

Análisis comparativo de la capacidad de soporte CBR en laboratorio y mediante penetrómetro dinámico de cono (DCP) en suelos volcánicos de Ambato

Comparative analysis of CBR bearing capacity in laboratory and by dynamic cone penetrometer (DCP) in volcanic soils of Ambato

Byron Leonardo López Sánchez

Universidad Indoamérica

Blopez15@indoamerica.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0009-5326-5591>

Ecuador – Ambato

Erick Alexis Amaguaña Palate

Universidad Indoamérica

eamaguana6@indoamerica.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0002-7626-5243>

Ecuador - Ambato

Formato de citación APA

López, B. & Amaguaña, E. (2026). Análisis comparativo de la capacidad de soporte CBR en laboratorio y mediante penetrómetro dinámico de cono (DCP) en suelos volcánicos de Ambato. Revista REG, Vol. 5 (Nº. 1), p. 991 -1009.

CIENCIA INTERACTIVA

Vol. 5 (Nº. 1). Enero – marzo 2026.

ISSN: 3073-1259

Fecha de recepción: 18-02-2026

Fecha de aceptación :27-02-2026

Fecha de publicación:30-03-2026



RESUMEN

Esta investigación tuvo como fundamento la necesidad de evaluar las propiedades mecánicas y la capacidad portante de los suelos volcánicos en la región interandina del Ecuador, específicamente en la ciudad de Ambato, donde la variabilidad estratigráfica representa un desafío para la infraestructura vial. El objetivo principal fue comparar la capacidad de soporte (CBR) determinada en laboratorio bajo condiciones controladas frente a la resistencia estimada in situ mediante el Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP). La metodología adoptó un enfoque cuantitativo experimental en dos puntos de muestreo de la Av. Bernardino Echeverría, donde se realizaron calicatas a 1,0 m de profundidad. Se ejecutaron ensayos de Proctor Modificado (ASTM D1557) para determinar la densidad seca máxima y humedad óptima, seguidos de ensayos CBR (ASTM D1883) en condición saturada a 56 golpes, y reconocimientos DCP en campo. Los resultados más relevantes mostraron una Densidad Seca Máxima de $1,80 \frac{g}{cm^3}$ con un CBR de diseño de 9,04% para la Muestra 1, y $1,55 \frac{g}{cm^3}$ con CBR de 4,27% para la Muestra 2. En ambos casos, las estimaciones del DCP resultaron superiores a los valores de laboratorio, oscilando entre el 10,19% y 12,23% para el primer punto y entre 5,63% y 6,99% para el segundo punto. Se concluye que el CBR de laboratorio bajo saturación proporciona un parámetro de diseño conservador y seguro, mientras que el DCP actúa como una herramienta de validación in situ que complementa, pero no sustituye, los métodos normalizados.

PALABRAS CLAVE: Suelos volcánicos, Compactación, CBR, Penetrómetro Dinámico de Cono, Proctor Modificado.



ABSTRACT

This research was based on the need to evaluate the mechanical properties and bearing capacity of volcanic soils in the inter-Andean region of Ecuador, specifically in the city of Ambato, where stratigraphic variability poses a challenge for road infrastructure. The main objective was to compare the California Bearing Ratio (CBR) determined in the laboratory under controlled conditions against the in-situ strength estimated using the Dynamic Cone Penetrometer (DCP). The methodology adopted an experimental quantitative approach at two sampling points on Bernardino Echeverría Avenue, where trial pits were excavated to a depth of 1.0 m. Modified Proctor tests (ASTM D1557) were performed to determine maximum dry density and optimum moisture, followed by CBR tests (ASTM D1883) under saturated conditions at 56 blows, and in-field DCP soundings. The most relevant results showed a Maximum Dry Density of $1,80 \frac{g}{cm^3}$ with a design CBR of 9.04% for Sample 1, and $1,55 \frac{g}{cm^3}$ with a CBR of 4.27% for Sample 2. In both cases, DCP estimates were higher than laboratory values, ranging between 10.19% and 12.23% for the first point and between 5.63% and 6.99% for the second point. It is concluded that saturated laboratory CBR provides a conservative and safe design parameter, while the DCP acts as an in-situ validation tool that complements, but does not replace, standardized methods.

KEYWORDS: Volcanic soils, Soil compaction, California Bearing Ratio, Dynamic cone penetrometers, Soil density.



