



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**CORRELACIÓN ENTRE EL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD Y EL
NÚMERO DE GOLPES DEL ENSAYO DCP EN SUELOS LIMOSOS DE LAS
PROVINCIAS DE PICHINCHA, SANTO DOMINGO Y PASTAZA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingenieros Civiles

AUTORES: Francis Sebastián Constante Ortiz
Anthony Bryan Guzmán Guzmán

TUTOR: Juan Pablo Tarambís Rodríguez

Quito – Ecuador
2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Francis Sebastián Constante Ortiz con documento de identificación N° 1600508053 y Anthony Bryan Guzmán Guzmán con documento de identificación N° 1723778765; 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, 23 de febrero del 2024

Atentamente,



Francis Sebastián Constante Ortiz
1600508053



Anthony Bryan Guzmán Guzmán
1723778765

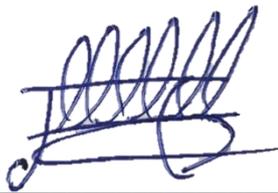
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Francis Sebastián Constante Ortiz con documento de identificación N° 1600508053 y Anthony Bryan Guzmán Guzmán con documento de identificación N° 1723778765; 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: “Correlación entre el Coeficiente de Permeabilidad y el número de golpes del ensayo DCP en Suelos Limosos de las Provincias de Pichincha, Santo Domingo y Pastaza”, 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 PolitécnicaSalesiana.

Quito, 23 de febrero del 2024

Atentamente,



Francis Sebastián Constante Ortiz

1600508053



Anthony Bryan Guzmán Guzmán

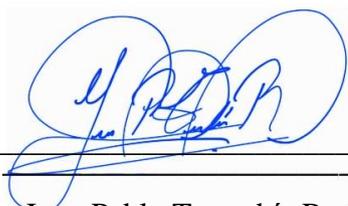
1723778765

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: **CORRELACIÓN ENTRE EL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD Y EL NÚMERO DE GOLPES DEL ENSAYO DCP EN SUELOS LIMOSOS DE LAS PROVINCIAS DE PICHINCHA, SANTO DOMINGO Y PASTAZA**, realizado por Francis Sebastián Constante Ortiz con documento de identificación N° 1600508053 y Anthony Bryan Guzmán Guzmán con documento de identificación N° 1723778765, 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, 23 de febrero del 2024

Atentamente,



Ing. Juan Pablo Tarambís Rodríguez, MSc
1715336879

CORRELACIÓN ENTRE EL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD Y EL NÚMERO DE GOLPES DEL ENSAYO DCP EN SUELOS LIMOSOS DE LAS PROVINCIAS DE PICHINCHA, SANTO DOMINGO Y PASTAZA

CORRELATION BETWEEN THE COEFFICIENT OF PERMEABILITY AND THE NUMBER OF SHOCKS OF THE DCP TEST IN SILTY SOILS OF THE PROVINCES OF PICHINCHA, SANTO DOMINGO AND PASTAZA

Francis Constante-Ortiz¹, Anthony Guzmán-Guzmán²

Resumen

En el presente documento se plantea una correlación entre el coeficiente de permeabilidad y el número de golpes del ensayo DCP para suelos limosos de las provincias de Pichincha, Santo Domingo y Pastaza.

Para el cálculo de coeficiente de permeabilidad para suelos limosos se utilizó la teoría propuesta por Henry Darcy, con la cual se obtiene el caudal, en función de la permeabilidad, el gradiente hidráulico y el área de la sección transversal a través de la cual fluye el agua. Para evaluar la relación entre el número de golpes del ensayo DCP, lo cual indirectamente permite estimar la capacidad del suelo; y el coeficiente de permeabilidad, se solicitó el traslado del equipo DCP, propiedad de la UPS, a las tres provincias mencionadas, a fin realizar los ensayos correspondientes.

Para la obtención del coeficiente de permeabilidad se realizaron cinco ensayos con el material de cada provincia, mediante un permeámetro fabricado de manera empírica, empleando una misma masa de suelo, pero variando el volumen, con la finalidad de incrementar el peso específico, reducir el índice de vacíos y, en consecuencia, variar la permeabilidad.

Además, se realizaron ensayos de laboratorio para determinar las relaciones fundamentales y la clasificación de los suelos provenientes de las tres provincias. A partir de los resultados de los ensayos indicados, se obtienen los valores de la permeabilidad en condiciones naturales mediante las correlaciones entre los resultados de la variación de la permeabilidad experimental versus la variación del

Abstract

In this document, a relationship between the coefficient of permeability and the number of blows of the DCP test for silty soils of the provinces of Pichincha, Santo Domingo and Pastaza is proposed.

To calculate the permeability coefficient for silty soils, the expressions proposed by: Henry Darcy were used, which involve the flow rate, the hydraulic gradient and the difference in heights, the temperature of the fluid in this case water was at room temperature.

In order to evaluate the relationship between the number of blows of the DCP test, which indirectly allows estimating the soil capacity, and the permeability coefficient, the transfer of the DCP equipment, owned by UPS, was requested to the three provinces mentioned above, in order to carry out the corresponding tests.

To obtain the permeability coefficient, five tests were carried out with the material from each province, using an empirically manufactured permeameter, using the same mass of soil, but varying the volume, with the purpose of increasing the specific weight, reducing the void ratio and, consequently, varying the permeability.

