumen del análisis de regresión lineal múltiple con variable Cohesión (Alternativa 1)

Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico T	Valor-P
Constante	-68,2698	11,8756	-5,74873	0,0022
%Humedad	3,2025	0,950091	3,37073	0,01799
Densidad natural	-17,1198	6,07174	-2,81958	0,0371
Gravedad específica	78,7199	16,7134	4,41	0,0053
%Límite líquido	1,87412	0,500052	3,74785	0,0133
%Límite plástico	-3,13238	0,426916	-7,33723	0,0007
%Índice plástico	-0,48888	0,0566437	-8,63079	0,0003
Densidad Seca	203,813	25,7153	7,92575	0,0005
Relación vacíos	11,5289	2,49013	4,62986	0,0057
Peso Esp. Sumergido	-157,443	25,3341	-6,21467	0,0016
Error estándar residual	Coefficiente correlación	R²	R²-ajustado	
0,0122589	0,9986	99,7224%	99,2228%	

Resumen del análisis de regresión lineal múltiple con variable Cohesión (Alternativa 2)

Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico T	Valor-P
Constante	4,03007	0,195489	20,6153	<0,0001
Densidad Natural	2,58933	0,632007	4,097	0,0018
Límite Plástico	-1,93092	0,164046	-11,7706	<0,0001
Índice Plástico	-0,18782	0,0468612	-4,00801	0,0021
Error estándar residual	Coefficiente correlación	R²	R²-ajustado	
0,0414973	0,96437	93,0022%	91,0938%	

Anexo 6: Resumen del análisis de varianza (ANOVA).

Resumen del análisis de varianza (ANOVA) Ángulo de fricción (Alternativa 1)

Fuente	Suma de Cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Porosidad	0,00602973	1	0,00602973	356,20	<0,0001
%Humedad	0,00261928	1	0,00261928	154,73	<0,0001
%Arenas	0,00135198	1	0,00135198	79,87	0,0001
%Finos	0,00999863	1	0,00999863	590,67	<0,0001
%Límite Plástico	0,0100842	1	0,0100842	595,72	<0,0001
Densidad Seca	0,000109553	1	0,000109553	6,47	0,0438
%Saturación	0,00128751	1	0,00128751	76,06	0,0001
Peso Esp.	0,000275354	1	0,000275354	16,27	0,0069
Sumergido	0,0317562	8			
Modelo					

Resumen del análisis de varianza (ANOVA) Ángulo de fricción (Alternativa 2)

Fuente	Suma de Cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
%Arenas	0,00407408	1	0,00407408	8,21	0,0168
%Finos	0,014805	1	0,014805	29,85	0,0003
Gravedad Específica	0,00237784	1	0,00237784	4,79	0,0534
Índice Plástico	0,00564053	1	0,00564053	11,37	0,0071
Modelo	0,0268974	4			

Resumen del análisis de varianza (ANOVA) Cohesión (Alternativa 1)

Fuente	Suma de Cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
%Humedad	0,111357	1	0,111357	740,99	<0,0001
Densidad natural	0,0527507	1	0,0527507	351,01	<0,0001
Gravedad específica	0,00639667	1	0,00639667	42,56	0,0013
%Límite líquido	0,0700914	1	0,0700914	466,40	<0,0001
%Límite plástico	0,007413	1	0,007413	49,33	0,0009
%Índice plástico	0,00829792	1	0,00829792	55,22	0,0007
Densidad Seca	0,00625145	1	0,00625145	41,60	0,0013
Relación vacíos	0,00157764	1	0,00157764	10,50	0,0229
Peso Esp.	0,00580416	1	0,00580416	38,62	0,0016
Sumergido	0,26994	9			
Modelo					

Resumen del análisis de varianza (ANOVA) Cohesión (Alternativa 2)

Fuente	Suma de Cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Densidad Natural	0,0131662	1	0,0131662	7,65	0,0184
Límite Líquido	0,21092	1	0,21092	122,48	<0,0001
Índice Plástico	0,0276629	1	0,0276629	16,06	0,0021
Modelo	0,251749	3			

Anexo 7: Resumen de límites de confianza.