INTRODUCCIÓN

La determinación de las propiedades mecánicas de los suelos en la región interandina del Ecuador representa un desafío debido a la gran variabilidad de los tipos de suelo que la conforman. Esta zona se caracteriza por una estratigrafía dominada por depósitos de origen volcánico, resultantes de la actividad eruptiva cuaternaria de los centros volcánicos circundantes (Pazos, 2023). Los suelos de esta región no son simplemente agregados minerales, sino productos de una evolución geológica que ha dado lugar a formaciones como la cangahua, cenizas volcánicas, flujos piroclásticos y depósitos aluviales (Loor & Quimis, 2024). La comprensión de estos materiales es importante, ya que su capacidad portante, medida comúnmente a través del índice CBR (California Bearing Ratio), es altamente sensible tanto a las condiciones de humedad natural como a la energía de compactación aplicada durante los procesos de construcción vial (Pazos, 2023).

La geología local presenta una transformación entre áreas urbanas y zonas rurales con pendientes variables, donde los suelos suelen clasificarse como arenas mal gradadas con finos y limos de baja plasticidad (Loor & Quimis, 2024). Desde una perspectiva de ingeniería sísmica y estructural, los estudios de microzonificación de la región interandina se clasifican la mayoría de estos perfiles como tipo "C" (suelos densos o rocas blandas) y tipo "D" (suelos rígidos), con velocidades de onda de corte (V_{s30}) que generalmente superan los $300 \frac{m}{s}$ (Moreno, Muñoz, & Ramírez, 2019). Estos parámetros indican que, aunque son suelos con buena resistencia intrínseca, su comportamiento bajo cargas dinámicas y estáticas depende críticamente de su grado de densificación y de la estabilidad de su estructura interna frente a la saturación (Geocontrol Perú y Servicios S.A.C., 2025).

El Fenómeno de la Cangahua y su Impacto en la Estabilidad de la Subrasante

Un elemento de la geotecnia en la sierra ecuatoriana es la presencia de la cangahua, un horizonte de suelo indurado de origen volcánico que actúa a menudo como el estrato de apoyo para las fundaciones y las estructuras de pavimento (Gaibor & Margarita, 2012). La cangahua se caracteriza por una alta dureza en estado seco, pero su resistencia puede disminuir drásticamente al entrar en contacto con el agua si no ha sido sometida a un proceso de compactación adecuado que rompa su estructura porosa original. La dureza de estos materiales piroclásticos antiguos varía según el régimen hídrico de la zona; en regiones más secas, como las partes bajas de Ambato, la cementación y la sequía han generado estratos resistentes, mientras que, en zonas de mayor altitud y humedad, la cementación es menor (Palacios, Ushiña, & Carrera, 2018).

La compactación no es solo un proceso de reducción de vacíos, sino un mecanismo para transformar un suelo volcánico potencialmente inestable en una base sólida y resiliente. La aplicación

de energía mediante el ensayo Proctor Modificado permite simular las condiciones de carga que impondrá el tráfico pesado moderno y la maquinaria de construcción de alto rendimiento, superando las limitaciones del antiguo ensayo Proctor Estándar (Granados, 2017). La variabilidad de estos suelos, que incluyen intercalaciones de limos, arenas y a veces arcillas expansivas con presencia de montmorillonita, exige un control de la densidad máxima seca y la humedad óptima para evitar asentamientos diferenciales que comprometan la integridad de la carpeta asfáltica (Gaibor & Margarita, 2012).

Teoría de la Compactación y Energía del Proctor Modificado

La compactación de suelos es el procedimiento mecánico mediante el cual se obliga a las partículas de suelo a unirse más estrechamente, expulsando el aire de los poros y aumentando así el peso unitario seco del material (Araujo, 2014). Este proceso mejora significativamente las propiedades ingenieriles del terreno, incrementando la resistencia al corte, disminuyendo la compresibilidad y reduciendo la permeabilidad. En la práctica profesional ecuatoriana, este fenómeno se rige por la norma internacional ASTM D1557 para el ensayo Proctor Modificado (ASTM International, 2021).

La diferencia entre el ensayo Proctor Estándar (ASTM D698) y el Modificado (ASTM D1557) es la cantidad de energía impartida al suelo. Mientras que el ensayo estándar fue diseñado para las cargas de tráfico de principios del siglo XX, el modificado responde a la necesidad de densificar el suelo para soportar las presiones de contacto de los neumáticos modernos y el peso de los equipos de compactación pesados (Granados, 2017).

Relación Humedad - Densidad en Suelos Volcánicos

El principio de compactación postulado por Ralph Proctor establece que, para una energía específica, existe un contenido de humedad óptimo (ω_{opt}) en el cual el suelo alcanza su máxima densidad seca (γ_{dmax}). En el caso de los suelos en la sierra ecuatoriana, la humedad óptima suele situarse en rangos que varían según el contenido de finos y la naturaleza mineralógica de las cenizas volcánicas (Loor & Quimis, 2024). El agua actúa inicialmente como un lubricante que permite el reordenamiento de las partículas; sin embargo, un exceso de humedad genera presiones de poro que impiden una mayor densificación, llevando a la curva de compactación a descender tras alcanzar su punto máximo (Araujo, 2014).

