

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil.

TRABAJO DE TITULACIÓN

**PROPIEDADES MECÁNICAS E HIDRÁULICAS DE LOS LECHOS DE ADSORCIÓN  
DE PIROCLASTOS DEL TUNGURAHUA, MAYORES O IGUALES A 4750 MICRAS  
DE DIÁMETRO**

Autor:

**DIEGO ALEJANDRO QUINTANA RODRÍGUEZ**

Tutor:

**ING. ALFONSO ARELLANO MGS.**

**Riobamba – Ecuador**

**Año 2020**

## REVISIÓN

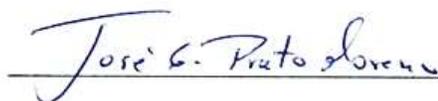
Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: **“PROPIEDADES MECÁNICAS E HIDRÁULICAS DE LOS LECHOS DE ADSORCIÓN DE PIROCLASTOS DEL TUNGURAHUA, MAYORES O IGUALES A 4750 MICRAS DE DIÁMETRO”**, presentado por: Diego Alejandro Quintana Rodríguez.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Para constancia de lo expuesto firman:

Dr. José Prato

Miembro del Tribunal



Ing. Marcel Paredes

Miembro del Tribunal



Ing. Alfonso Arellano

Director del Proyecto



### CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Alfonso Arellano, en calidad de Tutor de Tesis, cuyo tema es: “**PROPIEDADES MECÁNICAS E HIDRÁULICAS DE LOS LECHOS DE ADSORCIÓN DE PIROCLASTOS DEL TUNGURAHUA, MAYORES O IGUALES A 4750 MICRAS DE DIÁMETRO**”, CERTIFICO; que el informe final de trabajo investigativo ha sido revisado y corregido, razón por la cual autorizo al Señor Diego Alejandro Quintana Rodríguez para que se presente ante el tribunal de defensa respectivo para que se lleve a cabo la sustentación de su Tesis.

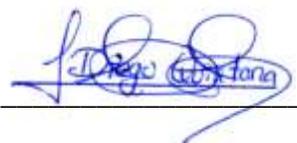
A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Alfonso', is written over a horizontal line.

Ing. Alfonso Arellano

Tutor del Proyecto

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación corresponde exclusivamente a: Diego Alejandro Quintana Rodríguez y al Ing. Alfonso Arellano y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



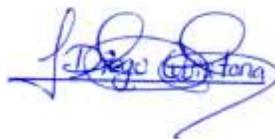
Diego Alejandro Quintana Rodríguez

C.I.: 1804583514

## AGRADECIMIENTO

Expreso mi gratitud a los docentes de la carrera de Ingeniería Civil que contribuyeron en mi formación profesional, con gran afecto a la UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO, quien me abrió sus puertas y me permitió ser alguien en la vida, a mi tutor de tesis Ing. Alfonso Arellano, quien con su instrucción, conocimiento y guía fueron de gran importancia para culminar el presente estudio.

Un reconocimiento a todos los miembros del tribunal y al cuerpo administrativo de esta honorable Universidad que me asesoraron para la culminación de mi estudio, así mismo a mis compañeros de clase, quienes compartí día a día experiencias y momentos gratos en la vida.



Diego Alejandro Quintana Rodríguez

**DEDICATORIA**

Con humildad y mucho respeto dedico este trabajo de investigación a Dios por guiarme y darme la sabiduría necesaria para cumplir mi meta. A mis Padres, que con su esfuerzo y sacrificio me dieron la oportunidad de ser alguien en la vida, a mis hermanos por sus consejos y su fe incondicional que me han llevado a prepararme para afrontar mi futuro como profesional.



Diego Alejandro Quintana Rodríguez

## ÍNDICE GENERAL

<b>PRELIMINARES</b>	<b>PÁG.</b>
PORTADA.....	I
REVISIÓN .....	II
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	III
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	IV
AGRADECIMIENTO .....	V
DEDICATORIA .....	VI
ÍNDICE GENERAL .....	VII
ÍNDICE DE TABLAS .....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
RESUMEN .....	XI
ABSTRACT.....	XII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS .....	5
2.1. Objetivo General .....	5
2.2. Objetivos Específico .....	5
3. ESTADO DEL ARTE .....	6
3.1. Propiedades de los piroclastos.....	8
3.2. Eficiencia de los piroclastos en la conductividad hidráulica.....	9
4. METODOLOGÍA.....	11
4.1. Ubicación de Tamaute.....	12
4.2. Ubicación de la muestra volcánica.....	12

4.3.	Técnica de triturado y tamizado .....	13
4.4.	Técnica de limpieza del piroclasto .....	14
4.5.	Elaboración del soporte metálico .....	14
4.6.	Técnicas de ensayos mecánicos. ....	15
4.6.1.	Proceso para obtención de la densidad de la roca volcánica .....	15
4.7.	Ensayo hidráulico con agua cruda realizado en Tamaute .....	16
4.8.	Ensayos físicos, químicos y microbiológicos realizados en laboratorios .....	18
4.9.	Análisis Estadístico básico .....	19
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	21
5.1.	Análisis de la densidad de los lechos del piroclasto.....	21
5.2.	Análisis de la temperatura de las muestras de agua de Tamaute .....	21
5.3.	Análisis de la Conductividad hidráulica del piroclasto, retenido en el tamiz 4 .....	21
5.4.	Análisis estadístico básico.....	23
5.5.	Análisis de calidad del agua filtrada a través de lechos de piroclastos .....	24
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	28
6.1.	Conclusiones .....	28
6.2.	Recomendaciones.....	29
7.	Bibliografía.....	30
8.	Anexos .....	34

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla N° 1:</b> Caracterización de los volcanes en el Ecuador .....	1
<b>Tabla N° 2:</b> Procedencia principal del agua recibida realizada por el INEC.....	2
<b>Tabla N° 3:</b> Características de la captación del agua.....	3
<b>Tabla N° 4:</b> Resultados análisis agua filtrada .....	7
<b>Tabla N° 5:</b> Propiedades y mecánicas.....	8
<b>Tabla N° 6:</b> Coordenadas de la ubicación de captación de agua de la cominidad Tamaute.....	12
<b>Tabla N° 7:</b> Coordenadas de la recolección del material.....	13
<b>Tabla N° 8:</b> Propiedades físicas de muestreo .....	16
<b>Tabla N° 9:</b> Valores de permeabilidad.....	20
<b>Tabla N° 10:</b> Clasificación del agua según su dureza en ppm de CaCO <sub>3</sub> .....	20
<b>Tabla N° 11:</b> Análisis de la densidad (g/cm <sup>3</sup> ).....	21
<b>Tabla N° 12:</b> Análisis de la temperatura del agua de Tamaute (°C).....	21
<b>Tabla N° 13:</b> Análisis Estadístico descriptivo de la conductividad hidráulica .....	23
<b>Tabla N° 14:</b> Valores del ensayo de permeabilidad en arenas (permeámetro pequeño) .....	24
<b>Tabla N° 15:</b> Análisis comparativo de la calidad del agua en el piroclasto del Tungurahua. ....	25
<b>Tabla N° 16:</b> Retención de los parámetros físico químicos y microbiológicos.....	27

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura N° 1:</b> Permeabilidad de carga constante.....	6
<b>Figura N° 2:</b> Diagrama del proceso de la investigación .....	11
<b>Figura N° 3:</b> Depósito de agua cruda de la vertiente el soltero ubicada en la comunidad de Tamaute.....	12
<b>Figura N° 4:</b> Ubicación de la roca volcánica del Tungurahua.....	13
<b>Figura N° 5:</b> Soporte metálico.....	14
<b>Figura N° 6:</b> Esquema del filtro.....	17
<b>Figura N° 7:</b> Escenario 1: Conductividad Hidráulica H1 (1 cm) .....	22
<b>Figura N° 8:</b> Escenario 2: Conductividad Hidráulica H2 (11.2) cm) .....	22
<b>Figura N° 9:</b> Escenario 3: Conductividad Hidráulica H3 (22.2 cm) .....	22
<b>Figura N° 10:</b> Análisis comparativo de los parámetros de la calidad del agua .....	26

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar las propiedades mecánicas e hidráulicas de los lechos de piroclastos mayores o iguales a 4750 micras de diámetro del Tungurahua para el mejoramiento de la calidad del agua de la comunidad de Tamaute. Se hicieron pruebas para medir la conductividad hidráulica  $K_h$  de esos lechos con cargas constantes a 3 alturas de agua diferentes:  $H_1=1$  cm;  $H_2=11,2$  cm y  $H_3= 22,2$  cm. Se realizaron análisis físico químicos y microbiológicos de muestras de agua filtrada a través de esos lechos y se los comparó con muestras de agua cruda, previo a la filtración. Se realizó un análisis estadístico básico para determinar las medias de las conductividades hidráulicas, el error estándar, las medianas y los límites máximo y mínimo. La carga hidráulica con la altura de agua  $H_2$  proporciona valores más bajos de retención de: color 67%, dureza total 34%, turbidez 45% y coliformes totales 100%, mientras que la conductividad, pH y sólidos disueltos totales disminuye un 3%. Las pruebas se realizaron con una temperatura ambiente del agua que varió entre 17 y 20 grados Celsius. La densidad del lecho de piroclastos varió entre 0.77 y 0.86 g/cm<sup>3</sup>. La conductividad hidráulica  $K_h$  es diferente en las 3 cargas y varía así:  $K_h= 336.09$  cm/min (con  $h_1$ );  $K_h =28.13$  cm/min (con  $h_2$ ) ,  $K_h =13.752$  cm/min (con  $h_3$ ), de un total de 95 y 84 muestras.