Resumen de límites de confianza de valores logarítmicos Ángulo de fricción (Alternativa 1)

	Límite inferior	Límite Superior
Porosidad	-0,385205	-0,353529
%Humedad	1,10111	1,35479
%Arenas	1,60126	1,64649
%Finos	1,73587	1,77877
%Límite Plástico	1,33057	1,42036
Densidad Seca	0,135952	0,16552
%Saturación	1,64335	1,84822
Peso Esp. Sumergido	-0,092299	-0,055796

Resumen de límites de confianza de valores decimales Ángulo de fricción (Alternativa 1)

	Límite inferior	Límite Superior
Porosidad	0,41190	0,44307
%Humedad	12,6214	22,6355
%Arenas	39,9263	44,3088
%Finos	54,4339	60,0855
%Límite Plástico	21,4077	26,3244
Densidad Seca	1,3675	1,4639
%Saturación	43,9896	70,5050
Peso Esp. Sumergido	0,80854	0,87943

Resumen de límites de confianza de valores logarítmicos Ángulo de fricción (Alternativa 2)

	Límite inferior	Límite Superior
%Arenas	1,60126	1,64649
%Finos	1,73587	1,77877
Gravedad Específica	0,38666	0,401105
Índice Plástico	0,371752	0,663803

Resumen de límites de confianza de valores decimales Ángulo de fricción (Alternativa 2)

	Límite inferior	Límite Superior
%Arenas	39,9263	44,3088
%Finos	54,4340	60,0855
Gravedad Específica	2,4359	2,51829
Índice Plástico	2,3537	4,61108

Resumen de límites de confianza de valores logarítmicos Cohesión (Alternativa 1)

	Límite inferior	Límite Superior
%Humedad	1,10111	1,35479
Densidad natural	0,214053	0,238194

Gravedad específica	0,38666	0,401105
%Límite líquido	1,40313	1,47926
%Límite plástico	1,33057	1,42036
%Índice plástico	0,371752	0,663803
Densidad Seca	0,135952	0,16552
Relación vacíos	-0,153916	-0,0985259
Peso Esp.	-0,092299	-0,055796
Sumergido		

Resumen de límites de confianza de valores decimales Cohesión (Alternativa 1)

	Límite inferior	Límite Superior
%Humedad	12,6214	22,6355
Densidad natural	1,63702	1,73058
Gravedad específica	2,43590	2,51829
%Límite líquido	25,3006	30,14810
%Límite plástico	21,40770	26,32450
%Índice plástico	2,35370	4,61108
Densidad Seca	1,3675	1,4639
Relación vacíos	0,70159	0,79703
Peso Esp.	0,80854	0,87943
Sumergido		

Resumen de límites de confianza de valores logarítmicos Cohesión (Alternativa 2)

	Límite inferior	Límite Superior
Densidad Natural	0,214053	0,238194
Límite Plástico	1,33057	1,42036
Índice Plástico	0,371752	0,663803

Resumen de límites de confianza de valores decimales Cohesión (Alternativa 2)

	Límite inferior	Límite Superior
Densidad Natural	1,63702	1,73059
Límite Plástico	21,40769	26,32449
Índice Plástico	2,3537	4,61108

Anexo 8: Resumen de supuestos residuales.

Resumen de supuestos residuales Ángulo de fricción (Alternativa 1)

	Supuestos residuales	Prueba	Valor-P (>0,05)
ANOVA	Independencia	Durbin-Watson	0,92
	Normalidad	Shapiro-Wilk	0,88

Homocedasticidad Levene's 0,67

Resumen de supuestos residuales Ángulo de fricción (Alternativa 2)

	Supuestos residuales	Prueba	Valor-P (>0,05)
ANOVA	Independencia	Durbin-Watson	0,1520
	Normalidad	Shapiro-Wilk	0,705189
	Homocedasticidad	Levene's	0,606719

Resumen de supuestos residuales Cohesión (Alternativa 1)

	Supuestos residuales	Prueba	Valor-P (>0,05)
ANOVA	Independencia	Durbin-Watson	0,37
	Normalidad	Shapiro-Wilk	0,36
	Homocedasticidad	Levene's	0,74

Resumen de supuestos residuales Cohesión (Alternativa 2)

	Supuestos residuales	Prueba	Valor-P (>0,05)
ANOVA	Independencia	Durbin-Watson	0,0796
	Normalidad	Shapiro-Wilk	0,305839
	Homocedasticidad	Levene's	0,863995

Anexo 9: Similitud de medias.