En los laboratorios el estudio de la influencia de la energía de compactación se realiza variando sistemáticamente el número de golpes por capa (típicamente 12, 27 y 56) (ASTM International, 2021). Esta variación permite construir una familia de curvas de compactación que revelan la sensibilidad del material. Un suelo compactado con 56 golpes alcanzará una densidad mayor y una humedad óptima

menor que el mismo suelo compactado con 12 golpes. Para los proyectos viales, esta distinción es importante, ya que el CBR de diseño se determina generalmente al 95% o 100% de la densidad máxima del Proctor Modificado, y no alcanzar estos niveles de energía en el campo resultaría en una subrasante con una capacidad de soporte deficiente (ASTM International, 2021).

El Ensayo de Relación de Soporte de California (CBR) y El Penetrómetro de Cono Dinámico (DCP)

El ensayo CBR es un parámetro empírico que mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo bajo condiciones controladas de humedad y densidad (Geocontrol Perú y Servicios S.A.C., 2025). Originalmente propuesto en 1929 por los ingenieros Stanton y Porter del Departamento de Transporte de California, el CBR se ha convertido en el estándar internacional para evaluar la calidad relativa de los materiales de subrasante, subbase y base de pavimentos (Araujo, 2014). En el contexto del Ecuador, el ensayo está normalizado bajo la ASTM D1883 y la AASHTO T193, y es el pilar sobre el cual se asientan las metodologías de diseño AASHTO-93 adoptadas por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (ASTM International, 2021).

El índice CBR se expresa como un porcentaje que compara la resistencia a la penetración del suelo ensayado con la de una piedra triturada de alta calidad que se toma como patrón (100% de CBR). Para los suelos de la región cierra del Ecuador, obtener un valor de CBR preciso requiere simular las condiciones más críticas de saturación, lo que se logra sumergiendo las muestras compactadas en agua durante un periodo de 96 horas (4 días) (Gaibor & Margarita, 2012). Durante este tiempo, se mide la expansión o hinchamiento del material, un dato para los suelos volcánicos que pueden contener minerales arcillosos sensibles al agua.

El Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) es un instrumento de auscultación in situ diseñado para evaluar la resistencia estructural y la rigidez de las capas de un pavimento y suelos de subrasante de manera rápida y económica. Su funcionamiento consiste en medir la tasa de penetración (mm por golpe) de un cono metálico al ser hincado mediante la caída libre de una masa estandarizada de 8 kg. En la ingeniería vial, este ensayo es fundamental ya que permite determinar el perfil de resistencia del suelo a profundidades de hasta un metro, identificar la homogeneidad de los estratos y, principalmente, obtener una estimación indirecta del valor CBR (California Bearing Ratio), parámetro crítico para el diseño de espesores de pavimento y la verificación del grado de compactación en campo (Castillo & Mena, 2019).

Influencia de la Energía de Compactación: Análisis de 12, 27 y 56 Golpes

El núcleo de la investigación técnica en los suelos reside en comprender cómo la variación controlada de la energía de compactación altera el desempeño estructural del terreno. En el

laboratorio, esta energía se modula a través del número de golpes por capa aplicados durante el moldeo de los especímenes de CBR (Castillo & Mena, 2019). La secuencia de 12, 27 y 56 golpes permiten generar una curva de diseño CBR-Densidad, la cual es indispensable para correlacionar los resultados de laboratorio con el control de compactación en el campo (Scribd, 2021).

Esta metodología de tres puntos proporciona una visión integral de la sensibilidad del suelo. En suelos granulares y volcánicos como los de la sierra central, el incremento en la energía de compactación suele producir un aumento en la estabilidad interna. Al aplicar 56 golpes por capa (energía del Proctor Modificado al 100%), las partículas se acomodan en una configuración de máxima densificación, minimizando los asentamientos futuros (Geocontrol Perú y Servicios S.A.C., 2025). Por el contrario, un nivel de compactación de 12 golpes representa un escenario de subcompactación donde el suelo mantiene un alto índice de vacíos, volviéndolo altamente vulnerable a la saturación y a las deformaciones plásticas bajo carga (Pazos, 2023).

