



Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS

**"DISEÑO DE UN FILTRO CON PIROCLASTOS GRUESOS
PARA LA PURIFICACIÓN DEL AGUA DE LA COMUNIDAD
DE VIZCAYA (BAÑOS- TUNGURAHUA)"**

TESIS DE GRADO

**Previa la obtención del título de:
Ingeniera en Biotecnología Ambiental**

PRESENTADO POR:

Gabriela Fernanda Villota Urbina

Mis más sinceros
agradecimientos al Ing.
Alfonso Arellano por
brindarme el soporte
necesario para que este
proyecto de tesis haya
culminado.

De igual manera a la Dra.
Gina Álvarez y al Dr.
Gerardo León, asesores de
tesis por colaborar con sus
conocimientos.

A mi madre por brindarme su apoyo incondicional durante toda mi carrera para no desfallecer, a mis hermanas, amigas y familiares por compartir cada una de las experiencias vividas.

FIRMAS DE LOS RESPONSABLES Y NOTAS

	FIRMA	FECHA
Dr. Edmundo Caluña DECANO FACULTAD DE CIENCIAS
Dr. José Vanegas DIRECTOR DE LA ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS
Ing. Alfonso Arellano DIRECTOR DE TESIS
Dra. Gina Álvarez MIEMBRO DEL TRIBUNAL
Dr. Gerardo León MIEMBRO DEL TRIBUNAL
Sr. Carlos Rodríguez DIRECTOR DEL Dpto. DE DOCUMENTACIÓN
NOTA DE TESIS ESCRITA	

"Yo **Gabriela Fernanda Villota Urbina,** soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta tesis, el patrimonio intelectual de la tesis de grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo".

Gabriela Fernanda Villota Urbina.

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

msnm	Metros sobre el nivel del mar
°C	Grados Centígrados
Km	Kilómetros
m	Metros
CAG	Carbón Activado Granular
PVC	Cloruro de Polivinilo
cm	Centímetros
mm	Milímetros
cm³	Centímetros Cúbicos
L	Litros
ml	Mili Litros
pulg	Pulgada
nm	Nano Metros
μ	Micras
Hp	Caballos de Fuerza
psi	Presión Atmosférica
kg	Kilogramos
m³	Metros Cúbicos
seg	Segundos

min	Minutos
q	Caudal
ΔH	Altura del recipiente
dl	Altura del paquete Filtrante
K	Conductividad Hidráulica
μohms	Micro Ohmio
NTU	Unidades Nefelométricas de Turbidez
mg	Mili Gramos
UFC	Unidades Formadoras de Colonias
N-org	Nitrógeno Orgánico
NH_4^+	Nitrógeno Amoniacal
NO_2^-	Nitritos
NO_3^-	Nitratos

ÍNDICE GENERAL

<u>ÍNDICE DE ABREVIATURAS</u>	<u>5</u>
<u>INTRODUCCIÓN</u>	<u>12</u>
<u>ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN</u>	<u>14</u>
<u>OBJETIVOS</u>	<u>17</u>
<u>HIPOTESIS</u>	<u>19</u>
<u>CAPÍTULO I</u>	<u>21</u>
1. PARTE TEÓRICA	21
1.1.ÁREA DE ESTUDIO	21
1.2.COMPOSICIÓN DEL AGUA	22
1.3.PIROCLASTOS	25
1.4.LEY DE DARCY	26
<u>CAPITULO II</u>	<u>31</u>
2. MATERIALES Y MÉTODOS	31
2.1.MATERIALES	31
2.2.APARATOS Y EQUIPO	31
2.3.REACTIVOS	32
2.4.MÉTODOS	32

<u>CAPÍTULO III</u>	<u>36</u>
3. PARTE EXPERIMENTAL	36
3.1.TOMA DE MUESTRAS DE PIROCLASTOS	36
3.2.PREPARACIÓN DEL MATERIAL FILTRANTE	36
3.3.DETERMINACIÓN DEL PAQUETE DEL FILTRO	37
3.4.CONTROL DEL CAUDAL DEL FILTRO	42
3.5.AFINAMIENTO DEL FILTRO	42
3.6.CAUDAL DE FILTRACIÓN	43
3.7.FILTRACIÓN DEL AGUA DE LA COMUNIDAD VIZCAYA	43
<u>CAPÍTULO IV</u>	<u>45</u>
4. RESULTADOS	45
4.1.EFICIENCIA DEL FILTRO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE RETENCIÓN (AGUA DE RIEGO)	45
4.2.EFICIENCIA DEL FITRO EN FUNCIÓN DEL CAUDAL (AGUA DE RIEGO)	51
4.3.EFICIENCIA DEL FILTRO EN FUNCIÓN DEL CAUDAL (AGUA DE LA COMUNIDAD DE VIZCAYA)	60
4.4. COMPROBACIÓN ESTADÍSTICA DE LA EFICIENCIA DEL FILTRO Y ACEPTACIÓN DE HIPÓTESIS	61
4.5.DETERMINACIÓN DE LA ALTURA DEL PAQUETE FILTRANTE DE ACUERDO AL ΔH Y AL CAUDAL REQUERIDO PARA LA COMUNIDAD	63

<u>CAPÍTULO V</u>	<u>66</u>
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
5.1. CONCLUSIONES	66
5.2. RECOMENDACIONES	69
<u>RESUMEN</u>	<u>71</u>
<u>SUMARY</u>	<u>73</u>
<u>ANEXOS</u>	<u>75</u>
ANEXO 1: NORMA TECNICA ECUATORIANA NTE INEN 1 108:2006 AGUA POTABLE REQUISITOS	75
ANEXO 2: MAPA 1 UBICACIÓN GEOGRAFICA DE LA COMUNIDAD DE VIZCAYA	76
ANEXO 3: FOTOS DEL ESTUDIO DE TESIS	77
<u>BIBLIOGRAFIA</u>	<u>82</u>

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

A 11¹/₂ Km. Del cantón Baños se encuentra una de las comunidades más grandes que posee la ciudad, la cual lleva el nombre de Vizcaya, ubicada a una altura de 2.300 msnm, su temperatura es alrededor de 18°C.

Esta bañada por tres cuencas hidrográficas que llevan el nombre de los ríos Palacio, Valencia y Cristal.

La fuente de captación que posee la comunidad rural de Vizcaya, abastece alrededor de 500 habitantes.

Las inapropiadas condiciones en las que se encuentra el agua, se comprobó realizando análisis físico-químicos y microbiológicos.

Esta investigación se realizó tomando como base los límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, establecidos en la Norma INEN 108:2006.

En esta zona la calidad del agua no cumple con las normas requeridas mencionadas anteriormente, siendo esta una de las razones que motivaron el diseño y la aplicación de un filtro con piroclastos (material volcánico poroso) gruesos, para la purificación del agua de la comunidad.

El material volcánico poroso fue recolectado al noroeste de la ciudad de Baños de Agua Santa proveniente del volcán Tungurahua, a 2.143 msnm.

ANTECEDENTES

Y

JUSTIFICACIÓN

ANTECEDENTES

Actualmente en la ciudad de Baños de Agua Santa, se encuentra en funcionamiento una planta de tratamiento de agua potable, que no cubre los requerimientos necesarios, que satisfagan las necesidades de la población.

La presencia de materiales que han sido arrastrados a causa de las lluvias, vuelven turbia al agua provocando obstrucción en las tuberías

Debido a que dicha agua no se somete a un tratamiento previo y mucho menos a un proceso de desinfección, gran parte de la población padece de enfermedades por esta causa.

JUSTIFICACIÓN

La fuente de captación que posee la comunidad rural de Vizcaya, abastece alrededor de 820 habitantes.

Las inapropiadas condiciones en las que se encuentra el agua, se comprobará realizando análisis físico-químicos y microbiológicos, que deben cumplir los límites permisibles, para el agua de consumo humano (INEN, 1 108:2006, AGUA POTABLE REQUISITOS) (anexo 1).

Si la calidad de agua no cumpliera con la misma se designará, una planta de tratamiento de agua potable con la aplicación

de un sistema de filtración a base de piroclastos (material volcánico poroso) y un proceso de cloración.

OBJETIVOS

OBJETIVOS

General:

- Diseño de un filtro con piroclástos gruesos para la purificación del agua de la comunidad de Vizcaya en la ciudad de Baños de Agua Santa (Tungurahua).

Específicos

- Determinar las características físico-químicas y microbiológicas del agua de Vizcaya.
- Diseñar un sistema de filtración usando piroclástos, de un tamaño mayor a 2 cm, como material filtrante.
- Determinar la eficiencia del filtro.
- Establecer los diferentes cálculos para el diseño del filtro.

HIPOTESIS

El diseño de un filtro utilizando pirocláastos como material filtrante, mejorará la calidad del agua.

PARTE TEÓRICA

CAPITULO I

1. PARTE TEÓRICA

1.1. Área de Estudio.

La comunidad de Vizcaya se encuentra localizada 01°20.876 sur y 078°24.2610 al oeste de la ciudad de Baños de Agua Santa en la provincia de Tungurahua, a una altitud de 2300 msnm.

Anteriormente fue una hacienda, propiedad del español Don Vizcaíno, de ahí su nombre.

1.1.1. Fundación

Jurídicamente es una comunidad establecida desde el 12 de Mayo de 1969.

1.1.2. Comercio

Aproximadamente un 90% de sus habitantes se dedica a la agricultura como es el cultivo de maíz y mora, la población restante realiza actividades de ganadería y piscicultura relacionada con la crianza y comercialización de trucha.

En la actualidad es una comunidad que fomenta el turismo, pues una gran parte de su territorio esta conformado por bosques primarios.