**Palabras Claves:** Calidad del Agua, Conductividad Hidráulica, Ensayos, Piroclastos, Propiedades.

## ABSTRACT

The present investigation aimed at determining mechanical properties and hydraulics of bigger or similar piroclastos's beds to 4750 microns of diameter of the Tungurahua for the improvement of the water quality of the Tamaute community. Tests were made to measure the hydraulic conductivity  $K_h$  of these beds with constant loads to 3 heights of water different:  $H_1 = 1$  CM;  $H_2 = 11.2$  CM and  $H_3 = 22.2$  CM. It accomplished physical chemical and microbiological analysis a of samples of water filtered through those beds and, a basic statistical analysis to determine the stockings of the hydraulic conductivities, the standard error, the medians and the limits maximum and minimal came true. The hydraulic load with the height of water  $H_2$  provides lower values of retention: Color 67%, total hardness 34%, cloud 45% and total coliform bacteria 100%, while conductivity, pH and dissolved total solids lessens a 3%. The tests were enhanced themselves with a room temperature of the water that varied between 17 and 20 Celsius degrees. The density of the bed of pyroclastic varied between 0,77 and 0,86 g cm<sup>3</sup>. The hydraulic conductivity  $K_h$  is different in the 3 loads and varies that way:  $K_h = 336,09$  CM min (with  $h_1$ );  $K_h = 28,13$  CM min (with  $h_2$ ) ,  $K_h = 13,752$  CM min (with  $h_3$ ), of a total of 95 and 84 samples.

**Keywords:** Water quality, Hydraulic Conductivity, Essays, Pyroclastic, Properties.



Reviewed by: Chávez, Maritza



Language Center Teacher

## 1. INTRODUCCIÓN

La cadena montañosa de Los Andes en el Ecuador está constituida por más de 50 volcanes, entre los cuales tenemos ocho volcanes considerados como activos (con, al menos, una erupción durante los tiempos históricos posterior a la conquista española); y diez volcanes considerados como potencialmente activos (con, al menos, una erupción en los últimos miles de años) (Samaniego, Yepes, Ramón, & Egred, 2005).

**Tabla N° 1:** Caracterización de los volcanes en el Ecuador

<b>VOLCANES DEL ECUADOR</b>	
<b>Volcanes activos erupción &lt; 500 años</b>	<b>Volcanes potencialmente activos erupción &lt; 10000 años</b>
Nevado Cayambe	Cerro Negro de Mayasquer
El reventador	Soche
Guagua Pichincha	Culcocha
Caldera de Chacana	Imbabura
Cotopaxi	Pululahua
Quilotoa	Niñahuilca
Tungurahua	Antisana
Sangay	Sumaco
	Illiniza
	Chimborazo

**Fuente:** (Samaniego et al., 2005)

El volcán Tungurahua se considera como un estrato-volcán andesítico compuesto, ubicado en la cordillera real del Ecuador, a 33 km al Sureste de Ambato y tan solo a 8 km al norte de la ciudad de Baños, cuya elevación es de 5020 m.s.n.m; con un diámetro basal de 16 km (Instituto Geofísico, 2018).

Ecuador tiene una deuda muy alta en cuanto a los esfuerzos que se realizan para mejorar la calidad del agua, especialmente, del agua que se vierte producto de actividades industriales,

domésticas y agropecuarias. Según el censo del 2010 realizado por el INEC en la provincia de Chimborazo, la procedencia principal del agua recibida a sus cantones, obtuvieron resultados en cuanto a: red pública 62.87%; De pozo 6.28%; de río, vertiente, acequia o canal 27.43%; De carro repartidor 0.78% y otro 2.64%. Tomando en cuenta estos valores, la calidad del agua en vertientes no es tratada adecuadamente, siendo un problema para la salud y el consumo diario de agua para los habitantes (Buitrón, 2012).

**Tabla N° 2:** Procedencia principal del agua recibida realizada por el INEC

Área N° 6 Nombres del cantón	Procedencia principal del agua recibida (m <sup>3</sup> /s)						Total
	1. Red Pública	2. De pozos	3 de ríos, Vertientes, acequias o canales	4. de carros repartidor	5. otros (agua Lluvia)		
Alausí	5.157	993	4.808	9	247	11.214	
Chambo	1.734	45	1.220	4	58	3.061	
Chunchi	1.927	300	1.036	1	57	3.321	
Colta	5.931	3.122	4.517	17	801	14.388	
Cumandá	2.312	36	1.041	1	36	3.426	
Guamote	4.984	768	4.875	9	376	11.012	
Guano	6.620	329	3.788	225	429	11.391	
Pallatanga	1.331	140	1.480	1	21	2.973	
Penipe	1.607	17	440	1	34	2.099	
Riobamba	45.753	1.977	10.551	691	1.188	60.160	
<b>Total</b>	<b>77.356</b>	<b>7.727</b>	<b>33.756</b>	<b>959</b>	<b>3.247</b>	<b>123.045</b>	

Fuente: INEC 2010

La comunidad de Tamaute se encuentra ubicada en el cantón Guano, parroquia la matriz de la provincia de Chimborazo a 10.10 km de la ciudad de Riobamba, cuya población aproximada es de 237 habitantes. Las principales actividades económicas son la agricultura en un 44% y empleados privados en un 13%. El 91% de moradores poseen casa propia (Flores & Quisnancela, 2016).

En dicha comunidad no cuenta con una planta de tratamiento del sistema de agua potable, pero si posee un tanque de pretratamiento y filtros. El agua de la captación tiene las siguientes características.

**Tabla N° 3:** Características de la captación del agua

<b>Características</b>	<b>Unidades</b>	<b>Resultado</b>
pH	[H <sup>+</sup> ]	7.39
Conductividad	μS/cm	997
Turbiedad	FTU-NTU	0.18
Sólidos totales	mg/l,	680
Color	upt-co,	1
Sólidos suspendidos	mg/l,	1
Sulfatos	mg/l	78
Fosfatos	mg/l	1.24
Nitratos	mg/l	13.6
Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> /l,	72
Alcalinidad	mg CaCO <sub>3</sub> /l	24
Coliformes totales	UFC/100 ml	4
Coliformes fecales	UFC/100 ml.	2

**Fuente:** Laboratorios de Ingeniería Ambiental de la UNACH (2015)

El tanque de pretratamiento podría ser utilizado para filtrar el agua de la comunidad de Tamaute con piroclastos, con la finalidad de mejorar sus parámetros de calidad y beneficiar a alrededor de 100 familias.

En las investigaciones de Prato, Ríos, Córdova, Barahona, Millán y Ustáriz (2019) , diseñaron columnas de adsorción empleando tuberías de dimensión de 57 cm de alto y 13 cm de ancho para reducir la dureza del agua natural. Para retener el lecho dentro de las columnas y evitar taponamientos, los autores usaron mallas con forma de colador en el fondo, el caudal de entrada y salida se regula con válvulas de esfera y la altura del lecho se rellenó con 1050 gramos de rocas volcánicas.

Sanhueza, Valenzuela, Palma, Araneda, & Calderón (2011), indican que en determinados suelos depositados a lo largo de los años producto de erupciones volcánicas, pueden considerarse aptos para ser empleados como material de filtro en la depuración de aguas residuales domésticas.

Carrillo y Sánchez (2013), plantearon la construcción de un filtro a base de carbón activado mediante la carbonización del endocarpo del coco con el fin de comprobar si reduce la concentración de minerales como el cloro, calcio y magnesio presente en el agua potable.

Bautista y Logroño (2019), llevaron a cabo el estudio de la eficiencia del proceso de adsorción, empleando lechos activados con tamaños máximos de 200 micras de diámetro, utilizando rocas volcánicas del Chimborazo y Tungurahua en la reducción de la dureza del agua. Se basaron en la elaboración de lechos de adsorción, utilizando filtros de PVC de 4 pulgadas de diámetro, en donde introdujeron 1200 gramos de roca volcánica que se utilizó como material adsorbente, a una altura de lecho de 21 cm, con un área de  $81.71 \text{ cm}^2$  y un diámetro interno de 10.2 cm.

En este estudio se redefinió el tamaño de los piroclastos debido a que las 200 micras son difíciles de obtener a través de molidos artesanales y especialmente debido a que sería muy difícil lavar un filtro con ese tamaño de material. Por estas razones se prefirió investigar las propiedades mecánicas e hidráulicas en un tamaño mayor, que es el retenido en el Tamiz. N°4 y proporciona un grano mayor o igual a 4750 micras.

La presencia de sólidos en suspensión en el agua cruda, obstruye o cubre las superficies de los lechos de piroclastos, por lo que produciría la afectación por adsorción de la dureza cálcica. La carga hidráulica presente en el filtro podría destapar los lechos y por lo tanto el caudal de salida del filtro podría variar.

Esta investigación pretende definir las características mecánicas e hidráulicas y operativas de los lechos de piroclastos del Tungurahua, con tamaños de granos mayores o iguales a 4750 micras de diámetro, para mejorar la calidad de agua de la comunidad de Tamaute. Para esto se propone filtrar el agua con caudal constante y con tres cargas hidráulicas diferentes, para evaluar su conductividad hidráulica.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

Determinar las propiedades mecánicas e hidráulicas de los lechos de piroclastos mayores o iguales a 4750 micras de diámetro del Tungurahua para el mejoramiento de la calidad del agua de la comunidad de Tamaute.