In addition, laboratory tests were carried out to determine the fundamental relationships and classification of soils from the three provinces. From the results of the indicated tests, the permeability values are obtained in natural conditions through the correlations between the results of the variation of the experimental permeability versus the variation of the dry specific weight, and the variation of the experimental permeability versus the variation of

peso específico seco, y la variación de la permeabilidad experimental versus la variación de la porosidad, obtenidos a través del equipo fabricado por los autores del proyecto de titulación. Como resultado se determina que la permeabilidad en condiciones naturales se ajusta a los valores experimentales con una función polinómica de grado 4.

Palabras Clave: Permeabilidad, DCP, relaciones fundamentales, limo.

porosity, obtained through the equipment manufactured by the authors of the titration project. As a result, it is determined that the permeability under natural conditions adjusts to the experimental values with a polynomial function of degree 4.

Keywords: Permeability, DCP, Fundamental relationships, silt.

¹ Estudiante de Ingeniería Civil - Universidad Politécnica Salesiana - Quito, Ecuador

² Estudiante de Ingeniería Civil - Universidad Politécnica Salesiana - Quito, Ecuador

Autor para correspondencia: fconstante@est.ups.edu.ec; aguzmang3@est.ups.edu.ec

1. Introducción

Las propiedades de las rocas y suelos son fundamentales en el estudio de mecánica de suelos, geología y geotecnia. Estos materiales forman sistemas de varias fases (2 o 3), estas fases pueden estar compuestas por partículas sólidas, líquidas o de aire.

Las partículas de agua y aire se presentan a través de los poros. Por lo tanto, el suelo es un medio poroso y se caracteriza a través de las relaciones fundamentales, siendo la porosidad la propiedad que condiciona la velocidad de filtración, parámetro que involucra a la permeabilidad del material en estudio. [1]

La permeabilidad del suelo puede ser interpretada como el movimiento de flujo de agua a través de un medio poroso.

En 1856 Henry Philibert Gaspard Darcy publicó un estudio que trata sobre la permeabilidad de los filtros de arena, con esas pruebas, Darcy define el término de coeficiente de permeabilidad del suelo. [2]

El ensayo del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) sirve para definir la resistencia a la penetración del suelo, el ensayo garantiza su trabajabilidad y óptimo desempeño in situ a poca profundidad.

El ensayo DCP no requiere inversión económica significativa resultando conveniente su uso, además, debido a la necesidad de la mínima cantidad de toma de muestras.

El ensayo DCP es aplicable en suelos limosos y a partir de sus resultados, se puede establecer una correlación entre las propiedades físico-mecánicas y valores de la permeabilidad.

Los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil podrán tomar como referencia este trabajo ya que

servirá como base para fortalecer criterios geotécnicos y conseguir los datos que este sencillo ensayo de campo puede proporcionar.

En esta investigación se realizó el estudio en campo y laboratorio para conocer las propiedades físico-mecánicas y establecer correlaciones que permitan evaluar de forma preliminar las condiciones del material para futuras aplicaciones en obras civiles, ya que en las provincias propuestas no existe mucha información relacionada con los suelos. Por lo tanto, el presente estudio pretende establecer su influencia en los valores de la permeabilidad, considerando muestras extraídas en 3 provincias, tomando como referencia a las regiones Costa, Sierra y Oriente.

Los tamaños de las partículas de suelos limosos se encuentran entre 0.075 y 0.002 mm, valores que condicionan sus propiedades, índice de vacíos y porosidad, las cuales, son utilizadas para el cálculo de la velocidad de flujo en el suelo, involucrando de esta manera a la permeabilidad.

En la ingeniería civil es muy importante encontrar correlaciones entre las propiedades físicas y mecánicas del suelo, ya que estas son de gran utilidad para estimar resultados con más precisión respecto al ensayo que se realice.

Las correlaciones permiten estimar valores de ciertos parámetros en función de otras variables, esto resulta beneficioso desde el punto de vista económico, pues la cantidad de ensayos de laboratorio a realizarse se reducirían significativamente, si se tuvieran correlaciones que presenten un ajuste adecuado entre los diferentes parámetros.

Esta investigación se enfoca en encontrar una correlación con un margen de error aceptable entre la permeabilidad y el número de golpes del ensayo DCP para suelos limosos de las provincias Pichincha, Santo Domingo y Pastaza.

La permeabilidad en el suelo, es la capacidad que tiene el agua para atravesar los poros en el material, por tanto, su cálculo está ligado a los parámetros del líquido que atraviesa como se evidencia en la siguiente expresión formulada por Braja Das [2].

$$k = \frac{\gamma_w}{\nu} * \bar{K} \quad (1)$$

Donde k es el coeficiente de permeabilidad, γ_w es el peso específico del fluido, ν es la viscosidad del fluido y K es la permeabilidad absoluta.

En el campo de la ingeniería civil el fluido de mayor interés es el agua, por tanto, se encuentra involucrado el coeficiente de permeabilidad, como parámetro fundamental para investigaciones y futuras construcciones.

Existen varias correlaciones para el coeficiente de permeabilidad para suelos arenosos y arcillosos en función del diámetro efectivo D10, peso específico del agua, coeficiente de viscosidad del fluido y relación de vacíos.