Relación entre el Esfuerzo de Compactación y la Resistencia al Corte

La resistencia al corte de los suelos de Ambato, que es lo que el CBR mide indirectamente, mejora al aumentar la energía de compactación debido a dos mecanismos principales: el incremento en el ángulo de fricción interna por el mayor contacto entre granos y, en el caso de suelos con finos, un aumento en la cohesión aparente. Las investigaciones locales en la Universidad Técnica de Ambato han demostrado que al pasar de una energía baja (12 golpes) a la energía máxima (56 golpes), el CBR de las arenas volcánicas y limos puede incrementarse hasta seis veces, lo que subraya la importancia de un control de la energía en la construcción vial (Villacrés, 2021).

Un aspecto es que esta ganancia de resistencia no es uniforme para todos los niveles de humedad. Si el suelo se compacta en condiciones muy húmedas (por encima de la humedad óptima), el incremento en el número de golpes puede no resultar en un aumento del CBR e incluso podría inducir fallas estructurales por exceso de presión de poros (Villacrés, 2021). Por lo tanto, el estudio de la energía de compactación debe ir siempre acompañado de un análisis detallado de la humedad óptima del Proctor Modificado según las normas internacionales.

Marco Regulatorio y Especificaciones de la Norma NEVI-12

La Norma Ecuatoriana Vial (NEVI-12), emitida por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, define los estándares técnicos que deben cumplir todos los proyectos de infraestructura vial en el país. Para los suelos en la sierra ecuatoriana, el NEVI-12 establece criterios para la aceptación de materiales basándose en su capacidad portante y su respuesta a la compactación. Según el Volumen 2A de esta



normativa, la subrasante se clasifica en seis categorías (S1 a S6) dependiendo de su valor de CBR determinado tras 4 días de inmersión (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, 2013).

El control de calidad en obra exige que la densidad alcanzada en el campo se compare con la Densidad Seca Máxima del Proctor Modificado (ASTM D1557). Para la mayoría de las carreteras en la región interandina, se requiere que la subrasante alcance al menos el 95% de la DSM, mientras que para las capas de base y subbase granular, este requisito suele elevarse al 100% (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, 2013). El incumplimiento de estos niveles de compactación invalida los supuestos del diseño estructural y puede llevar al rechazo de los tramos construidos (Villacrés, 2021).

MÉTODOS Y MATERIALES

La investigación se llevó a cabo en los Laboratorios de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica Indoamérica (Ambato) entre octubre de 2025 y febrero de 2026. El estudio adoptó un diseño experimental cuantitativo para evaluar el efecto de tres niveles de energía de compactación sobre la densificación del suelo y su capacidad de soporte (CBR), siguiendo ASTM D1557-12 para Proctor Modificado y ASTM D1883-21 para CBR. Adicionalmente, se ejecutaron ensayos de Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) in situ en los mismos puntos de muestreo de donde se extrajeron las muestras para laboratorio, registrando el índice de penetración (mm/golpe) con el propósito de realizar una comparación entre los resultados de CBR obtenidos en laboratorio bajo condiciones controladas y las mediciones DCP en exterior, a fin de apreciar las diferencias entre ambos enfoques de evaluación.

Se seleccionaron dos puntos a lo largo de la Av. Bernardino Echeverría, con una separación aproximada de 85 metros y se excavaron calicatas de 1,0 m × 1,0 m hasta 1,0 m de profundidad, por debajo de la capa vegetal, a fin de evitar contaminación orgánica superficial. Se obtuvieron muestras representativas rotuladas como Muestra 1 y Muestra 2. Se registraron coordenadas y cotas para la trazabilidad y, en laboratorio, el material se cuarteó para disponer de porciones destinadas a los ensayos Proctor y CBR.



Tabla 1.

Cuadro de coordenadas y elevaciones de sondeos.

ID DEL SONDEO	Este (X)	Norte (Y)	Cota (Z)
S-01 (m)	761798,8	9859058,42	2947
S-02 (m)	761757,21	9859118,34	2946

Fuente: Google Eart (2026)

Ensayo Proctor (ASTM D1557-12)

Para establecer la densidad seca máxima (γ_{dmax}) y la humedad óptima (ω_{opt}), se moldearon probetas aplicando tres niveles de energía por capa: 12 (baja), 27 (intermedia) y 56 golpes (equivalente a la energía del Proctor Modificado). Cada molde se compactó en tres capas, distribuyendo los golpes de forma uniforme. Se midieron la masa húmeda, el volumen del molde y la masa seca para construir las curvas humedad - densidad por muestra y por nivel energético.

