

# Reducción de trazas de materia orgánica en agua potable mediante la adsorción con Zeolita

Richard, Ramírez-Palma<sup>1</sup>; Alejandro, Véliz-Aguayo<sup>2</sup>; Juan, Garcés-Vargas<sup>3</sup>; Lucrecia, Moreno-Alcivar<sup>4</sup>; Gerardo, Herrera-Brunett<sup>5</sup>; Miguel, Salvatierra-Barzola<sup>6</sup>

## Resumen

El objetivo de esta investigación fue la reducción de las trazas de materia orgánica en el agua potable por medio del uso de zeolita natural, zeolita activada y la comparación con la eficiencia de la adsorción del carbón activado. Se utilizó agua suministrada por la compañía AGUAPEN E.P. y materiales adsorbentes zeolita natural, zeolita activada y carbón activado. La zeolita se activó térmicamente a 600°C. Se realizaron pruebas en columnas de adsorción a escala (RSSCT – Rapid Small-Scale Column Test) para carbón activado granular (GAC) de acuerdo a la norma ASTM 6586 para determinar la eficiencia de la adsorción de las trazas de materia orgánica en el agua potable. Se determinó la eficiencia en base al parámetro de carbono orgánico total en muestras simple del afluente y efluente del agua tratada cada 3 horas durante 24 horas. El incremento de la presión de trabajo evidencia el punto de ruptura o colmatación del adsorbente. La concentración del Carbón Orgánico Total (COT) se determinó mediante el análisis de la combustión de la muestra con el detector infrarrojo no dispersivo de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Los resultados mostraron reducción de materia orgánica con el uso de zeolita natural y zeolita activada, con respecto al carbón activado.

**Palabras Clave:** zeolita, carbón activado, adsorción, materia orgánica, Carbón Orgánico Total (COT).

## Reduction of organic matter traces in drinking water through adsorption with zeolite

## Abstract

The objective of this research was the reduction of organic matter traces in drinking water through the use of natural and activated zeolite, and the comparison with the efficiency of activated carbon adsorption. Water supplied by the company AGUAPEN E.P. was used, and adsorbent materials as natural zeolite, activated zeolite and activated carbon were utilized. The zeolite was thermally activated at 600 ° C. Tests were performed on scale adsorption columns (RSSCT - Rapid Small Scale Column Test) for Granular Activated Carbon (GAC) according to ASTM 6586 to determine the efficiency of the adsorption of traces of organic matter in drinking water. Efficiency was determined based on the total organic carbon parameter in simple affluent and effluent samples of treated water every 3 hours during 24 hours. The increase in working pressure shows the point of rupture or clogging of the adsorbent. The concentration of Total Organic Carbon (TOC) was determined by analyzing the sample combustion with a non-dispersive infrared carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) detector. The results showed the reduction of organic matter in natural zeolite and activated zeolite compared to activated carbon.

**Keywords:** natural zeolite, activated zeolite, activated carbon, adsorption, organic matter, total organic carbon TOC

**Recibido:** 11 de noviembre de 2018

**Aceptado:** 21 de enero de 2019

<sup>1</sup> Magister en Ingeniería Sanitaria; Ing. Civil, Docente de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE); rramirez@upse.edu.ec

<sup>2</sup> P.h.D. Ing. Mec.; Docente de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE); aveliz@upse.edu.ec.

<sup>3</sup> Magister en Administración de Empresas Ing. Civil, Decano de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE); jgarces@upse.edu.ec

<sup>4</sup> Magister en Geotecnia, Ing. Civil; Docente de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE); lmoreno@upse.edu.ec

<sup>5</sup> Magister en Seguridad e Higiene y Salud Ocupacional; Ing. Ind, Docente de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE); gherrera@upse.edu.ec

<sup>6</sup> Master en Ciencias, Ing. Méc.; Docente de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE); msalvatierra@upse.edu.ec

## I. INTRODUCCIÓN

Ecuador, por su Constitución, es responsable de garantizar a sus habitantes el acceso al agua potable en la cantidad y calidad necesarias para su buen vivir. (Asamblea Nacional, 2008). Otros países de la región y el mundo también están adoptando las recomendaciones de las Naciones Unidas de garantizar el derecho al agua a sus ciudadanos (Naciones Unidas, 2011).

En el mundo, la contaminación del aire, suelo y agua avanza muy rápidamente, debido principalmente, a la demanda de los bienes y servicios de la sociedad y el consumo.

Entre febrero y junio del 2008, las empresas de agua potable AGUAPEN e HIDROPLAYAS que están ubicadas en la Península de Santa Elena tuvieron problemas en su fuente de captación de agua (embalses) por el incremento de la materia orgánica natural (MON) en el agua del embalse, aumento de las plantas acuáticas, algas y sustancias tóxicas que provocaron reclamos por olores, sabores desagradables y diarreas leves. (El Universo, 2018)

Algunos de los problemas que ocasionan estas sustancias son: bioacumulación, competitividad con los contaminantes clave (plaguicidas), efectos carcinogénicos y mutagénicos resultantes de sus reacciones con el cloro (SPD). Debido al riesgo a la salud, que presentan los subproductos de la cloración de la materia orgánica, es necesaria su eliminación en el tratamiento del agua potable producida, a partir de las fuentes contaminadas de abastecimiento con estos compuestos (Oxenford, 1996)

En Ecuador, la gestión de la calidad del agua es realizada por la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) a través de la Subsecretaría Técnica de los Recursos Hídricos y la Subsecretaría de Agua y Saneamiento, Dirección de Calidad del Agua en coordinación con el Ministerio de Ambiente, Ministerio de salud y los Gobiernos Autónomos Descentralizados. (SENAGUA, 2012)

La presente investigación tiene como objetivo principal evidenciar experimentalmente la reducción de las trazas de materia orgánica en el agua potable mediante la adsorción con zeolita natural y activada.

