



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i3.1275>

Ciencias técnicas y aplicadas  
Artículo de investigación

***Estimación del coeficiente de permeabilidad del suelo en la ciudad de Macas -  
Ecuador utilizando permeámetro de carga variable***

***Estimation of the soil permeability coefficient in the city of Macas -Ecuador  
using variable load permeameter***

***Estimativa do coeficiente de permeabilidade do solo na cidade de Macas-  
Equador usando permeamômetro de carga variável***

Christian Orlando Camacho-López <sup>I</sup>  
[christian.camacho@esepoch.edu.ec](mailto:christian.camacho@esepoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0003-4876-9583>

Nancy Viviana Zabala-Alarcón <sup>II</sup>  
[viviana.zabala@esepoch.edu.ec](mailto:viviana.zabala@esepoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0003-2351-9430>

Yetzabel Gerarda Flores-Carpio <sup>III</sup>  
[yegerarda90@gmail.com](mailto:yegerarda90@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0003-0365-8951>

**Correspondencia:** [christian.camacho@esepoch.edu.ec](mailto:christian.camacho@esepoch.edu.ec)

**\*Recibido:** 29 de mayo de 2020 **\*Aceptado:** 30 de junio de 2020 **\* Publicado:** 18 de julio de 2020

- I. Máster of Science in Hydrogeological Engineering, Ingeniero en Biotecnología Ambiental, Docente en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Grupo de Investigación de Recursos Mineros e Ingeniería. Macas, Ecuador.
- II. Estudiante de Minas de la Facultad de Recursos Naturales en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Macas, Ecuador.
- III. Máster of Science in Hydrogeological Engineering, Ingeniera en Geología y Minas, PhD Student of Earth Science in Faculty of Earth Science and Engineering, University of Miskolc, Institute of Environmental Management. Miskolc, Hungary.

## Resumen

El movimiento del agua a través de los poros del suelo es un factor de interés geotécnico, su desconocimiento genera riesgos de agrietamiento en estructuras, subsidencia de la superficie o expansión en las áreas de implantación de obras civiles, entre otros. Los patrones de flujo de agua a través de los suelos dependen de las características geomecánicas del sustrato edafológico, y son definidos por: (1) la distribución granulométrica, (2) grado de saturación y (3) porosidad, variables que definen la permeabilidad del material.

La permeabilidad es la capacidad que posee una roca para permitir el paso de un fluido y la estimación de su coeficiente puede obtenerse a partir de su medición in situ y en laboratorio. Una técnica usual para determinar el coeficiente de permeabilidad de suelos finos, como arenas finas, limos y arcillas es la prueba de carga variable. Así, la presente investigación tiene como objetivo calcular diferentes variables hidrogeológicas de los suelos del área urbana de la ciudad de Macas-Ecuador que sirvan como información de referencia para la ejecución de proyectos de ingeniería como obras viales o edificaciones, permitiendo advertir la necesidad de implementar medidas correctivas que mejoren las características del suelo para la correcta ejecución de cualquier tipo de proyecto. Para su estimación se recogieron 30 muestras de suelo a una profundidad de 0.90m utilizando el método de muestreo aleatorio simple, luego dichas muestras fueron preparadas y analizadas utilizando un permeámetro de carga variable en base al procedimiento descrito por la norma ASTM D5084-16a y determinando el coeficiente de permeabilidad mediante la aplicación de la ley de Darcy.

Posteriormente, los datos obtenidos fueron transformados a un modelo vectorial, generando un mapa de distribución espacial a través de interpolación con IDW (Inverse Distance Weighted), que permita clasificar la distribución espacial del suelo del área de estudio en función de su coeficiente de permeabilidad y porosidad obteniendo como producto final el primer mapa de la ciudad de Macas con este tipo de información hidro-geológica aplicable al ámbito geotécnico y de planeación urbana. Así, se establece que las muestras de suelo recolectadas en el perímetro de crecimiento urbano de la ciudad de Macas presentan valores de conductividad hidráulica entre 2,85 y 35,60m/d con tendencia lineal cercana a 17m/d, un rango de porosidad entre 30 y 70% con una tendencia lineal cercana a 55%, y un índice de vacíos en un rango de 0.4 y 2.3, presentando características propias de depósitos no consolidados con tamaños de grano fino entre arena limosa (SM) y arcillosa

de baja plasticidad (CL). Los datos permiten definir suelos de baja conductividad hidráulica y alta capacidad de saturación, lo que podría ocasionar un problema de suelos expansivos durante el desarrollo o implementación de obras ingenieriles, haciendo necesaria la ejecución de medidas correctivas y adecuadas técnicas de construcción que permitan un apropiado aprovechamiento del suelo, disminuyendo los índices de riesgos geológicos que afecten la seguridad de las obras civiles.

**Palabras claves:** Coeficiente de permeabilidad; suelo; ley de darcy; hidrogeología; Macas.

### **Abstract**

The movement of water through the soil pores is a factor of geotechnical interest. Its omission generates risks of cracks in structures, subsidence of surface, or expansion in areas of implantation of civil works, among others. The water flow networks through the soils depend on the geomechanical characteristics of the soil, and are determined by: (1) the grain size distribution, (2) degree of saturation and (3) porosity. These factors define the permeability of the material.