Ensayo CBR (ASTM D1883-21)

Los especímenes de CBR se fueron sometidos únicamente con la energía del Proctor Modificado, equivalente a 56 golpes por capa, dada la proximidad de los puntos de muestreo a una vía y la necesidad de representar las condiciones de obra en el contexto ecuatoriano. Cada probeta se compactó en tres capas conforme a la metodología normalizada. Tras el moldeo, los especímenes se sometieron a inmersión durante 24 horas, para evaluar la condición saturada de referencia y, posteriormente, se ensayaron en prensa CBR, registrando las cargas asociadas a penetraciones de 0,1" y 0,2" y adoptando como CBR reportado el valor más bajo entre ambas.

Ilustración 1.

Muestra con el contenido de humedad óptimo



Fuente: Laboratorio de ingeniería civil (2026).

Ilustración 2

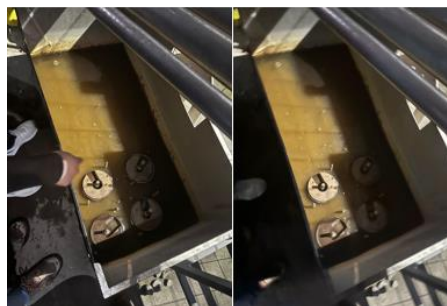
Compactación de la Muestra



Fuente: Laboratorio de ingeniería civil (2026).

Ilustración 3

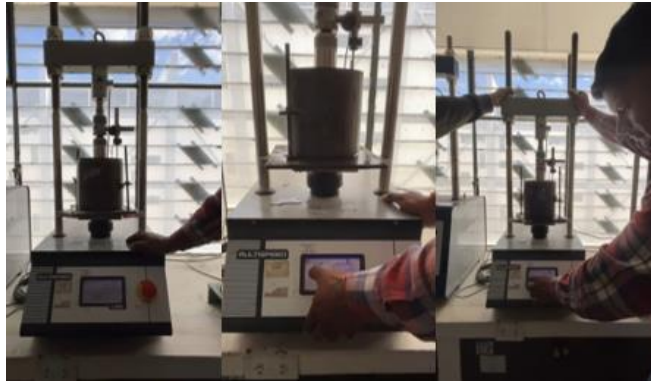
Muestras sumergidas por 24 horas



Fuente: Laboratorio de ingeniería civil (2026).

Ilustración 4

Ensayo de Compresión de las Muestras



Fuente: Laboratorio de ingeniería civil (2026).

Ensayo DCP in situ en los mismos puntos de muestreo

Con el fin de obtener una medición directa en campo en los mismos sitios de extracción de muestras para laboratorio, se ejecutaron sondeos DCP. Se registró el índice de penetración (mm/golpe) a lo largo del perfil de cada punto y se empleó esta información para realizar una comparación entre las mediciones DCP en exterior y los resultados de CBR obtenidos en laboratorio bajo condiciones controladas.

Ilustración 5

Excavación de calicatas



Fuente: Laboratorio de ingeniería civil (2026).

Ilustración 6

Ejecución del Ensayo DCP



Fuente: Laboratorio de ingeniería civil (2026).

Equipos e instrumentos

Se utilizaron: máquina de compactación Proctor (martillo y moldes), prensa CBR digital, zona de inmersión, balanza digital calibrada, horno de secado y accesorios (regla metálica, espátulas, bandejas, probetas). Todos los equipos se verificaron y calibraron antes de su uso para asegurar precisión y estabilidad.

Recolección y procesamiento de datos

Todos los registros se consignaron en planillas de laboratorio. Se elaboraron curvas humedad - densidad, gráficas de esfuerzo–penetración del CBR y tablas comparativas entre el CBR de laboratorio (56 golpes) y las mediciones DCP in situ.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los valores de densidad seca máxima (γ_{dmax}) y humedad óptima (ω_{opt}) obtenidos para cada muestra se presentan en la Tabla 2. Se observó que la Muestra 1 alcanzó una densidad seca máxima de $1,80 \frac{g}{cm^3}$ con humedad óptima del 15,71%, mientras que la Muestra 2 registró $1,55 \frac{g}{cm^3}$ y 15,16%, respectivamente. Ambas muestras mostraron variaciones asociadas a las energías de compactación aplicadas durante los ensayos Proctor.

Los valores de CBR obtenidos en laboratorio bajo compactación con 56 golpes y los resultados obtenidos mediante DCP en campo se resumen en la Tabla 2. Para la Muestra 1, el CBR de diseño fue 9,04 %, mientras que los valores estimados mediante DCP en los puntos S1-01 y S1-02 fueron 10,19% y 12,23%. En la Muestra 2, el CBR de laboratorio fue de 4,27%, y los valores obtenidos mediante DCP variaron entre 5,63% y 6,99%.

