



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“DISMINUCIÓN DE CONTAMINANTES TIPO FOSFATOS EN EL RÍO
PERIPA MEDIANTE EL USO DE ZEOLITAS”**

Realizado por:

ÁMBAR DALILA ALBERCA ÁLAVA

Director del proyecto:

Msc. Ivonne Carrillo

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERO AMBIENTAL

Quito, 27 de julio de 2018

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, ÁMBAR DALILA ALBERCA ÁLAVA, con cédula de identidad # 175307615-5, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi auditoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y por la normativa institucional vigente.



Ámbar Dalila Alberca Álava

C.C.: 175307615-5

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“DISMINUCIÓN DE CONTAMINANTES TIPO FOSFATOS EN EL RÍO
PERIPA MEDIANTE EL USO DE ZEOLITAS”**

Realizado por:

ÁMBAR DALILA ALBERCA ÁLAVA

Como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERA AMBIENTAL

Ha sido dirigido por la profesora

EMMA IVONNE CARRILLO PAREDES

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor



Emma Ivonne Carrillo Paredes

DIRECTORA

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes

KATTY CORAL

WALBERTO GALLEGOS

Después de enviar el trabajo presentado

lo han calificado como apto para su defensa oral ante

el tribunal examinador



Msc. Katty Coral



Ing. Msc. Walberto Gallegos



DISMINUCIÓN DE CONTAMINANTES TIPO FOSFATOS EN EL RÍO PERIPA MEDIANTE EL USO DE ZEOLITAS

ABSTRACT

Eutrophication in water bodies is generated due to the excess of nutrients existing in it, this is given, among other factors, under the presence of an excess of phosphorus and nitrogen, which gives as consequence the high growth of algae, causing a Imbalance in the ecosystem. Zeolites are aluminosilicates, of various types one of them are clinoptilolite zeolites, which act ionically in filtration systems, where phosphates are removed mainly and secondary sulfates, chlorides, nitrites and nitrates. This type of aluminosilicate allows to carry out the treatment of water resources.

We conducted tests with Ecuadorian zeolites to analyze the efficacy in the reduction of phosphates, where zeolites retain contaminants through the adsorption process. In these tests, thanks to the filtering power of the material, suspended solids were also retained, which contributed to the reduction of the chemical oxygen demand (COD) and the biochemical Oxygen demand (BOD). Physicochemical analyses were carried out before and after using the slow filter, of zeolites and gravel of different particle size, the analyzed samples come from the Peripa River, located in the province Santo Domingo de los Tsáchilas. The main conclusion obtained is that this mineral can be tested in other water bodies that are in the process of eutrophication to reduce the contaminants described above.

Key words: Phosphates, zeolites, water resources, treatment, physicochemical analysis.

RESUMEN

La eutrofización en cuerpos de agua se genera debido al exceso de nutrientes existentes en la misma, esto se da, entre otros factores, bajo la presencia de un exceso de fósforo y nitrógeno, que da como consecuencia el crecimiento elevado de algas, provocando un desequilibrio en el ecosistema. Las zeolitas son aluminosilicatos, de varios tipos uno de ellos son las zeolitas clinoptilolita, que actúan de forma iónica en los sistemas de filtración, donde se removerán principalmente fosfatos y de manera secundaria sulfatos, cloruros, nitritos y nitratos. Este tipo de aluminosilicato permite llevar a cabo el tratamiento de recursos hídricos.

Se realizaron pruebas con zeolitas ecuatorianas para analizar la eficacia en la reducción de fosfatos, donde las zeolitas retienen los contaminantes mediante el proceso de adsorción. En estas pruebas, gracias al poder filtrante del material, también se retuvieron sólidos suspendidos, lo cual coadyuvó a la reducción de la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Se realizaron análisis fisicoquímicos antes y después de utilizar el filtro lento, de zeolitas y grava de diferente granulometría, las muestras analizadas provienen del río Peripa, ubicado en la provincia Santo Domingo de los Tsáchilas. La principal conclusión obtenida es que este mineral puede ser probado en otros cuerpos hídricos que están en proceso de eutrofización para reducir los contaminantes antes descritos.

Palabras claves: fosfatos, zeolitas, recursos hídricos, tratamiento, análisis fisicoquímicos.

INTRODUCCIÓN

El agua es el elixir de la vida, un valioso regalo de la naturaleza a la humanidad y millones de otras especies que viven en la tierra. Está disponible en el mundo en gran cantidad en el orden de $1.400 \times 10^9 \text{ km}^3$, pero sólo $41\,000 \text{ km}^3$ circulan a través del ciclo

hidrológico, el volumen restante se almacena durante largos períodos en los océanos, los casquetes y acuíferos y sólo el 3% de las aguas en el mundo son agua dulce (Wu, Yu, & Wang, 2018). Entre las aguas dulces, sólo alrededor del 5% de ellos o 0.15% de las aguas del mundo total están disponibles para uso benéfico (Rhodes, 2010).

Debido al cada vez mayor crecimiento de la población, la demanda de agua para fines domésticos, industriales y agrícolas, así como para suministrar una alimentación adecuada para las naciones, es cada vez mayor. La calidad del agua es un imprescindible componente para comprender la salud de un cuerpo de agua. Indicadores de la calidad fisicoquímica y biológica del agua se verán afectados por diversas formas físicas, químicas y biológicas (Oğuz, Gürses, & Canpolat, 2003).

Las principales causas de las alteraciones en la calidad del agua son agentes naturales y antropogénicos, es decir de procedencia natural y otros de procedencia antropogénica, dichas alteraciones son entre otros: geología, hidrología, riesgos naturales, sedimentación/erosión, actividades agrícolas, industriales, minería, pesca, descarga/disposición de aguas residuales, la deforestación y otras actividades comerciales. Estas actividades agravan la contaminación del cuerpo de agua e influyen grandemente en la calidad de la misma (Wu et al., 2018).

El desarrollo de criterios de calidad del agua para abordar los impactos de la eutrofización en la vida acuática en arroyos y ríos está rezagado tras el desarrollo de criterios de eutrofización del lago, en parte debido a múltiples vías estresantes, variabilidad natural en las respuestas de nutrientes entre los cuerpos de agua, y la falta de métodos que pueden abordar esta complejidad. Varios investigadores han demostrado relaciones significativas y predecibles entre los nutrientes y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) de los ríos. El oxígeno disuelto (OD) también se

correlaciona positivamente con concentraciones totales de fósforo P y fósforo total (PT) (NING, BART, LI, LU, & ZHANG, 2008).

El impacto de los nutrientes en los ecosistemas acuáticos y la biota, a través de alteraciones en la cadena alimenticia, depende de una serie de factores; por ejemplo, la turbidez y la profundidad del cuerpo de agua, que pueden disminuir el impacto de los nutrientes en los sistemas acuáticos (Heiskary & Bouchard, 2015). Como resultado, las características de un río pueden indicar en qué forma los nutrientes afectan la calidad del agua y su condición biológica.

El término eutrofización se refiere al proceso que presentan algunos cuerpos de agua dado por el aumento del aporte de fósforo y nitrógeno desde la cuenca que lo alimenta, se manifiesta mediante una intensa proliferación y acumulación excesiva de micro algas y plantas superiores (Kratina et al., 2017). Este proceso puede llevarse a cabo durante un largo periodo de tiempo, donde el área de los espejos de agua se van reduciendo porque la vegetación va creciendo desde los márgenes del cuerpo hídrico hacia el centro transformando dichos cuerpos en humedales (Heiskary & Bouchard, 2015).

La principal causa de la eutrofización es el incremento de nutrientes que ingresan por diferentes áreas, es decir la carga externa que se genera a partir de materiales que son arrastrados por la precipitación y erosión de la cuenca hídrica. A esto se le suma el vertido de efluentes industriales, domésticos y agrícolas que pueden contener fertilizantes (Carpenter, S.R et al., 2017).

Este proceso reduce el oxígeno disuelto presente en el agua volviéndola anóxica, dando como consecuencia el deterioro de la calidad de este líquido vital. Hay dos clases de eutrofización: natural y cultural o antrópica (Heiskary & Bouchard, 2015). La eutrofización natural es aquella donde no interviene la mano del hombre en el aporte de

nutrientes, ésta se da por causas como sequías, derrumbes, lluvia, después de incendios y el ingreso de sedimentos por inundaciones.

La eutrofización cultural o antrópica, se define como una alteración de nivel trófico producto a las actividades humanas. Entre las causas se tiene el uso excesivo de los fertilizantes, la incineración de desechos generando gases que van a la atmósfera y por último la tala indiscriminada de los árboles que sirven como barrera protectora de los nutrientes que contiene el suelo y es más fácil llevarlos mediante la escorrentía hasta vertientes de agua (NING et al., 2008).

En 1669, la marca Henning descubrió el elemento químico fósforo (P) en Hamburgo Alemania, al intentar descubrir el principio secreto de la piedra filosofal, que en el tiempo se creía era capaz de transformar metales base en oro. En 1842, Justus von Liebig declaró al fósforo uno de los seis elementos indispensables para la vida en la Tierra (junto con el carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y azufre) (Oğuz et al., 2003). Puesto que el fósforo es altamente reactivo y nunca se encuentra como elemento libre, con frecuencia es el primer nutriente en el que suelo agrícola se convierte en deficiente (Chelsey, L. & Clint, 2000).

Por lo tanto, el fósforo juega un papel esencial en la fertilidad del suelo, la producción de alimentos y la fertilización. De hecho, su uso comercial más importante es en la producción de fertilizantes. Hoy en día, sólo una quinta parte de fósforo se utiliza en alimentación y detergentes (Chelsey, L. & Clint, 2000).