Permeability describes the ability of a rock to allow to a fluid flows into its structure, and the estimation of its coefficient can be obtained from in situ and laboratory measurements. A common technique for determining the permeability coefficient of fine soils, such as fine sands, silts, and clays, is the falling head permeability test. Thus, the aim of the present research is calculating some hydrogeological variables of the soils in the urban area of the city of Macas-Ecuador to provide a source of reference information for the execution of engineering projects such as roads or buildings, allowing to know the needs to implement engineering corrective measures that improve the characteristics of the soil for the correct execution of any type of project. For its estimation, 30 soil samples were collected at 0.90 m depth using the simple random sampling method, then these samples were prepared and analyzed using a falling head permeameter according to the procedure described by ASTM D5084-16a and determining the permeability coefficient using the Darcy's law.

Subsequently, the obtained data were transformed into a vector model to generate a spatial distribution map through interpolation with IDW (Inverse Distance Weighted), which allows classify the soil of the study area based on its permeability coefficient and porosity and displays the spatial distribution on the first map of the city of Macas with this type of hydrogeological information, which is applicable to the geotechnical and urban planning fields. Consequently, it is

established that the soil samples obtained in the urban growth perimeter of the city of Macas present hydraulic conductivity values between 2,85 and 35,60m/d with a linear trend close to 17m/d, a range of porosity between 30 and 70% with a linear trend close to 55%, and a void index in a range of 0.4 and 2.3, presenting characteristics typical of unconsolidated deposits with fine grain sizes between silty sand (SM) and low plasticity clay (CL) . The data allows defining soils with low hydraulic conductivity and high saturation capacity, these mechanical conditions can cause problems of expansive soils during the development or implementation of engineering works, and making necessary to carry out corrective measures and adequate construction techniques that allow proper use of the soil, decreasing the geological risk index that affect the safety factor of civil works.

**Keywords:** Soil; permeability coefficient; permeameter; hydrogeology; Macas.

## Resumo

O movimento da água pelos poros do solo é um fator de interesse geotécnico, sua ignorância gera riscos de trincas nas estruturas, subsidência da superfície ou expansão nas áreas de implantação de obras civis, entre outros. Os padrões de fluxo de água nos solos dependem das características geomecânicas do substrato do solo e são definidos por: (1) distribuição do tamanho das partículas, (2) grau de saturação e (3) porosidade, variáveis que definem a permeabilidade do solo. material. Permeabilidade é a capacidade de uma rocha permitir a passagem de um fluido e a estimativa de seu coeficiente pode ser obtida a partir de sua medição in situ e em laboratório. Uma técnica comum para determinar o coeficiente de permeabilidade de solos finos, como areias finas, silte e argilas, é o teste de carga variável. Assim, a presente investigação tem como objetivo calcular diferentes variáveis hidrogeológicas dos solos da área urbana da cidade de Macas-Ecuador, que servem como informações de referência para a execução de projetos de engenharia como obras rodoviárias ou edifícios, permitindo observar a necessidade de implementar medidas corretivas que melhorem as características do solo para a correta execução de qualquer tipo de projeto. Para sua estimativa, 30 amostras de solo foram coletadas a uma profundidade de 0,90m, usando o método de amostragem aleatória simples; em seguida, essas amostras foram preparadas e analisadas usando um permâmetro de carga variável com base no procedimento descrito em ASTM D5084-16a e determinando o coeficiente de permeabilidade aplicando a lei de Darcy.

Posteriormente, os dados obtidos foram transformados em modelo vetorial, gerando um mapa de distribuição espacial por interpolação com IDW (Distância Inversa Ponderada), que permite classificar a distribuição espacial do solo da área de estudo com base em seu coeficiente de permeabilidade e Porosidade, obtendo como produto final o primeiro mapa da cidade de Macas com esse tipo de informação hidrogeológica aplicável ao campo geotécnico e ao planejamento urbano. Assim, estabelece-se que as amostras de solo coletadas no perímetro de crescimento urbano da cidade de Macas apresentam valores de condutividade hidráulica entre 2,85 e 35,60m/d, com tendência linear próxima a 17m/d, faixa de porosidade entre 30 e 70% com tendência linear próxima a 55% e índice de vazios na faixa de 0,4 e 2,3, apresentando características típicas de depósitos não consolidados com granulação fina entre areia siltosa (SM) e argila com baixo teor de plástico (CL). Os dados permitem definir solos com baixa condutividade hidráulica e alta capacidade de saturação, o que poderia causar um problema de solos expansivos durante o desenvolvimento ou implementação de obras de engenharia, tornando necessário a execução de medidas corretivas e técnicas de construção adequadas que permitam o uso adequado do solo, diminuindo os índices de irrigação geológica que afetam a segurança das obras civis.

**Palavras-Chave:** Coeficiente de permeabilidade; chão; lei de Darcy; hidrogeologia; Macas.

## Introducción

El movimiento del agua a través de los poros del suelo, es de gran interés en la construcción de obras de ingeniería, pues tanto su grado de saturación como sus propiedades hidráulicas, modifican sus capacidades geotécnicas. Por otro lado, el suelo es el sistema que soporta el peso de las estructuras, si se desconocen sus características geomecánicas, su correcto uso no estará garantizado dando lugar a que la estructura civil planificada presente problemas de agrietamiento, hundimiento u otros que deterioren su calidad y tiempo de vida útil.

El flujo de agua en los suelos depende de la naturaleza del suelo y sus características mecánicas. Los factores principales que modifican el flujo de agua a través del suelo son: (1) la distribución granulométrica, (2) grado de saturación y (3) porosidad, pues su relación permite que exista mayor o menor permeabilidad, debido a la reducción o ampliación de los canales disponibles al flujo del agua conocida como porosidad efectiva.