### **2.2. Objetivos Específico**

1. Realizar el análisis físico-químico y microbiológico del agua de la Vertiente el Soltero que provee a la comunidad de Tamaute.
2. Obtener la muestra de piroclastos con los tamaños de grano adecuados a la muestra de agua.
3. Realizar las pruebas de filtración para determinar la conductividad hidráulica y la densidad del piroclasto.
4. Determinar los parámetros de calidad de agua potable de acuerdo a los métodos y técnicas definidas pH, Conductividad, Color, Sólidos Disueltos Totales, Dureza Total, Turbidez y Coliformes Totales.
5. Evaluar la eficiencia de los filtros.

### 3. ESTADO DEL ARTE

El ingeniero Henry Darcy se enfocó en el flujo del agua a través de los medios porosos utilizando filtros de arena para depurar el agua. El filtro es considerado como un permeámetro de carga constante, ya que permite analizar el gradiente hidráulico en función de la variación de la altura y variación del lecho (Sánchez, 2017).

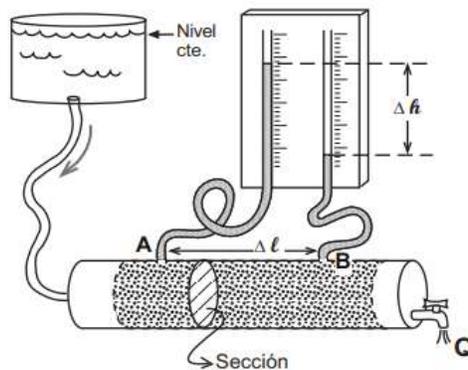


Figura 1.- Permeámetro de carga constante.

$Q$  = Caudal

$\Delta h$  = Diferencia de Potencial entre A y B

$\Delta l$  = Distancia entre A y B

Gradiente hidráulico =  $\frac{\Delta h}{\Delta l}$

**Figura N° 1:** Permeabilidad de carga constante

**Fuente:** (Sánchez, 2017)

El autor concluyó que si al emplear diferente material filtrante y al jugar con las variables, este cumple con la [Ec. 1], pero la constante de proporcionalidad  $K$  es otra distinta, esta constante era propia y característica de cada material filtrante. Esta constante se llamó permeabilidad ( $K$ ) aunque su denominación correcta actual es conductividad hidráulica (Sánchez, 2017).

$$Q = K \cdot \text{Sección} \cdot \frac{\Delta h}{\Delta l} \quad [\text{Ec. 1}]$$

Las propiedades hidráulicas y eléctricas de los piroclastos conllevan a un análisis investigativo en los laboratorios, con interés en la aplicación de la conductividad hidráulica y de las propiedades físico-químicas, donde se considera que las propiedades y características de textura de la red de poros de las rocas se probaron diferentes modelos, basados en consideraciones geométricas o en la teoría de la percolación (Kaminski & Jaupart, 1998).

Gualteros y Chacon (2015), consideran que, para establecer una conductividad hidráulica se establece parámetros como la velocidad de filtración para que no exista rebosamiento del agua dentro del ensayo del filtro.

Cuevas, Horn, & Seguel (2013), deducen que la conductividad hidráulica saturada ( $K_s$ ) de un Andisol en el Sur de Chile cambió durante la infiltración mostrando altas variaciones de las propiedades de la superficie y continuidad heterogénea de poros.

Arturo (2017), llevo a cabo un proceso de filtración de agua para consumo humano con un filtro orgánico (filtro en el cual intervienen fibras naturales) y piedra pómez para tratar la calidad de agua en la comunidad El Minas Bajo obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla N° 4:** Resultados análisis agua filtrada

Parámetros	Unidad	Límite máximo permitido (INEN 1108)	Muestra de agua cruda	Muestra de agua filtrada
Color	upt-co	15	87	26
Turbidez	NTU	5	11	2.85
Coliformes Totales	NMP/100 ml	< 1.1	1600	23

**Fuente:** Laboratorio Acreditado No. OAE LE 1C 06-002, equipos y Laboratorio UISEK. (2017)

En la Tabla 4 los parámetros de color, turbidez y coliformes totales se puede apreciar que no cumplen con los límites máximos permitidos que indica la INEN 1108. Además, la eficiencia del filtro usando lechos de piedra pómez no es aceptable en la depuración de agua.

Carrillo & Quintero (2013), indican que los resultados del Índice de gestión y calidad del agua potable (INGECAP), si son menores al 33% la calidad del agua es deficiente, por otro lado si el resultado del agua es mayor al 67% el agua está en buenas condiciones y finalmente el valor porcentual si se encuentra entre el 33% y 67%, las condiciones son regulares.

### 3.1. Propiedades de los piroclastos

Nicotera, Tarantino, Santo, Balzano, & Forte (2017), realizan un estudio basándose a las muestras de suelos de los depósitos de piroclastos, para caracterizar el comportamiento hidromecánico de los materiales que forman las diferentes capas piroclásticas. En dicha investigación realizada se ejecuta un análisis de laboratorio cuyas principales propiedades hidráulicas y mecánicas son las siguientes:

Tabla N° 5: Propiedades y mecánicas

Propiedades	Tipo de suelo	Cenizas ©	Caliza (B)	Piroclásticos Cubierta (A)
Densidad (kN / m <sup>3</sup> )		9.012	5	9.056
Relación nula e [-]		1.8	2.8	2.5
Ángulo de fricción $\phi'$ [°]		36	37	38
Conductividad hidráulica k [m / s]		4.07 e-9	1.3 e-4	5.5e <sup>-7</sup>
Contenido volumétrico de agua en saturación $\theta_s$		0.672	0.8	0.653
Contenido volumétrico residual de agua $\theta_r$		0.196	0.1	0.001

Fuente: (Nicotera et al., 2017)

Los piroclásticos cubierta (A) se fundamentan en una capa superior de suelos de piroclastos, hecha de ceniza y piedra pómez; considerándose también que la acción de la vegetación y los microorganismos ha afectado el comportamiento hidráulico y mecánico (Nicotera et al., 2017).

Comegna, Rianna, Lee, & Picarelli (2016), han investigado la influencia de las posibles rutas de humectación en las condiciones virtuales de estabilidad de la conductividad hidráulica, haciendo hincapié en los posibles errores de muestreo que se pueda tener propiciando un análisis con los tiempos estimados de estudio, mismas que se asocia a una curva característica de la conductividad hidráulica vs tiempo.

Debe tenerse en cuenta que durante el desarrollo de la recolección de muestras debe asociarse con las herramientas conceptuales de los diferentes parámetros físico-químicos a evaluar (Pirone, Papa, Nicotera, & Urciuoli, 2016).

### **3.2. Eficiencia de los piroclastos en la conductividad hidráulica**

Carrillo & Sánchez (2013), elaboraron un filtro a base del carbón activado del endocarpo de coco. Se obtuvo que al aumentar la cantidad de carbón activado en el filtro aumenta la capacidad de retención de cloro residual libre.

El trabajo correspondiente a Castillo (2015), quien realizó un filtro domiciliario de arena y carbón activado, obtuvo resultados elevados basados en la Norma INEN 1108 en donde la conductividad y coliformes fecales sobrepasan los límites permitidos de agua potable.

La norma ASTM “Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter (ASTM, 2018), permite determinar la conductividad hidráulica de materiales con poros saturados usando un permeámetro de paredes flexibles; además, la variación del espesor del material piroclasto influye en el nivel de depuración de determinados parámetros de calidad del agua.

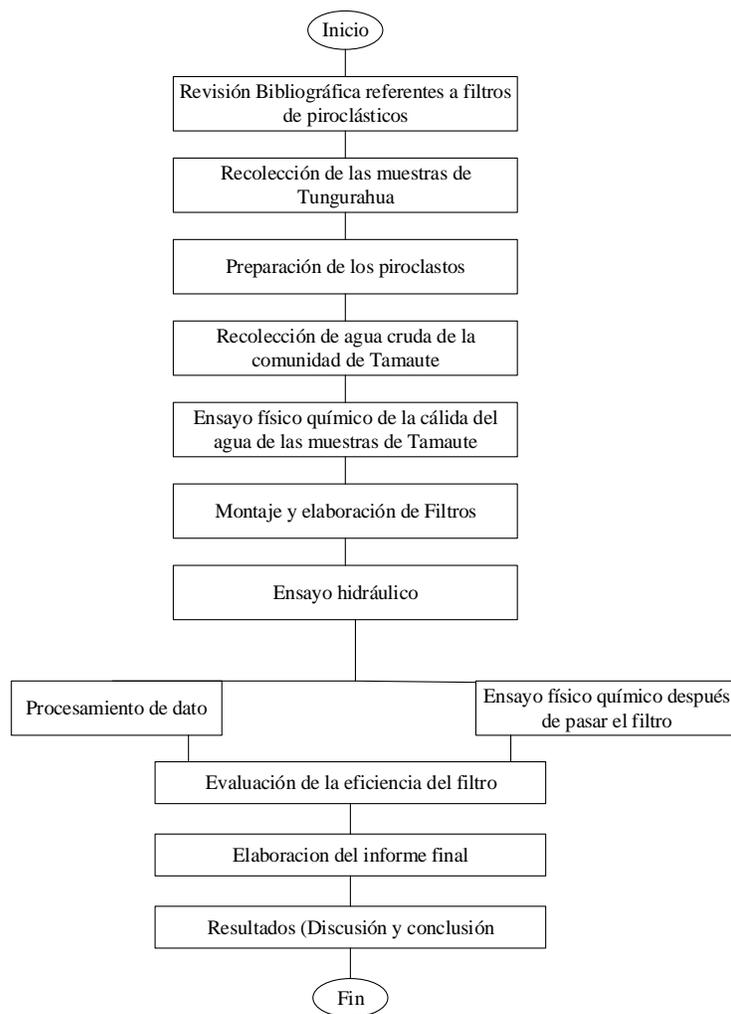
Prato, Ríos, Córdova, Barahona, Millán & Ustaríz (2019), analizaron la reducción de la dureza del agua natural, utilizando rocas de cuatro volcanes como Cotopaxi, Chimborazo, Tungurahua y el Reventador con el fin de evaluar a estas rocas como materiales de adsorción de iones.