La materia orgánica en el agua potable que

causa olor y sabor objetables a los habitantes de la Península de Santa Elena. Esto lleva a resolver el problema de calidad del agua potable mediante la reducción de trazas de materia orgánica en la potabilización del agua potable y que es de vital importancia para mejorar la calidad de vida de la población ecuatoriana. (SEMPLADES, 2018)

Se conoce que la mayoría de las grandes ciudades en el mundo tienen actualmente problemas de escasez y calidad del agua debido al crecimiento poblacional y la contaminación de sus fuentes de agua. (BBC, 2018).

## II. METODOLOGÍA

La metodología seguida para verificar la hipótesis presentada es la siguiente:

- Revisión de bibliográfica actualizada de no más de 4 años, como por ejemplo: trabajos de investigación, revistas, artículos.
- Se obtuvieron 4 muestra de agua potable de la empresa de agua potable de Aguapen EP cada una de 200 litros para evaluarlas. (INEN 1108, 2014)
- Se construyeron tres (3) columnas a pequeña escala como una prueba rápida para evaluar el rendimiento del material adsorbente. (ASTM D6586, 2000).
- Se evaluó sensorialmente el agua purificada (prueba de calificaciones preferencia) para evaluar la remoción de olor y sabor del agua con personal calificado.
- Se evaluó la fecha de caducidad del agua purificada envasada en botellas plásticos con tapa hermética y almacenada a la intemperie para verificar la eficiencia del proceso de purificación.

### 2.1. Materiales

El principal material utilizado para el estudio experimental es el agua potable. Los demás materiales que fueron utilizados en la preservación, almacenamiento, filtración, conducción y medición se muestran a continuación:

- Agua potable 1000 lts
- Carbón Activado Granular 100 gr
- Zeolita Natural 100 gr

- Zeolita activada 100 gr
- Filtro de geotextil
- Mangueras de vinil d=1/2", 3/8"
- Tuberías de PVC rígido, accesorios como codos, tee de PP y bronce.
- Válvulas de paso rápido de latón d=1/2", 1/4
- Ácido clorhídrico HCl 100 ml
- Envase esterilizados para muestras de 150 ml y hielera
- Pipeta desechables de 1 ml
- Probeta graduada de vidrio 100 ml
- Botella PET de 500 ml
- Guantes de látex
- Mascarillas con filtro
- Mandil blanco
- Adhesivo para rotular
- Tablero eléctrico 2,4m x 5 m
- Caja de herramientas

porcentaje de remoción de trazas de materia orgánica es la suministrada por la empresa AGUAPEN E.P. a las ciudades de Santa Elena, La Libertad y Salinas. El agua cruda utilizada para su potabilización cumple con los criterios de calidad de agua para el consumo humano teniendo una concentración de COT durante todo el año < 6 mg/l, esta información fue dada por el Jefe de Laboratorio Blgo. Guido Ortiz y verificada con los análisis de 2 muestras sin tratar identificadas como M#0 C.A. y M#0 Z.A. con valores de COT de 5.892 mg/l y 4.972 mg/l respectivamente.

Actualmente AGUAPEN E P produce en la planta de agua potable un caudal de agua potable de 800 l/s durante las 24 horas, con un total diario de 69.120 m<sup>3</sup>, el cual es el límite de su producción, en la tabla 1 se muestra las características del agua potable producida en la planta convencional de potabilización de agua Atahualpa de diciembre 2013.

## AGUA POTABLE

El agua potable utilizada para determinar el

Tabla 1. Caracterización del Agua Potable de Aguapen, diciembre 2013.

PLANTA DE AGUA POTABLE DE ATAHUALPA. AGUAPEN						
CARACTERIZACION DEL AGUA POTABLE						
Parámetro	Unidad	INEN 1168 2011	OMS	RD 14/11/90 España	Aguapen Dic 2013	
<b>Características Físicas</b>						
1	Color	Pt-Co	15	15	20	1
2	Turbiedad	NTU	5	5	6	0.4
3	Olor		no objetable			no objetable
4	Sabor		no objetable			no objetable
5	Sólidos totales disueltos	mg/l				148.6
6	Sólidos totales	mg/l			1500	
7	Concentración de iones de hidrogeno	pH	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	7.51
8	Conductividad eléctrica	mS cm <sup>-1</sup> a 20°C			400	308
<b>Características Químicas</b>						
9	Aluminio	mg/l	0.25	0.2	0.05	0.102
10	Amonio	mg/l	1	1.5	0.5	0.01
11	Arsénico	mg/l	0.01	0.05	0.05	0
12	Bario	mg/l	0.7	0.7	0.1	0
13	Boro	mg/l	0.5		1	0.2
14	Cianuro	mg/l	0.07	0.07	0.05	0
15	Cloro libre residual	mg/l	0.3-1.5			2.5
16	Cloruros	mg/l	250	250		18
17	Cobalto	mg/l	0.2		Ausencia	0.04
18	Cobre	mg/l	1	1	0.1	0.03
19	Cromo Hexavalente	mg/l	0.05	0.05		0.043
20	Cromo total	mg/l	0.05	0.05	0.05	0.04
21	Dureza total	mg/l	300	400		68
22	Fluor	mg/l	1.5	1.5	0.7	0.07
23	Fosforo	mg/l	0.1	0.8	5	0.01
24	Hierro	mg/l	0.3	0.3	0.2	0.05
25	Manganeso	mg/l	0.1	0.1	0.05	0.007
26	Niquel	mg/l	0.02	0.01	0.05	0
27	Nitros	mg/l	50	50	0.1	1.9
28	Nitritos	mg/l	0.2	1	50	0.009
29	Plata	mg/l	0.05		0.01	0
30	Potasio	mg/l	20		10	4.1
31	Sodio	mg/l	200	200	20	11.7
32	Sulfatos	mg/l	200	400	250	28
33	Tensoactivos	mg/l	0			0
34	Zinc	mg/l	3	3	100	0