Tabla 2

Comparativa CBR Laboratorio vs Resistencia In Situ (DCP)

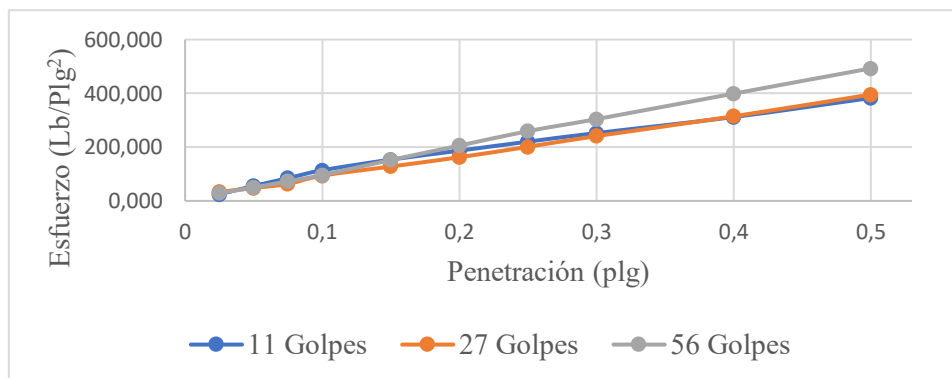
Muestra No.	D.S Óptima kg/m3	Humedad Óptima %	CBR 0,1" %	CBR 0,2" %	ID DEL SONDEO	Índice DCP (mm/golpe)	CBR Estimado DCP (%)
1	1,8	15,71	9,4	12,05	S1-01 (m)	20	10,19
					S1-02 (m)	17	12,23
2	1,55	15,16	4,27	6,04	S2-01 (m)	34	5,63
					S2-02 (m)	28	6,99

Fuente: Laboratorio de ingeniería civil (2026).

Las curvas esfuerzo - penetración de los cilindros del ensayo CBR compactados con 56 golpes se presentan en el gráfico 1 (Muestra 1) y el gráfico 2 (Muestra 2).

Gráfico 1

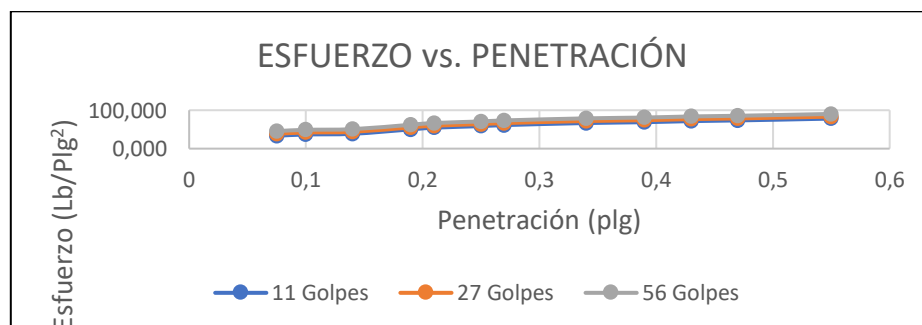
Esfuerzo vs Penetración - Muestra 1



Fuente: Laboratorio de ingeniería civil (2026).

Gráfico 2

Esfuerzo vs Penetración - Muestra 2



Fuente: Laboratorio de ingeniería civil (2026).



A continuación, se muestran, los registros detallados de penetración obtenidos con el ensayo DCP se presentan en la Tabla 3 para la Muestra 1 y en la Tabla 4 para la Muestra 2. En cada caso se incluyen los valores del índice DCP (mm/golpe) obtenidos a diferentes profundidades y el CBR estimado.

Tabla 3.

Resumen de Resultados de Sondeos DCP y Estimación de CBR – Muestra 1

Muestra 1			
Sondeo 1		Sondeo 2	
Índice DCP corregido	CBR	Índice DCP corregido	CBR
mm/golpe	%	mm/golpe	%
34,00	5,63	160,00	0,99
27,00	7,28	50,00	3,65
23,00	8,71	55,00	3,28
22,00	9,16	65,00	2,72
20,00	10,19	50,00	3,65
21,00	9,65	60,00	2,98
24,00	8,31	90,00	1,89
25,00	7,94	77,00	2,25
35,00	5,45	39,00	4,82
29,00	6,72	30,00	6,47
38,00	4,97	28,00	6,99
38,00	4,97	23,00	8,71
55,00	3,28	29,00	6,72
55,00	3,28	17,00	12,23
32,00	6,02	22,00	9,16
33,00	5,82	22,00	9,16
35,00	5,45	28,00	6,99
40,00	4,69	35,00	5,45
35,00	5,45	20,00	10,19