La permeabilidad es la capacidad que posee una roca para permitir el paso de un fluido, su coeficiente conocido también como conductividad hidráulica es particular de cada litología. La estimación de la conductividad hidráulica en suelos puede obtenerse a partir de su medición in situ y en laboratorio. En laboratorio son recomendados los procedimientos directos cuyo objetivo fundamental es la medición de esta variable mediante el uso de permeámetros de carga constante o permeámetros de carga variable, pues permiten obtener datos más precisos, sin embargo, es necesario considerar la variabilidad en los resultados, dificultad en la realización de las pruebas y la cantidad de muestras dependientes de la heterogeneidad del sitio de interés y del grado de precisión requerido. (Filigrana, 2006) (Kobr, Huizar, & Campos, 2005) (Alfaro & Mora, 2014)

Por otro lado, los métodos indirectos evalúan variables relacionadas con la conductividad hidráulica, que permiten calcularlo a partir de otros parámetros conocidos, por ejemplo: la clasificación granulométrica, la prueba de consolidación o la prueba horizontal de capilaridad permiten el cálculo indirecto de la conductividad hidráulica, aunque se debe considerar que estos métodos pueden conducir a una mayor grado de incertidumbre de los resultados que los métodos directos. (Barbecho & Jhoana, 2012).

Finalmente, los métodos in situ permiten identificar la conductividad hidráulica de un suelo en forma directa, estos métodos son: infiltración estándar, prueba de agotamiento y recuperación, prueba de perforación entubada, prueba de perforación no entubada, prueba de infiltración, lagunas de infiltración, método de Bouwer y Porchet, así como pruebas de inyección o extracción de agua, entre otros. (Cahuana & Yugar, 2009) (Martínez, 2018). Son pruebas de mayor precisión debido a que las medidas se realizan en los suelos no alterados o muy poco perturbados, pero son poco utilizadas pues representan altos costos económicos y demandan gran cantidad de tiempo.

Para determinar el coeficiente de permeabilidad de suelos finos, como arenas finas, limos y arcillas, se realizan pruebas de permeámetro de carga variable, ya que el caudal que atraviesa la muestra de estas características granulométricas es demasiado pequeño para permitir mediciones precisas con el permeámetro de carga constante. La prueba de carga variable utiliza un cilindro de 100mm de diámetro, donde se introduce una muestra de suelo inalterada o compactada en un molde de compactación, cuyos extremos superior e inferior son protegidos con un filtro de malla de alambre y grava, posteriormente la base del cilindro queda sumergida en un recipiente con agua que cuenta con un vertedor de nivel constante y el extremo superior se conecta a un tubo piezómetro abierto

de diámetro conocido, la prueba se lleva a cabo llenando la columna con agua y permitiendo que se produzca la infiltración a través de la muestra, registrando la altura piezométrica en la columna a diferentes tiempos. (Alfaro & Mora, 2014)

El área de estudio de la presente investigación es la parroquia urbana Macas que es la cabecera cantonal del cantón Morona localizándose en el centro sur de la Región Amazónica, en las estribaciones orientales de la Cordillera Real y parte de la Llanura Amazónica de Ecuador, a 1050 metros sobre el nivel del mar y con una superficie de 53.32km<sup>2</sup>. Macas es la capital y centro administrativo, político, y financiero de la provincia de Morona Santiago, está compuesta por áreas urbanas consolidadas o en proceso de consolidación, alberga la mayor cantidad de población de la provincia de Morona Santiago con 13 682 habitantes entre mestizos e indígenas cuyas principales actividades económicas son la agricultura, la ganadería y el empleo público. (Tapia, 2019) (Erazo, 2010)

Además, la ciudad cuenta con servicios básicos e infraestructura en salud, educación y vialidad y limita al norte con la parroquia General Proaño, al sur con la parroquia Río Blanco, al este con la parroquia Sevilla Don Bosco, y al oeste con las parroquias Alshi (9 de octubre) y Río Blanco. Asimismo, su índice de desarrollo en vivienda es de 58.98% en su mayoría constituido por viviendas construidas con techos de zinc, teja y paredes de ladrillo, hormigón y bloque, su índice de desarrollo en luz eléctrica es 87.28%, alcantarillado 51.84%, agua potable 52.18%, recolección de basura 74.13% y eliminación de excretas 60.0% (Durán, 2015)(Erazo, 2010).

Bajo este contexto, el presente estudio permite obtener mapas de la distribución espacial de la conductividad hidráulica y porosidad de la ciudad de Macas que sirvan como información referencial para la ejecución de proyectos de ingeniería como obras viales o edificaciones, permitiendo visualizar la necesidad de medidas correctivas que mejoren las características geomecánicas del suelo para la correcta ejecución de cualquier tipo de proyecto constructivo.

## Metodología

### Obtención de muestras

Se recogieron 30 muestras de suelo de la zona urbana de la ciudad de Macas (Figura 1) a una profundidad de 90cm utilizando un método de muestreo aleatorio simple, tratando de recoger muestras de zonas que no han tenido modificaciones en su composición primaria. Posteriormente, se asignaron codificaciones a cada una de las muestras y se registró su geolocalización utilizando las coordenadas geográficas UTM Datum WGS84 17S proporcionadas por un GPS previamente validado y calibrado.