Fuente: (AGUAPEN EP, 2013)  
Elaborado: Ing. Richard Ramirez Palma

### Muestra de agua potable

Mediante muestreo simple se recogieron cuatro muestras de agua potable de 200 lts en la planta de agua potable de Atahualpa administrada por AGUAPEN E.P. en un recipiente de polietileno de alta densidad con tapa hermética de capacidad de 1000 litros (INEN 2176, 1998).

Para la evaluar la remoción de materia orgánica en columnas a escala según el método ASTM D6586 se utilizaon aproximadamente 150 litros de agua potable en 24 horas.

### ZEOLITA NATURAL

La zeolita natural es un mineral aluminosilicato que se encuentra en rocas sedimentarias tobáceas extraída de las canteras del rio Ayampe ubicada en la Provincia de Manabí. Geológicamente se encuentra en la formación Cayo de la Cordillera Chongón – Colonche. (Morante, 2004).

El color observado en estas zeolitas es de un verde claro con franjas milimétricas de color café como se muestra en la figura 1.



Figura 1: Arena de Toba (zeolita natural) de granulometría 0.25mm a 0.18mm (tamices 60-80.)

La densidad de zeolita natural es igual a 2.29 g/cm<sup>3</sup> y la mineralogía cualitativa de la zeolita natural realizada con un difractor de rayos X indica la presencia de cuarzo (15-20%), Heulandiya (35-40%), Mordenita (20-35%) y Feldespatos (5-15 %).

### Muestra de zeolita natural

Mediante muestreo simple se recogió una muestra de zeolita natural con un peso aproximado de 1000 g. Se trituró y molió con molino de bolas hasta que cumplió con los requisitos granulométricos de 0.25mm a 0.18 mm correspondiente a la malla (60-80) exigidos en el método ASTM D6586. La zeolita así preparada se lava con agua destilada tipo 1 hasta que el color verdadero del agua de lavado sea < 1 Pt- Co. La zeolita natural lavada se seca en una estufa aireada a 150 ° C durante 4 horas y almacenados en una botella de color ámbar hasta que esté listo para su uso.

### ZEOLITA ACTIVADA

La activación térmica de la zeolita ayuda a que los poros de la zeolita natural tengan una mayor dimensión y así adsorber más eficientemente compuestos orgánicos (Suárez , 2008). En cambio, que la activación química de la zeolita se la realiza con un medio ácido (Evangelista, 2019).

La zeolita natural se activó mediante el sometimiento térmico a presión atmosférica en un horno eléctrico ventilado a una temperatura constante de 500 °C durante 6 horas.. El color observado en estas zeolitas activadas térmicamente es de un marrón con franjas milimétricas de color café.

La densidad de zeolita activada es igual a 2.33 g/cm<sup>3</sup> y la mineralogía cualitativa de la zeolita activada es la misma que la zeolita natural.



Figura 2: Zeolita activada de granulometría 0.25mm a 0.18mm (tamices 60-80)

#### Muestra de zeolita activada

Mediante muestreo simple se recogió una muestra de zeolita activada en un peso aproximado de 1000 g, la zeolita activada utilizada en ensayo de filtración a pequeña escala cumple con los requisitos granulométricos de la malla (60-80) exigidos en el método ASTM D6586. La zeolita activada se lava con agua destilada tipo 1 hasta que el color verdadero del agua de lavado sea  $< 1$  Pt-Co. La zeolita activada lavada es seca en una estufa aireada a  $150^{\circ}\text{C}$  durante 4 horas y almacenados en una botella de color ámbar con secador hasta que esté listo para su uso.

#### CARBÓN ACTIVADO

El carbón activado utilizado para determinar el porcentaje de remoción de trazas de materia orgánica es el de la marca Norit GAC 830W que se adquirió en un distribuidor comercial. Este carbón activado está especificado para la purificación de agua potable removiendo olores, sabores, compuestos orgánicos naturales, pesticidas, detergentes, compuestos y solventes clorinados conforme las normas (ASTM D 3860, 1989) (ASTM D4607, 1987).

#### Muestra de carbón activado

Mediante muestreo simple se recogió una muestra de carbón activado en un peso aproximado de 1000 g. El carbón activado utilizado en ensayo de filtración a pequeña escala cumple con los requisitos granulométricos de la malla (8-30) exigidos en

método ASTM D6586. El carbón activado se lava con agua destilada tipo 1 (ASTM D1193, 2011) hasta que el color verdadero del agua de lavado sea  $< 1$  Pt-Co. El carbón activado lavado se seca en una estufa aireada a  $150^{\circ}\text{C}$  durante 4 horas y almacenados en una botella de color ámbar hasta que esté listo para su uso.