1.1.3. Biodiversidad

Goza de una gran variedad de fauna y flora especialmente por la diversidad de orquídeas que se dan en sus alrededores.

1.1.4. Población

Vizcaya posee una población de 500 habitantes, su toma de agua se encuentra ubicada a una distancia de 300 metros desde el centro de la comunidad y a una altura de 2.380 msnm.

1.2. Composición Del Agua

En su circulación por encima y a través de la corteza terrestre, el agua reacciona con los minerales del suelo y de las rocas.

Los principales componentes disueltos en el agua superficial y subterránea son los sulfatos, los cloruros, los bicarbonatos de sodio y potasio, y los óxidos de calcio y magnesio.

Las aguas subterráneas poco profundas pueden contener grandes cantidades de compuestos de nitrógeno y de cloruros.

1.2.1. Purificación Del agua

Las impurezas suspendidas y disueltas en el agua natural impiden que ésta sea adecuada para numerosos fines.

Los materiales indeseables, orgánicos e inorgánicos, se extraen por métodos de criba y sedimentación que eliminan los materiales suspendidos.

Otro método es el tratamiento con ciertos compuestos, como el carbón activado, que eliminan los sabores y olores desagradables.

También se puede purificar el agua por filtración, o por cloración o irradiación que matan los microorganismos infecciosos.

1.2.2. Sistemas de tratamiento

1.2.2.1. Físico

El proceso físico que se aplica es la filtración; que tiene como propósito, separar un sólido suspendido (como un precipitado) del líquido, a través de un medio poroso por el cual puede penetrar fácilmente.

El filtro de carbón funciona con el mismo principio que el filtro de arena.

El carbón activado es preparado chamuscando materiales como almendras, cocos, nueces, maderas y carbón, después de varios procesos se produce la activación, aquí el carbón puede ser separado en varios tamaños con diferentes capacidades de adsorción.

El proceso de adsorción toma lugar en tres pasos: macro transporte, micro transporte y sorción. El término sorción es usado para describir la adherencia del material orgánico al carbón activado de tamaño granular (CAG).

Este medio es sumamente eficiente para remover el cloro, mal olor y sabor del agua, así como sólidos pesados (plomo, mercurio) en el agua. Al terminar este proceso el agua debe tener un sabor y olor agradable.

La filtración por arena es una de las tecnologías de tratamiento de aguas más antiguas que se conoce. Si se diseña, construye, opera y mantiene debidamente, el filtro de arena produce un efluente de muy alta calidad. Los filtros de arena son lechos o camas de material granular, o arena, y drenados o escurridos por debajo. El filtro de arena típico es una caja forrada de hormigón o de cloruro de polivinilo (PVC), llena de material arenoso. La profundidad media del material fluctúa entre 24 y 42 cm. Es importante que todas las partículas arenosas sean más o menos del mismo tamaño. Si el tamaño del grano varía mucho, los granos pequeños rellenarán los espacios de las partículas más grandes, lo que causará que el sistema se tape más fácilmente. Entre más grande sean los granos, más rápido correrán las aguas por la arena y más aguas se podrán filtrar. El material pequeño reduce la velocidad del movimiento del agua y aumenta la probabilidad de que ocurra una obstrucción. El tamaño del grano también afecta qué tan profundo penetran las partículas sólidas en el filtro y qué tan limpio queda el efluente final.

La calidad de la filtración depende de varios parámetros, entre otros, la forma del filtro, altura del lecho filtrante, características y granulometría de la masa filtrante, velocidad de filtración, etc.

Cuando los filtros se cargan con las partículas, la dirección del flujo es invertida y el volumen del flujo se aumenta para limpiar el filtro de nuevo. El tiempo para la limpieza es determinado por los siguientes criterios: Volumen, Presión de la gota sobre el filtro y tiempo. (3)

Los filtros se pueden diseñar con varios materiales filtrantes como arena, antracita y carbón activado, similar a los piroclastos, siendo este un material volcánico poroso que adsorbe partículas sólidas, purificando el agua. (4)

1.3. Piroclastos

Los piroclastos son fragmentos expulsados por las explosiones, que tienen tamaños variables desde finísimas partículas (<0,001 mm) hasta bombas o bloques de unos 5 m de diámetro. La nomenclatura empleada según su tamaño es: ceniza (<0,001-2 mm), lapilli (2 - 64 mm) y bombas o bloques (>64 mm). Todas las bombas son del magma en erupción, es decir son de material juvenil. Cuando este material fresco es poroso y de composición basáltica se le denomina escoria y cuando es silíceo se le llama pómez. Escoria: < 60% de sílice y densidad > 1 g/cm³; pómez: > 60% de sílice y densidad < 1

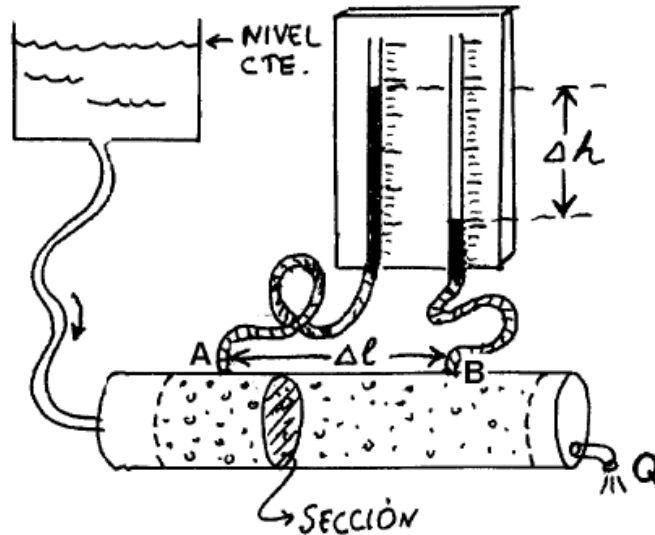
g/cm³. Generalmente, los bloques son fragmentos angulosos de rocas, arrastrados desde las paredes del conducto eruptivo.

1.4. Ley de Darcy

La Ley de Darcy describe, con base en experimentos de laboratorio, las características del movimiento del agua a través de un medio poroso. Darcy al diseñar filtros de arena para purificar el agua, se interesó por los factores que influían en el flujo del agua a través de los materiales arenosos. En los laboratorios actuales de la ESPOCH no disponemos de aparatos similares a los que utilizó Darcy, y que se denominan permeámetros de carga constante (Figura 1). Por esta razón se diseña un filtro basado únicamente en las experiencias de Darcy.

Se utiliza lapilli, piroclástos de tamaño mayor a 2cm y menores a 4cm, siendo estos los más adecuados para el filtro.

Figura 1



Fuente: Sanches, Xavier, Departamento de geología, Ley de Darcy.

<http://web.usual.es/xavisan/hidro>.

Básicamente un permeámetro es un recipiente de sección constante por el que se hace circular agua conectando a uno de sus extremos un depósito elevado de nivel constante. En el otro extremo se regula el caudal de salida mediante un grifo que en cada experimento mantiene el caudal también constante. Finalmente, se mide la altura de la columna de agua en varios puntos (como mínimo en dos, como en la Figura 1).

Darcy encontró que el caudal que atravesaba el permeámetro era linealmente proporcional a la sección y al gradiente hidráulico

Podemos probar también con permeámetros de distintos diámetros y midiendo la altura de la columna de agua en

puntos más o menos próximos. Pues bien: cambiando todas la variables (Ec. 1), siempre que utilicemos la misma arena, se cumple que:

$$Q = cte. \times Sección \times \frac{\Delta h}{\Delta l} \quad (Ec. 1)$$

Darcy encontró que utilizando otra arena (más gruesa o fina, o mezcla de gruesa y fina, etc.) y jugando de nuevo con todas las variables, se volvía a cumplir la ecuación anterior, pero que la constante de proporcionalidad lineal era otra distinta. Concluyó, por tanto, que esa constante era propia y característica de cada arena y la llamó permeabilidad.

Actualmente, la Ley de Darcy se expresa de esta forma (Ec. 2)

$$q = -K \left(\frac{dh}{dl} \right) \quad (Ec. 2)$$

Donde:

$q = Q/\text{sección}$ (es decir: caudal que circula por m^2 de Sección)

$K =$ Conductividad Hidráulica (mejor que "permeabilidad")

$\frac{dh}{dl} =$ Gradiente hidráulico expresado en incrementos

Infinitesimales (el signo menos se debe a que el caudal

Es una magnitud vectorial, cuya dirección es hacia los Δh decrecientes; es decir, que Δh o dh es negativo y, por tanto, el caudal será positivo). (5)

MATERIALES

Y

MÉTODOS

CAPITULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. MATERIALES

- Muestra de agua
- Muestra de pirocláastos
- 2 bidones de 8 y 15 L.
- Recipientes estériles de 30 mL.
- 1 válvula de ½ pulg.
- Vasos de precipitación de 250 mL.
- Cajas petri
- 1 pipeta de 10 mL.
- 1 embudo
- Papel filtro
- Pinza estéril

2.2. APARATOS Y EQUIPO

- Balanza analítica con sensibilidad de 0.0001 gr.
- Termómetro
- pH-metro
- Turbidímetro
- Conductímetro
- Baño maría
- GPS

- Equipo de absorción atómica
- Rampa de filtración
- Cono de filtración

2.3. REACTIVOS

- Salicilato de sodio
- Agua destilada
- Agua de la comunidad (Vizcaya)
- Acido Sulfúrico concentrado
- Hidróxido de Sodio 10N
- Hidróxido de Sodio 2.5N
- m-FC MEDIUN WITH ROSOLIC ACID
- m-ENDO
- Acido clorhídrico 6N
- Solución patrón de yodo
- Tiosulfato de sodio 0.025N
- Solución de almidón

2.4. METODOS

2.4.1. Temperatura (Método de Temperatura)

Se procede a introducir el termómetro previamente calibrado a temperatura ambiente, en la muestra de agua de la comunidad, siendo esta constante para el agua filtrada y no filtrada.