Resumen de similitud de medias del Ángulo de fricción (Alternativa 1)

	Ángulo de fricción	Corr. Ángulo de fricción
Media de muestra (valor logarítmico)	1,43738	1,43749
	27,377	27,384
Media de muestra (valor decimal)		
Valor-t	Grados de libertad	Valor-P
-0,00054	14	0,9996

Resumen de similitud de medias del Ángulo de fricción (Alternativa 2)

	Ángulo de fricción	Corr. Ángulo de fricción
Media de muestra (valor logarítmico)	1,43738	1,43674
Media de muestra (valor decimal)	27,37663	27,33632
Valor-t	Grados de libertad	Valor-P
0,000112553	14	0,999911

Resumen de similitud de medias de Cohesión (Alternativa 1)

	Cohesión	Corr. Cohesión
Media de muestra (valor logarítmico)	1,86004	1,86033
	72,4503	72,4987
Media de muestra (valor decimal)		
Valor-t	Grados de libertad	Valor-P
0,00052	14	0,9996

Resumen de similitud de medias de Cohesión (Alternativa 2)

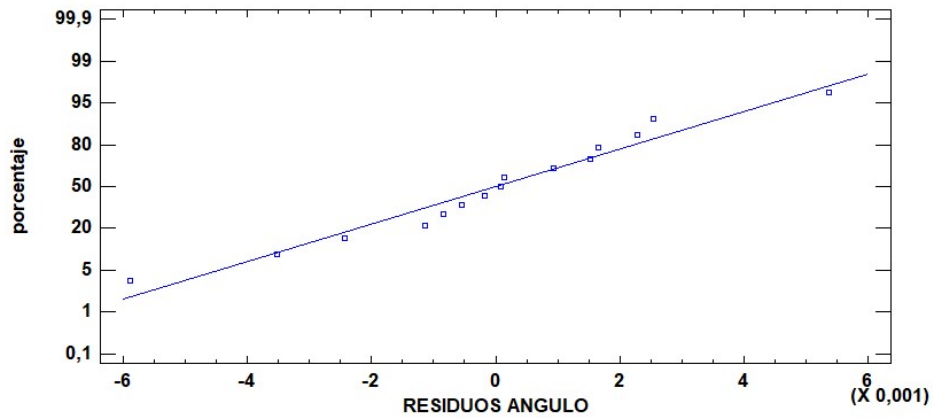
	Cohesión	Corr. Cohesión
Media de muestra (valor logarítmico)	1,86004	1,86031
	72,45026	72,49532
Media de muestra (valor decimal)		
Valor-t	Grados de libertad	Valor-P
0,0000194686	14	0,999985

Error porcentual entre similitud de medias decimales y logarítmicas

	Alternativa	Error entre valores decimales	Error entre valores logarítmicos
Ángulo fricción	Alternativa 1	0,02556	0,00765
	Alternativa 2	0,14745	0,04454
Cohesión	Alternativa 1	0,00369	0,00069
	Alternativa 2	0,06219	0,01451