#### 2.2 MÉTODO ESTÁNDAR DE COLUMNAS A ESCALA PEQUEÑA.

Para determinar si la zeolita natural o zeolita activada son mejores materiales adsorbentes que el carbón activado se ha utilizado el método estándar de columnas rápidas a pequeña escala “rapid small - scale column test” (RSSCT) ASTM D6586, la cual es una práctica rápida desarrollada para predecir la adsorción de contaminantes en flujo ascendente o descendente en reactor discontinuo.

En contraste con los estudios de planta piloto, la prueba de columna de pequeña escala presentada en esta práctica no permite una evaluación de funcionamiento de los factores que pueden afectar al rendimiento GAC con el tiempo. (ASTM, 2008).

#### EQUIPO

El equipo de prueba RSSCT está de acuerdo con el estándar ASTM 6586 que esquemáticamente se muestra en la Figura 3 Diagrama de flujo del aparato RSSCT de tres columnas.

El equipo mostrado consta de una bomba

dosificadora, un manómetro, dos ventosas manuales, y hasta tres columnas que operan en serie y medios para la recogida de agua de la muestra y el análisis.

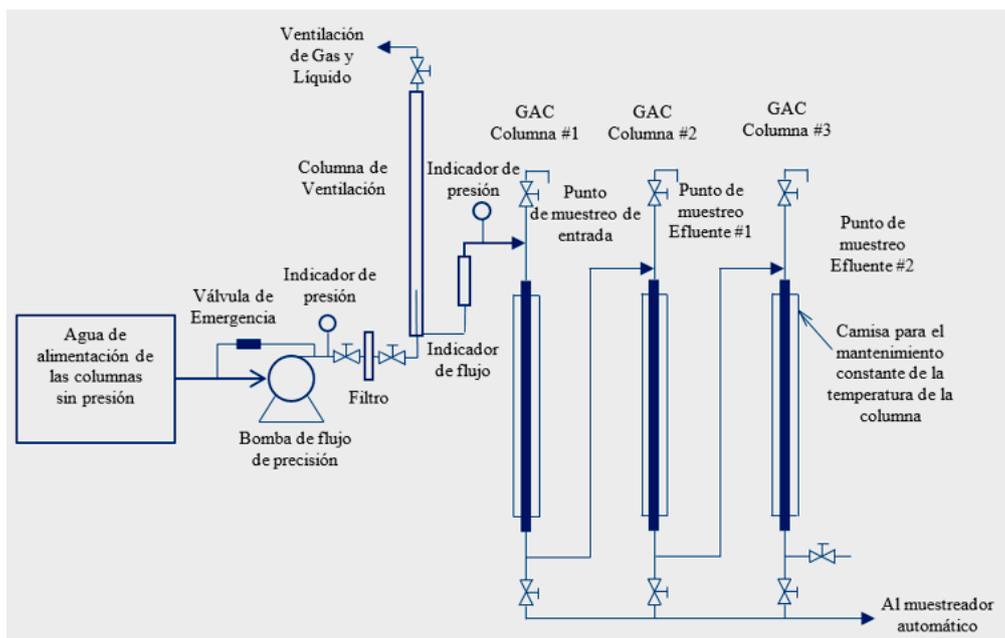


Figura 3: Diagrama de flujo del aparato RSSCT de tres columnas

### COLUMNA

Las columnas se realizaron con mangueras de vinil y tienen una altura  $h=35$  cm de longitud con un diámetro interior de  $d=12,7$  mm y con uniones en ambos extremos para manguera para la admisión y

descarga de agua.

Es necesario determinar el volumen del adsorbente en la columna a escala mediante el cálculo del volumen:

$$V = Axh = 0.25 \pi d^2 h = 19 \text{cm}^3 = 19 \text{m}^3$$

Este volumen servirá para calcular el caudal de funcionamiento.

El equipo opera a temperatura ambiente constante de unos  $27^\circ\text{C}$  en promedio. Para apoyar la columna de los materiales de zeolita natural, zeolita activada o carbón activado, se utilizó lana no tejida de polipropileno.

### BOMBA DOSIFICADORA

La bomba de dosificación es una bomba peristáltica TEKNA EVO AKS modelo 800 utilizada en el experimento para proveer de agua a los filtros con un caudal de 100 ml/min con una presión de hasta 100 psi.

para el buen funcionamiento de las columnas a pequeña escala.

### TIEMPO DE CONTACTO EN LECHO VACÍO

Según lo recomendable por las guías de la OMS el tiempo de contacto en lecho vacío (Empty Bed Contact Time EBCT) para el CAG en columnas de escala real tiene que estar entre 5 a 30 min. En las pruebas de columnas a pequeña escala el tiempo a utilizar se lo calculo asumiendo el tiempo EBCT de 10 min para escala real.

Para determinar el tiempo de contacto en lecho vacío para el material adsorbente sea este carbón activado, zeolita natural o zeolita activada se utilizó la ecuación 4.1 considerando los siguientes parámetros.

## II. RESULTADOS

### 3.1. CÁLCULOS HIDRÁULICOS

Se realizaron los siguientes cálculos hidráulicos

Donde:

EBCT sc = tiempo de contacto vacío-cama para la columna pequeña (RSSCT)

EBCT lc = tiempo de contacto vacío-cama para la columna real = 10 min.

= radio de las partículas de carbono o zeolita natural o activada utilizados en las columnas de escala pequeña (Prueba). = 0,0106 mm.

Rlc = radio de las partículas de carbono o zeolita natural o activada utilizados en las columnas de escala real = 0,0792 mm.

tsc = tiempo transcurrido requerido para conducir la columna pequeña (Prueba)

tlc = tiempo transcurrido requerido para conducir la columna real = 240 h = 10 d.