2.4.2. Conductividad (Método Conductométrico, 2510 Standar Methods)

Tipo electrodo de platino. Este tipo de célula se presenta en forma de pipeta o de inmersión. La elección de la célula depende de la amplitud esperada de conductividad y de la amplitud de resistencia del instrumento.

2.4.3. Turbiedad (Método Turbidímetro, 2130 Standar Methods)

El método se basa en el Turbidímetro de Jackson, sin embargo, el valor más bajo de turbidez que puede medirse con este instrumento es de 25 unidades.

2.4.4. pH (Método Potenciométrico 4500-H⁺ B Standar Methods)

El método se basa en la medida de la actividad de los iones hidrógeno por mediciones potenciométricas utilizando un electrodo patrón de hidrógeno y otro de referencia.

2.4.5. Nitratos (Método Fotométrico 4500-NO₃⁻ B Standar Methods)

Se utiliza esta técnica solamente para seleccionar muestras con bajo contenido en materia orgánica, es

decir, aguas naturales incontaminadas y suministros de agua potable. La medida de la absorción UV a 220 nm hace posible la determinación rápida de NO_3^- .

2.4.6. Coliformes Totales (Método de filtración por membrana)

En el cabezal del cono de filtración se coloca una membrana de 0.45μ y en el cono 100 ml de agua, se filtra al vacío con la ayuda de una bomba, se procede a colocar la membrana en una caja petri con una pinza estéril. Se añade un medio de cultivo (m-ENDO) y finalmente se encuba a $35-37^\circ\text{C}$ por 24 horas, se realiza su lectura.

2.4.7. Coliformes fecales (Método de filtración por membrana)

En el cabezal del cono de filtración se coloca una membrana de 0.45μ y en el cono 100 ml de agua, se filtra al vacío con la ayuda de una bomba, se procede a colocar la membrana en una caja petri con una pinza estéril. Se añade un medio de cultivo (m-FC MEDIUM WITH ROSOLIC ACID) y finalmente se encuba a $35-37^\circ\text{C}$ por 24 horas, se realiza su lectura.

2.4.8. Sólidos Suspendidos (Método Gravimétrico)

Son los residuos filtrados del agua, desecados a la temperatura normalizada, y el aumento de peso en el papel filtro son los sólidos suspendidos.

PARTE
EXPERIMENTAL

CAPITULO III

3. PARTE EXPERIMENTAL

3.1. TOMA DE MUESTRAS DE PIROCLASTOS

3.1.1. Localización

Los piroclastos se encuentran fácilmente en la antigua carretera Baños-Riobamba, desde la zona llamada "Los pájaros" a 500 metros vía a Riobamba.

El material volcánico fue de fácil recolección, por encontrarse superficialmente, ubicado a una altura de 2.143 msnm al noroeste de la ciudad de Baños.

3.1.2. Procedencia y Origen

Los piroclastos son fragmentos de lava procedentes de la erupción del volcán Tungurahua en agosto del 2006.

3.2. Preparación del material filtrante

3.2.1. Soplado

La limpieza de los piroclastos se dio mediante soplado con un compresor de potencia 5Hp y una capacidad de 0-300 psi.

Se tomó porciones de piroclastos (10 piedras) y se soplo por un lapso de 3 minutos suficientes para retirar la ceniza existente en sus poros. La boquilla del soplete se encontró cerca de los piroclastos a una distancia de 3 cm.

3.2.2. Lavado

El lavado se ejecutó mediante agua a presión por un período de 5 minutos con 10 repeticiones.

Posteriormente se llevó a cabo un lavado manual para evitar un daño a los piroclastos, que por sus características porosas son de fácil destrucción.

3.2.3. Tamaño

La granulometría de los piroclastos escogidos es mayor a 2 cm y menor a 4cm, los cuales fueron medidos con la ayuda de un calibrador.

3.3. Determinación del paquete del filtro

3.3.1. Introducción

La determinación del paquete del filtro se realizó para conocer el volumen adecuado, ejecutándose varias pruebas a diferentes alturas (5,10 y 15 cm) de filtro.

Obteniéndose distintos datos del caudal de agua en función del volumen del material filtrante.

Con el cálculo de la densidad se obtendrá datos referenciales para el filtro escogido.

Tabla 3.3.1. Peso y densidad del filtro a diferentes alturas

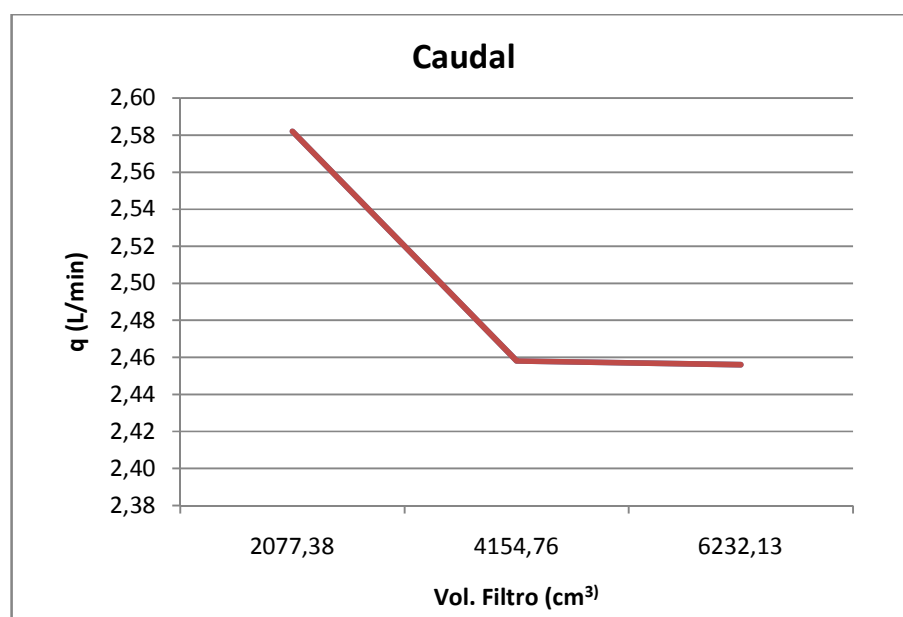
Diámetro (cm)	Altura (cm)	Volumen (cm³)	Peso filtro(kg)	Densidad (kg/m³)
23	5	2.077,38	1,55	746,13
23	10	4.154,76	3,11	748,54
23	15	6.232,13	4,66	747,74

3.3.2. Propiedades hidráulicas del paquete

Tabla 3.3.2. Propiedades hidráulicas del paquete

	BLANCO	FILTRO	FILTRO	FILTRO
ALTURA DEL FILTRO(cm)		5	10	15
ALTURA RECIPIENTE(cm)	22,5	22,5	22,5	22,5
VOLUMEN PIEDRAS(cm³)	0	2077,38	4154,76	6232,13
VOLUMEN AGUA(L)	1	1	1	1
DIAMETRO(cm)	23	23	23	23
TIEMPO(seg)				
t1	20,15	23,06	24,44	24,6
t2	20,21	23,27	24,63	24,26
t3	20,23	23,39	24,17	24,42
t promedio	20,20	23,24	24,41	24,43
CARGA HIDRAULICA(cm)	22,5	22,5	22,5	22,5
Q(L/min)	2,971	2,582	2,458	2,456

Gráfico 3.3.2. Caudal del agua en función del volumen del paquete.



En la grafica se observa que cuando la altura del filtro aumenta de 5cm a 10 cm, el caudal baja notablemente, sin embargo cuando la altura es de 15 cm, el caudal que atraviesa a este filtro comparado con el filtro de 10 cm de altura disminuye muy poco.

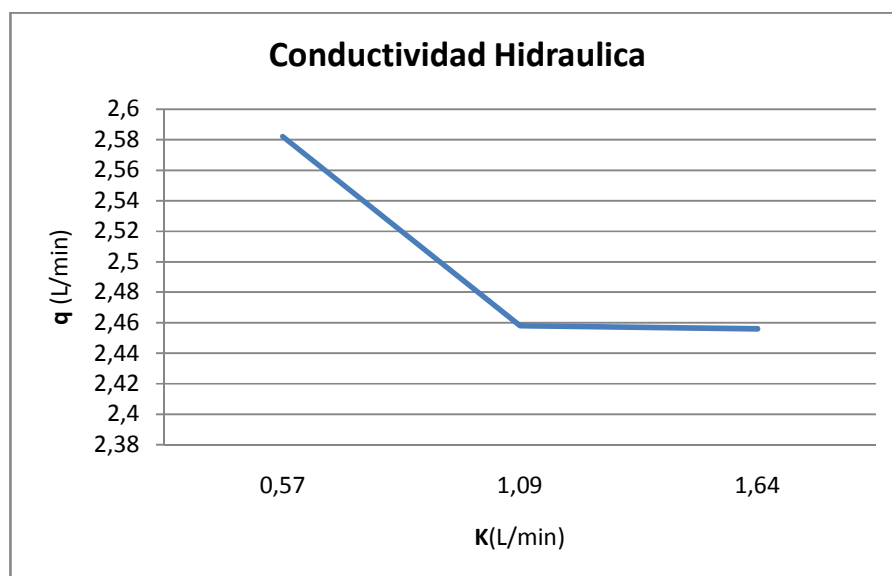
3.3.3. Conductividad hidráulica del filtro

Se entiende como conductividad hidráulica a la permeabilidad que tiene el material poroso para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna.