### Preparación de las muestras

Las muestras fueron ingresadas en el laboratorio utilizando la codificación asignada en campo. A continuación, estuvieron extendidas por un periodo de 48 horas en bandejas con la finalidad de realizar un secado a temperatura ambiente, se disgregaron las aglomeraciones de suelo mediante un pistilo y mortero para su posterior utilización en un permeámetro de carga variable, siguiendo el procedimiento descrito en la norma ASTM D5084-16a.

### Determinación de los parámetros hidrogeológicos

La porosidad e índice de vacíos se calcula en función del volumen y masa de las muestras recolectadas, mientras que la conductividad hidráulica fue obtenida utilizando un permeámetro de carga variable de volumen constante de 220.6cm<sup>3</sup> de suelo, seleccionando el método considerando que brinda mayor exactitud para arcilla y limo. Así, durante el ensayo se registra el peso de la muestra, las caídas de nivel de agua en el tubo de medición y el intervalo de tiempo del ensayo. Finalmente, con los datos obtenidos se determina el coeficiente de permeabilidad aplicando la ley de Darcy, a través de la siguiente fórmula:

$$k = 2.3 \frac{a * L}{A * \Delta t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Donde:

k= coeficiente de permeabilidad [L/T]

a= Área del tubo recto de medición [L<sup>2</sup>]

L= Longitud del permeámetro [L]

A= Área transversal del permeámetro [L<sup>2</sup>]



$h_1$ = Altura inicial de medición [L]

$h_2$ = Altura final de medición [L]

$\Delta t$ = Intervalo de tiempo entre alturas de medición [T]

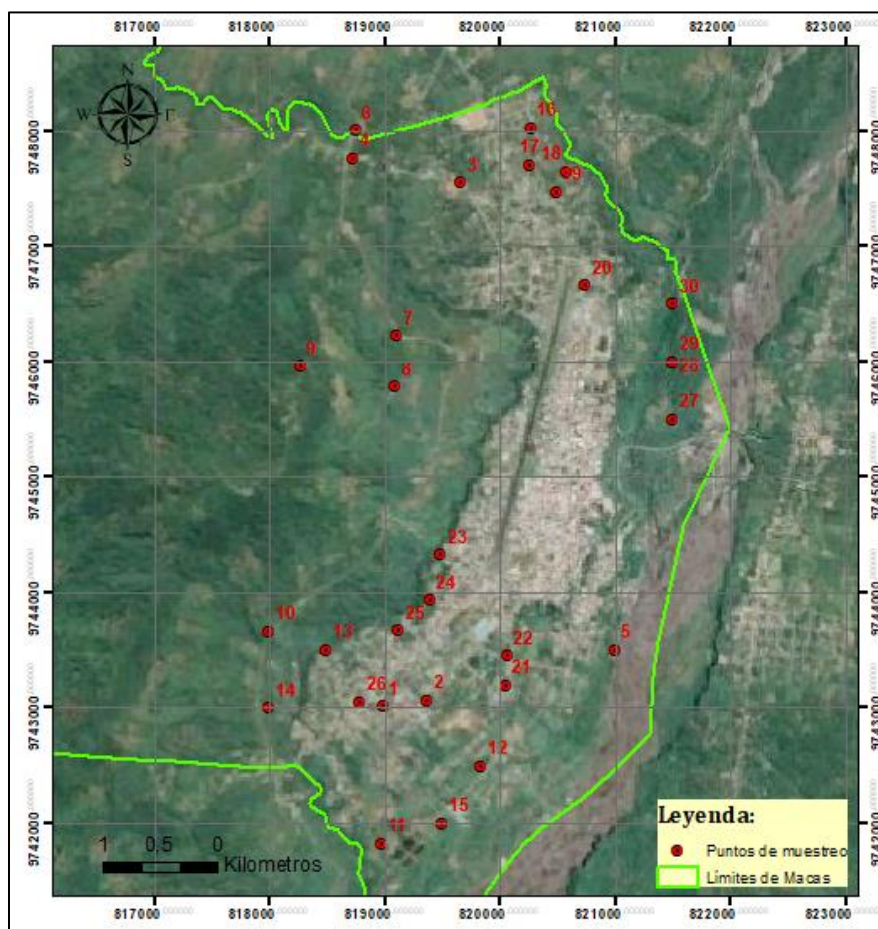
### **Elaboración de los mapas de variables hidrogeológicas**

La información cartográfica base se ha recolectado de Google Maps, sobre la cual los datos obtenidos en las fases previas y transformados a un modelo vectorial, se sobreponen utilizando el Software ArcGIS®, generando un mapa de distribución espacial utilizando el método de interpolación de la distancia inversa ponderada (IDW), que permita clasificar el suelo del área de estudio en función de su coeficiente de permeabilidad y porosidad obteniendo como producto final los primeros mapas de la ciudad de Macas con este tipo de información hidrogeológica aplicable al ámbito geotécnico y de ordenamiento territorial.

### **Resultados**

Se analizaron tres variables hidrogeológicas: conductividad hidráulica, porosidad e índice de vacíos, importantes por sus efectos sobre las propiedades geomecánicas de los materiales litológicos. El análisis engloba información de 30 muestras de suelos naturales sin capa asfáltica a una profundidad promedio de 0.9m dentro del perímetro de crecimiento urbano de la ciudad de Macas distribuidas como se visualiza en la figura 1.

**Figura 1.** Distribución de los 30 puntos de muestreo en la ciudad de Macas



Fuente: Elaboración propia.