Para arenas tenemos la siguiente expresión respectivamente de autoría de Kozeny - Carman: [3]

$$k = \frac{e^3}{1 + e} \quad (2)$$

Para el desarrollo de este artículo se usaron las expresiones antes mencionadas para el cálculo del coeficiente de permeabilidad, y se comparó con los valores obtenidos mediante un permeámetro casero para las muestras de las provincias de Pichincha, Santo Domingo y Pastaza.

$$k = \frac{Q}{A * i} \quad (3)$$

Los valores de permeabilidad obtenidos con el permeámetro casero, se utilizó la fórmula citada, donde Q es caudal (cm³/seg), A simboliza el área

del permeámetro (cm²) y el coeficiente i, gradiente hidráulico, adimensional.

Los valores referenciales del coeficiente de permeabilidad dados por Braja Das [2], se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 1: Permeabilidad hidráulica según el tipo de suelo.

Tipo de suelo	Permeabilidad hidráulica, K (cm/s)
Grava media a gruesa	Mayor que 10 ⁻¹
Arena Gruesa a fina	10 ⁻¹ a 10 ⁻³
Arena Fina, Arena Limosa	10 ⁻³ a 10 ⁻⁵
Limo, Limo arcilloso, arcilla limosa	10 ⁻⁴ a 10 ⁻⁶
Arena	10 ⁻⁷ o menor

2. Metodología

La investigación realizada es de tipo experimental, ya que en las provincias propuestas se realizó el ensayo DCP en campo y ensayos de laboratorio complementarios con muestra del suelo extraído, esto permitió contar con una variedad de datos de las características físicas del suelo para establecer las correlaciones que se obtuvo con este trabajo. [4]

También se utilizó el método analítico por cuanto se obtuvieron las propiedades físicas del suelo, mediante un estudio en campo y laboratorio con el fin de procesar, analizar, evaluar y comparar resultados para establecer los resultados del ensayo

DCP en la permeabilidad del suelo mediante tendencias y correlaciones.

A partir de fuentes bibliográficas, como la norma ASTM D 6951 [5], artículos científicos, entre otros, se obtuvo información adicional relacionada con el ensayo DCP. Dicho ensayo se describe en los siguientes párrafos:



Figura 1. Ensayo DCP in situ ejecutado por los autores.

El operador mantiene el dispositivo por la manija en una posición vertical, levanta y suelta el martillo desde la altura de caída estándar. El lector mide y registra la penetración total para un número de golpes, en mm de penetración por golpe.

El DCP se coloca en forma vertical, se pone la punta asentada para que la parte más ancha quede al ras con la superficie del material de ensayo. En la primera lectura se obtiene de la varilla de medición graduada, la lectura más cercana es 1mm y sirve para conocer la distancia (0,04 pulg).

Se observará un cambio de pendiente en un diagrama de golpes de penetración acumulado

versus profundidad por cada capa, si existiera una capa distinta dentro del material probado.

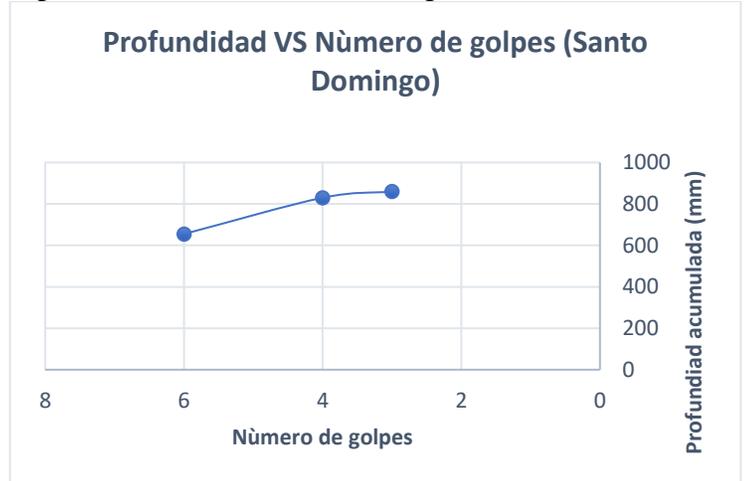


Figura 2. Gráfica Profundidad VS número de golpes realizado por los autores.

Para la extracción y transporte de muestras se realizó el siguiente procedimiento: Primero, se recolectó la siguiente información: nombre o número de trabajo, muestra y ubicación. Segundo, envolver las muestras en plástico stretch a fin de hermetizarlas, evitar cambios en el contenido de humedad, y así protegerlas hasta llevar al laboratorio. Se puede emplear bolsas, cajas o barriles. En forma de bloque es como se obtendrá las muestras inalteradas de suelos.

Dos personas realizaran la operación en campo del DCP. Las pruebas tardan un tiempo de 10 minutos aproximadamente por cada prueba. Ahorro de costes es una de las ventajas de este dispositivo.

En este ensayo el equipo consta de una varilla de 16mm. La parte inferior contiene un cono de acero de 60 grados y 20 mm de diámetro. El martillo manual pesa 8 kg y tiene una altura de caída de 575 mm.