Tabla 3.3.3. Conductividad Hidráulica

q (L/min)	ΔH (cm)	dL (cm)	$\Delta H/dL$	K (L/min)
2,582	22,5	5	4,5	0,57
2,458	22,5	10	2,3	1,09
2,456	22,5	15	1,5	1,64

Gráfico 3.3.3. Caudal vs Conductividad Hidráulica



En la grafica K es inversamente proporcional al caudal.

La relación $\Delta H/dL$ es mayor cuando la altura del filtro es menor, mientras que K es inversamente proporcional a esta relación, es decir la conductividad hidráulica es mayor cuando la altura del filtro aumenta.

Por lo tanto se usará un filtro de 15 cm, que posee una mayor conductividad hidráulica de acuerdo a estos resultados, donde además se requiere una menor cantidad de agua para los análisis posteriores.

3.4. Control del caudal del filtro

3.4.1. Introducción

Se instala una válvula de compuerta a la salida del filtro con la finalidad de controlar el caudal del filtro y de mantenerlo constante durante la filtración.

3.5. Afinamiento del filtro

Considerando que el agua de Vizcaya se encuentra a más de 200 km de Riobamba, se realizó las primeras pruebas del filtro con agua de riego obtenida de las cercanías de la ESPOCH en Riobamba.

Una vez ajustado el filtro, se determinó la calidad del agua filtrada a distintos tiempos (0.7, 24 y 120 horas) mediante los análisis del laboratorio.

3.6. Caudal de filtración

Se realizó aforos de caudal a la salida del filtro, en función de la abertura de la llave; colocando la llave en dos posiciones: 23° y 45° medidos con respecto al recorrido que realiza la llave desde 0° (válvula cerrada) a 90° (válvula abierta).

Con la abertura de 23°, se tomó muestras del agua filtrada para sus correspondientes análisis físico-químico y microbiológico, el mismo proceso se efectuó para la abertura de 45° a partir de la prueba #2 con agua de riego.

3.7. Filtración del agua de la comunidad Vizcaya

Se hizo una segunda recolección del material filtrante, debido a que el agua de riego contaminó y obstruyó los piroclastos. La limpieza de los piroclastos recogidos en la segunda recolección se realizó mediante el proceso ya antes mencionado en el literal 3.2.2.

RESULTADOS

CAPITULO IV

4. Resultados

4.1. Eficiencia del filtro en función del tiempo de retención (agua de riego).

Se define como eficiencia a:

$$\text{Eficiencia} = \frac{V_{\text{no filtrado}} - V_{\text{filtrado}}}{V_{\text{no filtrado}}} * 100$$

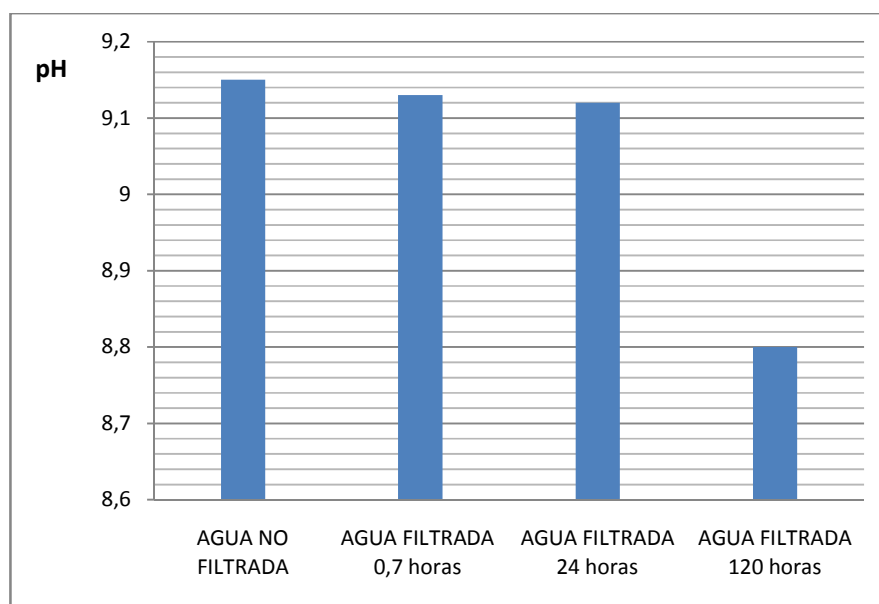
Tabla 4.1. Prueba #1 con agua de riego

PARAMETROS	NO FILTRADA	FILTRADA 0,7 horas	EFICIENCIA (%)	FILTRADA 24 horas	EFICIENCIA (%)	FILTRADA 120 horas	EFICIENCIA (%)
temperatura(°C)	14	14	0	14	0	14	0
pH	9,15	9,13	0,22	9,12	0,33	8,8	3,83
conductividad(μmohs)	300	300	0	300	0	300	0
turbiedad(ntu)	15,9	10	37,11	9,98	37,23	3,3	79,25
sólidos suspendidos(mg/L)	0,29	0,18	37,93	0,16	44,83	0,12	58,62
nitratos(mg/L)	0,106	0,139	-31,13	0,139	-31,13	0,139	-31,13

Una vez determinada la eficiencia (porcentajes de reducción) de cada uno de los parámetros establecidos se procede a graficar, para obtener la variación de los parámetros con respecto al tiempo de retención del filtro.

4.1.1. Eficiencia del filtro con respecto al pH (agua De riego)

Gráfico 4.1.1. pH en función del tiempo de retención



La disminución del pH entre las 24 horas y las 0,7 horas de filtración es pequeña; la disminución del pH después de las 120 horas ya es notable con respecto a las dos mediciones anteriores, casi 3,6 veces mayor.

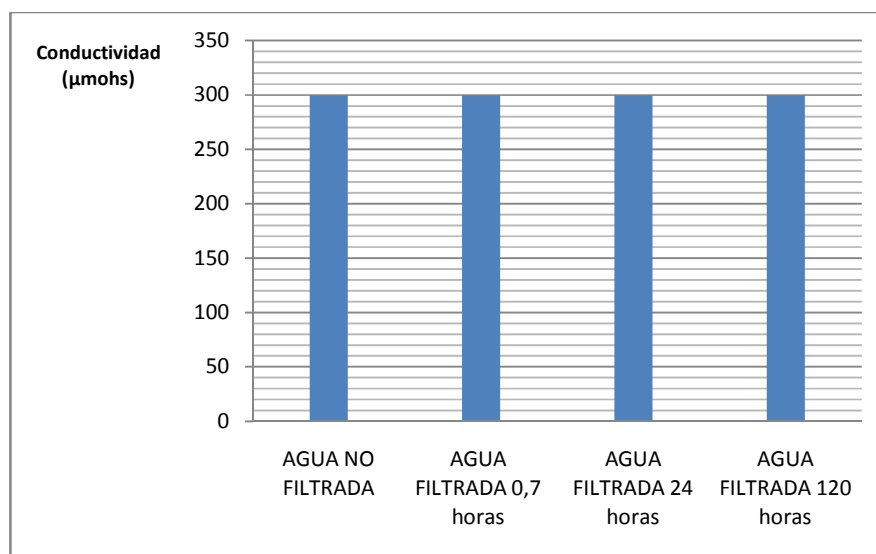
Por lo tanto un filtro de estas características requiere un tiempo de retención de 120 horas para disminuir alrededor del 4% el pH del agua. Esto involucra que se debe diseñar un tamaño de filtro considerable donde se obtenga un tiempo de infiltración alto.

Los tiempos de infiltración menores a 120 horas no reducen el pH notoriamente.

4.1.2. Eficiencia del filtro con respecto a la Conductividad

(agua de riego)

Gráfico 4.1.2 Conductividad en función del tiempo de retención

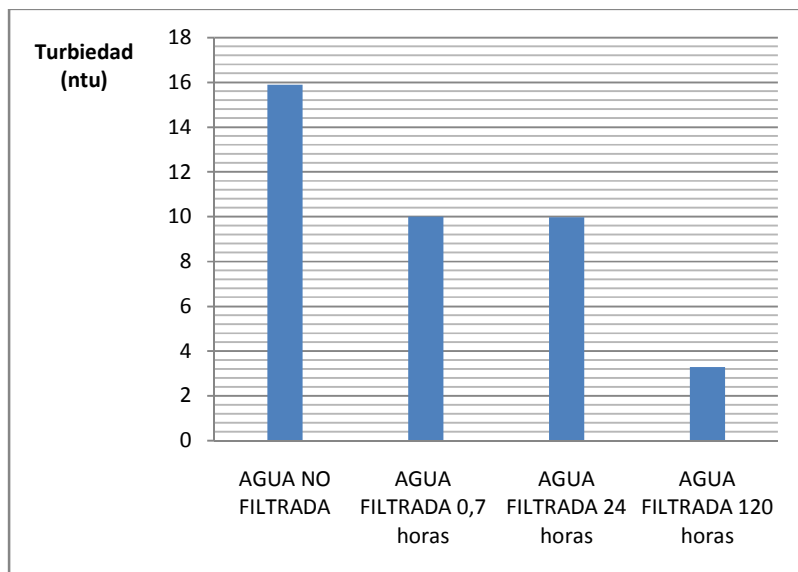


En la gráfica se aprecia que con respecto a la conductividad no existe variación porque los iones existentes en el agua quedan retenidos dentro de los macro y micro poros del material filtrante, pero aparentemente no son adsorbidos por sus paredes. Por lo tanto, un filtro de estas características no disminuye la conductividad del agua.