Los valores de las variables hidrogeológicas consideradas para cada muestra analizada en los ensayos de laboratorio son mostrados en la tabla 1. La compilación de la información permitió describir a detalle cada una de las muestras que se presentan en la figura 1 y ha creado una idea general de las características del suelo presente en la ciudad de Macas.

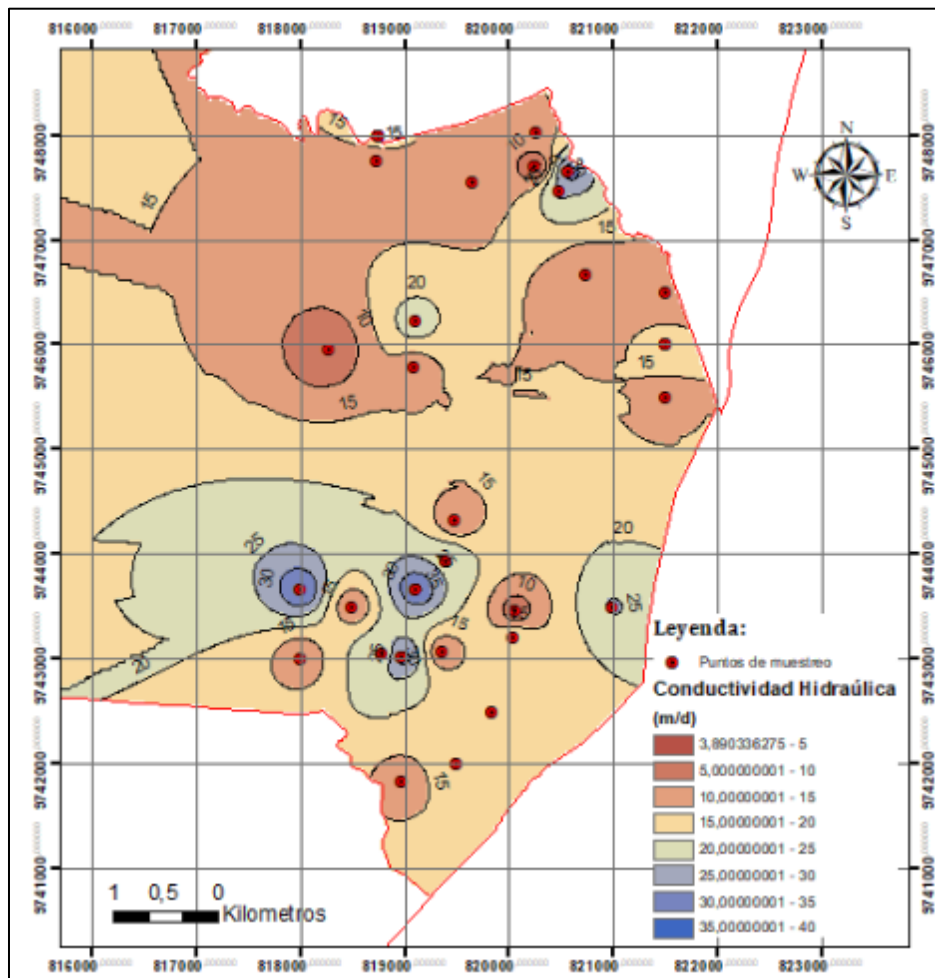
**Tabla 1.** Resumen de resultados de laboratorio de las muestras recolectadas de las variables hidrogeológicas consideradas

| Muestra | Conductividad hidráulica (cm/s) | Conductividad hidráulica (m/d) | Porosidad (%) | Índice de vacíos (-) |
|---------|---------------------------------|--------------------------------|---------------|----------------------|
| 1       | 0,0364                          | 31,45                          | 61,84         | 1,6207               |
| 2       | 0,0124                          | 10,71                          | 60,31         | 1,5199               |
| 3       | 0,0124                          | 10,71                          | 61,08         | 1,5693               |
| 4       | 0,0117                          | 10,11                          | 61,84         | 1,6207               |
| 5       | 0,0292                          | 25,23                          | 35,13         | 0,5416               |
| 6       | 0,0225                          | 19,44                          | 58,03         | 1,3825               |
| 7       | 0,0263                          | 22,72                          | 31,32         | 0,4560               |
| 8       | 0,0155                          | 13,39                          | 46,58         | 0,8720               |
| 9       | 0,0065                          | 5,62                           | 63,36         | 1,7299               |
| 10      | 0,0399                          | 34,47                          | 60,31         | 1,5199               |
| 11      | 0,0143                          | 12,36                          | 52,21         | 1,1839               |
| 12      | 0,0215                          | 18,58                          | 61,84         | 1,6207               |
| 13      | 0,012                           | 10,37                          | 69,47         | 2,2759               |
| 14      | 0,0122                          | 10,54                          | 67,95         | 2,1199               |
| 15      | 0,0204                          | 17,63                          | 61,84         | 1,6207               |
| 16      | 0,0153                          | 13,22                          | 61,84         | 1,6207               |
| 17      | 0,0043                          | 3,72                           | 32,07         | 0,4723               |
| 18      | 0,0378                          | 32,66                          | 61,08         | 1,5693               |
| 19      | 0,0297                          | 25,66                          | 68,71         | 2,1960               |
| 20      | 0,0122                          | 10,54                          | 61,08         | 1,5693               |
| 21      | 0,0219                          | 18,92                          | 58,03         | 1,3825               |
| 22      | 0,0076                          | 6,57                           | 61,84         | 1,6207               |
| 23      | 0,0121                          | 10,45                          | 54,21         | 1,1839               |
| 24      | 0,0287                          | 24,80                          | 61,08         | 1,5693               |
| 25      | 0,0412                          | 35,60                          | 39,85         | 0,6625               |
| 26      | 0,0259                          | 22,38                          | 53,45         | 1,1481               |
| 27      | 0,0163                          | 14,08                          | 54,21         | 1,1839               |
| 28      | 0,0033                          | 2,85                           | 31,32         | 0,4559               |
| 29      | 0,0199                          | 17,19                          | 69,47         | 2,2759               |
| 30      | 0,0115                          | 9,94                           | 31,32         | 0,4550               |