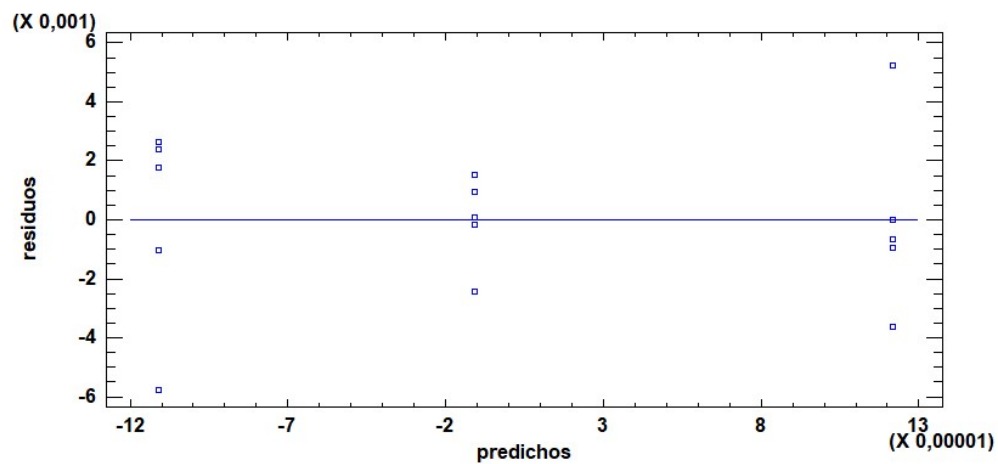
Anexo 10: Análisis gráfico de supuestos residuales regresión lineal múltiple.

Gráfico de Probabilidad Normal

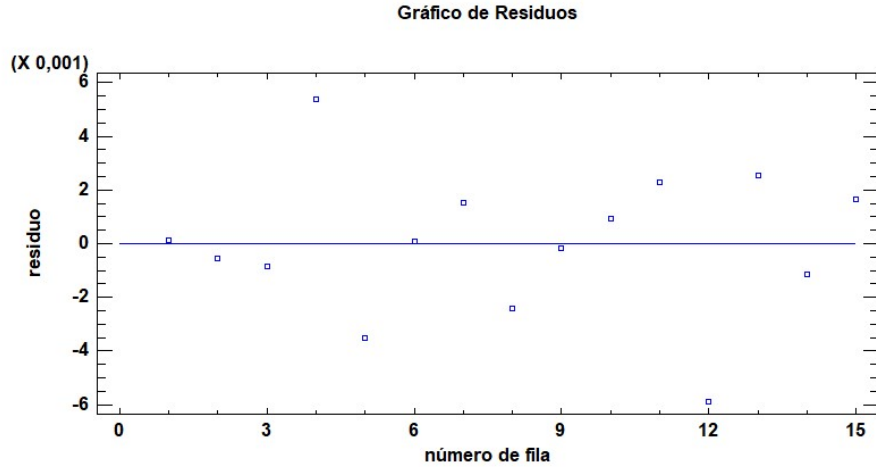


Verificación gráfica de test de normalidad para ángulo de fricción (Alternativa 1)

Gráfico de Residuos para RESIDUOS ANGULO



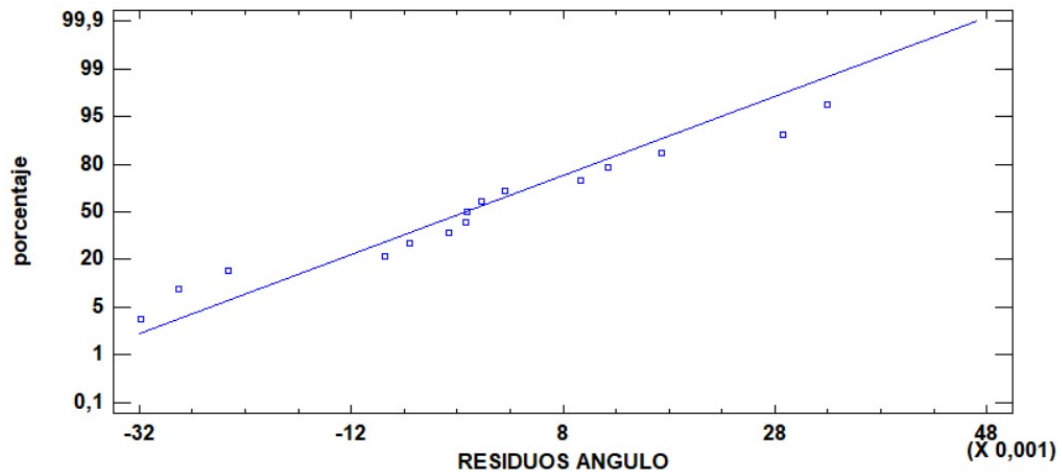
Verificación gráfica de test de Homocedasticidad para ángulo de fricción (Alternativa 1)