4.1.3. Eficiencia del filtro con respecto a la turbiedad

(agua de riego)

Gráfico 4.1.3. Turbiedad en función del tiempo de retención

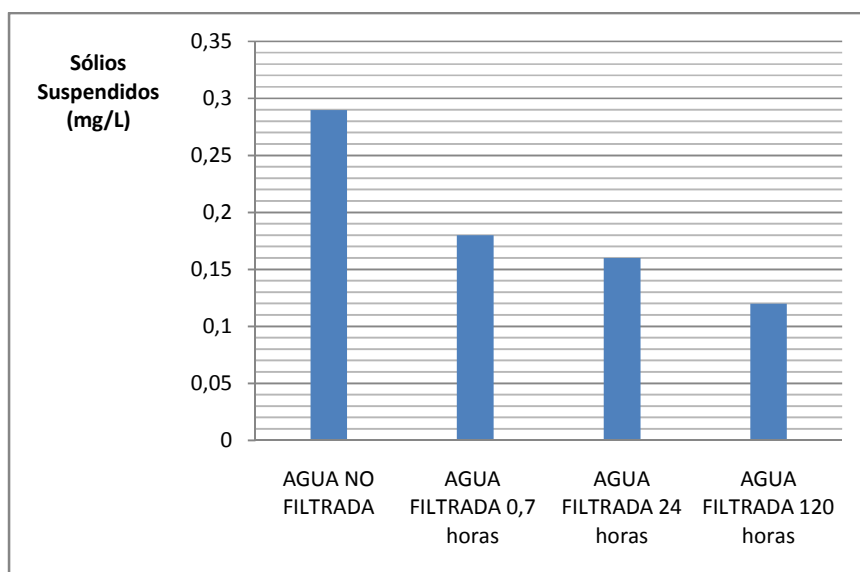


La eficiencia del filtro para reducir la turbiedad, después de 0,7 horas y de 24 horas de filtración, es similar (alrededor del 37%). Sin embargo, después de 120 horas aumenta la eficiencia con una reducción del 80%.

Por lo tanto un filtro de estas características, con un tiempo de 24 horas o menos, reduciría hasta un 37% de turbiedad, mientras que un filtro con un tiempo de 120 horas o más, reducirá la turbiedad más del 80%.

4.1.4. Eficiencia del filtro con respecto a los sólidos suspendidos (agua de riego)

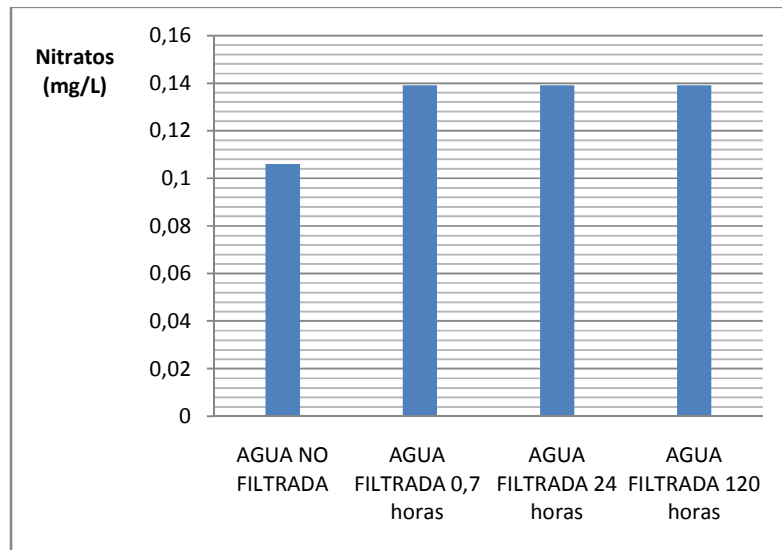
Gráfico 4.1.4. Sólidos Suspendidos en función del tiempo de retención



De acuerdo a lo mencionado en el parámetro anterior, la eficiencia del filtro después de 120 horas de filtración removió alrededor del 60% de sólidos suspendidos, mientras que la remoción entre las 0,7 horas y las 24 horas es similar y oscila entre 38% y 44% respectivamente.

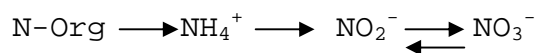
4.1.5. Eficiencia del filtro con respecto a los nitratos
(agua de riego)

Gráfico 4.1.5. Nitratos en función del tiempo de retención



En la gráfica se demuestra que a mayor tiempo de retención los nitratos aumentan, debido a que estos sufren un proceso químico; esto se debe a que el nitrógeno en el agua no filtrada se encuentra en distintas formas como nitrógeno orgánico (N-Org), nitrógeno amoniacal (NH_4^+) y nitritos (NO_2^-)

Al momento de filtrar se convierte el nitrógeno en su última forma que tiene que ser nitratos (NO_3^-). Llave

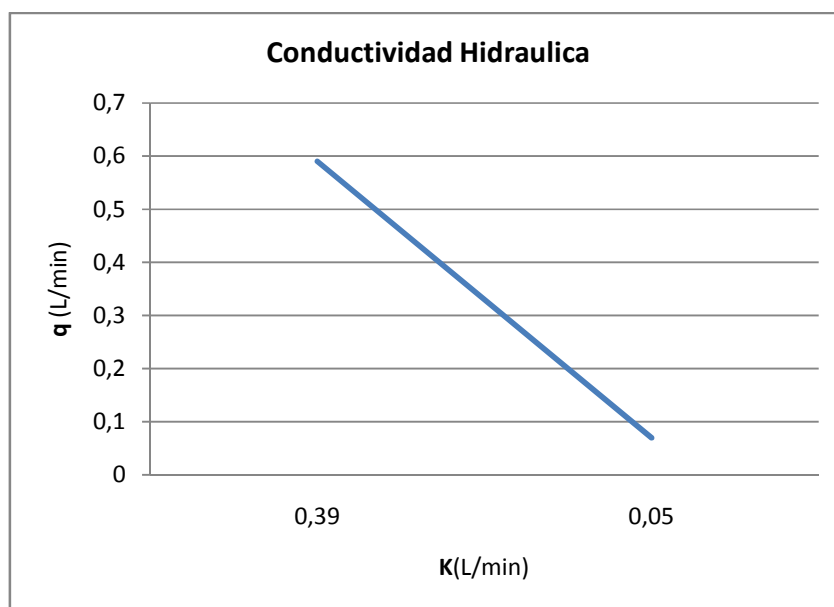


4.2. Eficiencia del filtro en función del caudal (agua de riego).

Tabla 4.2. Conductividad Hidráulica

q (L/min)	ΔH (cm)	dL (cm)	$\Delta H/dL$	K (L/min)
0,59	22,5	15	1,5	0,39
0,07	22,5	15	1,5	0,05

Gráfico 4.2. Conductividad Hidráulica



La conductividad hidráulica disminuye cuando el caudal disminuye, porque la relación $\Delta H/dL$ se mantiene constante.

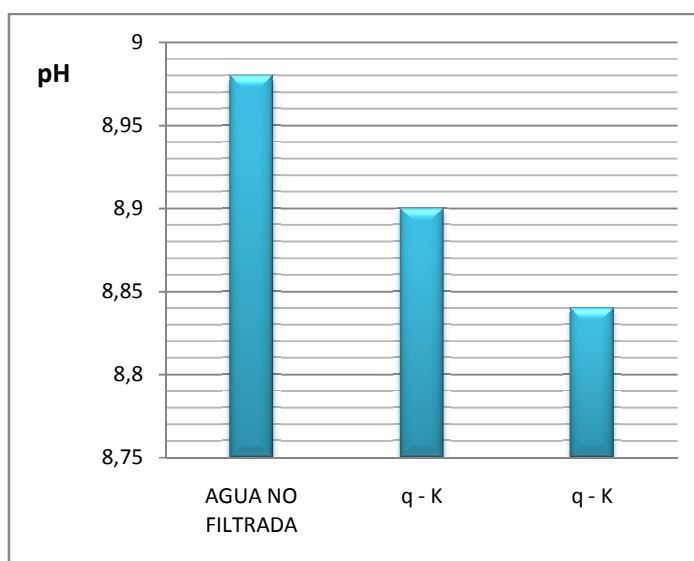
Tabla 4.2. Prueba #2 y 3 con agua de riego a 23 y 45° de
abertura de la llave

PARAMETROS	AGUA NO FILTRADA	AGUA FILTRADA 45°	EFICIENCIA (%)	AGUA FILTRADA 23°	EFICIENCIA (%)
caudal(L/min)		0,59		0,07	
temperatura(°C)	14	14	0	14	0
Ph	8,98	8,9	0,89	8,84	1,56
conductividad(μmohs)	290	260	10,34	280	3,45
turbiedad(ntu)	59,7	45	24,62	14,75	75,29
sólidos suspendidos(mg/L)	0,3	0,2	33,33	0,04	86,67
Nitratos	0,264	0,225	14,77	0,348	-31,82
coliformes totales	210	190	9,52	180	14,29
coliformes fecales	75	72	4,00	70	6,67

Con los valores obtenidos de la tabla se procede a graficar, para obtener la variación de los parámetros con respecto al caudal, a una abertura de la llave de 23 y 45°.