El fosfato proviene de fertilizantes que son eliminados del suelo por agua o viento, excreciones humanas y de animales, detergentes y productos de limpieza que han sido desechados al cuerpo hídrico (NING et al., 2008). La relación entre la concentración y

el crecimiento de las algas es muy importante, ya que un (1)g de fosfato-fósforo ($\text{PO}_4\text{-P}$) promueve el crecimiento de 100g de algas (NING et al., 2008).

Los costos ambientales que tiene la contaminación proveniente del fósforo, va desde la mina a toda la cadena alimenticia, es decir, se produce fosfoyeso el cual es un subproducto radioactivo debido a la presencia de metales pesados. La extracción de roca fosfática se da en el procesamiento para la obtención de fertilizantes, el mismo que es utilizado de manera indiscriminada en la agricultura (Hamdi & Srasra, 2012).

Desde la Segunda Guerra Mundial, los fertilizantes de fósforo inorgánico se han convertido en un elemento cada vez más crucial en nuestros sistemas agrícolas modernos, que han logrado tasas de crecimiento vital en la producción mundial de alimentos y estimuló el crecimiento de la población (Chelsey, L. & Clint, 2000).

Desde 2007, sin embargo, las discusiones que rodean la disminución potencial de la oferta mundial de roca fosfórica fácilmente accesible y de alta calidad para la producción de fertilizantes siguen apareciendo (Carpenter, S.R et al., 2017). El término "fósforo pico" se ha aplicado a la potencial escasez de fosfato de roca en el siglo XXI.

El uso de este término pretende fomentar una nueva perspectiva sobre la calidad del agua y seguridad alimentaria regional y mundial, en otras palabras, la relación entre el sistema de producción agrícola moderna y la prevención de la eutrofización o el crecimiento excesivo de la planta resultante de cargas de nutrientes generado (Carpenter, S.R et al., 2017).

La adsorción implica la concentración de uno o más componentes de un gas o un líquido en la superficie de un sólido. El sólido se denomina adsorbente y las moléculas adsorbidas en la superficie del sólido, con mayor concentración que en la fase fluida, se

le denomina adsorbato. Esto se establece debido a las fuerzas de atracción que tienen las moléculas del fluido hacia la superficie sólida (Tatlier, Munz, & Henninger, 2018).

El término zeolita designa a una familia de minerales naturales que tienen propiedades particulares como el intercambio de iones y la desorción reversible de agua. Las investigaciones que se han realizado en las últimas décadas han comprobado el desempeño y utilidad que tienen los aluminosilicatos (Koshy & Singh, 2016).

Las zeolitas constituyen una clase única de sustancias sólidas con aplicaciones múltiples a los procesos industriales y al control de la contaminación ambiental. Se pueden utilizar tanto en estrategias de descontaminación preventiva como en la limpieza de derrames tóxicos de diversos tipos (TORO, LONDOÑO, & ÁLVAREZ, 2006). La estructura de trabajo de una zeolita consiste en un marco microporoso, aluminosilicato, que lleva una carga eléctrica negativa formal, que contiene un número exacto de cationes según lo requerido para contrarrestar esa carga del marco.

Las zeolitas son aluminosilicatos naturales compuestos por metales alcalinos y alcalinotérreos. Su estructura está basada en redes cristalinas tridimensionales y presentan tetraedros compuestos de SiO_4 y AlO_4 , que están unidos por átomos de oxígeno (Larrea, 2013). Las propiedades de las zeolitas provienen de los cationes que albergan en su estructura, dado que pueden sustituirse fácilmente, lo que origina su notable capacidad de intercambio catiónico (Koshy & Singh, 2016).

Tiene la propiedad de absorbente natural por su alto grado de hidratación. Excelente estabilidad en su estructura cristalina al deshidratarse. Su densidad es baja y conserva un gran volumen de vacíos al deshidratarse (NING et al., 2008). Captador de alta capacidad, retiene partículas de hasta cinco (5) micras. Sus propiedades de intercambio

del catión neutralizan ciertos elementos. Los canales moleculares uniformes se clasifican en orden

Este tipo de aluminosilicato reduce los fosfatos de cuerpos hídricos eutrofizados y también remueve sulfatos, cloruros y metales pesados (Chen et al., 2006). La capacidad que tienen las zeolitas de actuar como tamiz iónico ha permitido utilizarlas en distintas operaciones de separación de cationes por intercambio iónico, sustituyendo a los intercambiadores convencionales de tipo orgánico y a las resinas cambiadoras. Sin embargo, aunque tienen la ventaja de poseer mayor capacidad de intercambio, son inestables en medios fuertemente ácidos o básicos (Toro Chica, Londoño Benítez, & Álvarez, 2006). Por ello se aplican principalmente en procesos tales como la desalinización del agua, formulación de detergentes, eliminación de residuos radiactivos, preparación de abonos de acción retardada, entre otros, aunque la capacidad de intercambio iónico de las zeolitas se ha utilizado fundamentalmente en la preparación de catalizadores específicos, siendo numerosos los trabajos que tratan de relacionar la actividad catalítica con el grado de intercambio y el catión intercambiado (Hamdi & Srasra, 2012).

Se ha llevado una ardua labor investigativa sobre la síntesis, estructura y propiedades, que ha dado como resultado un gran número de patentes sobre la preparación de diferentes tipos de zeolitas y catalizadores basados en este mineral, de la misma forma se ha desarrollado toda una serie de aplicaciones industriales, que pueden ir desde un simple proceso de secado a complicadas reacciones catalíticas (Li et al., 2006).

Algunas de las aplicaciones más importantes de las zeolitas se encuentran entre las siguientes: en edificaciones, cuatro millones toneladas de zeolitas naturales se minan anualmente, principalmente para ser utilizadas en la industria de la construcción, de las

cuales 2,5 millones toneladas se envían a China para hacer un concreto de peso ligero (TORO et al., 2006).

Alrededor de 1,4 millones toneladas de zeolita son sintetizadas cada año para su uso como “constructor” en detergentes, para remover y encapsular cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} que provocan dureza en el agua, en lugar de polifosfatos que causan floración de algas en lagos y ríos. Así se evita los efectos “alga-Bloom” de la contaminación por los polifosfatos antes usados (Chelsey, L. & Clint, 2000). Los cationes tóxicos es decir metales pesados, Pb^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} , pueden ser removidos del ambiente por medio del intercambio catiónico de las zeolitas.

Las zeolitas H^+ intercambiadas, por ejemplo, la zeolita ultra-estable Y (Usy) se utilizan como catalizadores de ácido sólido en la industria petroquímica. Alrededor de 300.000 toneladas de zeolitas sintéticas se fabrican anualmente para su propósito (Chen et al., 2006).

Las zeolitas han demostrado intercambiar Ni^{2+} , absorbiendo a la vez compuestos de azufre, los cuales son derivados de tiofeno y tioles, que se utilizan para producir diésel y de esta manera reducir las emisiones de SO_2 que se originan en el transporte y por ende tendrían un aporte en la lluvia ácida; de esta forma también se produciría una reducción de las emisiones de NO_x de los vehículos, utilizando "convertidores catalíticos" que estarían cargados con zeolitas (Tatlier et al., 2018).

Las zeolitas A han sido modificadas sintéticamente, con el fin de obtener un potencial para eliminar los aniones tóxicos, por ejemplo, el cromato y los contaminantes orgánicos como el tricloroetileno, simultáneamente en el medio ambiente. Las aguas subterráneas contaminadas son un buen ejemplo para poner en uso este agente natural para la descontaminación del mismo (Tatlier et al., 2018).

En aplicaciones médicas se ha desarrollado productos comerciales como Hemosorb y QuikClot que están basados en zeolitas que, cuando se aplican a las heridas (en accidentes o cirugía), se dice que causan un cese “instantáneo” del sangrado. Las zeolitas también se utilizan en las máquinas de diálisis renal, para absorber el amoníaco de la sangre y evitar que se acumula en el cuerpo (un trabajo que normalmente hacen los riñones sanos) (Rhodes, 2010).

En la agricultura se utiliza en plantas de suelos que requieren ser enriquecidos de potasio K y amonio NH_4^+ , en este caso se utilizan zeolitas que tienen un intercambio específicamente con estos cationes (Worako, 2015).

También se puede utilizar en diferentes clases de materiales a los que se denominan filtrantes, funcionando de manera eficiente y económica, alcanzando niveles de purificación notables, generando la remoción de varios agentes provenientes del mismo lavado, como son, aceites, agua jabonosa, etc. (Rhodes, 2010).

Las zeolitas naturales se dividen en siete grupos principales de acuerdo a su estructura cristalina, basándose en la morfología, sus propiedades físicas, diferentes formas de vincular las unidades secundarias en el marco tridimensional, el volumen de poro libre y los tipos de cationes intercambiables en la estructura de la zeolita (Worako, 2015). Las caracterizaciones de zeolitas naturales incluyen análisis químicos e instrumentales de las muestras que son esenciales para su posterior aplicación en el tratamiento del agua (Tatlier et al., 2018).

Las zeolitas han sido utilizadas como medios filtrantes en plantas de tratamiento de aguas residuales. En el Ecuador se han realizado experimentos con filtros de zeolitas para la clarificación del agua potable en el cantón Guano, provincia de Chimborazo,

teniendo un éxito del 96% y mejorando notablemente la calidad de agua para consumo humano (Larrea, 2013).

En Ecuador existen yacimientos de zeolitas como clenoptilolita y heulandita, estos yacimientos se encuentran en el Parque Tecnológico ESPOL, formación del Cayo de la provincia del Guayas, hay evidencias en la Cordillera Chongón Colonche – en el yacimiento de León (Larrea, 2013).