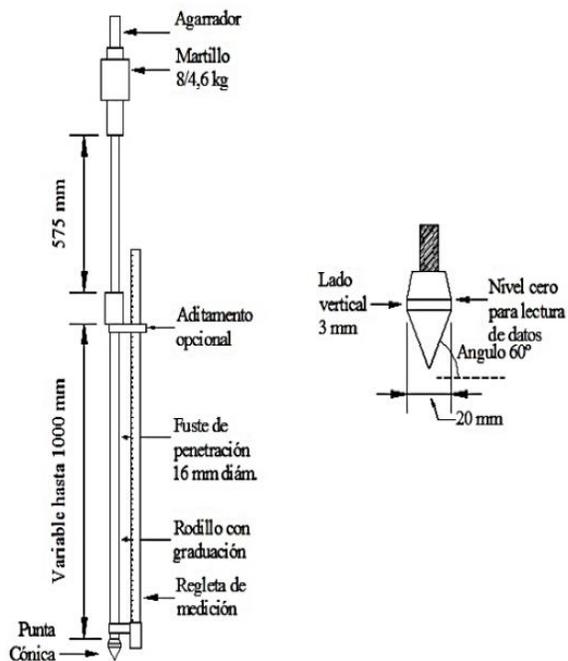


Figura 3. Componentes del equipo DCP (ASTM D-6951-03).

Para la lectura hay que colocar una regla unida al equipo, uno superior unido al yunque, y otro inferior unido a la regla y unido a una varilla de penetración.

Una vez realizados los ensayos necesarios, se analizaron y correlacionaron los resultados del ensayo DCP y los valores de permeabilidad de las diferentes muestras de suelo obtenidas en las provincias de Pichincha, Santo Domingo y Pastaza, con la finalidad de contar con una base de datos referencial de las propiedades de suelos limosos.

El contenido de humedad, el ensayo de permeabilidad con permeámetro diseñado por los autores son los ensayos previos, ya que es óptimo para suelos finos, poco permeables, limos.

2.1 Marco Teórico

El suelo

El suelo representa todo tipo de material térreo, desde un suelo que previamente fue rellenado por materiales orgánicos hasta arenisca

parcialmente cementada o esquisto blando, omitiendo solo rocas sólidas y sedimentos fuertemente cementados.

El suelo consta de partículas de diferentes tamaños, pudiendo clasificarse como grava, arena, limo o arcilla. [6]

Tamaño de partículas del suelo

Los tamaños de las partículas del suelo varían en un amplio rango, y los suelos se conocen comúnmente como arena, grava, limo o arcilla, según el tamaño de las partículas del suelo.

Varias organizaciones han desarrollado límites del tamaño del suelo que determinan cada tipo de suelo en función del tamaño de las partículas en milímetros.

Tabla 2: Límites de separación de tamaño de suelo (tamaño de grano en mm)

Nombre de la Organización	G	S	M	C
Instituto de tecnología de Massachusetts (MIT)	>2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	<0.002
Carreteras Estatales y oficiales del transporte (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	<0.002
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	<0.075	<0.075

En ingeniería civil, el suelo se usa como material de construcción en varios proyectos, y sus propiedades son determinantes en el diseño de las cimentaciones, base del tema estructural, por lo tanto, es importante que los ingenieros civiles estudien los diferentes parámetros que influyen en

dichas propiedades, tales como: granulometría, relaciones fundamentales, resistencia al corte, consolidación, capacidad de carga, entre otras propiedades físico-mecánicas.

Ensayo de gravedad específica

La gravedad específica es un tipo propio de densidad relativa, específicamente en la mecánica del suelo, que es la densidad del suelo dividida por la densidad del agua. Este cociente proporciona un valor adimensional que nos permite clasificar la muestra del suelo como un tipo determinado. [7]

Determina la relación entre la densidad de los sólidos con respecto a la densidad del agua.

Ensayo contenido de humedad

Se lo expresa en porcentaje y es la relación del peso del agua de la muestra con el peso de los sólidos. Este ensayo mediante un espécimen se lo seca en un horno a temperatura $110^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$, al momento del secado la pérdida de masa será la masa de agua el cual se lo utilizará con la masa del espécimen seco para obtener el contenido de humedad. [8]

Relación de vacíos e

Es la relación entre el volumen vacío y el volumen sólido y, por lo tanto, determina el porcentaje de suelo que está compactado. Un valor mínimo significa un suelo muy compactado, un valor alto indica un suelo suelto.

La relación de vacíos del suelo es el volumen de suelo en el que no hay partículas sólidas. Cuanto mayor sea la relación de vacíos, más suelto será el suelo. [9]

Porosidad

Es la relación entre el volumen vacío y el volumen total de la muestra de suelo debido a la

compactación del material en un bajo porcentaje que representa un suelo bien consolidado. [10]

Densidad Natural

La densidad natural referido a suelos es el peso del suelo por volumen del suelo. De este concepto se diferencian dos tipos la real y la aparente.

Grado de Saturación

Es la relación entre el volumen de agua y el volumen total de los vacíos en el suelo.

Peso específico seco

Es la relación entre el peso en estado seco del suelo y su volumen total.

Peso específico húmedo

Es la relación entre el peso en estado húmedo del suelo y su volumen total.

Peso específico saturado

Es la relación entre el peso del suelo y su volumen cuando el espacio vacío del suelo está ocupado completamente por agua.