4.2.1. pH medido con dos caudales de agua de riego a 23 y 45° de abertura de la llave

Gráfico 4.2.1 pH en función de dos caudales

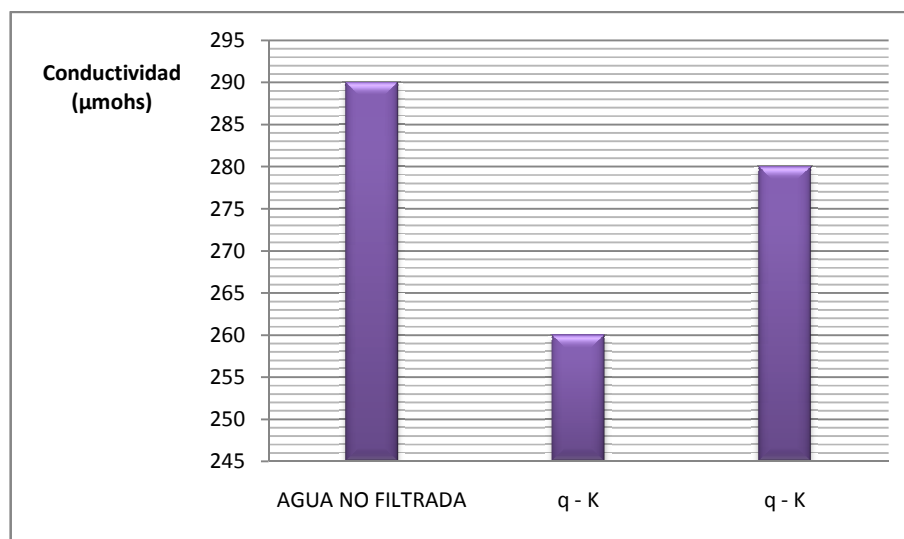


El pH del agua de riego disminuye 0,89% con un caudal de 0,59 L/min, mientras que disminuye 1,56% con un caudal de 0,07 L/min.

Por lo tanto, un filtro con estas características, disminuye el pH del agua y su disminución será mayor cuando el caudal sea más pequeño. Esto se interpreta también como: la eficiencia de este filtro para disminuir el pH es inversamente proporcional al coeficiente hidráulico del filtro, es decir, a menor coeficiente K mayor reducción del pH.

4.2.2. Conductividad medida con dos caudales de agua de riego a 23 y 45° de abertura de la llave

Gráfico 4.2.1. Conductividad en función de dos caudales

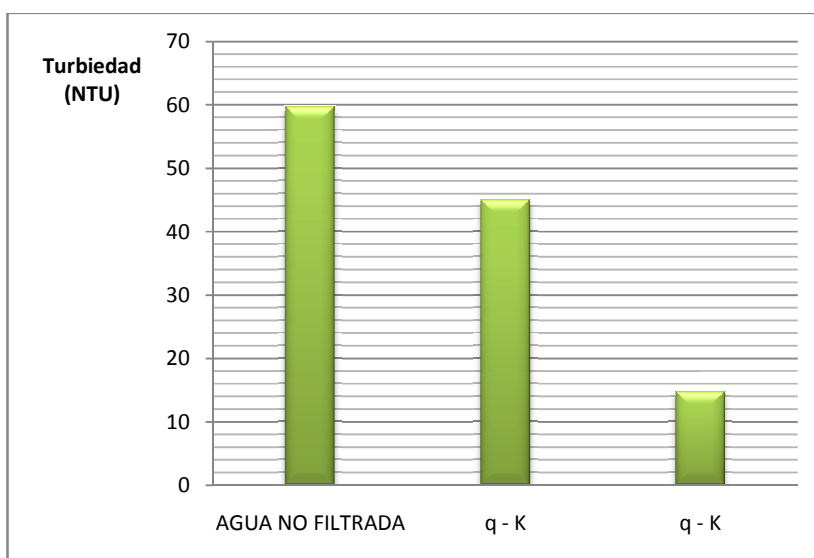


La conductividad del agua filtrada es menor cuando el coeficiente K es mayor. Cuando $K = 0,39$, la conductividad es reducida en un 10%, mientras que cuando $K = 0,05$ la conductividad se reduce un 4%.

Por lo tanto esto se debe a la abertura de la llave donde se presume que los iones del material filtrante se adhirieron porque aumento el tiempo de retención.

4.2.2. Turbiedad medida con dos caudales de agua de riego a 23 y 45° de abertura de la llave

Gráfico 4.2.2. Turbiedad en función de dos caudales

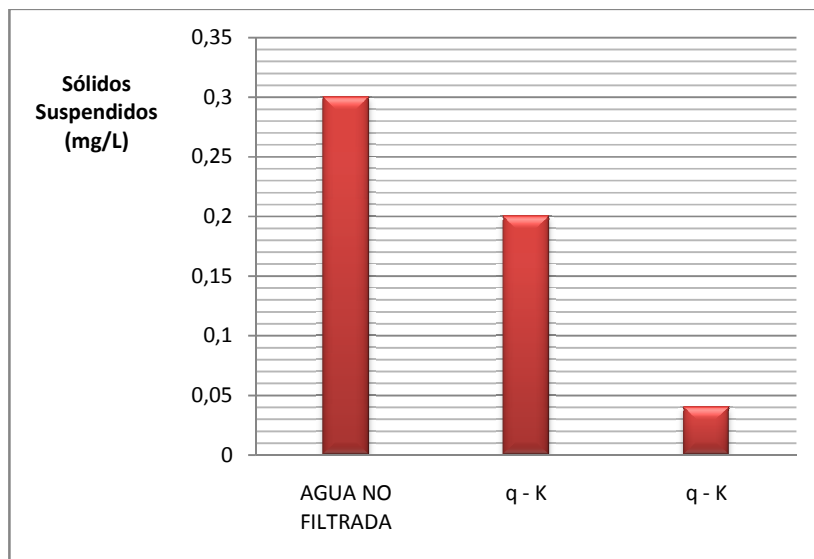


En la gráfica se demuestra que la turbiedad es reducida notablemente (75%) cuando el caudal y K, son reducidos.

La reducción de la turbiedad cuando el caudal y K son altos, solamente alcanza a un 24,62%. Por lo tanto, existe una relación inversamente proporcional entre la reducción de la turbiedad y el K.

4.2.3. Sólidos suspendidos medidos con dos caudales de agua de riego a 23 y 45° de abertura de la llave

Gráfico 4.2.3. Sólidos suspendidos en función de dos caudales

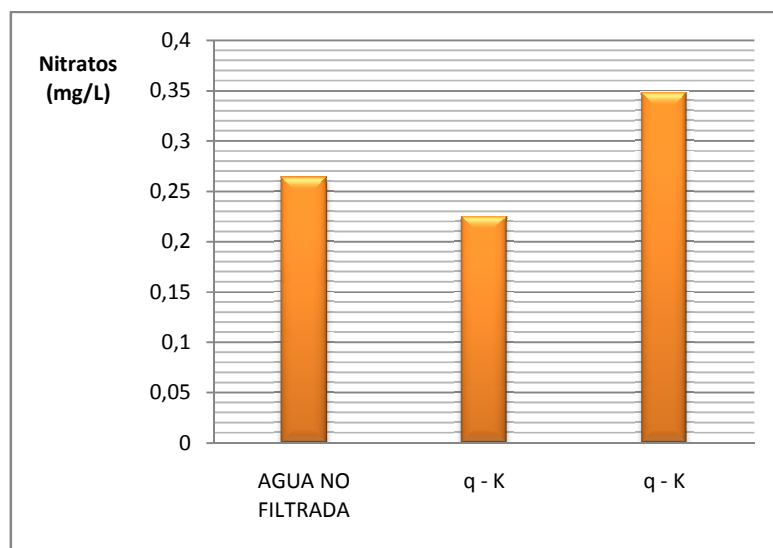


En la gráfica se demuestra que Los sólidos suspendidos es reducida notablemente (87%) cuando el caudal y K, son reducidos.

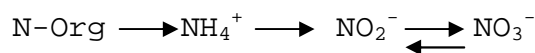
La reducción de los sólidos suspendidos cuando el caudal y K son altos, solamente alcanza a un 33,33%. Por lo tanto, existe una relación inversamente proporcional entre la reducción de la turbiedad y el K.

4.2.4. Nitratos medidos con dos caudales de agua de riego a 23 y 45° de abertura de la llave

Gráfico 4.2.4. Nitratos en función de dos caudales

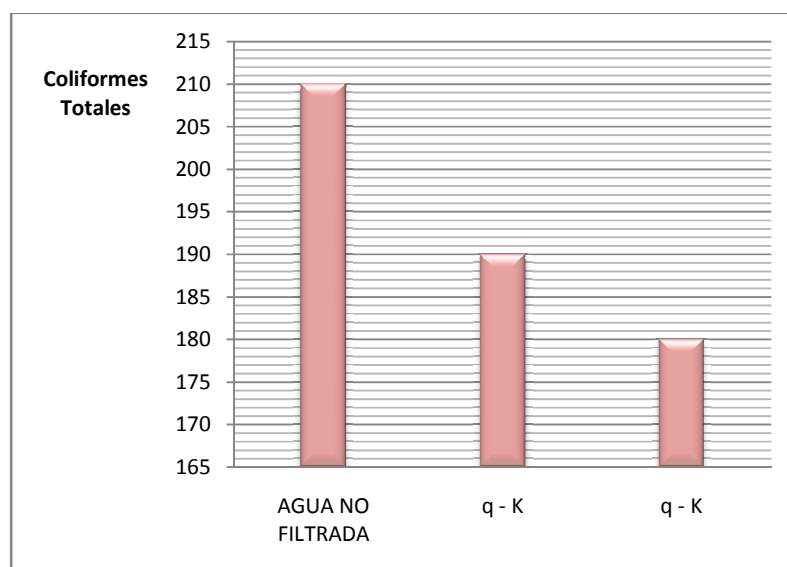


Cuando el caudal y K son altos los nitratos bajan. Cuando el caudal y K son bajos los nitratos aumentan, probablemente debido a que existe un mayor tiempo de infiltración, tiempo en el cual los nitratos se convierten en nitritos (NO_2^-) y sus otras formas.