Los filtros lentos se han utilizado con éxito en Europa desde principios del año 1900s, y siguen siendo un método popular de tratar fuentes municipales del agua. La investigación, y otras observaciones, demuestran que la filtración lenta en zeolita puede quitar con eficacia los quistes y las bacterias de coliformes del agua cruda, siendo un proceso innovador y rentable. (Carpenter, S.R et al., 2017). Este sistema funciona mejor como parte de un enfoque de tratamiento multi-barrera.

Un filtro lento de zeolita se compone de una cama de la zeolita clasificada que es apoyada por una capa de grava. Este medio filtrante se confina en una caja con aberturas en ambos extremos permitiendo que el agua fluya adentro y hacia fuera, mientras que funciona de arriba-hacia abajo, en base a la gravedad (Ertan, 2004). El proceso de la filtración es una forma de tratamiento de aguas natural, biológico que se utiliza para quitar los sólidos, los precipitados, la turbiedad y en algunos casos las partículas bacterianas que producen mal gusto y olor (Rhodes, 2010).

La provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas anteriormente cantón de la provincia de Pichincha, cuenta con una extensión de 3.453,848 km², es un sector donde tiene como foco de unión a las provincias de Esmeraldas, Manabí, Guayas, y Cotopaxi. La ciudad de Santo Domingo de los Colorados se conocía como el canton de Los Yumbos. En ésta lugar habitaban etnias Tsáchila, Yumbos y Chachis. El nombre de esta provincia

se origina en honor a los Dominicos “Santo Domingo de Guzmán”, que llegaron a evangelizar en el siglo XIX (GAD SANTO DOMINGO DE LOS COLORADOS, 2015).

La provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas cuenta con seis (6) parroquias rurales: Alluriquín, El Esfuerzo, Luz de América, Puerto Limón, San Jacinto del Búa, Santa María del Toachi y Valle Hermoso, y la ciudad Santo Domingo (GAD SANTO DOMINGO DE LOS COLORADOS, 2015).

Como anteriormente se menciona, Santo Domingo se encuentra limitado por una rama de la Cordillera de los Andes, por ello es común la presencia de elevaciones, las cuales están rodeadas de bosques presentando precipitaciones pluviales de gran intensidad. Así se forman dos sistemas hidrográficos pertenecientes a la vertiente del Océano Pacífico: la cuenca del río Esmeraldas y la cuenca del río Guayas, de igual forma cuenta con tres sub cuencas, en ellas existen 87 micro cuencas por donde fluyen 257 ríos (GAD SANTO DOMINGO DE LOS COLORADOS, 2015).

La cuenca del río Guayas nace al sur del Cantón Santo Domingo y está dividida en dos sub cuencas que son el río Daule y el río Vinces. La sub cuenca del río Daule equivale al 4% de la superficie del cantón, se encuentra al Sur-Oeste compartiendo este recurso con la provincia de Manabí. Ésta sub cuenca cuenta con 10 microcuencas, siendo potencial para el riego agrícola (SENAGUA, 2009).

En la cuenca del río Esmeraldas se encuentra la sub cuenca del río Blanco, donde comparten territorio con las provincias de Pichincha, Imbabura, Cotopaxi, Esmeraldas y Manabí. Posee 54 microcuencas y su principal uso de suelo es la combinación de actividades pecuarias y vegetación con 27% de su superficie (SENAGUA, 2009). El río Blanco después de la confluencia con el río Toachi, el río Quinindé después de la

confluencia con el río Mache y el río Baba después de la confluencia con el río Toachi Grande y el río Peripa, son navegables (GAD PUERTO LIMON, 2015).

La parroquia rural de Puerto Limón fue fundada como Comuna el 1 de agosto de 1961, con el nombre de José Ricardo Chiriboga Villagómez, en honor del alcalde de la ciudad de Quito de aquella época. Los primeros habitantes llegaban de las provincias de Manabí, Pichincha y Cotopaxi, posteriormente se realiza el cambio de nombre a Puerto Limón por los compradores de madera boya que llegaban al puerto (GAD PUERTO LIMON, 2015).

Puerto Limón está compuesto por 17 recintos: San Miguel de los Colorados, Tosagua, Providencia, Simón Bolívar, San Isidro de Peripa, El Progreso, La Unión La Independencia, Vicente Rocafuerte, La “Y” del Paraíso, Rosario, El Nila, Palo Blanco, San Francisco, La Polvareda, Libertad de Cóngoma y La Congomita (GAD PUERTO LIMON, 2015).

El riesgo de contaminación de los ríos de la parroquia de Puerto Limón es medio – bajo debido al mediano crecimiento industrial en el sector, esto repercutiría a los balnearios y a todos los pobladores del sector. La subcuenca del río Daule cuenta con la microcuenca del río Peripa, el cual atraviesa la parroquia de Puerto Limón (GAD PUERTO LIMON, 2015).

METODOLOGÍA

- Actividades de campo

En la presente investigación, se realizaron cinco salidas a Puerto Limón con intervalo de una semana entre cada toma de muestra. Para esto se planteó un cronograma de trabajo, que dio inicio en el mes de mayo de 2018 y finalizó en julio de 2018. Cada salida tenía

una duración de un día, donde la actividad principal era la toma de muestras, la preservación de las mismas y la determinación de los parámetros in situ del agua a analizar.

- **Puntos de muestreo**

Para la obtención de los puntos de muestreo en el río Peripa, se ha tomado como lugar de recolección de muestras el puerto de la parroquia Puerto Limón debido a que las actividades que se generan en dicho punto, también son de análisis para determinar la calidad de agua que tiene esta parroquia.

Se ha muestreado en el siguiente horario Tabla 1.

Tabla 1. Horario de muestreo.

Nº DE MUESTRA	HORA
1	16:00
2	14:00
3	05:30
4	20:00
5	05:00

Coordenadas: 17 N 722595.4

- **Recolección de muestras**

La recolección de muestras se realizó en base a procesos estandarizados, se utilizaron envases de vidrio para la toma de muestras simples de agua, las cuales posteriormente se las preservaron y posteriormente fueron llevadas al laboratorio para ser analizadas.

- **Análisis de agua**

Se realizaron análisis de las muestras antes y después de utilizar el filtro de zeolitas, para observar los cambios producidos por el contacto del agua con las zeolitas. Se utilizó el método 960 del ESPECTOFOTOMETRO HACH. Las mediciones se realizaron con el equipo ESPECTOFOTOMETRO HACH DR/4000.

- **Medición de Fósforo**

Standar Methods: Método 4500-P D.

El ácido molibdofosforico es formado y reducido por el cloruro de estaño al azul intensamente coloreado del molibdeno. Este método es más sensible y hace las mediciones sean factibles hasta 7 µg P/L por el uso, debido a que el paso creciente puede aumentar confiabilidad y disminuir interferencia.

Para verificar el rendimiento del filtro, se analizaron los siguientes parámetros con sus respectivos métodos. Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros y métodos aplicados para análisis de calidad de agua

PARÁMETRO	MÉTODO
DBO ₅	Standard Methods: 5210 B.
DQO	Standard Methods: 5220 D.
Cloruros	Standard Methods: 4500-Cl ⁻ G.
Sulfatos	Standard Methods: 4500-SO ₄ ²⁻ C.
Nitritos	Standard Methods: 4500-NO ₂ ⁻ B.
Nitratos	Standard Methods: 4500-NO ₃ ⁻ E.

Alcalinidad	Standard Methods: 2320 B.
Dureza	Standard Methods: 2340 C.
Turbidez	Standard Methods: 2130 B.
Color	Standard Methods: 2120 C.
Sólidos totales	Standard Methods: 2540 B.
Sólidos sedimentables	Standard Methods: 2540 F.
Sólidos suspendidos	Standard Methods: 2540 D.
Sólidos disueltos	Standard Methods: 2540 C.
Coliformes	Standard Methods: 9221 E.

- DISEÑO DE FILTRO LENTO

Se realizó el diseño de un filtro lento de zeolita, como lecho filtrante utilizando grava y como medios filtrantes zeolitas de diferentes granulometrías (18-12-6 mm). Tabla 3.

Tabla 3. Diseño de filtro de zeolitas

FILTRO LENTO (ZEOLITA)		
Caudal de diseño	0,11	L/s
	9,504	m ³ /d
Tasa / Velocidad filtración	2,4	m ³ /m ² /d

Número de filtros	2	Unidades
Área del filtro	1,98	m ²
L.filtro	1,41	m
B.filtro	1,41	m
H Grava (0,3 - 0,5)	0,3	m
H Zeolita (0,8 -1,0)	1	m
H Agua	1	m
H Seguridad	0,5	m
H Total (Hg+Ha+Hag+Hs)	2,8	m
Separación Laterales	1	
No. Laterales	3	
q. lateral	0,02	L/s
	1,83E-05	m ³ /s
Velocidad laterales	0,3	m/s
Área lateral	6,11E-05	m ²
Diámetro Lateral	8,82	mm
Diámetro asumido	10	mm
Diámetro orificios (2-4 mm)	2	mm
Área de orificios	3,14E-06	m ²
No. orificios	19	orificios
Espaciamiento (2 orif)	9	cm

Criterios de Diseño:

- Aplicable para:

- Turbiedad ≤ 70 UNT
- Color ≤ 50 UC
- Velocidad de filtración 2,4 a 1,8 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$
- Área de cada filtro $\leq 100 \text{ m}^2$
- Número de filtros, mínimo 2
- Altura de agua sobre nadante 1 – 1,5 m
- Profundidad del sistema de drenaje (0,3 a 0,5 m)
- Granulometría de la arena:
 - $D_{10} = 0,15$ a $0,35 \text{ mm}$
 - $C_u = d_{60} / d_{10} = 2 - 3$

- **Granulometría de la grava:**

3 / 4" - 2"	17,5 cm
3 / 8" - 3 / 4"	7,5 cm
3 / 16" - 3 / 8"	5,0 cm

- **Sistema de drenaje:**

Velocidad máxima en distribuidor y lateral 0,3 m/s

Espaciamiento entre laterales 1 a 2 m

Diámetro orificios laterales 2 a 4 mm

Área de lateral / Área de orificios lateral 2 a 4 mm diámetro

Área total orificios / Área del lecho 1 a $5 * 10^{-3}$

- PRE TRATAMIENTO DE MEDIO FILTRANTE Y LECHO FILTRANTE

Se realizaron pre tratamientos a las zeolitas y a la grava para evitar interferencias y por ende errores en los resultados finales. Se lavó las zeolitas hasta que el color del agua estuviese cristalina, de igual forma se procedió de la misma manera con la grava.