Verificación gráfica de test de Independencia para ángulo de fricción (Alternativa 1)

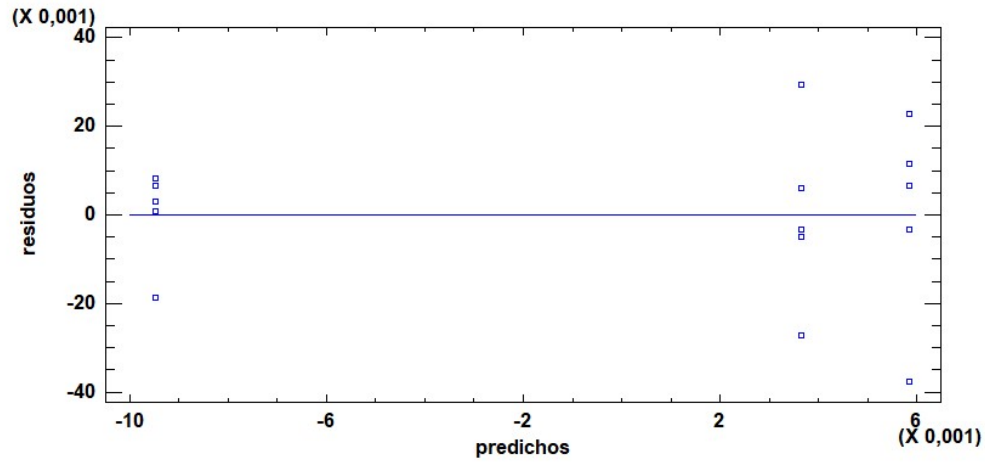
Anexo 11: Análisis gráfico de supuestos residuales regresión lineal múltiple.

Gráfico de Probabilidad Normal



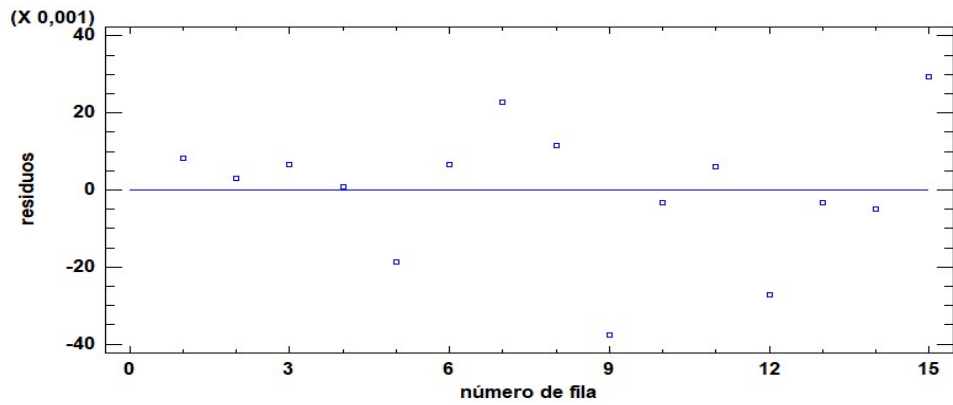
Verificación gráfica de test de normalidad para ángulo de fricción (Alternativa 2)

Gráfico de Residuos para RESIDUOS ANGULO



Verificación gráfica de test de Homocedasticidad para ángulo de fricción (Alternativa 2)