4.2.5. Coliformes totales medidas con dos caudales de agua de riego a 23 y 45° de abertura de la llave

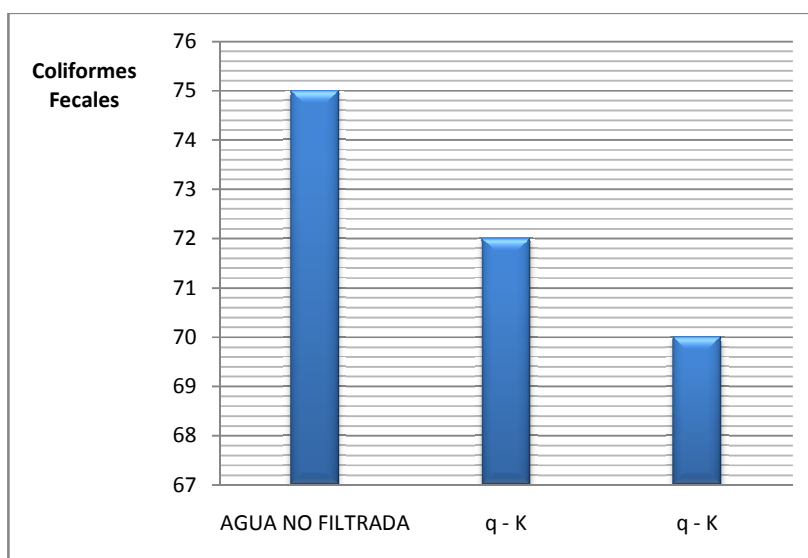
Gráfico 4.2.5. Coliformes totales en función de dos caudales



Existe una relación inversamente proporcional entre la reducción de coliformes totales y el coeficiente K. la reducción cuando K es 0,05 L/min alcanza un 14%, valor que es aun muy bajo que lo deseado.

4.2.6. Coliformes fecales medidas con dos caudales de agua de riego a 23 y 45° de abertura de la llave

Gráfico 4.2.5. Coliformes fecales en función de dos caudales



Existe una relación inversamente proporcional entre la reducción de coliformes totales y el coeficiente K. la reducción cuando K es 0,05 L/min alcanza un 7%, valor que es aun muy bajo que lo deseado.

4.3. Eficiencia del filtro en función del caudal (agua de la comunidad de Vizcaya).

Una vez que se ha obtenido que la mayoría de los parámetros han reducido con el menor K= 0,05 L/min se hacen las pruebas del agua de la comunidad de Vizcaya con ese filtro.

Tabla 4.3. Prueba #4 con agua de la comunidad de Vizcaya

PARAMETROS	AGUA NO FILTRADA	AGUA FILTRADA PRUEBA 1	AGUA FILTRADA PRUEBA 2	PROMEDIO	EFICIENCIA %	DESVIACIÓN	NTE INEN Limit. Max. Permissible
Caudal		0,07	0,07				
temperatura (°C)	12	12	12	12	0	0	
Ph	7,10	7,05	7,03	7,04	1	0,01	6,5-8,5
conductividad(μmohs)	290	260	257	258,50	11	2,12	
turbiedad(ntu)	0,59	0,58	0,57	0,58	3	0,01	5
sólidos suspendidos(mg/lit)	0,30	0,04	0,03	0,04	88	0,01	Ausencia
nitratos(mg/lit)	0,26	0,23	0,22	0,22	15	0,00	10
coliformes totales (UFC/100ml)	60	85	85	85	-42	0,00	Ausencia
coliformes fecales (UFC/100 ml)	30	45	45	45	-50	0,00	Ausencia

Con los valores obtenidos en la tabla se observa que:

La reducción del pH es baja con una eficiencia del 1% del agua ya filtrada, pero cumpliendo los límites establecidos en la norma INEN para aguas de consumo humano.

La conductividad posee una eficiencia del 11% dando una reducción, una vez filtrada el agua, permitiendo que sea agua apta para consumo.

Con respecto a la turbiedad del agua ya filtrada alcanza una eficiencia del 3%. De acuerdo a lo establecido en la norma INEN, con los valores obtenidos en la prueba de agua filtrada uno (0,58 NTU) y dos (0,57 NTU) se encuentra dentro de los límites máximos permisibles.

Los sólidos suspendidos y nitratos presentan una disminución debido al proceso de filtración con un 88% y 15% respectivamente.

Con respecto a los coliformes totales y fecales, no existe disminución, en su lugar se puede observar que el agua no filtrada presenta valores menores que el agua filtrada.

El incremento en coliformes podría atribuirse al tiempo de filtración, durante el cual se reproducen las bacterias fecales, porque el caudal de salida es pequeño. Adicionalmente el material piroclástico de este filtro no es capaz de retener estos coliformes, siendo así un agua no apta para consumo humano.

4.4. Comprobación estadística de la eficiencia del filtro y aceptación de Hipótesis

Para comprobar si el filtro es eficiente o no de acuerdo a lo establecido en la hipótesis: "El diseño de un filtro utilizando piroclastos como material filtrante, mejorará la calidad del agua", se aplicó el método estadístico T-STUDENT, descrito a continuación.

H_0 = No existe diferencia entre el agua no filtrada y filtrada.

H_1 = Existe diferencia entre el agua no filtrada y filtrada

α = 0,05

N = 2

gl= N-1

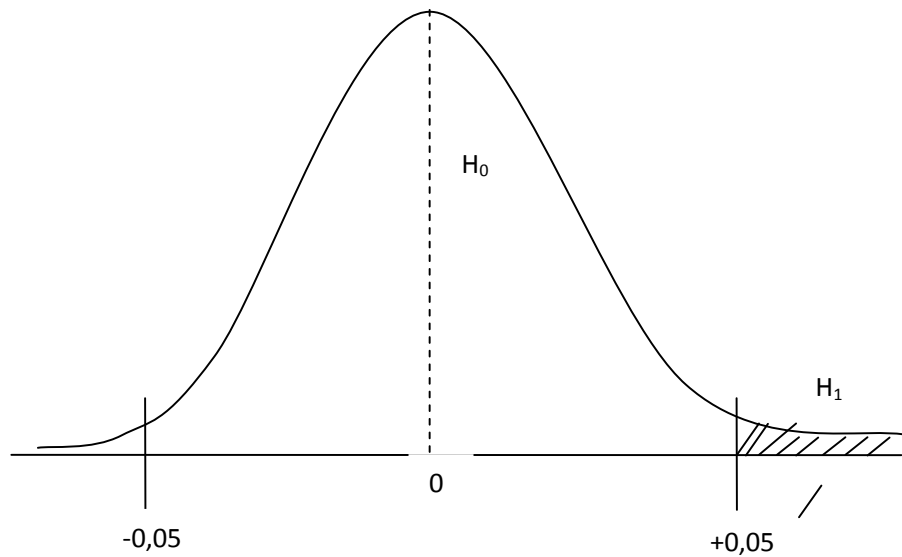
gl= 1

Cálculos

Prueba de muestras relacionadas

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)		
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia					Desviación típ.	Error típ. de la medi a
				Superior	Inferior					
Par 1 NO_FILTRAD FILTRADO	,265000 0	,0070711	,0050000	,201469 0	,328531 0	53,000	1	,012		

Gráfico



Por lo tanto, con los resultados obtenidos acepto mi H₁ y rechazo mi H₀

4.5. Determinación de la altura del paquete filtrante de acuerdo al ΔH y el caudal requerido por la comunidad.

4.4.1. Cálculo del caudal medio actual incluido su factor de mayoración (*).

$$\text{Caudal medio actual} = 150 \frac{\text{L}}{\text{hab.día}} * 500 \text{ hab} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}} * \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}} = 52 \frac{\text{L}}{\text{min}} * 1,10 = 57 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

$$\text{Caudal medio actual} = 57 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

4.4.2. Cálculo de ΔH con alturas del tanque de captación y la comunidad de Vizcaya.

$$\Delta H = 2.380\text{m} - 2.300\text{m}$$

$$\Delta H = 80\text{m}$$

4.4.3. Cálculo de la altura del paquete filtrante dL

$$q = K * \frac{\Delta H}{dL}$$

$$dL = \frac{K * \Delta H}{q}$$

$$dL = \frac{0,05 \frac{\text{L}}{\text{min}} * 80 \text{ m}}{57 \text{ L/min}}$$

$$\mathbf{dL = 0,07 \text{ m}}$$

(*) Normas de Diseño de Sistemas de Agua Potable y Eliminación de Residuos Líquidos para Poblaciones de más de 1.000 habitantes y Localidades de menos de 1.000 habitantes de Ecuador. Capítulo V Captación y Conducción de Agua para Consumo Humano. Caudales de Diseño, tabla 4.3, pp. 88

CONCLUSIONES

Y

RECOMENDACIONES

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

1. El proceso de filtración no permite que el agua sea apta para consumo humano de acuerdo a las condiciones establecidas en la norma INEN 108:2006, AGUA POTABLE REQUISITOS.

Los parámetros que se encuentran dentro de los límites permisibles son pH, conductividad, turbiedad y nitratos. Por lo tanto los parámetros que no permiten que el agua filtrada sea apta para su consumo son sólidos suspendidos, coliformes totales y coliformes fecales (ver anexo #1)

2. Con las pruebas uno y dos de filtración con el agua de la comunidad de Vizcaya, el agua filtrada tiene un promedio de reducción en el pH de 7,04 en comparación al agua no filtrada que tiene un pH igual a 7,10.

También ocurre una disminución para la conductividad, turbiedad, sólidos suspendidos y nitratos.