MÉTODO ESTADÍSTICO DE HANSEN

Para el análisis estadístico de los resultados se ha empleado la metodología de Hansen, el cual es el más utilizado para el análisis de parámetros de contaminación, que

establece una correlación lineal con pendiente negativa entre la probabilidad de ocurrencia y el parámetro de contaminación.

RESULTADOS

FOSFATOS

Tabla 4. Valores de inicio de fosfatos.

MUESTRA ANTES DE FILTRO							
N°	frecuencia	p%	FOS A (ex)	FOS A (calc)	valores notables		
1	0,167	16,667	2,87	2,534	P%		
2	0,333	33,333	1,89	1,947	25	2,241	
3	0,500	50,000	0,86	1,360	50	1,360	
4	0,667	66,667	0,60	0,773	75	0,480	
5	0,833	83,333	0,58	0,186	90	-0,049	
					valores notables		
m=					-0,035		
b=					3,121		
					FOS D max	2,870	
					FOS D min	0,580	
					FOS D prom	1,360	

Tabla 5. Valores finales de fosfatos.

MUESTRA DESPUES DE FILTRO							
N°	frecuencia	p%	FOS D (ex)	FOS D (calc)	valores notables		
1	0,167	16,667	0,13	0,138	P%		
2	0,333	33,333	0,09	0,084	25	2,241	
3	0,500	50,000	0,02	0,030	50	1,360	
4	0,667	66,667	0,01	-0,024	75	0,480	
5	0,833	83,333	-0,1	-0,078	90	-0,049	
					valores notables		
m=					-0,003		
b=					0,192		
					FOS max	0,130	
					FOS min	-0,100	
					FOS prom	0,030	

Gráfico 1. Resultados de fosfatos antes (a) y después (d) de usar el filtro de zeolitas



Elaborado por: Ámbar Alberca

CLORUROS

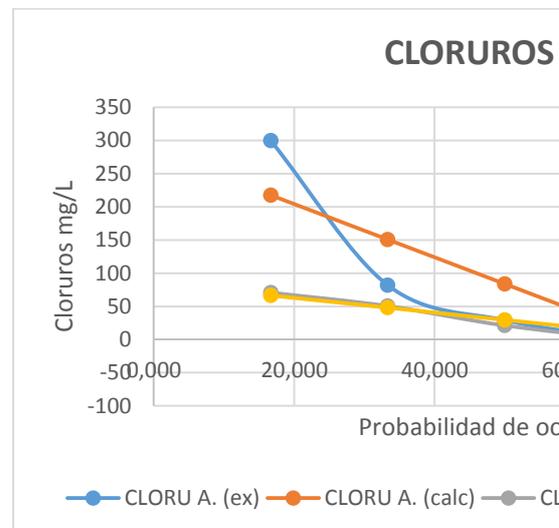
Tabla 6. Valores de inicio de cloruros

MUESTRAS ANTES DEL FILTRO						
N°	frecuencia	p%	CLORU A. (ex)	CLORU A. (calc)	valores notables	
1	0,167	16,667	299,7	217,560	P%	
2	0,333	33,333	81,9	150,700	25	184,130
3	0,500	50,000	29,1	83,840	50	83,840
4	0,667	66,667	4,3	16,980	75	-16,450
5	0,833	83,333	4,2	-49,880	90	-76,624
					valores notables	
m=					CLORU max	299,700
b=					CLORU min	4,200
					CLORU prom	83,840

Tabla 7. Valores finales de cloruros.

MUESTRAS DESPUES DEL FILTRO						
N°	frecuencia	p%	CLORU D (ex)	CLORU D (calc)	valores notables	
1	0,167	16,667	70,7	66,380	P%	
2	0,333	33,333	50,5	47,980	25	184,130
3	0,500	50,000	21,2	29,580	50	83,840
4	0,667	66,667	3,1	11,180	75	-16,450
5	0,833	83,333	2,4	-7,220	90	-76,624
					valores notables	
m=					CLORU max	70,700
b=					CLORU min	2,400
					CLORU prom	29,580

Gráfico 2. Resultados de cloruros antes (a) y después (d) de usar el filtro de zeolitas



Elaborado por: Ámbar Alberca

SULFATOS

Tabla 8. Valores de inicio de sulfatos.

MUESTRAS ANTES DEL FILTRO						
N°	frecuencia	p%	SULF A.(ex)	SULF A. (calc)	valores notables	
1	0,167	16,667	131	90,400	P%	
2	0,333	33,333	28,5	63,050	25	76,725
3	0,500	50,000	7	35,700	50	35,700
4	0,667	66,667	7	8,350	75	-5,325
5	0,833	83,333	5,0	-19,000	90	-29,940
					valores notables	
m=					-1,641	
b=					117,750	
					SULF max	131,000
					SULF min	5,000
					SULF prom	35,700

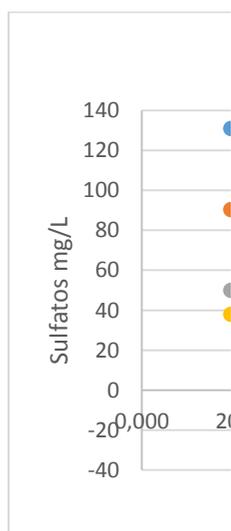
Tabla 9. Valores finales de sulfatos.

MUESTRAS DESPUES DEL FILTRO						
N°	frecuencia	p%	SULF D. (ex)	SULF D.(calc)	valores notables	
1	0,167	16,667	50	38,000	P%	
2	0,333	33,333	18	26,200	25	76,725
3	0,500	50,000	3	14,400	50	35,700
4	0,667	66,667	2	2,600	75	-5,325
5	0,833	83,333	-1,0	-9,200	90	-29,940
					valores notables	

m=	-0,708
b=	49,800

SULF max	50,000
SULF min	-1,000
SULF prom	14,400

Gráfico 3. Resultados de sulfatos antes (A) y después (D) de usar el filtro de zeolita



Elaborado por: Ámbar Alberca

NITRITOS

Tabla 10. Valores de inicio de nitritos.

MUESTRA ANTES DEL FILTRO							
N°	frecuencia	p%	NITRI A (ex)	NITRI A. (calc)	valores notables		NITRI max
1	0,167	16,667	201	124,812	P%		0,2
2	0,333	33,333	9	84,000	25	104,406	0,2
3	0,500	50,000	4	43,188	50	43,188	0,2
4	0,667	66,667	1	2,376	75	-18,030	0,2
5	0,833	83,333	0,94	-38,436	90	-54,761	0,2
					valores notables		
					NITRI max	201,000	
					NITRI min	0,940	
					NITRI prom	43,188	

m=	-2,449
b=	165,624

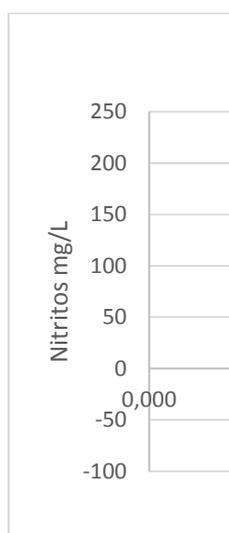
Tabla 11. Valores finales de nitritos.

MUESTRA DESPUES DEL FILTRO

N°	frecuencia	p%	NITRI D (ex)	NITRI D (calc)	valores notables		NITRI max
1	0,167	16,667	163	98,660	P%		0,2
2	0,333	33,333	1,9	66,070	25	104,406	0,2
3	0,500	50,000	1	33,480	50	43,188	0,2
4	0,667	66,667	1	0,890	75	-18,030	0,2
5	0,833	83,333	0,5	-31,700	90	-54,761	0,2
					valores notables		
					NITRI max	163,000	
					NITRI min	0,500	
					NITRI prom	33,480	

m=	-1,955
b=	131,250

Gráfico 4. Resultados de nitritos antes (a) y después (d) de usar el filtro de zeolitas



Elaborado por: Ámbar Alberca

NITRATOS

Tabla 12. Valores de inicio de nitratos.