Ensayo de permeabilidad

La permeabilidad del suelo generalmente se mide de acuerdo con la velocidad de flujo del agua a través del suelo durante un periodo determinado, se lo obtiene regularmente como coeficiente de permeabilidad. Este tipo de ensayo es de bajo coste y fácil realización. Dicho coeficiente de los puede obtener mediante ensayos de laboratorio, in situ y empíricos. [11]

Suelo Limoso

Los limos se caracterizan por tener poca o ninguna plasticidad y se dividen en dos grupos: limos orgánicos y limos inorgánicos. La materia orgánica se suele encontrar en los ríos, este tipo de limo tiene plasticidad, la materia inorgánica se produce en las canteras. El tamaño de limo se encuentra entre 0,002 y 0,075 mm de diámetro.

Debido a las propiedades del limo, no puede soportar cargas importantes, su color varía de gris claro a gris oscuro, y aunque la permeabilidad del limo orgánico es muy baja, sin embargo, puede sufrir esfuerzos en condiciones de limo denso, de lo contrario, su compactación será ser muy alto (seco) si el suelo se considera inadecuado para poder cimentar.

Ley de Darcy

En geomecánica e ingeniería, se necesita saber cuánta agua fluye a través del suelo por unidad de tiempo. Las propiedades importantes como la capacidad de carga del suelo, la permeabilidad, el asentamiento, la presión intersticial, la resistencia a la compresión, el ángulo de fricción y la cohesión se han determinado gracias a las pruebas de laboratorio y de campo de las muestras tomadas en las distintas zonas de estudio Pichincha, Santo Domingo y Pastaza, el análisis de este ensayo mediante la ley de Darcy proporciona la información físico-mecánica del suelo. [12]

La Ley de Darcy se aplica a una amplia variedad de suelos. Sin embargo, esta ley no funciona para materiales como grava limpia porque el flujo a través de ellas es turbulento.

El valor de la conductividad hidráulica de los suelos varía en gran medida, dependiendo del tipo de suelo.

2.2 Desarrollo

Pichincha es una provincia del Ecuador que se ubica al norte de Ecuador, forma parte de la región sierra.

Santo Domingo de los Tsáchilas se ubica en el centro norte de Ecuador, pertenece a la región costa del mencionado país.

Pastaza es una de las 24 provincias del Ecuador y pertenece a la región amazónica. Se sitúa al nororiente del país.

El trabajo de campo consistió en la toma de muestras inalteradas de las diferentes provincias.

Tabla 3: Ubicación de muestras de análisis por los Autores.

Provincia	Muestras
Pichincha	2
Santo Domingo	2
Pastaza	2

Para la extracción de muestras se realizaron calicatas de 0.5x0.5 m según normativa ASTM 420, posterior se aisló las muestras de factores ambientales que puedan cambiar su composición con plástico stretch.

A las muestras obtenidas se realizó los ensayos de Relaciones fundamentales según norma ASTM D-854, 2216 y 4531, de lo cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4: Relaciones Fundamentales obtenidas en laboratorio por los autores.

Parámetro Obtenido	Pichincha	Sto. Domingo	Pastaza
SUCS	MH	ML	MH
w%	22.44	45.91	63.18
ρ _h (g/cm ³)	1.60	1.31	1.24
G _s	2.56	2.80	2.57
ρ _d (g/cm ³)	1.3095	0.8989	0.7568
e	0.9549	2.1149	2.3959

n	0.4885	0.6790	0.7055
S%	60.1583	60.7762	67.7740
psat (g/cm ³)	1.7980	1.5779	1.4623

Tabla 5: Peso específico seco de las muestras de Pichincha realizado por los autores.

Provincia	Muestra	Yd (g/cm ³)
Pichincha	1	1,0832
	2	1,1234
	3	1,1666
	4	1,2132
	5	1,2638

Tabla 6: Peso específico seco de las muestras de Sto. Domingo realizado por los autores.

Provincia	Muestra	Yd (g/cm ³)
Sto. Domingo	1	1,1528
	2	1,2077
	3	1,2681
	4	1,3348
	5	1,4090

Tabla 7: Peso específico seco de las muestras de Pastaza realizado por los autores.

Provincia	Muestra	Yd (g/cm ³)
Pastaza	1	0,8408
	2	0,8731
	3	0,9081
	4	0,9459
	5	0,9870

Tabla 8: Porosidad de las muestras de Pichincha realizado por los autores.

Provincia	Muestra	n
Pichincha	1	0,5769
	2	0,5612
	1	0,5443
	2	0,5261
	1	0,5063

Tabla 9: Porosidad de las muestras de Sto. Domingo realizado por los autores.

Provincia	Muestra	n
Sto. Domingo	1	0,5883
	2	0,5687
	3	0,5471
	4	0,5233
	5	0,4968

Tabla 10: Porosidad de las muestras de Pastaza realizado por los autores.

Provincia	Muestra	N
Pastaza	1	0,6728
	2	0,6603
	3	0,6467
	4	0,6319
	5	0,6160

Ensayo Cono de Penetración Dinámico (DCP)

El método del ensayo de campo DCP, con base en la Norma ASTM D 6951-03, abarca la medición de la tasa de penetración del penetrómetro de cono dinámico con un martillo de 8 kg en suelo inalterado y en materiales compactados. La tasa de penetración puede relacionarse a la resistencia in situ, así como a la relación CBR estimada in situ.

La densidad del suelo puede estimarse si el tipo de suelo y el contenido de humedad son valores conocidos. El penetrómetro de cono dinámico descrito en el método de este ensayo se utiliza también con enfoque en la calidad de los pavimentos.