Los ensayos de laboratorio de las muestras de suelo indicaron valores de conductividad hidráulica entre 2.85 y 35.60m/d, cuya distribución espacial se detalla en la figura 2. Estos valores son característicos de depósitos no consolidados con tamaños de grano entre arena limosa (SM) o

arcillosa de baja plasticidad (CL), apoyados en la literatura que reporta valores de conductividad hidráulica entre  $10^2$  y  $10^{-3}$  m/d para este tipo de materiales.

**Figura 2.** Distribución espacial de conductividad hidráulica de los suelos en la ciudad de Macas



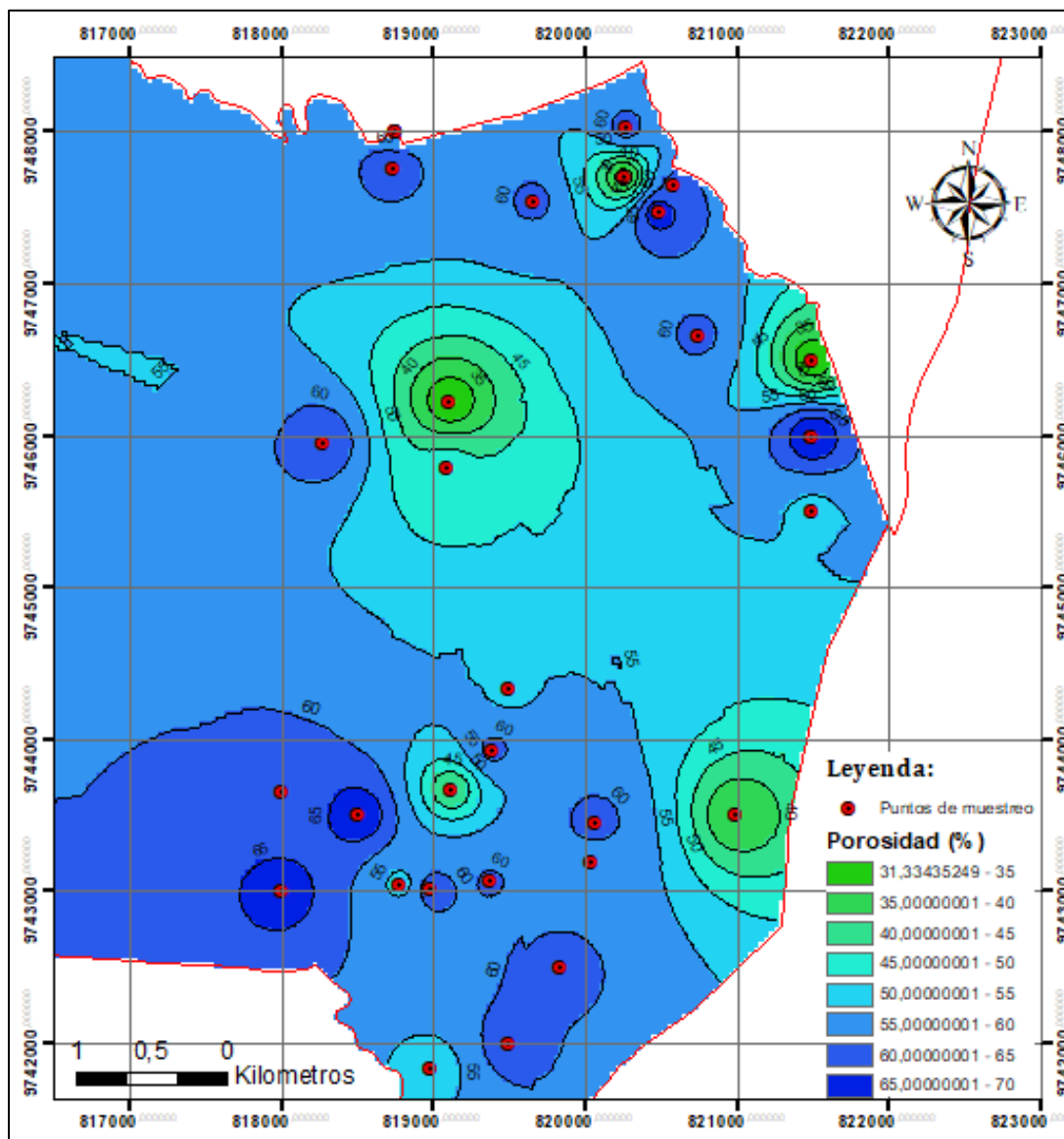
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados en los ensayos de laboratorio también exponen un rango de porosidad entre 30 y 70%, cuya distribución espacial se proyecta en la figura 3, y el índice de vacíos en un rango de 0.4 y 2.3, como se desglosa en la tabla 1. Estos valores ratifican la presencia de arcilla y limo en la composición de los suelos de la ciudad de Macas, tal como lo afirma el estudio de Castillo, 2017 donde mediante análisis granulométrico se clasificó muestras de suelo del paso lateral de Macas como OH o arcilla orgánica de alta compresibilidad de acuerdo con el Sistema Unificado de

Estimación del coeficiente de permeabilidad del suelo en la ciudad de Macas -Ecuador utilizando permeámetro de carga variable

Clasificación de Suelos (SUCS), y como suelo arcilloso con presencia de materia orgánica (A-7-5) mediante la AASHTO.