MUESTRAS ANTES DEL FILTRO							
N°	frecuencia	p%	NITRA A. (ex)	NITRA A. (calc)	valores notables		NITRA max
1	0,167	16,667	86	74,140	P%		13
2	0,333	33,333	52	54,160	25	64,150	13
3	0,500	50,000	14,9	34,180	50	34,180	13
4	0,667	66,667	11,8	14,200	75	4,210	13

5	0,833	83,333	6,2	-5,780	90	-13,772	13	
							valores notables	
							NITRA max	86,000
							NITRA min	6,200
							NITRA prom	34,180

m=	-1,199
b=	94,120

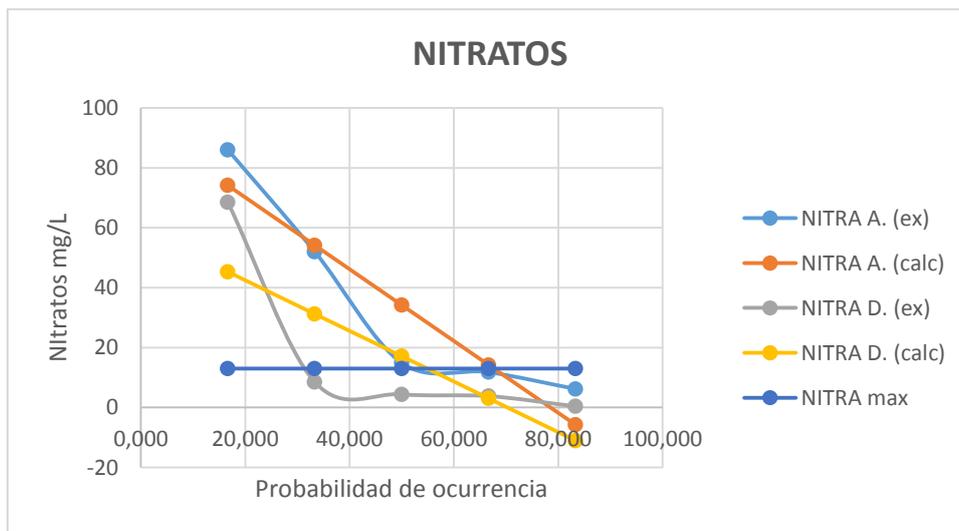
Tabla 13. Valores finales de nitratos.

MUESTRAS DESPUES DEL FILTRO							
N°	frecuencia	p%	NITRA D. (ex)	NITRA D. (calc)	valores notables		NITRA max
1	0,167	16,667	68,5	45,300	P%		13
2	0,333	33,333	8,5	31,210	25	64,150	13
3	0,500	50,000	4,4	17,120	50	34,180	13
4	0,667	66,667	3,8	3,030	75	4,210	13
5	0,833	83,333	0,4	-11,060	90	-13,772	13

valores notables	
NITRA max	68,500
NITRA min	0,400
NITRA prom	17,120

m=	-0,845
b=	59,390

Gráfico 5. Resultados de nitratos antes (a) y después (d) de usar el filtro de zeolitas



Elaborado por: Ámbar Alberca

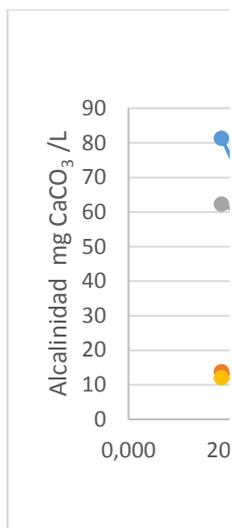
ALCALINIDAD**Tabla 14. Valores iniciales de alcalinidad.**

MUESTRAS ANTES DEL FILTRO						
N°	frecuencia	p%	ALC A. (ex)	ALC A (calc)	valores notables	
1	0,167	16,667	81	62,250	P%	
2	0,333	33,333	29	48,750	25	55,500
3	0,500	50,000	28	35,250	50	35,250
4	0,667	66,667	21	21,750	75	15,000
5	0,833	83,333	17,5	8,250	90	2,850
					valores notables	
m=			-0,810		ALC max	81,250
b=			75,750		ALC min	17,500
					ALC prom	35,250

Tabla 15. Valores finales de alcalinidad.

MUESTRAS DESPUES DEL FILTRO						
N°	frecuencia	p%	ALC D. (ex)	ALC D. (calc)	valores notables	
1	0,167	16,667	13,75	12,000	P%	
2	0,333	33,333	7,5	9,625	25	55,500
3	0,500	50,000	8	7,250	50	35,250
4	0,667	66,667	3,75	4,875	75	15,000
5	0,833	83,333	4	2,500	90	2,850
					valores notables	
m=			-0,143		ALC max	13,750
b=			14,375		ALC min	3,750
					ALC prom	7,250

Gráfico 6. Resultados de alcalinidad antes (a) y después (d) de usar el filtro de zeolitas



Elaborado por: Ámbar Alberca

DUREZA

Tabla 16. Valores iniciales de dureza.

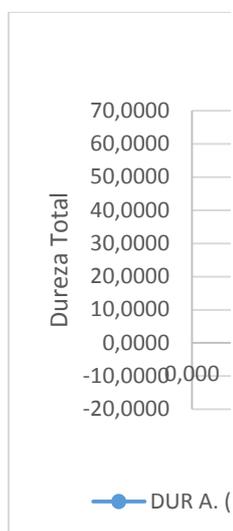
MUESTRAS ANTES DEL FILTRO							
N°	frecuencia	p%	DUR A. (ex)	DUR A. (calc)	valores notables		
1	0,167	16,667	57,5400	34,542	P%		
2	0,333	33,333	0,0425	23,038	25	28,790	
3	0,500	50,000	0,0300	11,534	50	11,534	
4	0,667	66,667	0,0290	0,030	75	-5,722	
5	0,833	83,333	0,03	-11,474	90	-16,075	
					valores notables		
m=			-0,690		DUR max		57,540
b=			46,045		DUR min		0,028
					DUR prom		11,534

Tabla 17. Valores finales de dureza.

MUESTRAS DESPUES DEL FILTRO							
N°	frecuencia	p%	DUR D.(ex)	DUR D. (calc)	valores notables		
1	0,167	16,667	0,0075	0,007	P%		
2	0,333	33,333	0,0075	0,009	25	28,790	
3	0,500	50,000	0,0125	0,011	50	11,534	
4	0,667	66,667	0,01	0,013	75	-5,722	
5	0,833	83,333	0,0175	0,016	90	-16,075	
					valores notables		
m=			0,000		DUR max		0,008
b=			0,004		DUR min		0,018

DUR prom	0,011
-----------------	-------

Gráfico 7. Resultados de dureza antes (A) y después (D) de usar el filtro de zeolitas



Elaborado por: Ámbar Alberca

TURBIDEZ

Tabla 18. Valores iniciales de turbidez

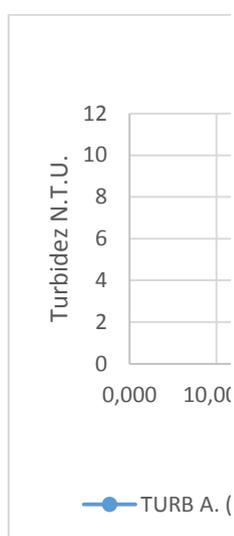
MUESTRAS ANTES DEL FILTRO						
N°	frecuencia	p%	TURB A. (ex)	TURB A. (calc)	valores notables	
1	0,167	16,667	7,77	6,994	P%	
2	0,333	33,333	4,97	5,519	25	6,257
3	0,500	50,000	3,38	4,044	50	4,044
4	0,667	66,667	2,44	2,569	75	1,832
5	0,833	83,333	1,66	1,094	90	0,504
					valores notables	
m=			-0,089		TURB max	7,770
b=			8,469		TURB min	1,660
					TURB prom	4,044

Tabla 19. Valores finales de turbidez

MUESTRAS DESPUES DEL FILTRO						
N°	frecuencia	p%	TURB D. (ex)	TURB D. (calc)	valores notables	
1	0,167	16,667	10,1	8,874	P%	
2	0,333	33,333	6,46	7,250	25	6,257

3	0,500	50,000	4,3	5,626	50	4,044		
4	0,667	66,667	4,12	4,002	75	1,832		
5	0,833	83,333	3,15	2,378	90	0,504		
						valores notables		
m=		-0,097		TURB max		10,100		
b=		10,498		TURB min		3,150		
						TURB prom		5,626

Gráfico 8. Resultados de turbidez antes (a) y después (d) de usar el filtro de zeolitas



Elaborado por: Ámbar Alberca

COLOR

Tabla 20. Valores iniciales de color

MUESTRAS ANTES DEL FILTRO							
N^o	frecuencia	p%	COLOR A. (ex)	COLOR A. (calc)	valores notables		
1	0,167	16,667	84,00	58,600	P%		
2	0,333	33,333	18	41,000	25	49,800	
3	0,500	50,000	8,00	23,400	50	23,400	
4	0,667	66,667	4,00	5,800	75	-3,000	
5	0,833	83,333	3,00	-11,800	90	-18,840	
						valores notables	
m=		-1,056		color max		84,000	

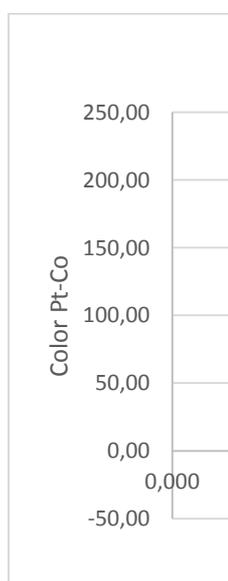
b=	76,200
-----------	--------

color min	3,000
color prom	23,400

Tabla 21. Valores finales de color

MUESTRAS DESPUES DEL FILTRO						
N°	frecuencia	p%	COLOR D. (ex)	COLOR D. (calc)	valores notables	
1	0,167	16,667	236	237,200	P%	
2	0,333	33,333	197	201,400	25	49,800
3	0,500	50,000	181	165,600	50	23,400
4	0,667	66,667	117	129,800	75	-3,000
5	0,833	83,333	97	94,000	90	-18,840
					valores notables	
m=					color max	236,000
b=					color min	97,000
					color prom	165,600

Gráfico 9. Resultados de color antes (A) y después (D) de usar el filtro de zeolitas



Elaborado por: Ámbar Alberca

DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)