Sanhueza, Valenzuela, Palma, Araneda, & Calderón (2011), estudiantes de la Universidad de Chile realizaron un estudio enfocándose a los suelos de los volcanes definiendo sus principales características como porosidad, área superficial y densidad, que han permitido estudiar su adecuado comportamiento como filtros de aguas.

Los sedimentos no tienen el mismo espesor, composición y tamaño de grano en toda el área en la que están expuestos. La forma de los granos individuales en la grava varía de redondeada a sub redondeada y el tamaño del grano varía de 2 mm a 12 cm. Así mismo las grietas de lodo con diferente apertura y extensión lateral, son comunes en la parte sur del área donde la arcilla es el sedimento dominante (Kassune, T. Tafesse, & Hagos, 2018).

## 4. METODOLOGÍA

En el siguiente diagrama se muestra el proceso sistemático que se siguió para realizar esta investigación:



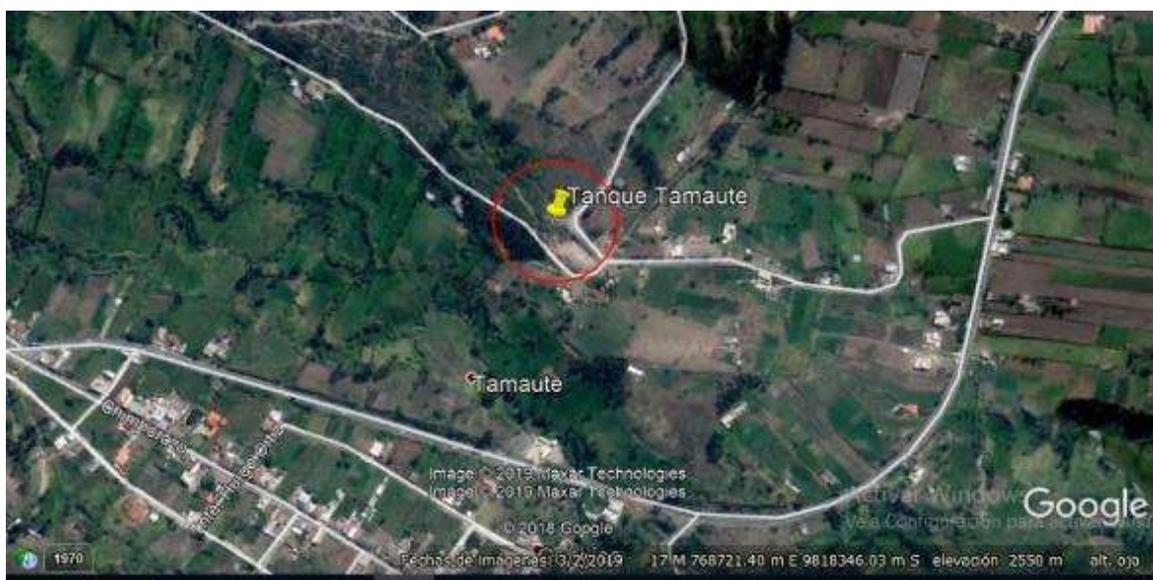
**Figura N° 2:** Diagrama del proceso de la investigación  
**Elaborado por:** Donoso y Páez (2020)

Se realizarán ensayos físicos-químicos e hidráulicos y análisis microbiológicos del agua cruda tratados en intervalos de tiempos establecidos, con el fin de dar un correcto seguimiento, para obtener resultados verídicos sobre el funcionamiento del filtro con piroclasto retenido en el tamiz N° 4.

En este estudio se considerarán las cargas H1, H2 y H3 constantes a diferentes alturas y el lecho del piroclasto del Tungurahua se mantendrá a una altura establecida, con tamaños de granos mayores o iguales a 4750 micras de diámetro.

#### 4.1. Ubicación de Tamaute

Para el caso de estudio de los ensayos físicos, químicos, microbiológicos e hidráulicos se los lleva a cabo en la comunidad de Tamaute, donde se encuentra el equipamiento para la recolección de muestras de agua cruda y filtrada. En las siguientes coordenadas de ubicación:



**Figura N° 3:** Depósito de agua cruda de la vertiente el soltero ubicada en la comunidad de Tamaute.

**Elaborado por:** Quintana (2020)

**Tabla N° 6:** Coordenadas de la ubicación de captación de agua de la comunidad Tamaute

Coordenadas en X	768681
Coordenadas en Y	9818313

**Elaborado por:** Quintana (2020)

#### 4.2. Ubicación de la muestra volcánica

El piroclasto del Tungurahua se recolecto cerca de la comunidad de Pondoá, a una altura de 2773 m.s.n.m. La muestra se obtuvo excavando a una profundidad de 50 cm en las siguientes coordenadas:



**Figura N° 4:** Ubicación de la roca volcánica del Tungurahua  
**Elaborado por:** Quintana (2020)

**Tabla N° 7:** Coordenadas de la recolección del material

Coordenadas en X	783326
Coordenadas en Y	9841783

**Elaborado por:** Quintana (2020)

### 4.3. Técnica de triturado y tamizado

El material recolectado de piroclasto fue sometido a un proceso de trituración por medio de una máquina mecánica de trituración hasta obtener 10 kg de muestra de 3/4" y 3/8", en donde se somete al proceso de tamizado en los laboratorios de la UNACH.

El tamaño del grano del piroclasto se filtró por el tamiz N° 3/8 (950  $\mu\text{m}$ ) y N° 4 (4750  $\mu\text{m}$ ); para eliminar exceso de material, escogiendo los granos retenidos en el tamiz N° 4, en una cantidad

aproximada de 5 kg, que será utilizado para cada ensayo. Este proceso se lo realizo en los laboratorios de la UNACH.

#### 4.4. Técnica de limpieza del piroclasto

Los piroclastos recolectados retenidos en el tamiz N° 4, se colocarán en una tina con agua, donde se deberá lavarlo durante 10 minutos para quitar las impurezas adheridas a la roca. Finalmente se deja secar al ambiente por 2 horas. Realizar este proceso luego de cada ensayo hidráulico.

#### 4.5. Elaboración del soporte metálico



#### Descripción

El soporte metálico cuenta con dimensiones comerciales (100 x 165 x 30) cm y consta de las siguientes partes:

- 1.- Tapa del filtro
- 2.- Manguera de nivel media pulgada
- 3.- Caudal de entrada
- 4.- Bidones de 20 Litros
- 5.- Tabla triples de 100 x 56 (cm)
- 6.- Llave H1 (inicial)
- 7.- Llave H2 intermedia)
- 8.- Llave H3 (final)
- 9.- Aforo del bidón a 15 lt
- 10.- Filtro de Tungurahua
- 11.- Caudal de salida cerrado
- 12.- Abrazaderas

**Figura N° 5:** Soporte metálico  
Elaborado por: Donoso y Páez (2020)

## 4.6. Técnicas de ensayos mecánicos.

### 4.6.1. Proceso para obtención de la densidad de la roca volcánica

En el estudio se realizan diferentes actividades para la obtención la densidad de la roca volcánica tal como se lo demuestra a continuación:

- Pesarse el filtro vacío con la ayuda de una balanza estandarizada modelo EK5055 con capacidad máxima de 5 kg.
- Se procede a agitar y sopletar el material con la finalidad de quitar el exceso de ceniza volcánica adherida en los poros de la roca antes de introducir el piroclasto en los filtros.
- Marcar la altura del lecho a 17 cm desde borde inferior.
- Se coloca adecuadamente y con cuidado el piroclasto dentro del filtro de PVC de 4" hasta la marca.
- Se lleva a pesar de nuevo el filtro más el piroclasto.

La diferencia entre el filtro vacío y con el piroclasto añadido se tendrá el peso del agregado, es decir:

$$P_{material} = P_{filtro+piroclasto} - P_{filtro\ vacio}$$

$$P_{material} = 2806g - 1620$$

$$P_{material} = 1186 g$$

Se determinó el área del filtro mediante su diámetro interno que es de 10.2 cm; que se lo calcula mediante la siguiente fórmula:

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * 10.2^2}{4}$$

$$A = 81.71 \text{ cm}^2$$

Finalmente conociendo la altura del lecho y el peso del material se obtiene su densidad:

$$d = \left( \frac{p_{\text{material}}}{A * \text{altura del lecho}} \right)$$

$$d = \left( \frac{1186 \text{ g}}{(81.7128 \text{ cm}^2 * 17 \text{ cm})} \right)$$

$$d = 0.85 \text{ g/cm}^3$$

#### 4.7. Ensayo hidráulico con agua cruda realizado en Tamaute

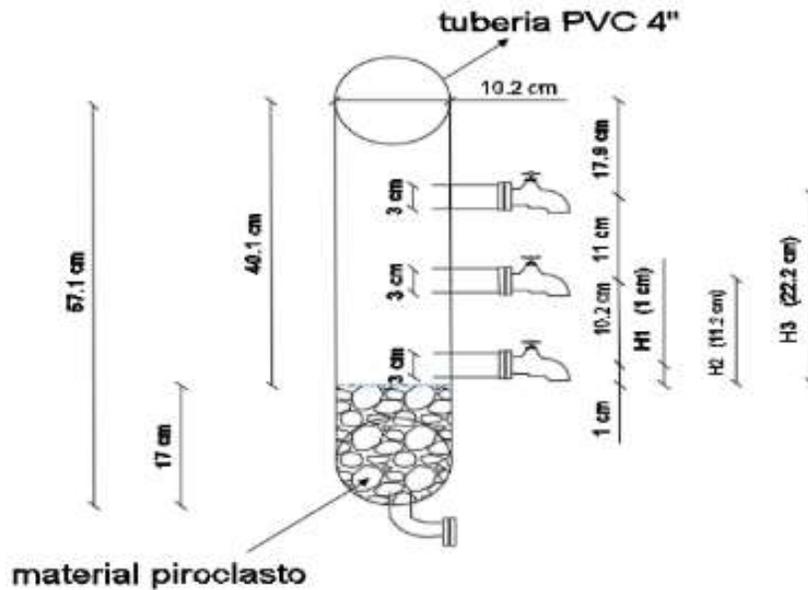
Los resultados generales de las pruebas de carga constante (H1, H2 y H3) y la altura del lecho (material piroclasto), se obtendrán a diversos tiempos considerando los siguientes factores:

**Tabla N° 8:** Propiedades físicas de muestreo

<b>Factores</b>	<b>Unidad</b>
Coefficiente de permeabilidad (k)	(cm/min);
Volumen total de agua (Q)	(cm <sup>3</sup> )
Distancia que debe recorrer el fluido al interior de la masa del material (L)	(cm)
Área de la sección transversal de la muestra (A)	(cm <sup>2</sup> )
Pérdida de carga hidráulica (h)	(cm)
Tiempo en el cual se recoge el agua (t)	(min)

**Elaborado por:** Quintana (2020)

Una vez determinado el peso del piroclasto se procede a realizar el ensayo hidráulico con el agua cruda de la comunidad de Tamaute. Para este proceso se deberá seguir los siguientes pasos:



**Figura N° 6:** Esquema del filtro  
**Elaborado por:** Quintana (2020)

- Durante 1 minuto se debe agitar el piroclasto con la ayuda de un recipiente de 2.5 litros perforado en la parte inferior. El proceso de la agitación se repetirá por cinco veces para quitar el exceso de ceniza volcánica adherida a los poros de la roca.
- Sopletear el piroclasto a 10 cm, con una secadora de pelo en frío de 1600 watts durante un minuto y repetirlo por 5 veces.
- Colocar la rejilla metálica de separación de abertura de 1.5 mm y un diámetro interno de 7.3 cm en el fondo del filtro.
- Introducir el lecho de piroclasto limpio y seco a 17 cm, agitar con mucho cuidado el PVC de 4" para acomodar el material.

- Comprobar la altura del lecho de piroclasto (40.1 cm) por dentro con la ayuda de un flexómetro.
- La llave del caudal de entrada debe estar cerrada para evitar fugas.
- Asegurarse de tener el nivel máximo (15 litros aforado) de agua en el bidón.
- Para la carga H1 a 1 cm, la llave inicial (H1) debe estar abierta y la llave intermedia (H2) y final (H3) del filtro deberán estar cerradas para permitir un flujo uniforme constante del agua.
- Para la carga H2 a 11.2 cm, la llave intermedia (H2) debe estar abierta y la llave inicial (H1) y final (H3) deberán estar cerradas.
- Para la carga H3 a 22.2 cm, la llave final (H3) debe estar abierta y la llave intermedia (H2) e inicial (H1) deberán estar cerradas.
- El bidón de recepción de agua debe estar vacío y limpio.
- Tener un cronómetro listo y las hojas de registro.
- Tomar las medidas de niveles del bidón azul, cada medio minuto.

#### **4.8. Ensayos físicos, químicos y microbiológicos realizados en laboratorios**

Las actividades que se ejecutaron para la realización de análisis en el laboratorio fueron los siguientes:

- Recolectar desde la captación el agua cruda basándose en parámetros técnicos de recolección de la Norma NTE INEN 2169 (2013).

- Consiguiente recolectar el agua filtrada por el piroclasto considerando la norma NTE INEN 2169 (2013).
- Finalmente, todas las muestras se transportarán a los laboratorios de la UNACH para el análisis físico químico y microbiológico del agua cruda y filtrada con piroclastos del Tungurahua según los parámetros del INGECAP.

#### **4.9. Análisis Estadístico básico**

Mediante los softwares Excel y Minitab se realizó un análisis estadístico básico en base a los resultados obtenidos en laboratorio, bajo los parámetros de las medias de cada conductividad, el error estándar de la media, las medianas y los límites máximo y mínimo.

La media es el promedio de los datos, que es la suma de todas las observaciones dividida entre el número de observaciones (Minitab, 2019).

El error estándar de la media (EE de la media) estima la variabilidad entre las medias de las muestras que usted obtendría si tomara muestras repetidas de la misma población (Minitab, 2019).

La mediana es el punto medio del conjunto de datos. El valor de este punto medio es el punto en el cual la mitad de las observaciones está por encima del valor y la otra mitad está por debajo del valor (Minitab, 2019).

Lambe (2004), indica la siguiente escala de valores con respecto a la conductividad hidráulica:

**Tabla N° 9:** Valores de permeabilidad

<b>Grado de permeabilidad</b>	<b>Valor de k (cm/seg)</b>
<b>Elevada</b>	Superior a $10^{-1}$
<b>Media</b>	$10^{-1}$ a $10^{-3}$
<b>Baja</b>	$10^{-3}$ a $10^{-5}$
<b>Muy baja</b>	$10^{-5}$ a $10^{-7}$
<b>Prácticamente impermeable</b>	Menor de $10^{-7}$

**Fuente:** Terzaghi, Peck, & Mesri (2009)

Según Alcaraz (2017), en muchos países se clasifica la dureza del agua en mg  $\text{CaCO}_3/\text{l}$  según los siguientes valores:

**Tabla N° 10:** Clasificación del agua según su dureza en ppm de  $\text{CaCO}_3$

<b>Dureza (mg <math>\text{CaCO}_3/\text{l}</math>)</b>	<b>Tipos de agua</b>
0 – 75	Agua blanda
75 – 150	Agua semi-dura
150 – 300	Agua dura
más de 300	Agua muy dura

**Fuente:** Alcaraz (2017)

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Antes de realizar los análisis hidráulicos de los lechos del Tungurahua, se realizó la medición de la densidad del piroclasto y la temperatura del agua, obteniendo los siguientes resultados:

### 5.1. Análisis de la densidad de los lechos del piroclasto

Tabla N° 11: Análisis de la densidad (g/cm<sup>3</sup>)

Muestras	1	2	3	4	5	6
<b>HI</b>	0.85	0.81	0.85	0.83	0.84	0.86
<b>H2</b>	0.84	0.86	0.78	0.83	0.82	0.80
<b>H3</b>	0.81	0.81	0.80	0.77	0.80	0.79

Elaborado por: Quintana (2020)

### 5.2. Análisis de la temperatura de las muestras de agua de Tamaute

Tabla N° 12: Análisis de la temperatura del agua de Tamaute (°C)

Muestras	1	2	3	4	5	6
<b>HI</b>	20	20	20	20	19	19
<b>H2</b>	19	19	19	19	19	19
<b>H3</b>	19	19	19	17	17	17

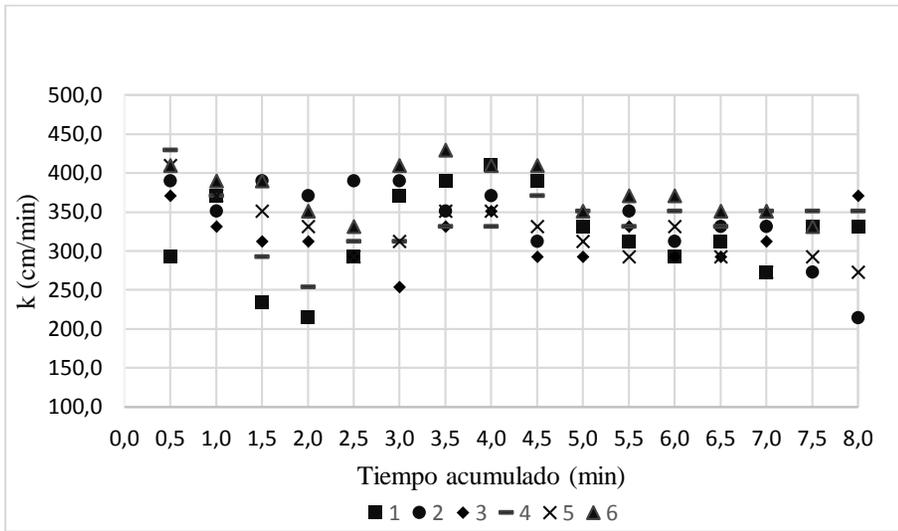
Elaborado por: Quintana (2020)

### 5.3. Análisis de la Conductividad hidráulica del piroclasto, retenido en el tamiz 4

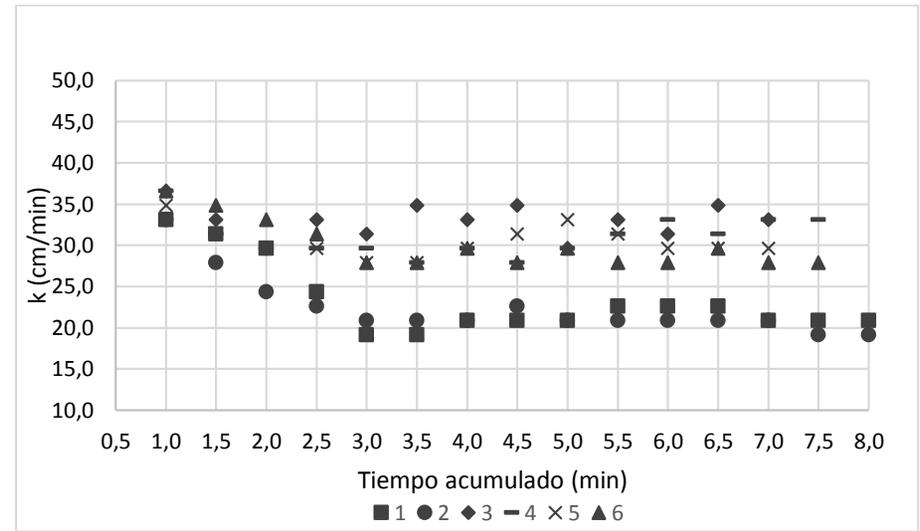
Se analizó la conductividad hidráulica del piroclasto retenido en el tamiz 4 en tres escenarios a diferentes cargas constantes H1 (1cm); H2 (11.2 cm) y H3 (22.2 cm).