Figura 3. Distribución espacial de la porosidad de los suelos en la ciudad de Macas



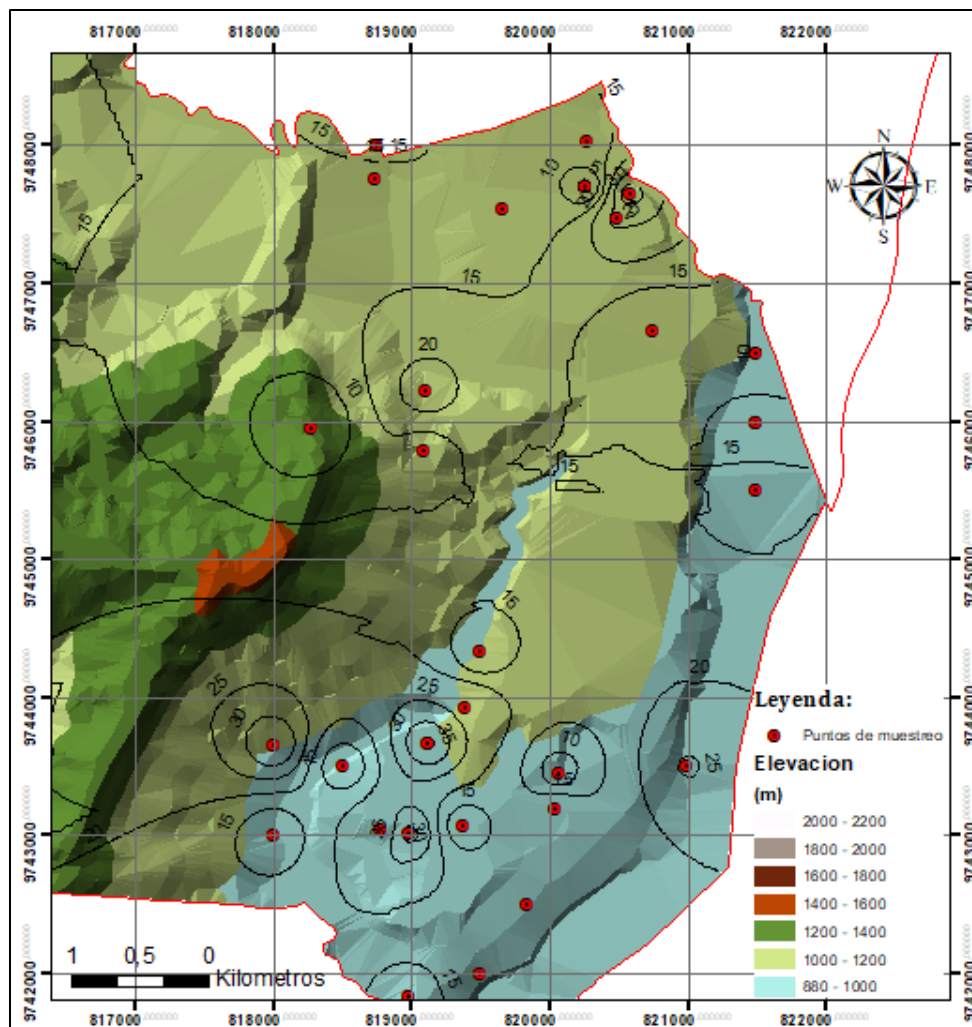
Fuente: Elaboración propia.

Conjuntamente, la figura 4 exhibe la relación que existe entre la conductividad hidráulica y la morfología del terreno, concluyendo que la conductividad hidráulica no presenta una relación directa con los cambios de altitud del terreno, por lo contrario se exhiben cambios de esta variable

Estimación del coeficiente de permeabilidad del suelo en la ciudad de Macas -Ecuador utilizando permeámetro de carga variable

en un mismo nivel topográfico, deduciendo que la capa litológica presenta anisotropía horizontal en la conductividad hidráulica que se podría atribuir a que en ciertos puntos las características del suelo han sido alteradas.