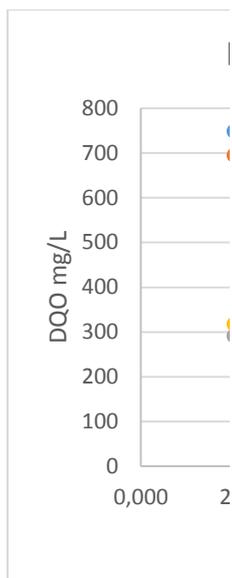
Tabla 22. Valores iniciales de DQO

MUESTRA ANTES DEL FILTRO						
N°	frecuencia	p%	DQO(ex)	DQO (calc)	valores notables	
1	0,167	16,667	748	695,000	P%	
2	0,333	33,333	514	569,700	25	632,350
3	0,500	50,000	447	444,400	50	444,400
4	0,667	66,667	269	319,100	75	256,450
5	0,833	83,333	244	193,800	90	143,680
					valores notables	
m=			-7,518		DQO max	748,000
b=			820,300		DQO min	244,000
					DQO prom	444,400

Tabla 23. Valores finales de DQO

MUESTRA DESPUES DEL FILTRO						
N°	frecuencia	p%	DQO(ex)	DQO (calc)	valores notables	
1	0,167	16,667	291	317,200	P%	
2	0,333	33,333	272	259,500	25	632,350
3	0,500	50,000	260	201,800	50	444,400
4	0,667	66,667	95	144,100	75	256,450
5	0,833	83,333	91	86,400	90	143,680
					valores notables	
m=			-3,462		DQO max	291,000
b=			374,900		DQO min	91,000
					DQO prom	201,800

Gráfico 10. Resultados de DQO antes (A) y después (D) de usar el filtro de zeolitas



Elaborado por: Ámbar Alberca

DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO (DBO₅)

Tabla 24. Valores iniciales de DBO₅

MUESTRA ANTES DEL FILTRO							
N°	frecuencia	p%	DBO ₅ A. (ex)	DBO ₅ A. (calc)	valores notables		
1	0,167	16,667	46,67	45,848	P%		
2	0,333	33,333	43,67	37,325	25	41,587	
3	0,500	50,000	18,67	28,802	50	28,802	
4	0,667	66,667	18,22	20,279	75	16,018	
5	0,833	83,333	16,78	11,756	90	8,347	
					valores notables		
m=					-0,511	DBO ₅ max	46,670
b=					54,371	DBO ₅ min	16,780
						DBO ₅ prom	28,802

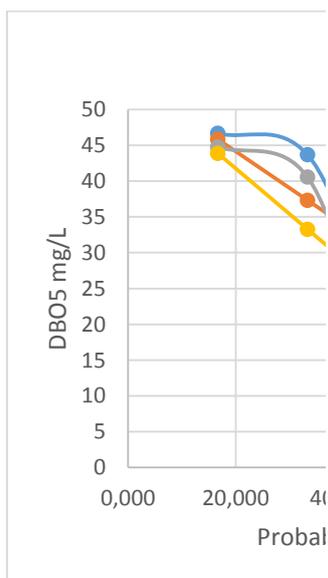
Tabla 25. Valores finales de DBO₅

MUESTRA DESPUES DEL FILTRO						
N°	frecuencia	p%	DBO ₅ D. (ex)	DBO ₅ D. (calc)	valores notables	
1	0,167	16,667	44,77	43,882	P%	
2	0,333	33,333	40,55	33,274	25	41,587
3	0,500	50,000	10,67	22,666	50	28,802
4	0,667	66,667	10,67	12,058	75	16,018
5	0,833	83,333	6,67	1,450	90	8,347

m=	-0,636
b=	54,490

valores notables	
DBO₅ max	44,770
DBO₅ min	6,670
DBO₅ prom	22,666

Gráfica 11. Resultados de DBO₅ antes (a) y después (d) de usar el filtro de zeolitas



SÓLIDOS DISUELTOS

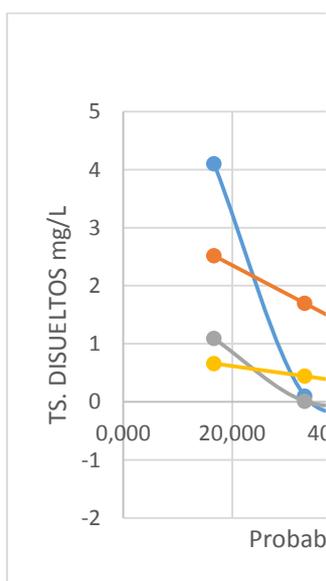
Tabla 26. Valores iniciales de Sólidos Disueltos

MUESTRA ANTES DEL FILTRO							
N°	frecuencia	p%	S. DIS A (ex)	S. DIS A. (calc)	valores notables		
1	0,167	16,667	4,1	2,517	P%		
2	0,333	33,333	0,099	1,697	25	2,107	
3	0,500	50,000	0,09	0,876	50	0,876	
4	0,667	66,667	0,089	0,056	75	-0,354	
5	0,833	83,333	0,003	-0,765	90	-1,093	
					valores notables		
m=					S DIS max	4,100	
b=					S. DIS min	0,003	
					S. DIS. prom	0,876	

Tabla 27. Valores finales de Sólidos Disueltos

MUESTRA DESPUES DEL FILTRO						
N°	frecuencia	p%	S. DIS D. (ex)	S. DIS D. (calc)	valores notables	
1	0,167	16,667	1,09	0,660	P%	
2	0,333	33,333	0,01	0,442	25	2,107
3	0,500	50,000	0,01	0,224	50	0,876
4	0,667	66,667	0,01	0,006	75	-0,354
5	0,833	83,333	0,001	-0,211	90	-1,093
					valores notables	
m=			-0,013		S. DIS. max	1,090
b=			0,878		S. DIS. min	0,001
					S. DIS. prom	0,224

Gráfica 12. Resultados de Sólidos Disueltos antes (a) y después (d) de usar el filtro de zeolitas.



Elaborado por: Ámbar Alberca

SÓLIDOS SEDIMENTABLES

Tabla 28. Valores iniciales de sólidos sedimentables

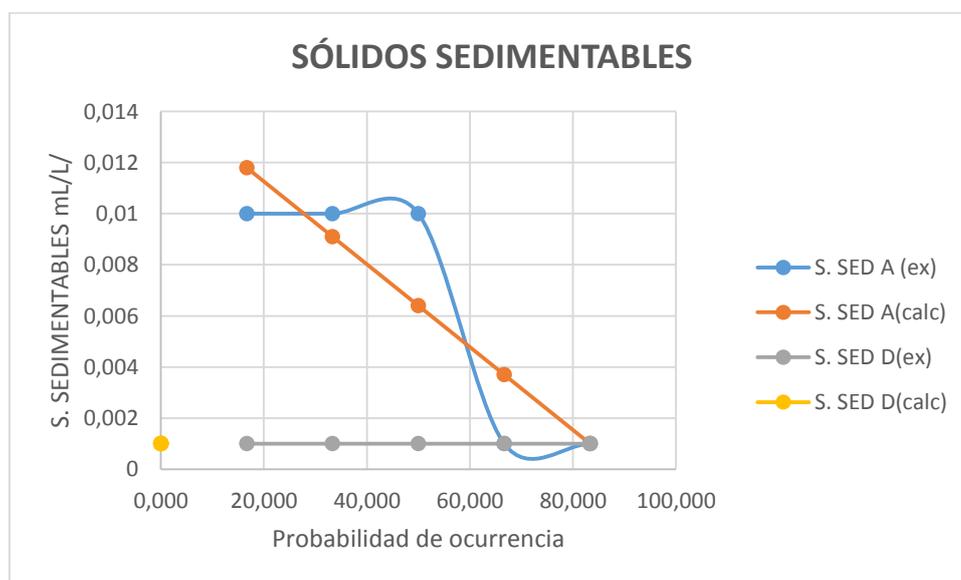
MUESTRA ANTES DEL FILTRO						
N°	frecuencia	p%	S. SED A. (ex)	S. SED D. (calc)	valores notables	
1	0,167	16,667	0,01	0,012	P%	
2	0,333	33,333	0,01	0,009	25	0,010

3	0,500	50,000	0,01	0,006	50	0,006
4	0,667	66,667	0,001	0,004	75	0,002
5	0,833	83,333	0,001	0,001	90	0,000
valores notables						
m=		0,000		S. SED max		0,010
b=		0,015		S. SED min		0,001
				S. SED prom		0,006

Tabla 29. Valores finales de sólidos sedimentables

MUESTRA DESPUES DEL FILTRO						
N°	frecuencia	p%	S. SED D(ex)	S. SED D(calc)	valores notables	
1	0,167	16,667	0,001	0,001	P%	
2	0,333	33,333	0,001	0,001	25	0,010
3	0,500	50,000	0,001	0,001	50	0,006
4	0,667	66,667	0,001	0,001	75	0,002
5	0,833	83,333	0,001	0,001	90	0,000
valores notables						
m=		0,000		S. SED max		0,001
b=		0,001		S. SED min		0,001
				S. SED prom		0,001

Gráfica 13. Resultados de sólidos sedimentables antes (a) y después (d) de usar el filtro de zeolitas