Este método también permite el uso de un martillo opcional de 4,6 kg cuando el uso del martillo de 8 kg produce una penetración excesiva en condiciones de suelo suave, de acuerdo con lo establecido por la norma ASTM D 6951. (Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications). DCP es una prueba de penetración utilizada para determinar las propiedades del suelo como parte de las técnicas de identificación del terreno, existen investigaciones en las cuales se analizan los valores de la permeabilidad y la estimación de las propiedades físico-mecánicas de suelos arenosos

en función del ensayo DCP, sin embargo, todavía no se ha profundizado en determinar una estricta relación entre estos parámetros.



Figura 4. Ensayo DCP in situ de los autores.

De acuerdo a lo mencionado, se realizaron ensayos DCP, en base a la norma ASTM D-6951, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 11: Resultados del número de golpes del ensayo DCP de las muestras de Pichincha por los Autores.

Provincia	Muestra	DCP (# de golpes)
Pichincha	1	9
	2	9

Tabla 12: Resultados del número de golpes del ensayo DCP de las muestras de Sto. Domingo por los Autores.

Provincia	Muestra	DCP (# de golpes)
Sto. Domingo	1	10
	2	10

Tabla 13: Resultados del número de golpes del ensayo DCP de las muestras de Pastaza por los Autores.

Provincia	Muestra	DCP (# de golpes)
Pastaza	1	9
	2	9

Ensayo de permeabilidad

El ensayo para la obtención de los valores de permeabilidad de cada muestra se lo realizó con un permeámetro fabricado por los autores de este artículo, lo cual consiste en un sistema diseñado y compuesto por una tubería de PVC de 4 pulgadas, una esponja de espesor 1 cm cuya función es filtrar el agua de la muestra, la masa de suelo empleada en cada ensayo de las diferentes muestras es de 3000 gramos. El principio básico para la obtención de la permeabilidad se basa en la ley de Darcy.



Figura 5. Ensayo permeabilidad artesanal, elaborado por los autores.

Con el uso del permeámetro mostrado en la Figura 5, se realizó el ensayo de permeabilidad aplicando la Ley de Darcy con 15 muestras de suelo alterado para luego la obtención de los siguientes valores de permeabilidad:

Tabla 14: Coeficientes de permeabilidad de las muestras de Pichincha por los autores.

Provincia	Muestra	Coefficiente de Permeabilidad (K)
-----------	---------	-----------------------------------

Pichincha	1	9,9775E-04
	2	7,8150E-04
	3	7,2833E-04
	4	6,8525E-04
	5	6,4337E-04

Tabla 15: Coeficientes de permeabilidad de las muestras de Sto. Domingo por los autores.

Provincia	Muestra	Coefficiente de Permeabilidad (K)
Sto. Domingo	1	3,9347E-04
	2	2,8155E-04
	3	2,3221E-04
	4	1,9258E-04
	5	1,7182E-04

Tabla 16: Coeficientes de permeabilidad de las muestras de Pastaza por los autores.

Provincia	Muestra	Coefficiente de Permeabilidad (K)
Pastaza	1	9,4579E-04
	2	6,1003E-04
	3	5,4066E-04
	4	5,0456E-04
	5	4,7661E-04

3. Resultados y Discusión

Las correlaciones obtenidas a través de los ensayos, el peso específico saturado y la porosidad son relaciones fundamentales que tienen un comportamiento similar al correlacionar con la permeabilidad.

Los gráficos de las correlaciones entre el peso específico seco vs coeficiente de permeabilidad son los siguientes:

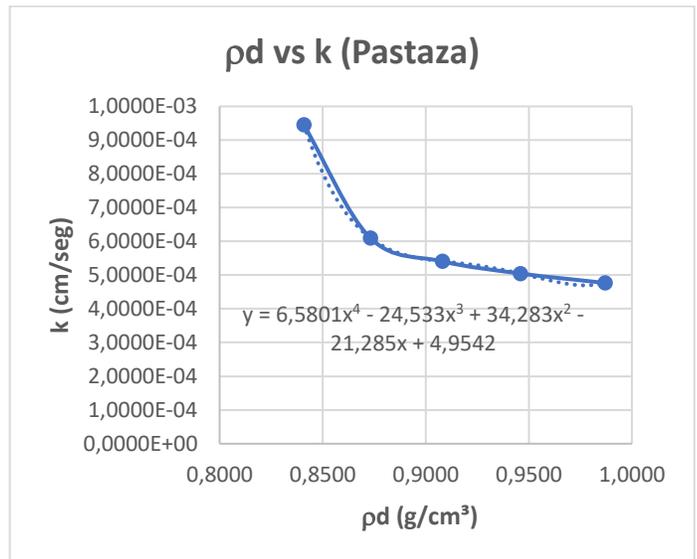


Figura 6. Peso específico seco (Tabla 7) VS coeficiente de permeabilidad (tabla 16).