Entonces

EBCTsc = 0,179 min

### TIEMPO DE RUPTURA

Es el tiempo que transcurre desde el funcionamiento de la columna (operación del lecho) hasta que el contaminante aparece en la corriente de salida o más concretamente, cuando se alcanza la máxima concentración permisible en el efluente, se denomina tiempo de ruptura.

El carbón activado marca “Norit” indica que con un tiempo de ruptura de 240 horas (10 días), la purificación de agua potable en una columna funcionando continuamente, con flujo descendente, tiene una remoción del 87%.

Entonces, para conducir el tiempo de ensayo se calcula con la misma ecuación 4.1 el tiempo transcurrido en columna de pequeña escala, dando como resultado que el tiempo del ensayo es 24 horas que corresponde a 10 días de funcionamiento de la columna a escala real. Este tiempo será suficiente para evaluar si la zeolita natural o activada es mejor adsorbente que el carbón activado.

De acuerdo con este tiempo de funcionamiento se determina tomar cada 3 horas una muestra simple, para determinar la concentración de COT.

### CAUDAL

Para determinar el caudal se tiene el volumen del material adsorbente y su tiempo de contacto de cama vacío, por lo que tenemos que:

$$Q = \frac{V}{EBCT_{sc}} = \frac{19\text{ml}}{0.179\text{ min}} = 106.08\text{ ml/min}$$

Éste caudal fue calibrado en 100 ml/min.

### 3.2. FUNCIONAMIENTO

1. Colocar en el tanque de almacenamiento de polietileno 2 litros de agua destilada clase IV, encender la bomba peristáltica dosificadora para que fluya el agua destilada con flujo descendente por las 2 columnas de pequeña a escala colocadas en serie con la correcta operación de las válvulas de control y cierre, esto se realiza con el objeto de lavar todo el equipo.
2. Calibrar el caudal necesario para la prueba mediante el ajuste de la velocidad de la bomba dosificadora y el uso de la válvula de control
3. Purgar el aire de las tuberías por medio de las ventosas instaladas, reparar cualquier fuga.
4. Apagar el equipo luego de que se termina el agua destilada, colocar el agua potable para purificar en tanque de almacenamiento (afluente).
5. Encender nuevamente la bomba dosificadora a un caudal constante +/- 0,05 ml/min a través del lecho de material 1.
6. Durante el funcionamiento se debe de observar y anotar el caudal, presión y el tiempo transcurrido.
7. Para determinar la eficiencia de remoción, se toma muestras para evaluar la concentración de COT de la muestra inicial t=0 (inicio) y las muestras al intervalo de tiempo de 3 horas que corresponde al tiempo t = 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 horas a escala pequeña que corresponde a 240 horas a escala real (10 días).

**AGUA TRATADA O PURIFICADA**

El agua tratada o purificada se obtiene del funcionamiento continuo de la columna a pequeña escala con un flujo constante.

**Muestras**

Cada muestra se recogió en el tiempo establecido de 3 horas, para obtener la muestra se cumplió con la norma INEN 2176 y las buenas prácticas de laboratorio. La muestra se recogió en recipientes con tapa de PTFE de 150 ml ubicando el recipiente en una base nivelada con el objeto de no dejar espacio para acumulación de aire. Después de recogida la muestra, se conserva de acuerdo a la norma (INEN 2169, 1998) con ácido clorhídrico, HCl, hasta llegar a pH < 2 y se refrigera a 4°C.

**DETERMINACIÓN DE CARBÓN ORGÁNICO TOTAL**

Para determinar la calidad del agua potable y la remoción de la materia orgánica en el agua potable en las columnas con los materiales adsorbentes como la zeolita natural, zeolita activada y carbón activado se ha utilizado el parámetro de control al carbón orgánico total. Actualmente este parámetro está siendo ampliamente utilizado por las empresas de aguas potables, purificadoras de aguas, la industria de alimentos y farmacéutica por la rapidez de sus resultados y su grado de confiabilidad (HACH, 2019). La determinación se realiza de acuerdo a norma (SM 5310, 2000). El carbono total se divide en carbón inorgánico total y carbón orgánico total (COT). Este último se subdivide en carbón orgánico total purgable o volátil y carbón orgánico total no purgable o fijo como se muestra en la figura 4 fracciones del carbón en el agua.

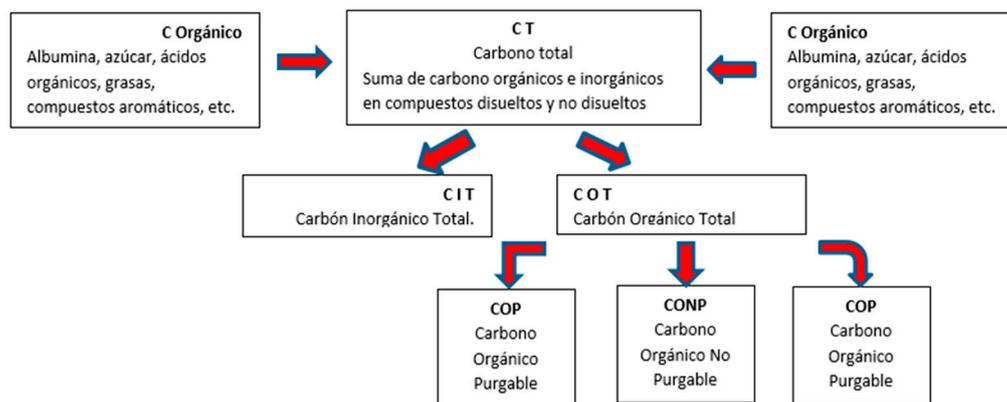


Figura 4: Fracciones del carbón en el agua Fuente: (Velasco A., 2015)

**Equipo**

El equipo utilizado fue un analizador de carbono orgánico total Shimadzu TOC-V CSN equipado con detector infrarrojo no dispersivo (IRND). El inyector automático del equipo está dotado con una válvula de 8 puertos. La reacción de combustión se realiza en un tubo de cuarzo a 680 °C y es catalizada con un catalizador regular de platino (recomendado para concentraciones mayores a 0,5 mg/L de C). La presión de trabajo fue de 43 psi y se utilizó oxígeno como gas de arrastre con un flujo de 150 ml/min.