Elaborado por: Ámbar Alberca

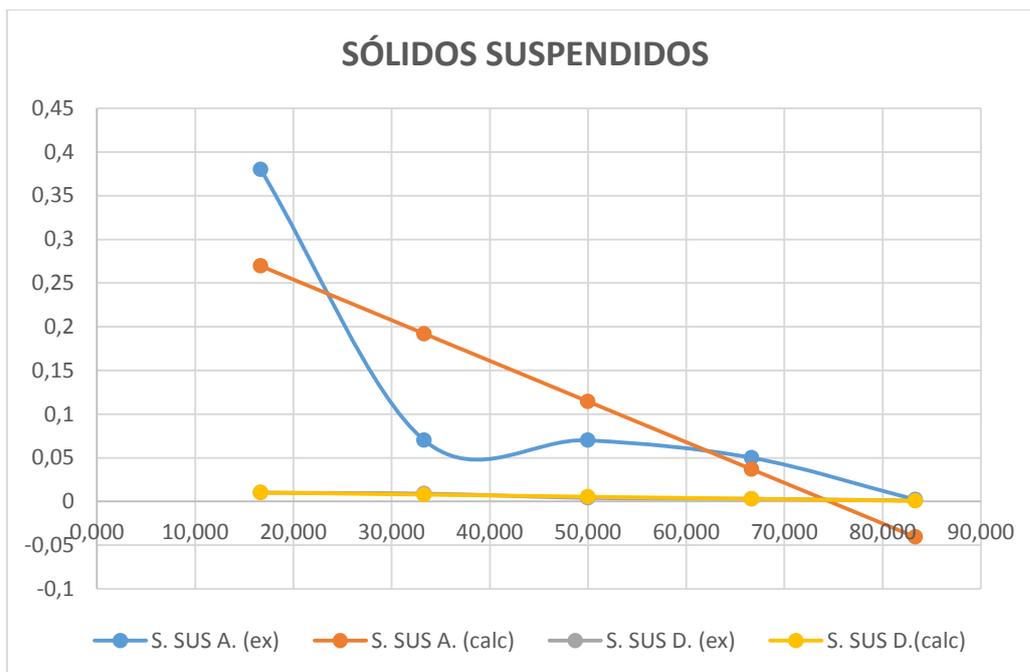
SÓLIDOS SUSPENDIDOS**Tabla 30. Valores iniciales de sólidos suspendidos**

MUESTRA ANTES DEL FILTRO							
N°	frecuencia	p%	S. SUS A. (ex)	S. SUS A. (calc)	valores notables		
1	0,167	16,667	0,38	0,270	P%		
2	0,333	33,333	0,07	0,192	25	0,231	
3	0,500	50,000	0,07	0,114	50	0,114	
4	0,667	66,667	0,05	0,037	75	-0,002	
5	0,833	83,333	0,0021	-0,041	90	-0,072	
					valores notables		
m=			-0,005		S. SUS max	0,380	
b=			0,347		S. SUS min	0,002	
					S. SUS prom	0,114	

Tabla 31. Valores finales de sólidos suspendidos

MUESTRA DESPUES DEL FILTRO							
N°	frecuencia	p%	S. SUS D. (ex)	S. SUS D.(calc)	valores notables		
1	0,167	16,667	0,38	0,270	P%		
2	0,333	33,333	0,07	0,192	25	0,231	
3	0,500	50,000	0,07	0,114	50	0,114	
4	0,667	66,667	0,05	0,037	75	-0,002	
5	0,833	83,333	0,0021	-0,041	90	-0,072	
					valores notables		
m=			-0,005		S. SUS max	0,380	
b=			0,347		S. SUS min	0,002	
					S. SUSprom	0,114	

Gráfica 14. Resultados de sólidos suspendidos antes (a) y después (d) de usar el filtro de zeolitas



Elaborado por: Ámbar Alberca

SÓLIDOS TOTALES

Tabla 32. Valores iniciales de sólidos totales

MUESTRAS ANTES DEL FILTRO						
N°	frecuencia	p%	S. TOT A. (ex)	S. TOT A.(calc)	valores notables	
1	0,167	16,667	3,8	2,418	P%	
2	0,333	33,333	0,33	1,627	25	2,022
3	0,500	50,000	0,03	0,836	50	0,836
4	0,667	66,667	0,02	0,045	75	-0,350
5	0,833	83,333	0,001	-0,745	90	-1,062
					valores notables	
m=			-0,047		S. TOT max	3,800
b=			3,209		S. TOT min	0,001
					S. TOT prom	0,836

Tabla 33. Valores finales de sólidos totales

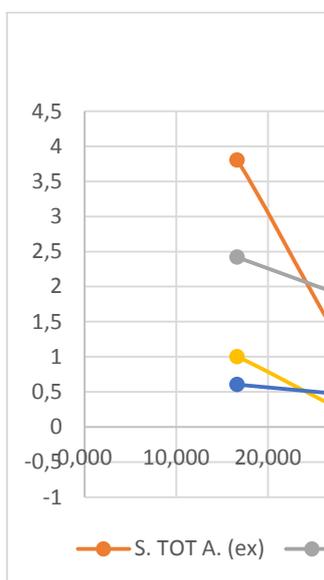
MUESTRAS DESPUES DEL FILTRO					
N°	frecuencia	p%	S. TOT D. (ex)	S. TOT D.(calc)	valores notables

1	0,167	16,667	1	0,604	P%	
2	0,333	33,333	0,01	0,403	25	2,022
3	0,500	50,000	0,001	0,203	50	0,836
4	0,667	66,667	0,001	0,002	75	-0,350
5	0,833	83,333	0,001	-0,199	90	-1,062

m=	-0,012
b=	0,805

valores notables	
S. TOT max	1,000
S. TOT min	0,001
S. TOTprom	0,203

Gráfica 15. Resultados de sólidos totales antes (a) y después (d) de usar el filtro de zeolitas



Elaborado por: Ámbar Alberca

COLIFORMES FECALES

Tabla 34. Valores iniciales de coliformes fecales

MUESTRAS ANTES DEL FILTRO						
N°	frecuencia	p%	COLI A. (ex)	COLI A. (calc)	valores notables	
1	0,167	16,667	39,00	26,400	P%	
2	0,333	33,333	7	17,900	25	22,150
3	0,500	50,000	1,00	9,400	50	9,400

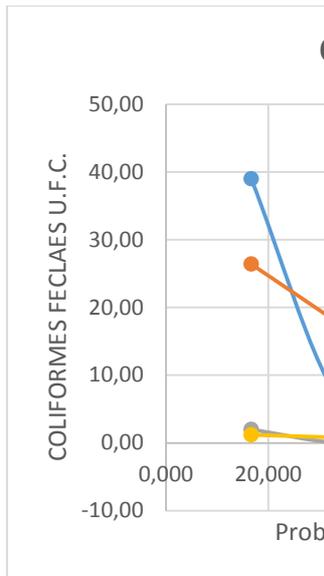
4	0,667	66,667	0,00	0,900	75	-3,350	
5	0,833	83,333	0,00	-7,600	90	-11,000	
						valores notables	
m=		-0,510		COLI max		39,000	
b=		34,900		COLI min		0,000	
						COLI prom	9,400

Tabla 35. Valores finales de coliformes fecales

MUESTRAS DESPUES DEL FILTRO							
N°	frecuencia	p%	COLI D. (ex)	COLI D. (calc)	valores notables		
1	0,167	16,667	2	1,200	P%		
2	0,333	33,333	0	0,800	25	22,150	
3	0,500	50,000	0	0,400	50	9,400	
4	0,667	66,667	0	0,000	75	-3,350	
5	0,833	83,333	0	-0,400	90	-11,000	
						valores notables	
m=		-0,024		COLI max		2,000	
b=		1,600		COLI min		0,000	
						COLI prom	0,400

Elaborado por: Ámbar Alberca

Gráfica 16. Resultados de coliformes fecales antes (a) y después (d) de usar el filtro de zeolitas



Elaborado por: Ámbar Alberca

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

FOSFATO

Se ha evidenciado mediante análisis fisicoquímicos que el Río Peripa contiene bajas concentraciones de fosfatos, ya que el nivel de industrias en el sector es medio – bajo, el ingreso de fosfatos al cuerpo de agua en su mayoría puede darse por fertilizantes que son arrastrados en esorrentía hasta llegar al cauce receptor y la descarga de aguas negras de los pobladores aledaños al río, el filtro de zeolitas ha presentado las siguientes eficiencias dependiendo la muestra analizada, eso se puede evidenciar en la Tabla 36.

TABLA 36. RENDIMIENTO DE REDUCCIÓN DE FOSFATOS MEDIANTE EL USO DE FILTRO DE ZEOLITAS

N° DE MUESTRA	PORCENTAJE DE RENDIMIENTO
1	99,65 %
2	89,54 %
3	99,9 %
4	78,33 %
5	98,99 %

Elaborado por: Ámbar Alberca

CLORUROS

La presencia de cloruros en las muestras tomadas tienen una variación alta, se debe tomar en cuenta que las muestras 1 y 2 fueron tomadas en horas donde la población realizaba sus actividades normales en el puerto: lavar ropa, lavar autos. Las muestras 3,4 y 5 fueron tomadas en horarios donde los pobladores no realizaban dichas actividades. El porcentaje de eficiencia del filtro de zeolitas en la reducción se presenta en la Tabla 37.

TABLA 37. RENDIMIENTO DE REDUCCIÓN DE CLORUROS MEDIANTE EL USO DE FILTRO DE ZEOLITAS

N° DE MUESTRA	PORCENTAJE DE RENDIMIENTO
1	27,91 %
2	42,86 %
3	76,41 %
4	38,34 %
5	27,15 %

Elaborado por: Ámbar Alberca

SULFATOS

Las muestras tomadas presentaron bajas concentraciones de sulfatos a excepción de la muestra 3 y la muestra 4 que presentaron valores exorbitantes y que mediante la ayuda del filtro de zeolitas se logró reducir dicha concentración. En la Tabla 38 se puede analizar de mejor manera.