Los resultados se expresan en las figuras 7, 8 y 9. En donde se encuentran los tiempos (min) en las abscisas y la conductividad (cm/min) en las ordenadas. Cada figura corresponde a una de las tres cargas constantes.

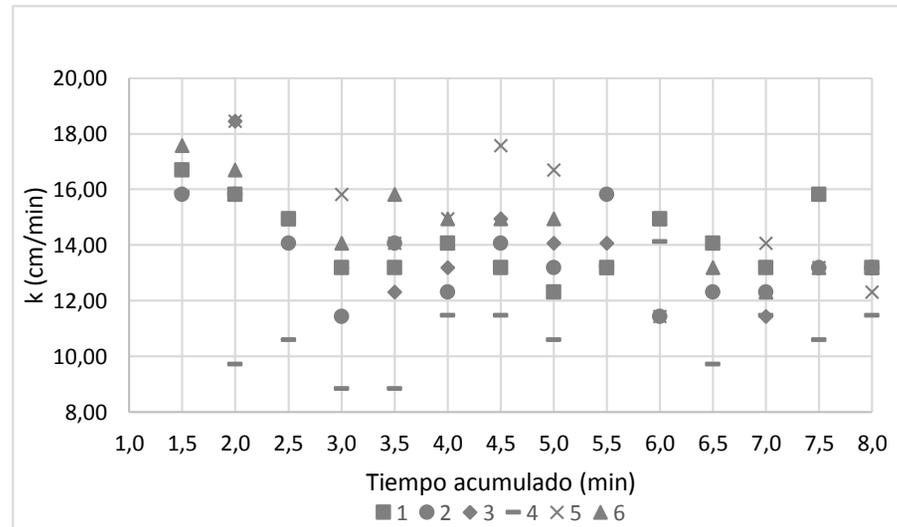
**Conductividad hidráulica del lecho de piroclastos, retenido en el tamiz 4 (cargas constantes H1, H2 y H3)**



**Figura N° 7:** Escenario 1: Conductividad Hidráulica H1 (1 cm)  
Elaborado por: (Quintana, 2020)



**Figura N° 8:** Escenario 2: Conductividad Hidráulica H2 (11.2 cm)  
Elaborado por: (Quintana, 2020)



**Figura N° 9:** Escenario 3: Conductividad Hidráulica H3 (22.2 cm)  
Elaborado por: (Quintana, 2020)

#### 5.4. Análisis estadístico básico

**Tabla N° 13:** Análisis Estadístico descriptivo de la conductividad hidráulica

Variable	N	Media	Error estándar de la media	Mínimo	Mediana	Máximo
<b>K<sub>1</sub> (cm/min)</b>	95	336.09	4.62	214.55	331.57	429.09
<b>K<sub>2</sub> (cm/min)</b>	84	28.133	0.550	19.156	29.605	36.571
<b>K<sub>3</sub> (cm/min)</b>	84	13.752	0.244	8.825	13.179	20.207

**Fuente:** Programa Minitab (Estadístico descriptivo)

**Elaborado por:** Quintana (2020)

La ecuación 1 de Darcy indica que al cambiar las variables de altura en el denominador la media de la conductividad  $K_1$  (336.09) cm/min, es mayor a las medias de  $K_2$  (28.133) cm/min y  $K_3$  (13.752) cm/min. Es decir, la conductividad no depende del piroclasto sino de su altura de carga hidráulica. Si la altura de la carga hidráulica es menor aumenta la conductividad y si la altura de la carga hidráulica es mayor la conductividad disminuye.

Bajo los lineamientos de Lambe (2004), se puede observar que el estudio de la conductividad hidráulica realizada a tres cargas diferentes tiene una permeabilidad elevada teniendo valores como H1 (5.6) cm/seg, H2 (0.47) cm/seg y H3 (0.22) cm/seg. Es decir, su valor K es superior a  $10^{-1}$ .

Puga (2012), muestra los siguientes resultados de permeabilidad utilizando un permeámetro pequeño con las siguientes características: Longitud de la muestra 6.6 cm, A: área de la muestra  $31.67 \text{ cm}^2$ ;  $T^\circ$ : temperatura del agua 19.2-19.4°C;  $\rho_w$ : densidad del agua  $999.9 \text{ g/cm}^3$ ; M: masa de agua (g); t: tiempo (s); Q: caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ );  $\Delta h$ : diferencia de altura entre manómetros (cm); k: coeficiente de permeabilidad.

**Tabla N° 14:** Valores del ensayo de permeabilidad en arenas (permeámetro pequeño)

<b>M (g)</b>	<b>t (s)</b>	<b>V (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Q (cm<sup>3</sup>/s)</b>	<b>ΔH (cm)</b>	<b>k (cm/seg)</b>	<b>K (cm/min)</b>
309.2	3420	309.23	0.09	1.5	1.26*10 <sup>-2</sup>	7.56*10 <sup>-1</sup>
330.5	1305	330.54	0.25	3	1.76*10 <sup>-2</sup>	1.056
327.9	465	327.94	0.71	4	3.67*10 <sup>-2</sup>	2.202
326.4	215	326.44	1.52	5	6.32*10 <sup>-2</sup>	3.792
348.2	175	348.24	1.99	7	5.92*10 <sup>-2</sup>	3.552
331.0	150	331.04	2.21	8	5.75*10 <sup>-2</sup>	3.450
313.9	120	331.93	2.62	9	6.06*10 <sup>-2</sup>	3.636
332.5	115	332.54	2.89	10	6.03*10 <sup>-2</sup>	3.618
314.0	105	314.03	2.99	11	5.67*10 <sup>-2</sup>	3.402
318.6	95	318.64	3.35	12	5.82*10 <sup>-2</sup>	3.492
326.0	100	326.04	3.26	13	5.22*10 <sup>-2</sup>	3.132
339.1	70	339.14	4.84	18	5.60*10 <sup>-2</sup>	3.360
351.1	60	351.14	5.85	22	5.54*10 <sup>-2</sup>	3.324
351.1	45	351.14	7.80	32	5.01*10 <sup>-2</sup>	3.006
346.7	35	346.74	9.91	42	4.91*10 <sup>-2</sup>	2.946
359.2	30	359.24	11.97	51	4.89*10 <sup>-2</sup>	2.934

**Fuente:** Puga (2012)

En la Tabla 14 al emplear lechos de arenas a diferentes alturas de cargas y en determinados intervalos de tiempo, se observa valores de permeabilidad  $k$  ( $10^{-2}$ ). Es decir, su conductividad hidráulica es media.

### 5.5. Análisis de calidad del agua filtrada a través de lechos de piroclastos

Para evaluar la eficiencia de los lechos filtrantes con diferentes cargas y conductividades hidráulicas  $K$ , se muestra un cuadro comparativo, de los siguientes parámetros: físicos (pH, conductividad, color y turbidez), químicos (sólidos disueltos totales, dureza total) y microbiológicos (coliformes totales) del agua de Tamaute.