**Figura 4.** Relación entre la morfología y conductividad hidráulica del área

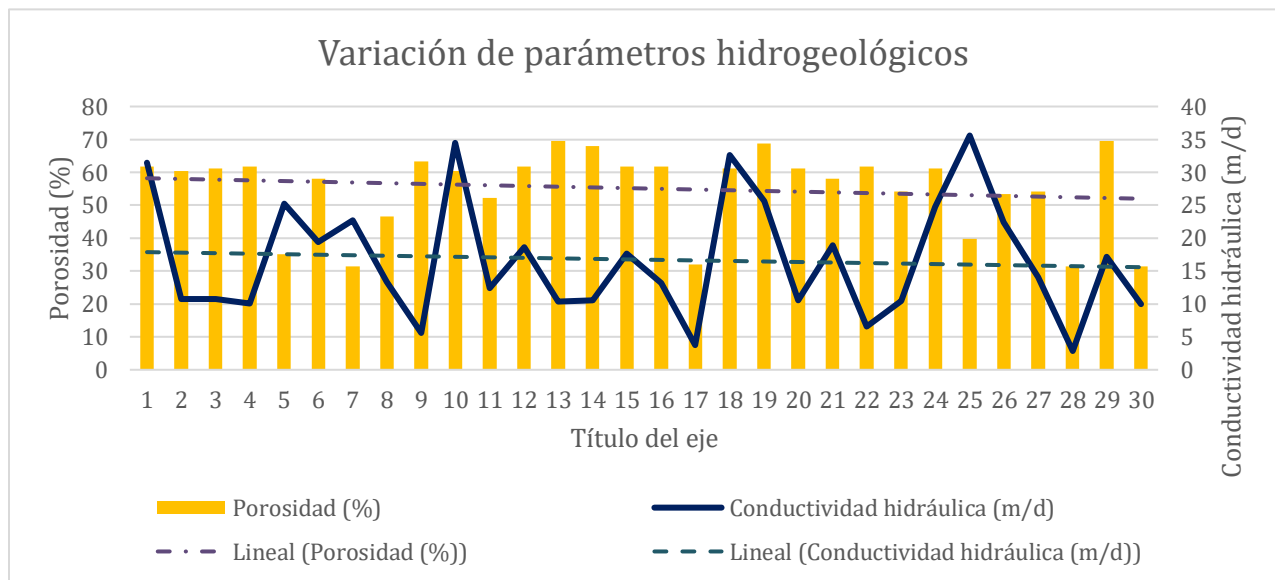


Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la figura 5, evidencia estadísticamente como la conductividad hidráulica tiene una tendencia lineal cercana a 17 m/d y una porosidad cercana a 55% de los suelos de la ciudad. Evidenciando grandes pero pocas crecidas y cortos pero frecuentes decrecimientos, dicha variabilidad permite demostrar que cada sector de la ciudad presenta características diferentes en

distintos puntos de muestreo pero que en general componen un sustrato litológico de características mecánicas cercanas entre sí, en general se presentan como suelos de baja conductividad hidráulica pero alta capacidad de saturación, lo que durante la construcción ingenieril podría prever un problema de materiales expansivos, pues al humedecerse tendrían un incremento de volumen y al desecarse este volumen disminuiría produciéndose un agrietamiento del suelo y haciendo necesaria la implementación de medidas correctivas que permitan un adecuado aprovechamiento del suelo.

**Figura 5.** Variación de parámetros hidrogeológicos entre los puntos de muestreo



Fuente: Elaboración propia.

## Conclusiones

Las muestras de suelo obtenidas en el perímetro de crecimiento urbano de la ciudad de Macas presentan valores de conductividad hidráulica entre 2,85 y 35,60m/d con tendencia lineal cercana a 17m/d, además muestran un rango de porosidad entre 30 y 70% con una tendencia lineal cercana a 55%, y un índice de vacíos en un rango de 0.4 y 2.3, este conjunto de parámetros hidrogeológicos representados gráficamente son característicos de depósitos no consolidados con tamaños de grano fino, definiendo al sustrato litológico con una baja conductividad hidráulica pero alta capacidad de saturación, lo que podría ocasionar un problema geotécnico relacionado con suelos expansivos durante el desarrollo o implementación de obras ingenieriles que hacen necesaria la modificación

del suelo para su correcto aprovechamiento.

Finalmente, se deduce que el aporte de esta investigación hidrogeológica consigue brindar información general de la ciudad de Macas que se puede usar para un adecuado plan de ordenamiento territorial y técnicas de construcción correctas que disminuyan la presencia de peligros durante el desarrollo o establecimiento de obras civiles que posteriormente podrían ser mortales.

## Referencias

1. Alfaro, D., & Mora, F. (2014). Modelo físico para la medición de la permeabilidad en suelos cohesivos (cabeza variable). Bogota-Colombia: Universidad Católica de Colombia.
2. ASTM International. (2016). Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter. West Conshohocken: ASTM.
3. Barbecho, J., & Jhoana, C. (2012). Caracterización de la conductividad hidráulica de los suelos de la sub-cuenca del río Tarqui. Cuenca-Ecuador: Universidad de Cuenca.
4. Cahuana, A., & Yugar, W. (2009). Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología CIV-233. Cochabamba-Bolivia: Universidad Mayor de San Simón.
5. Castillo, B. (2017). Estabilización de Suelos Arcillosos de Macas con Valores de CBR menores al 5% y Límites Líquidos superiores al 100%, para utilizarlos como Subrasantes en Carreteras. . Cuenca, Ecuador.
6. Durán, P. (2015). Alcantarillado combinado para la ciudad de Macas, subsistema 1, 2, 3, 4, y 12. Macas-Ecuador: Alcaldía de Morona.
7. Erazo, G. (2010). Plan de marketing turístico para la ciudad y parroquia Macas – cantón Morona, provincia de Morona Santiago. Quito-Ecuador.
8. Filigrana, D. (2006). Instalaciones agrarias representativas: descripción y especificaciones. Barcelona-España: GERSA.
9. Kobr, M., Huizar, R., & Campos, O. (2005). Evaluacion Hidrogeologica de Pozos a Traves de Registros Geofisicos. México-México: UNAM.



10. Martínez, P. (2018). Hidrogeología : Principios y aplicaciones. Madrid-España: McGrawHill Education.
11. Tapia, J. (2019). Levantamiento geológico, estratigráfico y estructural de la parroquia Macas. Macas-Ecuador: ESPOCH.