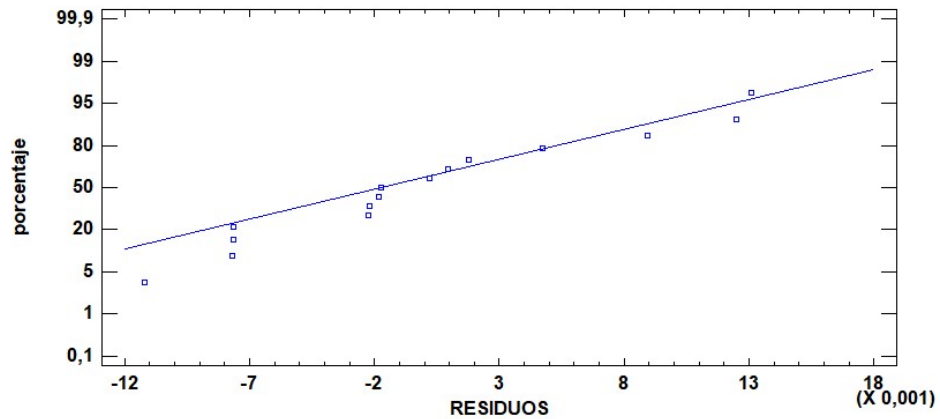
Gráfico de Residuos para RESIDUOS ANGULO



Verificación gráfica de test de Independencia para ángulo de fricción (Alternativa 2)

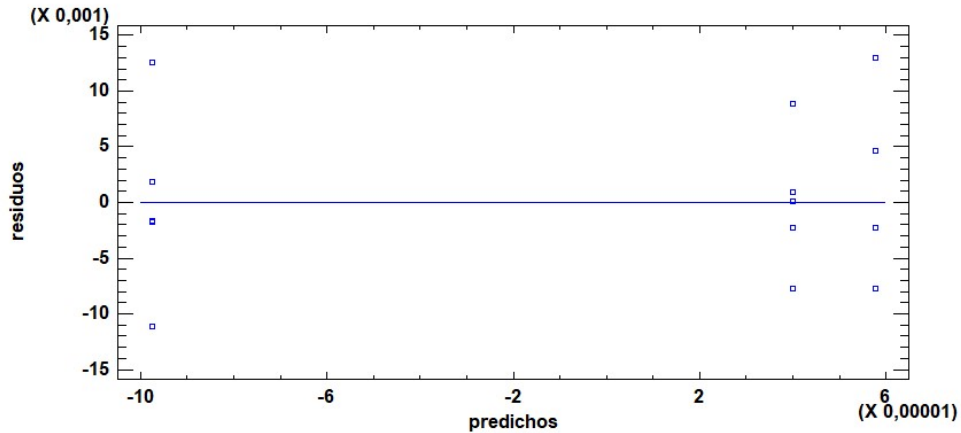
Anexo 12: Análisis gráfico de supuestos residuales regresión lineal múltiple.

Gráfico de Probabilidad Normal



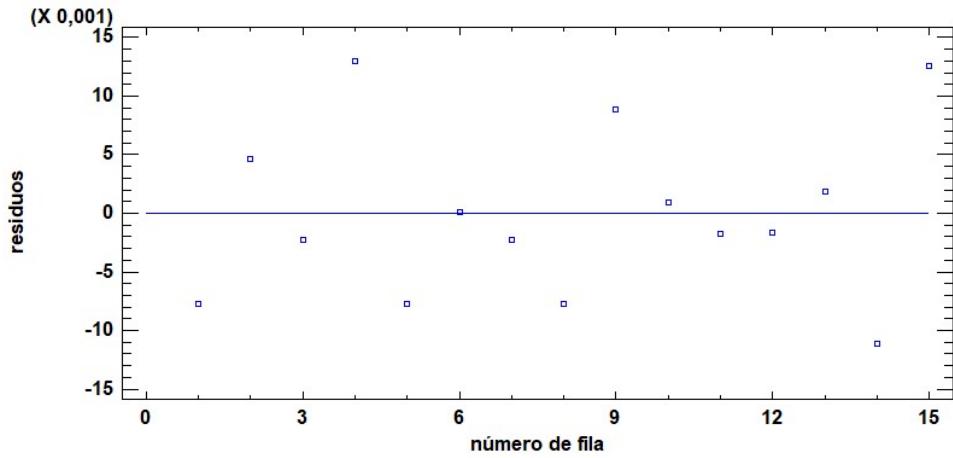
Verificación gráfica de test de normalidad para Cohesión (Alternativa 1)

Gráfico de Residuos para RESIDUOS



Verificación gráfica de test de Homocedasticidad para Cohesión (Alternativa 1)