**Tabla N° 15:** Análisis comparativo de la calidad del agua en el piroclasto del Tungurahua.

CONTROL DE CALIDAD DE AGUA						
Análisis Químico		INEN 1108	Agua Cruda	Carga 1 cm	Carga 11.2 cm	Carga 22.2 cm
Parámetros:	Unidad	Límite máximo permisible	Agua cruda	H1	H2	H3
pH	[H <sup>+</sup> ]	6.5 – 8.5	7.38	7.22	7.14	7.11
Conductividad	μS/cm	50 - 1500	984	961	957	961
Color	upt-co	15	21	2	7	10
Sólidos Disueltos						
Totales	mg/l	500	492	480	479	480
Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> /l	300	492	320	324	332
Turbidez	NTU	5	0.64	0.56	0.35	0.54
Coliformes						
Totales	NMP/100 ml	< 2	7	3	< 1 (Ausencia)	1

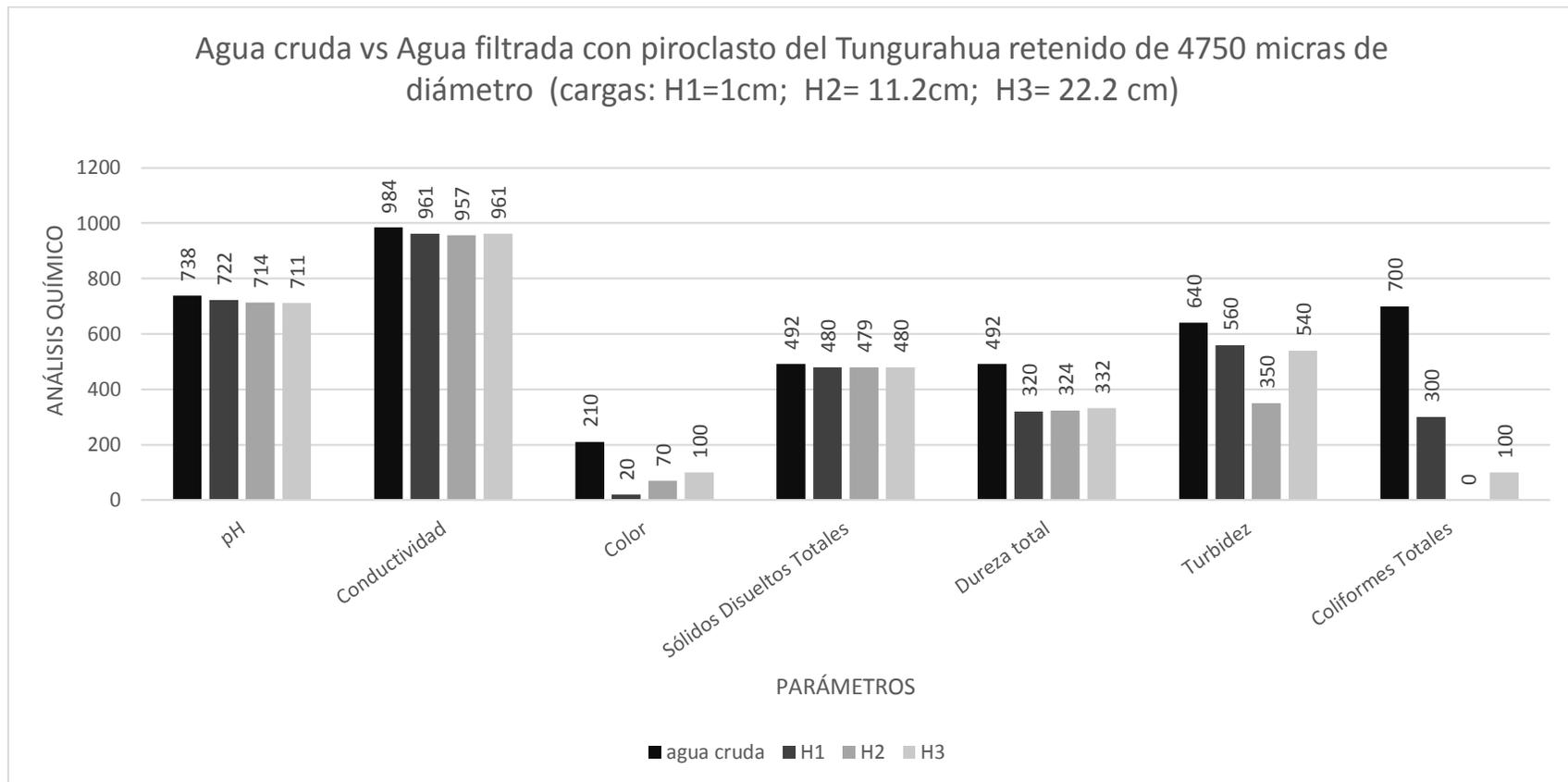
**Fuente:** Laboratorios de Ingeniería Ambiental de la UNACH (2019)

**Elaborado por:** Quintana (2020)

En la Tabla 15 las cargas H1 y H3 los parámetros de conductividad y sólidos disueltos totales se aprecia una similitud en sus valores, mientras que, existe una variación de aumento en cuanto a color y dureza total y además se produce una disminución de pH, turbidez y coliformes totales.

Estas variaciones afectan a la conductividad, porque al usar llaves en los filtros estas introducen gran cantidad de burbujas reduciendo así el caudal que atraviesa al material filtrante. Tomando en cuenta estas observaciones la carga H2 es más eficiente en la depuración del agua cruda, disminuyendo la mayor cantidad de los parámetros analizados.

En la figura 10 se multiplicará por 100 a los parámetros de: pH, turbidez y coliformes totales y al parámetro de color por 10 para una mejor apreciación en la gráfica de resultados del agua cruda vs agua filtrada en el piroclasto del Tungurahua retenido en el tamiz 4 (4750 micras).



**Figura N° 10:** Análisis comparativo de los parámetros de la calidad del agua  
**Elaborado por:** Quintana (2020)

La carga H2 posee mejor calidad del agua que las otras 2 cargas (H1 y H3). Elimina los coliformes totales y presenta los valores más bajos de turbidez (0.35 NTU); sólidos disueltos totales (479 mg/l) y conductividad (957 nmp/100 ml). La dureza tiene un valor un poco más alto que la de la carga 1 pero ha reducido la dureza del agua natural en 3%.

Según Carrillo y Sánchez (2013), la dureza del agua es la concentración de compuestos minerales que hay en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y de calcio. La presencia de sales de magnesio y de calcio en el agua dependen fundamentalmente de las formaciones geológicas atravesadas por el agua de forma previa a su captación.

**Tabla N° 16:** Retención de los parámetros físico químicos y microbiológicos

Análisis Químico		Agua Cruda	Carga 11.2 cm	% retención
<b>Parámetros:</b>	Unidad	agua cruda	H2	
<b>pH</b>	[H <sup>+</sup> ]	7.38	7.14	3
<b>Conductividad</b>	μS/cm	984	957	3
<b>Color</b>	upt-co	21	7	67
<b>Sólidos Disueltos Totales</b>	mg/l	492	479	3
<b>Dureza total</b>	mg CaCO <sub>3</sub> /l	492	324	34
<b>Turbidez</b>	NTU	0.64	0.35	45
<b>Coliformes Totales</b>	NMP/100 ml	7	< 1 (Ausencia)	100

Elaborado por: Quintana (2020)

Haciendo referencia a la Tabla 16 y según a los resultados obtenidos del laboratorio de Ingeniería Ambiental de la UNACH, la carga H2 a 11.2 cm se observa que el agua de la comunidad de Tamaute es muy dura.

Las características físico-químicas y microbiológicas analizadas en el agua de Tamaute mejoran con la carga H2 a 11.2 (cm), porque los sólidos disueltos totales, turbidez y coliformes totales, tienen menor grado porcentual de adsorción a las otras cargas analizadas en el laboratorio. Romero

(2013), define a la adsorción como un fenómeno que ocurre cuando las moléculas en solución golpean la superficie de un sólido adsorbente y son adheridas a estas. El proceso de adsorción es muy importante para la potabilización del agua en el consumo humano.

Por ende, los siete parámetros analizados en base al Ingecap y comparados con la INEN 1108 se comprueba que los filtros de lechos de piroclastos del Tungurahua mayores o iguales a 4750 micras si cumplen con los límites máximos y mejora la calidad de agua.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1. Conclusiones**

- La conductividad hidráulica del piroclasto del Tungurahua retenido en el tamiz N° 4 no es constante depende de la carga hidráulica. La carga H2 a 11.2 cm proporciona valores más bajos de retención de: conductividad (957  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), Dureza Total (324 mg  $\text{CaCO}_3/\text{l}$ ), Turbidez (0.35 NTU).
- Se obtuvo 4750 micras de muestra del piroclasto retenidos en el tamiz N° 4, para la ejecución de los ensayos hidráulicos; bajo diferentes variaciones de cargas hidráulicas como a un 1 cm (H1); 11.2 cm (H2) y a 22.2 cm (H3). La conductividad hidráulica es mayor cuando la altura de la carga hidráulica es pequeña.
- La calidad del agua de Tamaute con piroclastos del Tungurahua mayores o iguales a 4750 micras mejora en cuanto a color 67%, la dureza total 34%, la turbidez 45% y coliformes totales 100%, mientras que la conductividad, pH y sólidos disueltos totales disminuye un 3%.

- Cuando la carga hidráulica varía entre 1 cm y 22.2 cm, la conductividad ha variado sus medias de  $K_1$  (336.09 cm/min) a  $K_3$  (13.752 cm/min) de un total de 95 y 84 muestras.

## **6.2. Recomendaciones**

- Se recomienda realizar un análisis de porosidad a los piroclastos de 4750 micras; con el objetivo de conocer qué porcentaje, ejecuta de retención de sólidos suspendidos.
- En la recolección de datos in-situ se recomienda usar el equipo para medir la conductividad hidráulica saturada de campo que es el permeámetro Guelph, modelo 2800KL, para futuras investigación a realizarse. Además, se recomienda implantar un filtro transparente para conocer el funcionamiento interno de este mismo, con el estudio realizado difieren entre cargas y se desconoce la adsorción en el piroclasto de las tres cargas.
- Se recomienda que para la toma de muestras en vertientes se considere los datos estadísticos del clima; ya que se pueden ver afectados a los parámetros de análisis de la calidad del agua.
- Se recomienda que para mantener una eficiencia en el filtro este debe actuar desde el minuto 1; ya que es el tiempo adecuado para que exista una combinación del agua cruda con las propiedades del piroclasto de Tungurahua.