Tabla 4

Resumen de Resultados de Sondeos DCP y Estimación de CBR – Muestra 2

Muestra 2			
Sondeo 1		Sondeo 2	
Índice DCP corregido	CBR	Índice DCP corregido	CBR
mm/golpe	%	mm/golpe	%
70,00	2,51	76,00	2,28
56,00	3,22	56,00	3,22
34,00	5,63	38,00	4,97
52,00	3,50	45,00	4,11
42,00	4,44	39,00	4,82
40,00	4,69	47,00	3,91
40,00	4,69	69,00	2,55
44,00	4,21	99,00	1,70
46,00	4,01	91,00	1,87
77,00	2,25	80,00	2,16
95,00	1,78	54,00	3,35
76,00	2,28	75,00	2,32
77,00	2,25	83,00	2,07
71,00	2,47	45,00	4,11
72,00	2,43	28,00	6,99

DISCUSIÓN

En este estudio se adopta el valor más bajo del CBR de laboratorio (compactación 56 golpes, condición saturada). Bajo este enfoque, el CBR de diseño para la Muestra 1 es 9,04% y para la Muestra 2 es 4,27%, valores que representan el escenario resistente más desfavorable observado en probetas compactadas a la energía del Proctor Modificado. Se optó por estos valores para asegurar un margen de seguridad adecuado en el diseño vial, conforme a las exigencias técnicas de la mecánica de suelos.

Al comparar estos valores de diseño con los CBR estimados por DCP en los mismos puntos de muestreo, se observa una tendencia a que el DCP resulte mayor que el CBR de diseño. En la Muestra 1, frente a 9,04%, los sondeos S1-01 y S1-02 arrojan 10,19% y 12,23%. En la Muestra 2, frente a 4,27%, los sondeos S2-01 y S2-02 reportan 5,63% y 6,99%. La tendencia en los valores DCP superiores al parámetro de diseño es coherente con la diferencia de condiciones: el CBR de laboratorio se obtiene en un entorno controlado (energía fija y saturación), mientras que el DCP captura el estado in situ del perfil (humedad del momento, confinamiento local y estructura del depósito). Además, las curvas esfuerzo - deformación entre especímenes no son idénticas, debido a porosidad, humedad y energía de compactación, entre otros factores. Esta lectura está alineada con la portabilidad y rapidez del DCP para estimar capacidad portante en campo y reconoce que su relación con el CBR presenta dispersión por las diferencias de condición entre ambos ensayos.

Además, (Portilla, 2022) menciona que el DCP no reemplaza los procedimientos normalizados de laboratorio, sino que complementa la evaluación especialmente en estudios preliminares o de control rápido, y advierte que las correlaciones DCP - CBR pueden no ser aceptables si se aplican fuera del dominio de suelos para el que fueron obtenidas o cuando se comparan mediciones de campo con ensayos en saturación. Asimismo, destaca que la capacidad predictiva del DCP mejora cuando se complementa con propiedades índice y con variables de compactación (humedad óptima y densidad seca), en vez de emplearlo de forma aislada.

Desde el punto de vista constructivo, alcanzar en obra 95% o 100% de compactación, es adecuado para que el desempeño observado en laboratorio se traduzca efectivamente al terreno. Aun cuando los CBR por DCP resultan mayores que los valores de diseño en ambos puntos, el empleo del CBR mínimo de laboratorio protege frente a variaciones estacionales de humedad, retrabajos o subcompactación local, y favorece un margen de seguridad adecuado. En particular, cuando el CBR de diseño es del orden de 4% - 9%, se considera pertinente prever medidas de mejoramiento (estabilización y/o refuerzo) y un control adecuado de la humedad de compactación durante la ejecución.

Este estudio reconoce el tamaño muestral acotado (dos ubicaciones) y la sensibilidad del DCP a la humedad del momento como fuentes de dispersión. En futuros ensayos, conviene ampliar el número de puntos y profundidades, repetir CBR y perfiles DCP, e identificar valores de humedad natural, y energía efectiva del DCP, para garantizar el intervalo de discrepancia esperado entre laboratorio y campo, esto respalda la caracterización mecánica en materiales geológicos y la toma de decisiones seguras en proyectos civiles.

CONCLUSIONES

La comparación CBR (laboratorio) y DCP (campo) en los mismos puntos evidencia que el CBR estimado por DCP tiende a ser mayor que el parámetro de diseño definido en laboratorio; esto no sustituye el ensayo normalizado, sino que lo complementa como verificación expedita in situ bajo condiciones reales de humedad y confinamiento.