**Materiales**

- Filtro RC 0,45 µm

- Pipetas aforadas clase A de 2, 5, 10, 25, y 50 ml
- Beakers de 250 ml
- Viales ámbar de 40 ml con tapa PTFE
- Frasco lavador

Para la determinación del carbón orgánico total equipado con detector infrarrojo no dispersivo se utilizan los siguientes reactivos.

**Reactivos**

- Ftalato ácido de potasio KC8H5O4
- Agua para reactivos (agua tipo I)
- HCl2 M

- H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 25%
- Aire libre de CO<sub>2</sub> (UP)

El lavado del material de vidrio se realizó con una solución diluida de lauril éter sulfato de sodio, CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>10</sub>CH<sub>2</sub>(OCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub>OSO<sub>3</sub>Na, TEXAPON, se enjuagó con abundante agua de la llave y posteriormente con agua destilada tipo II. Finalmente, todo el material se purgó con agua para reactivos tipo I y se dejó secar a temperatura ambiente.

### EVALUACIÓN SENSORIAL

Para evaluar sensorialmente la remoción de materia orgánica del agua potable se obtuvieron cinco (5) muestras de agua purificadas en las columnas a pequeña escala con un tiempo de ruptura de 24 horas incluida dos (2) muestras de agua, un agua patrón y otra agua de Aguapen E.P. sin tratar. (Sarah E. Kemp, 2009)

Los resultados de la evaluación sensorial indican lo siguiente:

1. Muestra E patrón es la + + preferida
  2. Muestra C Carbón Activado es la + preferida
  3. Muestra B Zeolita activada es la preferida
  4. Muestra D Agua potable es la – preferida
- Muestra A Zeolita natural es la – – preferida

Todas las muestras de aguas tuvieron un volumen de 500 ml, luego de la cual, fue envasada en una botella plástica conforme a las buenas prácticas de producción de agua embotellada para llevar a la sala de captación del laboratorio de control de calidad carrera en licenciatura en nutrición de la ESPOL.

### 3.3. CADUCIDAD

Se evaluó la caducidad (vencimiento) del agua purificada que está relacionada directamente con la calidad del agua o eficiencia de la remoción de compuestos orgánicos, para ello se obtuvieron cinco (5) muestras de agua purificadas en las columnas a pequeña escala con un tiempo de ruptura de 24 horas incluidas una agua purificada comercial para patrón y otra agua de Aguapen E.P. sin trata. Todas las muestras de aguas tuvieron un volumen de 500 ml, luego de la cual, fueron envasadas en botellas plásticas conforme a las buenas prácticas de producción de agua embotellada para llevar a la sala de caducidad

donde se expuso a la intemperie (medio ambiente).

De las muestras de agua purificada tomadas para determinar la fecha de caducidad luego de 30 días a la intemperie el resultado siguiente:

Calificación: 5 = caducidad > 30 días ;  
1 = caducidad < 30 días.

1) Muestra patrón	= 5
2) Muestra de carbón activado	= 5
3) Muestra de zeolita activada	= 3
4) Muestra de zeolita natural	= 2
5) Muestra de Aguapen sin trata	= 1

En la muestra de Aguapen y de zeolita natural se aprecia a simple vista color y microalgas.

En la muestra de carbón activado igual que la muestra patrón no se aprecia ningún cambio de color o microalgas por lo que se infiere que es la de mejor calidad.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Características geológicas, físicas y químicas

La caracterización de la zeolita natural utilizada en este estudio para la reducción de las trazas de materia orgánica en el agua potable se la tomo de la tesis Cementos alcalinamente activados a base de zeolitas naturales del Ing. Carlos Parra Moran. En este estudio para identificar los minerales presentes en la zeolita se realizó también un difractograma. En la figura 5 y figura 6 se observa una vista microscópica para apreciar el tamaño de los poros responsable de la adsorción.

### ZEOLITA NATURAL

- Roca sedimentaria de la formación Cayo ubicada en la formación Chongón – Colonche.
- Color esmeralda con pliegues milimétricos de color café.
- Densidad de 2,29 g/cm<sup>3</sup> (INEN 156:2009 segunda revisión. Cemento Hidráulico.
- Determinación de la densidad.
- Granulometría malla 60-80
- Tamaño efectivo = 0,2 mm
- Tamaño de poro = 2 -12 Å

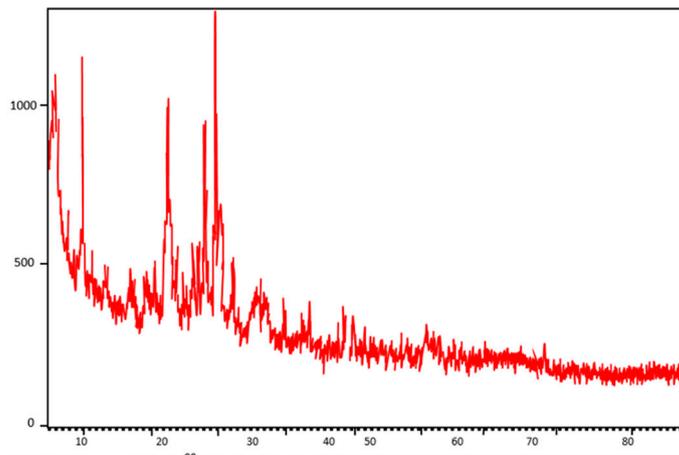


Figura 5: Difractograma de zeolita natural, (Parra Moràn, 2011)