## 7. Bibliografía

- Alcaraz, Y. (2017). *Análisis y control de aguas en torres de refrigeración y planta de tratamiento de aguas residuales*. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Arturo, F. (2017). *Estudio de un proceso de filtración de agua para consumo humano con filtro orgánico y pómez para el mejoramiento de la calidad del agua, en el sector El Minas, Cantón Sucumbios*. Universidad Internacional SEK.
- ASTM, D. (2018). Método de ensayo para la medición de la conductividad hidráulica de materiales porosos saturados utilizando un permeámetro de pared flexible. In *ASTM INTERNATIONAL* (Vol. 53, pp. 1689–1699). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Bautista, A., & Joselyn, L. (2019). *Lechos activados de rocas volcánicas de Chimborazo y Tungurahua para la retención de la dureza del agua*. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Buitrón, R. (2012). La ley de agua -Ecuador. Retrieved from <https://www.inredh.org/index.php/archivo/derechos-humanos-ecuador/38-la-ley-de-agua-ecuador>
- Carillo, A., & Quintero, H. (2013). *Indicadores de cantidad y calidad del agua consumida en la ciudad de Riobamba*. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Carrillo, V., & Sánchez, N. (2013). *Elaboración de un filtro a base de carbon activado obtenido del endocarpo de coco con el proposito de reducir la dureza en el agua potable*. Universidad de el Salvador.

- Castillo, J. (2015). *Filtro domiciliario de arena y carbón activado para la pereira parroquia la avanzada cantón santa rosa provincia de el Oro. Noviembre 2015*. Universidad Tecnica de Machala.
- Comegna, L., Rianna, G., Lee, S. G., & Picarelli, L. (2016). Influencia de la trayectoria de humectación en la respuesta mecánica de cubiertas inclinadas poco saturadas. *Computers and Geotechnics*, 73, 164–169.
- Cuevas, J., Horn, R., Seguel, O., & Dörner, J. (2013). Hydraulic conductivity variation in chilean volcanic soils due to wheeling and management. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13(3), 756–766.
- Flores, K., & Quisnancela, E. (2016). *Velocidad de infiltración del agua en el sub suelo de Tamaute y Cubjés, pertenecientes a los cantones Guano y Riobamba, respectivamente, asociado a la granulometría y a la textura de sus componenetes*. Universidad Nacional de Chimborazo. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Gualteros, L., & Chacon, M. (2015). *Estudio de la eficiencia de lechos filtrantes para la potabilización de agua proveniente de la Quebrada La Despensa en el Municipio Guaduas Cundinamarca Vereda La Yerbabuena*. Universidad de la Salle.
- INEN, 2169. (2013). Agua, calidad de agua, muestreo manejo y conservación de muestras. In *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN* (p. 26).
- Instituto Geofísico. (2018). TUNGURAHUA - Instituto Geofísico - EPN. Retrieved February 13,

2020, from <https://www.igept.edu.ec/tungurahua>

Kaminski, E., & Jaupart, C. (1998). La distribución del tamaño de los piroclastos y la secuencia de fragmentación en las erupciones volcánicas explosivas. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 103(B12), 29759–29779.

Kassune, M., T. Tafesse, N., & Hagos, M. (2018). Características y productividad de los acuíferos de roca volcánica en el campo de pozos Kola Diba, en el centro-norte de Etiopía. *Universal Journal of Geoscience*, 6(4), 103–113.

Lambe, W., & Whitman, R. (2004). *Mecánica de suelos*. (E. Limusa, Ed.). Mexico D.F: GRUPO NORIEGA EDITORES.

Minitab. (2019). Interpretar los estadísticos para Almacenar estadísticos descriptivos - Minitab. Retrieved February 13, 2020, from <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/how-to/store-descriptive-statistics/interpret-the-statistics/interpret-the-statistics/>

Nicotera, M., Tarantino, A., Santo, A., Balzano, B., & Forte, G. (2017). Modelos geomecánicos para deslizamientos de tierra inducidos por precipitaciones poco profundas a la escala de captación construidos en bucle retroalimentación a partir de investigación geológica - geomorfológica. In *First JTCl Workshop on Advances in Landslide Understanding*. United Kingdom.

Pirone, M., Papa, R., Nicotera, M. V., & Urciuoli, G. (2016). Estimación de la función de

- conductividad hidráulica en suelos piroclásticos insaturados. *E3S Web of Conferences*, (September 2016).
- Prato, J., Barahona, F., Ríos, I., Millán, F., & Ustáriz, J. (2019). Adsorción de la dureza del agua sobre lechos de rocas volcánicas de Ecuador. *Espacios*, 13.
- Puga, P. (2012). *Estudio experimental del coeficiente de permeabilidad en arenas*. Universidad Católica de la Santísima Concepción.
- Romero, J. (2013). *Purificación del Agua*. (A. Ortiz, Ed.), *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). Bogota. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Samaniego, P., Yepes, H., Ramón, P., & Egred, J. (2005). *Los peligros volcánicos asociados con el Tungurahua*. (J. Ortega, Ed.) (Segunda ed). Quito.
- Sánchez, F. (2017). Hidrología Superficial y Subterránea. Retrieved from <http://hidrologia.usal.xn--espg-7na.1>
- Sanhueza, C., Valenzuela, P., Palma, J., Araneda, O., & Calderón, K. (2011). Evaluación del comportamiento geotécnico de suelos volcánicos chilenos para su uso como material de filtro en la depuración de aguas residuales domésticas. *Revista de La Construcción*, 10(2), 66–81.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (2009). *Mecánica de Suelos en la practica de Ingeniería*. (J. W. and Sons, Ed.) (3ra ed.). Nueva York.

## 8. Anexos

## Resultados emitidos por los laboratorios de Ingeniería Ambiental de la UNACH


**LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES**  
 Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con certificado No. SAE LEN 17-012

---

N° SE: 151 - 19

**INFORME DE ANALISIS**

**NOMBRE:** Diego Quintana **INFORME N°:** 151 - 19  
**EMPRESA:** Proyecto de Tesis UNACH **N° SE:** 151 - 19  
**DIRECCIÓN:** Av. Cordovez y Av. Antonio José de Sucre  
**TELÉFONO:** 0982232560 **FECHA DE RECEPCIÓN:** 22 - 11 - 19  
**FECHA DE INFORME:** 27 - 11 - 19

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 3, Agua filtrada, Tamiz 4, Tamaulá **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:**

MA - 403 - 19	Muestra 1 Tungurahua carga hidráulica = 1 cm	Agua
MA - 404 - 19	Muestra 2 Tungurahua carga hidráulica = 11,2 cm	Agua
MA - 405 - 19	Muestra 3 Tungurahua carga hidráulica = 22,2 cm	Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

**RESULTADO DE ANÁLISIS**

**MA - 403 - 19**

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U/K=2	FECHA DE ANÁLISIS
pH	-	PE-LSA-01	7.22	±0.08	22-11-19
Conductividad	µS/cm	PE-LSA-02	951	±1.8%	22-11-19
* Color	Upt-co	STANDARD METHODS 2120 C	3	N/A	22-11-19
* Sólidos Disueltos Totales	mg/l	STANDARD METHODS 2540 - C	480	N/A	22-11-19
* Dureza Total	mg CaCO <sub>3</sub> /l	STANDARD METHODS 2340 - C	320	N/A	22-11-19
* Turbidez	NTU	STANDARD METHODS 2130 B	0.56	N/A	22-11-19
* Coliformes totales	NMP/100 ml	STANDARD METHODS 9221 - C	3	N/A	22-11-19

**MA - 404 - 19**

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U/K=2	FECHA DE ANÁLISIS
pH	-	PE-LSA-01	7.14	±0.08	22-11-19
Conductividad	µS/cm	PE-LSA-02	957	±1.8%	22-11-19
* Color	Upt-co	STANDARD METHODS 2120 C	7	N/A	22-11-19
* Sólidos Disueltos Totales	mg/l	STANDARD METHODS 2540 - C	479	N/A	22-11-19
* Dureza Total	mg CaCO <sub>3</sub> /l	STANDARD METHODS 2340 - C	324	N/A	22-11-19
* Turbidez	NTU	STANDARD METHODS 2130 B	0.35	N/A	22-11-19
* Coliformes totales	NMP/100 ml	STANDARD METHODS 9221 - C	< 1 (Ausencia)	N/A	22-11-19

- Los resultados de este informe corresponden únicamente a los recipientes analizados.  
 - Los ensayos marcados con (\*) no se realizaron dentro del alcance de acreditación del SAE.  
 - Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.



Página 1 de 2

S.S.A. Carrera México-Eduard Benítez Km 1 1/2 s/n a Cuatro Buzos Administrativos.



## LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con certificado No. SAE LEN 17-012



N° SE: 151 - 19

MA - 405 - 19

PARAMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	-	PE-LSA-01	7.11	+/- 0.08	22-11-19
Conductividad	µS/cm	PE-LSA-02	961	+/- 6 %	22-11-19
* Color	Ucl-co	STANDARD METHODS 2120 C	10	N/A	22-11-19
* Sólidos Disueltos Totales	mg/l	STANDARD METHODS 2540 - C	480	N/A	22-11-19
* Dureza Total	mg CaCO <sub>3</sub> /l	STANDARD METHODS 2340 - C	332	N/A	22-11-19
* Turbidez	NTU	STANDARD METHODS 2130 B	0.54	N/A	22-11-19
* Coliformes totales	NMP/100 ml	STANDARD METHODS 9221 - C	1	N/A	22-11-19

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 22ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 22ª EDICIÓN

### RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara R.  
Benito Mendoza T., Ph.D.

  
  
 Dr. Juan Carlos Lara R.  
 TÉCNICO L.S.A.

- Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
 - Los ensayos marcados con (\*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE.  
 - Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

Página 2 de 2

FMC2101-01

L.S.A. Campus Mañabí-Eduardo Ríos Km.1.5 vía a Guano Bypass Administrativo.