La traslación del desempeño de laboratorio a obra depende de alcanzar en campo 95% o 100% de la compactación y de un control estricto de la humedad; con este control, la subrasante reproduce o mejora el comportamiento previsto.

En perfiles cuyo CBR de diseño se sitúa en valores bajos, se prioriza el ajuste de humedad en compactación y se recomienda evaluar medidas de mejoramiento para garantizar la capacidad portante requerida por las prácticas locales de control y aceptación.

El estudio aporta evidencia al comparar, en suelos granulares volcánicos, el CBR de laboratorio y el CBR derivado del DCP tomados en los mismos puntos, reforzando el uso del DCP como herramienta operativa de control.

El trabajo presenta un tamaño muestral acotado limitado a solo 2 puntos y el DCP resulta sensible a la humedad y a la heterogeneidad local en el momento de la medición, por lo que la discrepancia respecto al laboratorio se considera esperable dentro de márgenes prácticos.

El criterio de diseño se fundamenta en el CBR de laboratorio más bajo obtenido en probetas compactadas con Proctor Modificado y ensayadas en condición saturada, lo cual asegura un enfoque conservador y reproducible para suelos volcánicos del área de estudio.

Ç



BIBLIOGRAFÍA

- Scribd. (2021). *Informe CBR Laboratorio*. Obtenido de Scribd:
<https://es.scribd.com/document/542435076/Informe-CBR-Laboratorio>
- Araujo, W. (2014). *Ecuaciones de correlación de CBR con propiedades índice de suelos para la ciudad de Piura*. Piura: Universidad de Piura.
- ASTM International. (5 de Julio de 2021). *ASTM D1557-12*. Obtenido de ASTM International:
<https://www.astm.org/d1557-12r21.html>
- ASTM International. (10 de Diciembre de 2021). *ASTM D1883-21: Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils*. Obtenido de ASTM International:
<https://store.astm.org/d1883-21.html>
- Castillo, J., & Mena, L. (2019). *Correlación entre el penetrómetro dinámico de cono (DCP) y la relación de soporte de california (CBR) en campo para el suelo de subrasante de la Vía Portoviejo - Manta*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- Gaibor, A., & Margarita, G. (2012). *Resistencia de la cangahua en función de su composición mineralógica y contenido de humedad en dos sectores de Quito: Sur y Norte*. Quito: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.
- Geocontrol Perú y Servicios S.A.C. (8 de Mayo de 2025). *Ensayo CBR: Guía Completa sobre el Ensayo de Capacidad de Soporte del Suelo*. Obtenido de Geocontrol Perú:
<https://geocontrolperu.com.pe/2025/05/08/ensayo-cbr-guia-completa-sobre-el-ensayo-de-capacidad-de-soporte-del-suelo/>
- Granados, D. (3 de Abril de 2017). *Diferencias entre Proctor Estándar y Modificado*. Obtenido de SCRIBD: <https://es.scribd.com/document/380629674/Diferencia-Entre-Proctor-Estandar-y-Modificado>
- Loor, D., & Quimis, I. (2024). *Estudio de las propiedades físicas y mecánicas del suelo para cimentación de obras civiles en el sector la Dolorosa del cantón Jipijapa*. Jipijapa: UNESUM.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2013). *Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12. Volumen Nº 3: Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes*. Quito: MTOP.
- Moreno, L., Muñoz, M., & Ramírez, R. (2019). CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE SUELOS DEL PERFIL COSTERO ENTRE ANCÓN Y ANCONCITO. *Ciencia Unemi*, 40-53.



- Palacios, I., Ushiña, D., & Carrera, D. (2018). Identificación de Cangahuas para su recuperación mediante estudio multicriterio y constatación in situ en comunas del volcán Ilaló. *CCT-ESPE*, 9-12.
- Pazos, J. (2023). *Análisis de la capacidad de soporte (CBR) de una subbase clase II, procedente de la cantera de Pesillo, ubicada en el Cantón Cayambe, mediante la adición de plástico triturado (PET)*. Quito: Repositorio UCE.
- Portilla, F. (2022). Correlación entre el CBR de laboratorio, el índice DCP y propiedades físicas y mecánicas de suelos granulares. *Conciencia Digital*, 45-59.
- Villacrés, Y. (2021). *Análisis comparativo del CBR de laboratorio saturado y sin saturar para suelos granulares del cantón Ambato, provincia de Tungurahua*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.

CONFLICTO DE INTERÉS:

Los autores declaran que no existen conflicto de interés posibles

FINANCIAMIENTO

No existió asistencia de financiamiento de parte de pares externos al presente artículo.

NOTA:

El artículo no es producto de una publicación anterior.