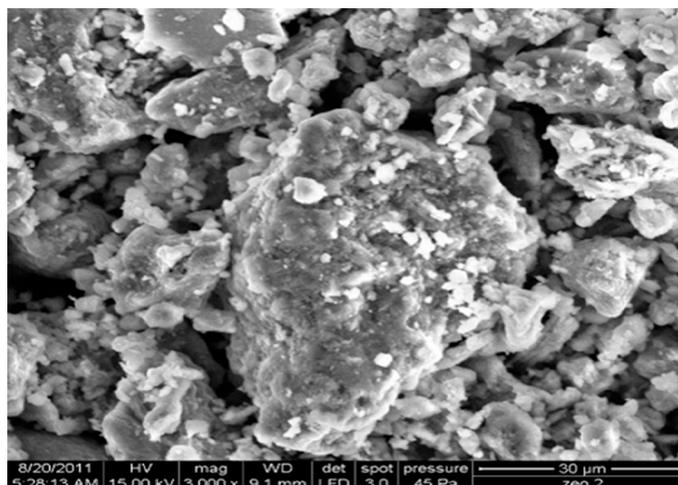


Figura 6: Zeolita natural vista en microscopio electrónico de barrido, (Parra Moràn, 2011)

### REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

En la tabla 2 se muestra los resultados de la remoción de materia orgánica mediante el análisis de la concentración de carbón orgánico total de las muestras de agua purificada tomadas luego del

funcionamiento de las columnas de pequeña escala en los tiempos inicial, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 y 24 horas. Las columnas fueron de carbón activado, zeolita natural y zeolita activada.

Tabla 2: Concentración de COT del agua purificada en las columnas a escala pequeña

TIEMPO horas	CARBON ACTIVADO		ZEOLITA NATURAL		ZEOLITA ACTIVADA	
	Concentración	Relacion	Concentración	Relacion	Concentración	Relacion
	C mg/l	C/Co	C mg/l	C/Co	C mg/l	C/Co
0	5,892	1,00	4,972	1,00	4,972	1,00
3	3,963	0,67	4,134	0,83	4,750	0,96
6	4,029	0,68	3,270	0,66	4,590	0,92
9	3,994	0,68	3,306	0,66	4,357	0,88
12	3,764	0,64	3,344	0,67	4,234	0,85
15	3,831	0,65	3,412	0,69	4,126	0,83
18	3,642	0,62	3,450	0,69	3,924	0,79
21	3,452	0,59	3,437	0,69	3,900	0,78
24	3,479	0,59	3,457	0,70	3,948	0,79

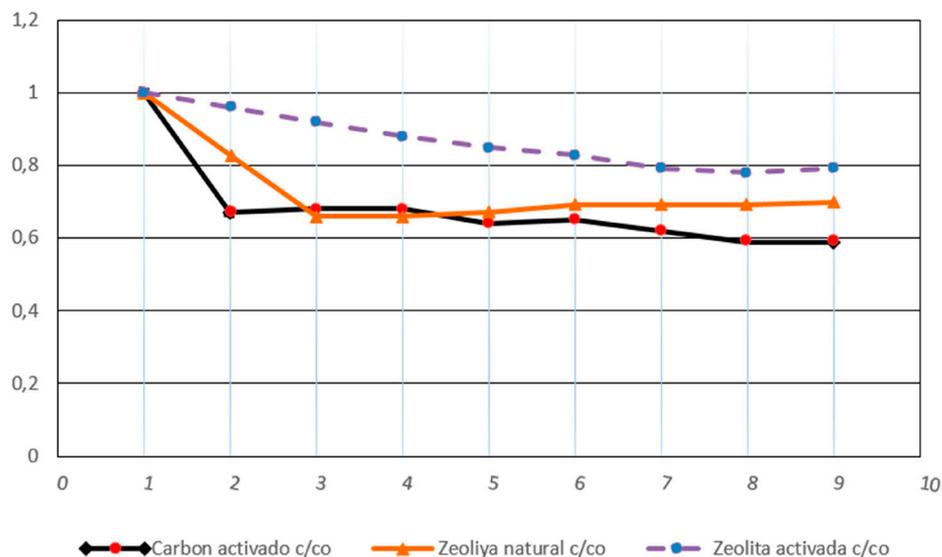


Figura 7: Concentración de Carbón Orgánico Total (COT) en el funcionamiento de las columnas en %, C/Co relación entre concentración de COT en un tiempo dado vs la concentración inicial de COT.

De la tabla 2 y de la figura 7 se infiere lo siguiente después del funcionamiento de 24 horas que corresponden a escala normal 8 días:

- La remoción de la materia orgánica con carbón activado es de alrededor del 37%
- La remoción de la materia orgánica con zeolita natural es de alrededor del 32%
- La remoción de la materia orgánica con zeolita activada es de alrededor del 20%

#### TIEMPO DE RUPTURA

El tiempo de ruptura en la columna a escala previsto fue de 24 horas ya que se observa un incremento rápido de la presión de trabajo, esto es indicativo de la colmatación de la columna.