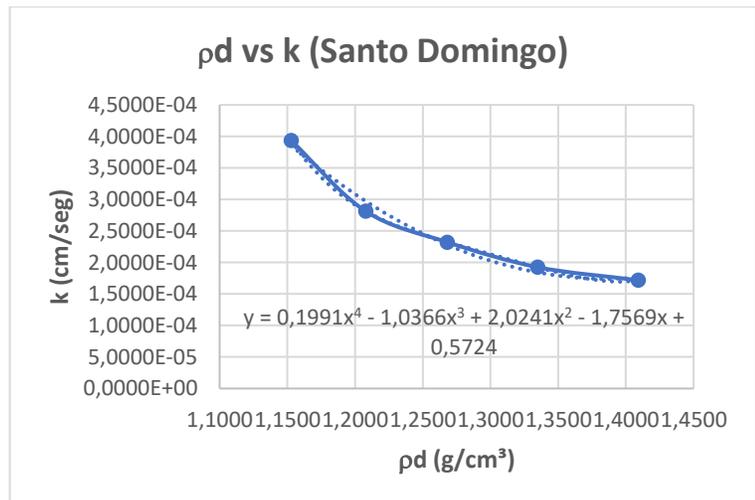


Figura 7. Peso específico seco (Tabla 6) VS coeficiente de permeabilidad (tabla 15).

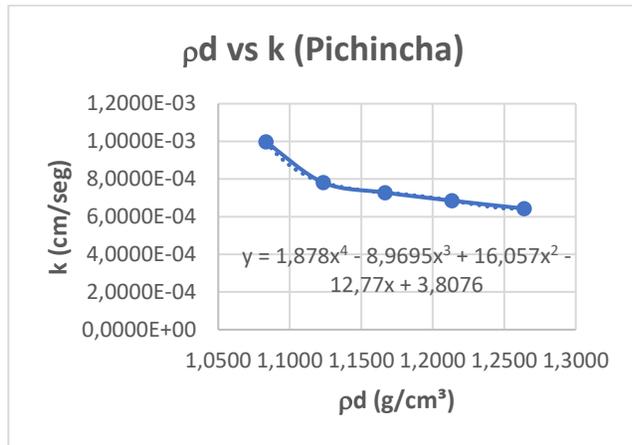


Figura 8. Peso específico seco (Tabla 5) VS coeficiente de permeabilidad (tabla 14).

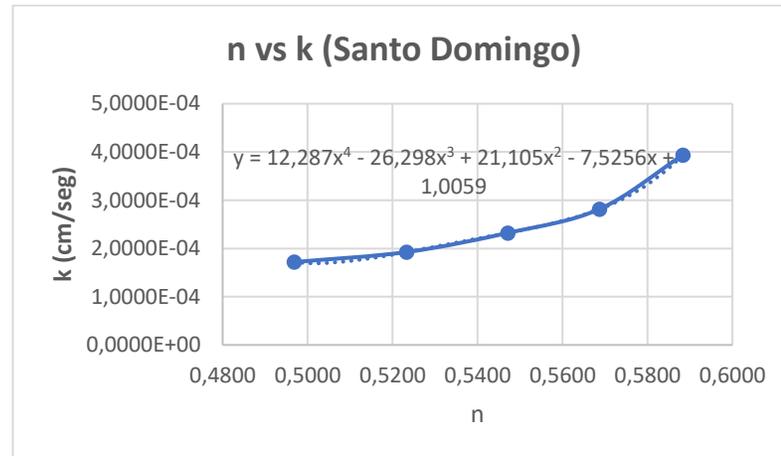


Figura 10. Porosidad (Tabla 9) VS coeficiente de permeabilidad (tabla 15).

Los gráficos de las correlaciones entre la porosidad vs coeficiente de permeabilidad se presentan a continuación:

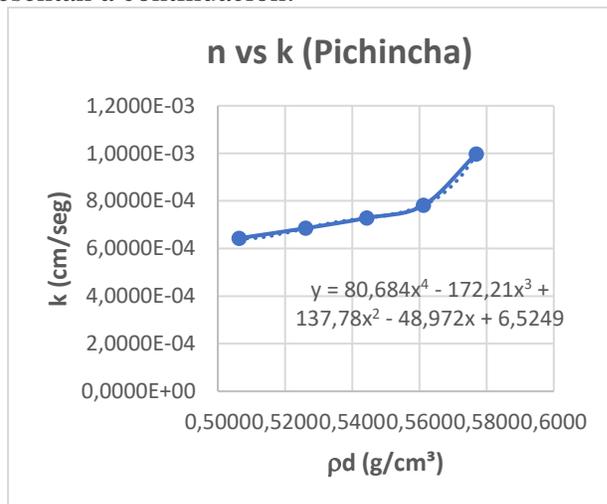


Figura 9. Porosidad (Tabla 8) VS coeficiente de permeabilidad (tabla 14).

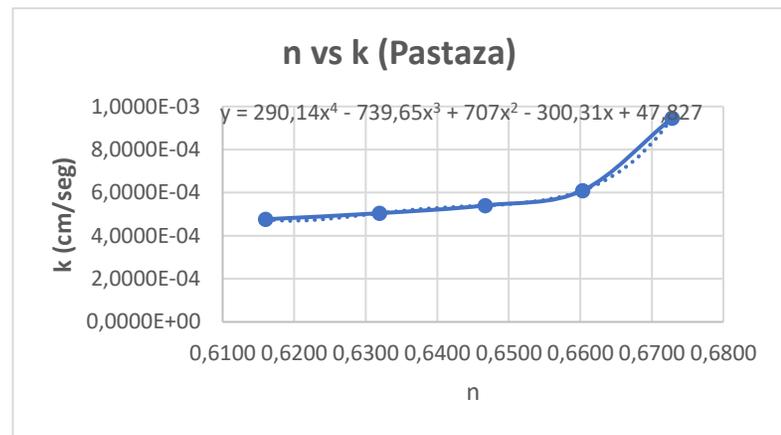


Figura 11. Porosidad (Tabla 10) VS coeficiente de permeabilidad (tabla 16).