Los parámetros como coliformes totales y fecales aumentan, ocasionando que el agua no sea apta para su consumo.

3. Los parámetros que han sido reducidos con la filtración: pH, conductividad, turbiedad, sólidos suspendidos,

nitratos, presentan una eficiencia mayor al 3%, es decir poseen una reducción muy baja.

4. El filtro propuesto es más eficiente removiendo turbiedad y mucho más reduciendo sólidos suspendidos.
5. El proceso de filtración no sirve para reducir la contaminación provocada por coliformes totales y fecales.
6. Obtenidos todos los resultados con el agua de la comunidad de Vizcaya, el diseño del filtro propuesto utilizando piroclástos como material filtrante mejora la calidad del agua, pero requiere el empleo de otros procesos.
7. Se podría usar este filtro, combinándolo con otras unidades físicas, para disminuir los contaminantes. Por ejemplo, un desarenador en la captación, rejillas a la salida de la captación, la captación cubierta para impedir contaminantes orgánicos. Un estrato de arena sobre este estrato de piroclastos y otro estrato de material más fino, debajo del mismo.
Adicionalmente un tratamiento químico después del filtrado.
8. De acuerdo a su número de habitantes la comunidad de Vizcaya requiere de un caudal medio actual de 57 L/min, incluido su factor de mayoración y un filtro con un

$dL=0,07$ m, es decir con una altura del paquete filtrante pequeña. (ver literal 4.4.3.).

9. Con cada uno de los parámetros analizados se puede establecer, que el filtro propuesto es un prototipo a nivel de laboratorio, debido a que el diseño del filtro únicamente llega hasta la determinación de la altura del paquete filtrante requerido por la comunidad.

5.2. Recomendaciones

1. Se recomienda que el agua de la comunidad de Vizcaya no solo requiere un proceso físico (filtración), a la vez necesita un proceso químico siendo esta la cloración.
2. Es aconsejable utilizar este tipo de filtro para aguas con una carga contaminante elevada (agua residual).
3. Para el lavado del material filtrante, se recomienda que este sea realizado cuidadosamente, puesto que sus características porosas permiten que se destruya fácilmente.
4. Se recomienda el empleo de este material (piroclastos) como un medio filtrante, por que es de fácil obtención y no tiene costo alguno.

RESUMEN

CAPITULO VI

6. RESUMEN

Este estudio se baso en el diseño de un filtro para la purificación del agua de la vertiente de la comunidad de Vizcaya del cantón Baños de Agua Santa, Provincia de Tungurahua, utilizando piroclastos como material filtrante con un tamaño mayor a 2 cm y menor a 4 cm, proveniente del volcán Tungurahua actualmente en erupción.

Las inapropiadas condiciones en las que se encuentra el agua, se comprobó realizando análisis físico-químicos y microbiológicos, que se llevaron a cabo en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

El material filtrante fue colocado en un bidón de 8L a una altura de 15cm. Se determinaron caudales de salida del filtro a distintas aberturas de la válvula (23 y 45°) para el afinamiento del mismo.

Con los resultados obtenidos se obtuvo una reducción en la turbiedad del 3% para el agua filtrada en la prueba #1 y del 4% en la prueba #2, cada una con relación al agua no filtrada.

Por lo tanto se recomienda que se emplee este tipo de filtro con piroclastos para agua residual, la cual posee partículas

de mayor tamaño facilitando su retención, realizando análisis para su verificación.

SUMMARY

This study was based in the using of a filter to purify water from the spring of the community Vizcaya, Baños de Agua Santa canton Tungurahua Province, using pyroclasts as a filtering material with a size higher than 2 cm and lower than 4 cm, from the Tungurahua volcano erupting at the moment.

The inappropriate conditions in which water is tested by carrying out physical and chemical and microbiological analyses performed at the Analysis Technical Lab of the Escuela Superior Politecnica de Chimborazo.

The filtering material was placed in 8 L tank at 15 cm height. Filter exit volumes were determined at different valve openings (23 and 45 %) for its adjustment.

With the results a reduction in turbidity of 3% was obtained for the filtered water in the test N°1 and 4% in the test N°2 each one related to the unfiltered water.

Therefore, it is recommended to use this type of filter with pyroclasts for the residual water with bigger particles facilitating their retention.

ANEXOS

ANEXO 1. NORMA TECNICA ECUATORIANA NTE INEN 1 108:2006 AGUA

POTABLE REQUISITOS

Mapa 1. Ubicación Geográfica de la Comunidad de Vizcaya

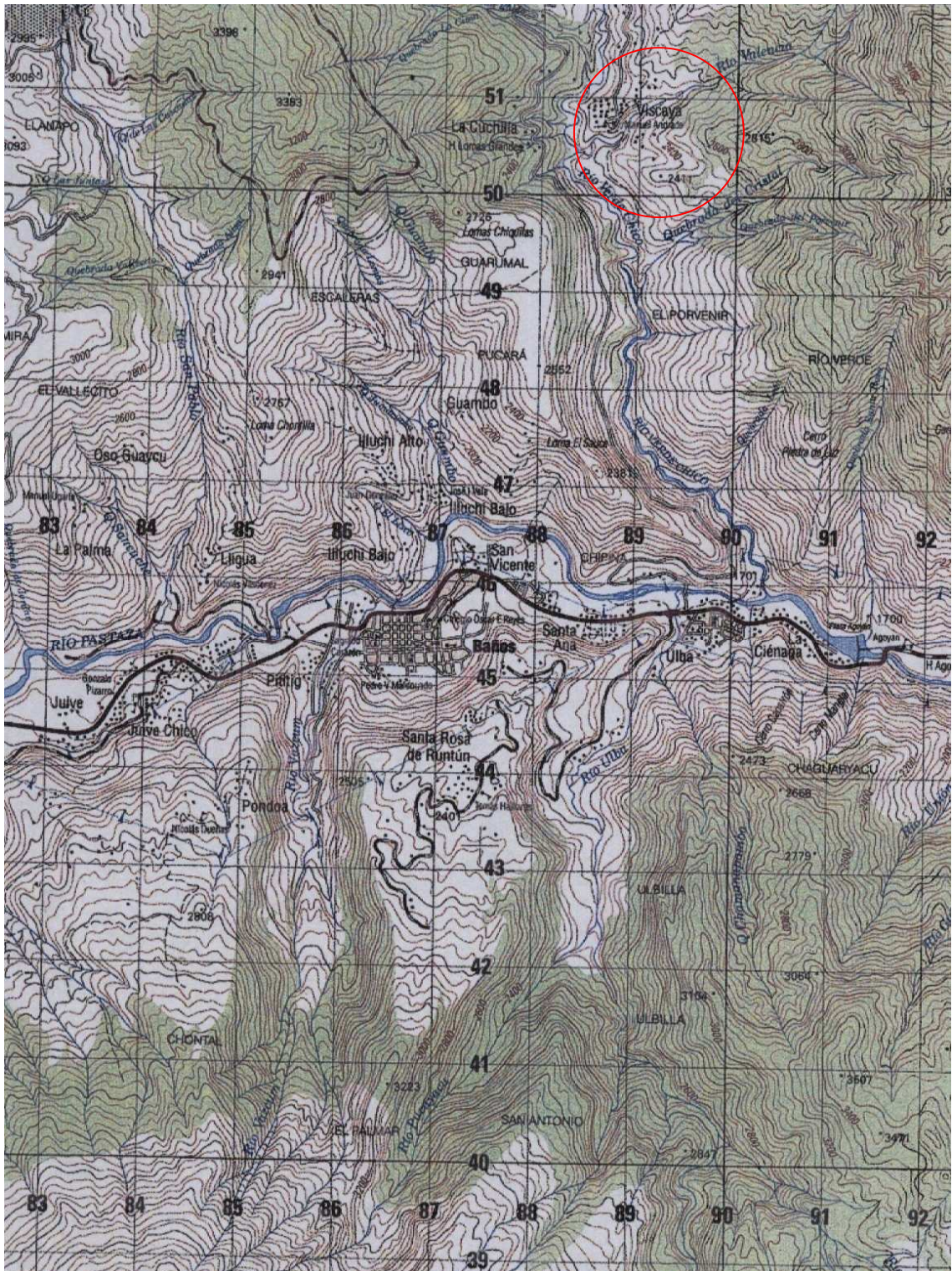


Foto 1. Fuente de Captación



Foto 2. Toma de Muestras de Piroclastos



Foto 3. Lavado del material filtrante



Foto 4. Filtro con la instalación de la llave



Foto 6. Determinación del caudal con una abertura de la llave

a 23°



Foto 5. Toma de muestra del agua filtrada



Foto 6. Realización de análisis



BIBLIOGRAFIA

Bibliografía

- (1) ARELLANO, A. Tratamientos de Aguas Residuales II.
s.n.t. pp. 2-4
- (2) LENNTECH, C. Agua Residual y Purificación del Aire
<http://www.lenntech.com/español/filtración.html>
20081215
- (3) CHAMY, R.y PIZARRO, C. Tratamiento de Agua Potable
<http://explora.cl/tratamientosaguapotable.html>
20090117
- (4) SANCHES, X. Departamento de Geología, Ley de Darcy
<http://web.usual.es/xavisan/hidro>.
20090117
- (5) ZAPATA, A. Proceso de Potabilización de Aguas Superficiales
<http://WWW.monografias.com/trabajos15/plantas-tratamiento.html>
20090117
- (6) INSTITUTO ECUATORIANO DE OBRAS SANITARIAS, Normas de Diseño o de sistemas de agua potable y eliminación de residuos líquidos para poblaciones, de más de 1000 habitantes y localidades de menos de

1000 habitantes de Ecuador. Capitulo V. pp. 80-88

20090116