#### CONCLUSIONES

1. El análisis de la concentración de carbón orgánico total en el agua potable en la que se redujo las trazas de materia orgánica mostró que en el tratamiento por medio de la adsorción de zeolita natural y zeolita activada no es significativamente más eficiente que la adsorción del carbón activado.
2. El tiempo de ruptura de las columnas a escala real depende de la calidad del agua potable a purificar y en este caso fue igual o mayor a

240 horas en ambos casos.

#### V. RECOMENDACIÓN

De acuerdo a otros autores que han trabajado con columnas de adsorción, estas recomiendan para un diseño específico de adsorción de un determinado parámetro en el agua potable y que se realice una planta piloto o modulo que opere y se mantenga durante un año en funcionamiento debido a que la base para realizar este estudio se realiza sobre la hipótesis de Crittenden en que las condiciones de difusividad constante existen dentro de la columna de GAC no se aplica a todas las aguas o todos los compuestos de interés. Por ejemplo, este supuesto no se aplica para la decoloración del agua y la adsorción de grandes moléculas, tales como: ácidos húmicos y fúlvicos que son los que le dan mal sabor al agua potable. Se recomienda que al menos una columna RSSCT piloto o modulo de comparación se realice para ayudar en la selección de las variables de diseño RSSCT para una determinada agua de la matriz.

#### VI. REFERENCIAS

AGUAPEN EP. (2013). INFORME MENSUAL. Santa Elena: Aguapen EP.

- Asamblea Nacional. (2008). Constitución de la República del Ecuador. Alfaro: Ediciones legales.
- ASTM D 3860. (1989). Determinación de la capacidad adsorptiva del carbón activado por fase acuosa con azul de metileno. West Conshohocken: ASTM INTERNATIONAL.
- ASTM D1193. (2011). Agua de calidad de reactivo. West Conshohocken: ASTM INTERNATIONAL. Obtenido de [astm.org](http://astm.org)
- ASTM D4607. (1987). Área superficial del carbón activado en la adsorción de compuestos en solución. West Conshohocken: ASTM INTERNATIONAL.
- ASTM D6586. (2000). Standard Practice for the Prediction of Contaminant Adsorption On GAC In Aqueous Systems Using Rapid Small-Scale Column Tests. West Conshohocken: ASTM INTERNATIONAL. Obtenido de [www.astm.org](http://www.astm.org)
- BBC. (7 de 2 de 2018). *bbc*. Obtenido de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-42975307>
- El Universo. (28 de 02 de 2018). Quejas por mal olor y sabor del agua potable peninsular.
- Evangelista, e. a. (2019). TRATAMIENTO QUIMICO DE CLINOPTILOLITA NATURAL PARA LA ADSORCION DE GASES CONTAMINANTES DE BAJO PESO MOLECULAR. Obtenido de ResearchGate: [https://www.researchgate.net/publication/228790466\\_TRATAMIENTO\\_QUIMICO\\_DE\\_CLINOPTILOLITA\\_NATURAL\\_PARA\\_LA\\_ADSORCION\\_DE\\_GASES\\_CONTAMINANTES\\_DE\\_BAJO\\_PESO\\_MOLECULAR](https://www.researchgate.net/publication/228790466_TRATAMIENTO_QUIMICO_DE_CLINOPTILOLITA_NATURAL_PARA_LA_ADSORCION_DE_GASES_CONTAMINANTES_DE_BAJO_PESO_MOLECULAR)
- HACH. (9 de 01 de 2019). IMPORTANCIA DE LA MEDICIÓN DE CARBONO ORGÁNICO TOTAL. Obtenido de [file:///C:/Users/Priscila/Downloads/Documents/DOC040.61.10062.Jun15\\_ES.pdf](file:///C:/Users/Priscila/Downloads/Documents/DOC040.61.10062.Jun15_ES.pdf)
- INEN 1108. (2014). AGUA POTABLE REQUISITOS. QUITO: INEN.
- INEN 2169. (1998). Agua, calidad del agua, muestreo. Quito: INEN .
- INEN 2176. (1998). INEN 2176 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO. Quito-Ecuador: INEN.
- Morante, F. (2004). Las zeolitas de la costa de Ecuador (Guayaquil) : geología, caracterización y aplicaciones. Madrid: Universidad Politecnica de Madrid.
- Naciones Unidas. (Marzo de 2011). Oficina del Alto Comisionado de los Derechos Humanos de las Naciones Unidas. Obtenido de <https://www.ohchr.org/Documents/Publications/FactSheet35sp.pdf>
- Oxenford, J. (1996). Disinfection by-products: current practices and future. *SciELO*, 1(1), 3-16.
- Parra Moràn, C. (2011). Cementos alcalinamente activados a bases de zeolita naturales. Guayaquil: Espol.
- Sarah E. Kemp, T. H. (2009). *Sensory Evaluation: A Practical Handbook*. Wiley-Blackwell.
- SEMPLADES. (2018). PLAN DEL BUEN VIVIR 2017-2021. QUITO: SEMPLADES.
- SENAGUA. (10 de 01 de 2012). SENAGUA. Obtenido de <https://www.agua.gob.ec/organigrama-de-la-secretaria-nacional-del-agua/>
- SM 5310. (2000). Total organic carbon (TOC). Washington D,C,: APHA.
- Suárez, e. (2008). Thermal activation of the mordenite from Los Murcianos deposit (Almería). *Geo-Temas* 10, 1175-1178.
- Velasco A., F. (2015). *Analizadores de proceso en línea: Introducción a sus técnicas analíticas*. España: Ediciones Diaz de Santos.