Las permeabilidades de las muestras, obtenidas mediante el método del permeámetro casero reflejan valores aproximados a los coeficientes de permeabilidad referenciales, por lo tanto, la correcta realización del método nos proporciona valores típicos dados por Braja Das.

4. Conclusiones

En las expresiones anteriormente utilizadas k representa el coeficiente de permeabilidad en cm/s y DCP en número de golpes. Con la finalidad de identificar de manera más exacta de cualquier variación, se recomienda llevar a cabo un mayor número de muestras para ensayos pertinentes,

usando muestras representativas y abarcando distintos tipos de suelo, tales como arcillas y arenas. Esto permitirá obtener una evaluación más minuciosa de los resultados.

No se observa una variación significativa de número de golpes en relación a la permeabilidad en los suelos de los diferentes sitios analizados en esta investigación.

Considerando el peso específico húmedo, se observa que a mayor peso específico en condiciones naturales la permeabilidad es menor.

Realizar pruebas idénticas en el mismo terreno, pero esta vez sometido a un proceso de compactación sugerido en la norma.

A medida que se aumenta la densidad de las diversas muestras, se analiza y observan reducciones en los valores de permeabilidad, esto se debe a la disminución en el índice de vacíos.

Las gráficas de las correlaciones tanto entre peso específico seco y permeabilidad, como entre porosidad y permeabilidad indican que se aproximan de mejor manera con un ajuste polinómico grado 4. D

Referencias

- [1]S. Angelone, M. Garibay y M. Cauhapé, «UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO,» 2006. [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Permeabilidad%20en%20Suelos.pdf.
- [2]D. Braja, Fundamentos de ingeniería Geotécnica Cuarta Edición, México DF: Cengage Learning, 2013.
- [3]P. Warren, FISICA DE SUELOS, SAN JOSE: IICA, 1975.
- [4]E. Juárez, MECÁNICA DE SUELOS TOMO 2, México DF: Limusa, 1972.
- [5]P. Gordillo y S. Navas, «ANÁLISIS DE LA APLICACION DE LA NORMA ASTM D6951-03 PARA ESTIMAR EL INDICE DEL CBR EN UN SUELO DE LA CIUDAD DE CUENCA,» 2018. [En línea]. Available: https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8649#:~:text=La%20norma%20ASTM%20D%206951%20D03%20plantea%20como%20uno%20de,de%20la%20ciudad%20de%20Cuenca..
- [6]J. Badillo y R. Rodríguez, MECANICA DE SUELOS 1 TOMO 1 FUNDAMENTOS DE LA MECANICA DE SUELOS, MEXICO DF: LIMUSA, 2005.
- [7]D. Mejia, «ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS,» Wordpress, 2015. [En línea]. Available: https://ensayosdelaboratoriosuelos.wordpress.com/gravedad-especifica-de-los-suelos/.
- [8]Universidad Nacional de Ingeniería Civil, «MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO,» 2006. [En línea]. Available: www.lanamme.ucr.ac.cr.
- [9] D. Escobar, G. Escobar y C. Escobar, «Geomecánica,» 2016. [En línea]. Available: https://repository.unimilitar.edu.co/.
- [10]D. Moret y M. López, «D. Moret y M. López, "Un método sencillo para la estimación de la porosidad,» [En línea]. Available: https://digital.csic.es/handle/10261/136762.
- [11] J. Torrijo y J. Franch, «Estudios Geotécnicos,» 2013. [En línea]. Available: https://estudiosgeotecnicos.info/index.php/permeabilidad-de-los-suelos/.
- [12]W. Botia, «MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CALCULO,» 2015. [En línea]. Available: https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/6239/1/MANUAL%20DE%20PROCED

IMIENOS%20DE%20ENSAYOS%20DE%
20SUELOS.pdf.

- [13] M. Aragundi, R. Delgado y E. Ortiz, «Estudio para determinar la capacidad del suelo como parametro geotecnico, aplicando el ensayo de cono dinamico de penetración de DCP, en los terrenos aledaños a la facultad de ciencias matematicas, fisicas y quimicas.,» 2019. [En línea]. Available: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/download/2193/2318/7124>.
- [14] A. Llanos y S. Reyes, «TESIS ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS ENSAYOS CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) DE LABORATORIO Y PENETRACIÓN DINÁMICA DE CONO (PDC) EN LA LOCALIDAD DE PICSI,» 2017. [En línea]. Available: <https://docplayer.es/115249339-Tesis-estudio-comparativo-de-los-ensayos-california-bearing-ratio-cbr-de-laboratorio-y-penetracion-dinamica-de-cono-pdc-en-la-localidad-de-picsi.html>.
- [15] J. Morales, C. Wahr y C. Casanova, «DISEÑO CON CONO DE PENETRACIÓN DINÁMICO EN VÍAS SECUNDARIAS,» S. f. [En línea]. Available: http://www2.udec.cl/~provincial/trabajos_pdf/37Vivancodisenoncononopenetracion.pdf.