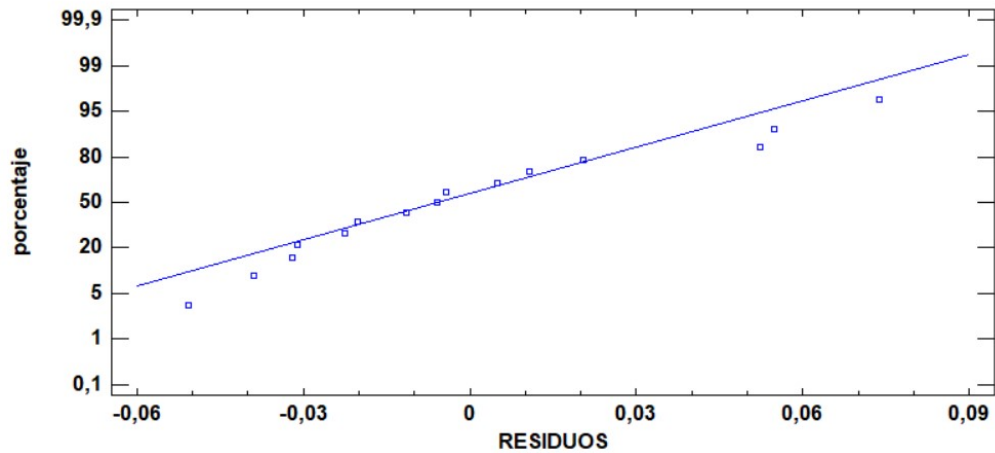
Gráfico de Residuos para RESIDUOS



Verificación gráfica de test de Independencia para Cohesión (Alternativa 1)

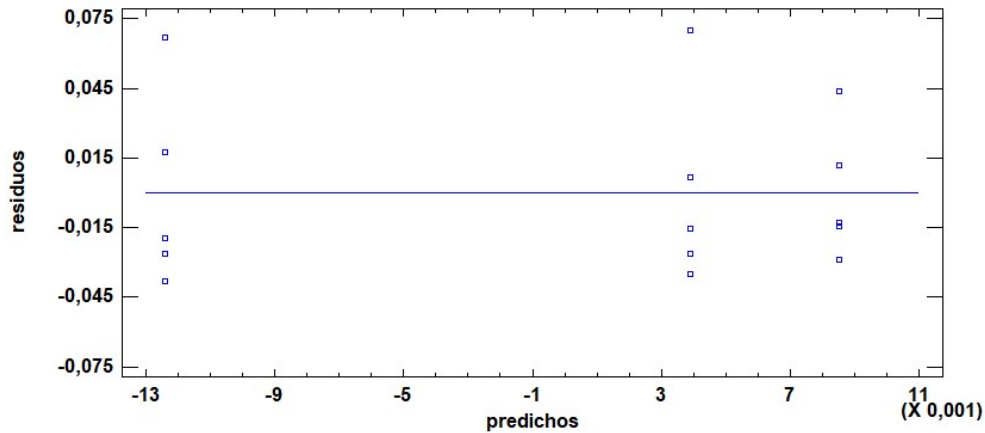
Anexo 13: Análisis gráfico de supuestos residuales regresión lineal múltiple.

Gráfico de Probabilidad Normal



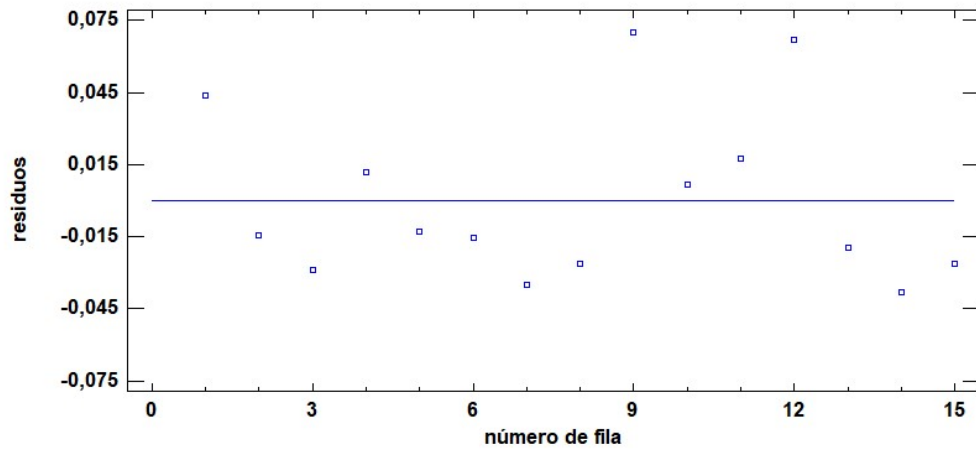
Verificación gráfica de test de normalidad para Cohesión (Alternativa 2)

Gráfico de Residuos para RESIDUOS



Verificación gráfica de test de Homocedasticidad para Cohesión (Alternativa 2)

Gráfico de Residuos para RESIDUOS



Verificación gráfica de test de Independencia para Cohesión (Alternativa 2)

Anexo 14. Resultados de error estándar

Ángulo de fricción (Alternativa 1)

MUESTRA	Ángulo de fricción (°)	Ángulo de fricción correlacionado (°)	Error (%)
Tumbaco 1	1,41417	1,41405	0,008
Tumbaco 2	1,29306	1,29362	0,043
Tumbaco 3	1,41192	1,41276	0,059
Tumbaco 4	1,40360	1,39824	0,382
Tumbaco 5	1,38898	1,39249	0,253
Argelia 6	1,43857	1,43849	0,006
Argelia 7	1,45743	1,45590	0,105
Argelia 8	1,46285	1,46529	0,167
Argelia 9	1,41810	1,41829	0,013
Argelia 10	1,46081	1,45988	0,064
Carcelén 11	1,48202	1,47976	0,152
Carcelén 12	1,46364	1,46952	0,402

Coyago. Vivanco / Correlaciones Interpolinómicas de los Parámetros de Resistencia en los Distintos Tipos de Suelos de los Sectores de: "Carcelén, Argelia Alta y Valle de Tumbaco"

Carcelén 13	1,46416	1,46163	0,173
Carcelén 14	1,46585	1,46699	0,078
Carcelén 15	1,46081	1,45917	0,112

Cohesión (Alternativa 1)

MUESTRA	Cohesión (°)	Cohesión correlacionada (°)	Error (%)
Tumbaco 1	2,03209	2,03969	0,374
Tumbaco 2	2,08778	2,08304	0,227
Tumbaco 3	2,01161	2,01376	0,107
Tumbaco 4	2,02914	2,01603	0,646
Tumbaco 5	2,00121	2,00887	0,383
Argelia 6	1,74669	1,74648	0,012
Argelia 7	1,67997	1,68221	0,133
Argelia 8	1,72607	1,73369	0,441
Argelia 9	1,78365	1,77468	0,503
Argelia 10	1,67997	1,67899	0,058
Carcelén 11	1,79105	1,79286	0,101
Carcelén 12	1,92787	1,92956	0,088
Carcelén 13	1,82324	1,82145	0,098
Carcelén 14	1,81784	1,82901	0,614
Carcelén 15	1,79814	1,78561	0,697

Cohesión (Alternativa 2)

MUESTRA	Cohesión (°)	Cohesión correlacionada (°)	Error (%)
Tumbaco 1	2,03209	1,97969	2,579
Tumbaco 2	2,08778	2,09362	0,280
Tumbaco 3	2,01161	2,03181	1,004
Tumbaco 4	2,02914	2,00871	1,007
Tumbaco 5	2,00121	2,00541	0,210
Argelia 6	1,74669	1,75813	0,655
Argelia 7	1,67997	1,71108	1,852
Argelia 8	1,72607	1,74866	1,309
Argelia 9	1,78365	1,70979	4,141
Argelia 10	1,67997	1,66927	0,637
Carcelén 11	1,79105	1,78606	0,279
Carcelén 12	1,92787	1,87314	2,839
Carcelén 13	1,82324	1,85535	1,761
Carcelén 14	1,81784	1,86861	2,793
Carcelén 15	1,79814	1,83701	2,162