TABLA 38. RENDIMIENTO DE REDUCCIÓN DE SULFATOS MEDIANTE EL USO DE FILTRO DE ZEOLITAS

N° DE MUESTRA	PORCENTAJE DE
---------------	---------------

	RENDIMIENTO
1	57,14%
2	100 %
3	61,83 %
4	71,43 %
5	36,84 %

Elaborado por: Ámbar Alberca

NITRITOS Y NITRATOS

La presencia de nitritos y nitratos en las muestras se origina en altas concentraciones debido a la materia orgánica que provienen de forma natural y a que los pobladores que se encuentran ubicados cerca del río descargan aguas grises y negras. Las tablas 39 y 40 se puede observar la eficiencia del filtro de zeolitas en reducir estos parámetros.

TABLA 39. RENDIMIENTO DE REDUCCIÓN DE NITRITOS MEDIANTE EL USO DE FILTRO DE ZEOLITAS

N° DE MUESTRA	PORCENTAJE DE RENDIMIENTO
1	53,19 %
2	88,89 %
3	18,91 %
4	52,5 %
5	0 %

Elaborado por: Ámbar Alberca

TABLA 40. RENDIMIENTO DE REDUCCIÓN DE NITRATOS MEDIANTE EL USO DE FILTRO DE ZEOLITAS

N° DE MUESTRA	PORCENTAJE DE RENDIMIENTO
1	27,97 %
2	93,55 %
3	20,35 %
4	92,69 %
5	70,47 %

Elaborado por: Ámbar Alberca

ALCALINIDAD Y DUREZA

Debido a que la mayoría de las muestras presentan pH inferiores a 8 se ha tomado como indicador el anaranjado de metilo. Se puede observar que la alcalinidad se reduce notablemente en todas las muestras y de igual forma sucede con la dureza. Tabla 41-42.

**TABLA 41. RENDIMIENTO DE REDUCCIÓN DE ALCALINIDAD
MEDIANTE EL USO DE FILTRO DE ZEOLITAS**

N° DE MUESTRA	PORCENTAJE DE RENDIMIENTO
1	86,61 %
2	86,21 %
3	64,29 %
4	90,12 %
5	21,43 %

Elaborado por: Ámbar Alberca

**TABLA 42. RENDIMIENTO DE REDUCCIÓN DE DUREZA MEDIANTE EL
USO DE FILTRO DE ZEOLITAS**

N° DE MUESTRA	PORCENTAJE DE RENDIMIENTO
1	74,14 %
2	99,99 %
3	58,33 %
4	66,67 %
5	58,82 %

Elaborado por: Ámbar Alberca

COLOR Y TURBIDEZ

Las muestras analizadas presentaron valores superiores a los iniciales con respecto a los dos parámetros enunciados, en la mayoría de las muestras filtradas el color llega a

valores entre 97 – 236 PtCo. Los valores de la turbidez de igual forma incrementan después de haber sido filtradas, los valores van entre 4 – 10,1 N.T.U.

CONCLUSIONES

- Las zeolitas reducen eficazmente concentraciones bajas principalmente de fosfatos, nitritos y nitratos éste mineral se lo puede utilizar en cuerpos hídricos que estén en proceso de eutrofización. También se presentaron bajas concentraciones de sulfatos, cloruros y la demanda química de oxígeno luego de haber pasado por el proceso de filtración teniendo una eficiencia entre el 25 – 80 %.
- Las actividades de la población de la parroquia de Puerto Limón también influyen en las concentraciones de los parámetros analizados, debido a las descargas de aguas negras y grises, el uso excesivo de los fertilizantes en la agricultura que llega al cuerpo hídrico de estudio.
- Con relación a la dureza y alcalinidad analizada en el río, se pudo constatar que existe una relación directa, dado que al disminuir la dureza disminuye la alcalinidad, porque existe una relación directa
- Se observó que las variaciones de las concentraciones de los parámetros analizados se dan en las muestras que fueron tomadas en horarios donde la población no ejercía actividades de lavado en el río.
- Con respecto a la turbidez y el color final se pudo apreciar que los valores aumentan notablemente, esto se pudo dar por sedimentos de las zeolitas que pudieron haber sido arrastrados.
- La mayoría de filtros lentos han sido construidos con lecho filtrante en base de arena, en este caso se ha construido con zeolita clinoptilolita la cual tiene un costo

mínimo de 0,50 USD c/lb, mientras que el costo mínimo de la arena es 0,05 USD c/kg. Los costos son relevantes en el momento de realizar un filtro pero el beneficio que se tendrá es mucho más importante ya que el filtro de zeolitas presenta menores problemas y mejor rendimiento que el filtro lento de arena.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere seguir tomando muestras en horarios donde la población no realice actividades que interfieran en los resultados de inicio.
- Se sugiere tomar muestras del mismo río pero en diferentes puntos de muestreo con el fin de saber cuál es el foco de contaminación si lo hubiere.
- Empezar con pruebas a pequeña escala con muestras de lagos, lagunas o ríos que presenten contaminación ya sea de origen natural o antrópica.

ANEXO FOTOGRÁFICO

Foto 1. Punto de muestreo P-L.



Foto 2. Filtro de zeolitas



Foto 3. Muestras de análisis A.F.



Foto 4. Análisis de sulfatos A.F.



Foto 5. Análisis de cloruros



Foto 6. Resultado de cloruros A.F.



Foto 7. Análisis de fosfato A.F.



Foto 8. Análisis de dureza A.F.



Foto 9. Análisis de coliformes A.F.



Foto 10. Análisis de sólidos

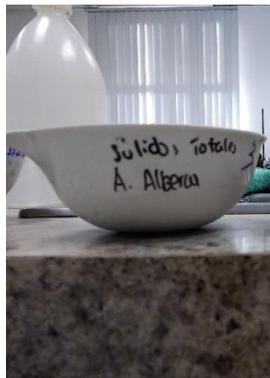


Foto 11. Análisis de fosfato D.F.



Foto 12. Análisis de sulfato D.F.



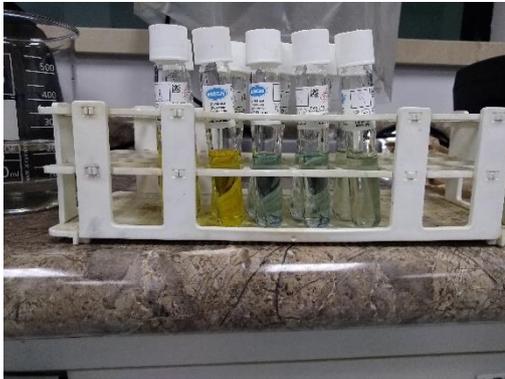
Foto 13. Análisis de cloruros D.F.



Foto 14. Análisis de cloruros D.F.



Foto 15. Análisis de DQO D.F.



BIBLIOGRAFÍA

Carpenter, S.R, A. S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N., & Smith, V. H. (2017). Wiley, Ecological Society of America, 8(3), 559–568.

Chelsey, L. & Clint, C. (2000). El dilema del fósfor, 80–219.

Chen, J., Kong, H., Wu, D., Hu, Z., Wang, Z., & Wang, Y. (2006). Removal of phosphate from aqueous solution by zeolite synthesized from fly ash. *Journal of Colloid and Interface Science*, 300(2), 491–497.
<https://doi.org/10.1016/J.JCIS.2006.04.010>

Ertan, A. (2004). CO₂ , N₂ and Ar Adsorption on Zeolites, 1–80.

GAD PUERTO LIMON. (2015). PDOT PUERTO LIMON.

GAD SANTO DOMINGO DE LOS COLORADOS. (2015). PDOT Santo Domingo de los Tsáchilas.

Hamdi, N., & Srasra, E. (2012). Removal of phosphate ions from aqueous solution using Tunisian clays minerals and synthetic zeolite. *Journal of Environmental Sciences*, 24(4), 617–623. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(11\)60791-2](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(11)60791-2)

Heiskary, S. A., & Bouchard, R. W. (2015). Development of eutrophication criteria for Minnesota streams and rivers using multiple lines of evidence, 34(2), 574–592.
<https://doi.org/10.1086/680662>.

Koshy, N., & Singh, D. N. (2016). Fly ash zeolites for water treatment applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(2), 1460–1472.

<https://doi.org/10.1016/J.JECE.2016.02.002>

Kratina, P., Greig, H. S., Thompson, P. L., Carvalho, T. S. A., Ecology, S., June, N., ...

Shurin, J. B. (2017). Warming modifies trophic cascades and eutrophication in experimental freshwater communities Pereira and Jonathan B . Shurin Published by : Wiley Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/23213771> REFERENCES

Linked references are available on JSTOR for this. *Ecological Society of America*, 93(6), 1421–1430.

Larrea, J. (2013). *Aplicación de un filtro de zeolitas para potabilización de agua a nivel domiciliario*. Universidad Técnica de Machala.

Li, Y., Liu, C., Luan, Z., Peng, X., Zhu, C., Chen, Z., ... Jia, Z. (2006). Phosphate removal from aqueous solutions using raw and activated red mud and fly ash.

Journal of Hazardous Materials, 137(1), 374–383.

<https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2006.02.011>

NING, P., BART, H.-J., LI, B., LU, X., & ZHANG, Y. (2008). Phosphate removal from wastewater by model-La(III) zeolite adsorbents. *Journal of Environmental*

Sciences, 20(6), 670–674. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)62111-7](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62111-7)

Oğuz, E., Gürses, A., & Canpolat, N. (2003). Removal of phosphate from wastewaters.

Cement and Concrete Research, 33(8), 1109–1112. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00016-4](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00016-4)

Rhodes, C. J. (2010). Properties and applications of zeolites. *Science Progress*, 93(3), 223–284. <https://doi.org/10.3184/003685010X12800828155007>

SENAGUA. (2009). Delimitación y codificación de unidades geográficas del Ecuador.

Secretaría Nacional Del Agua de Ecuador, 14–18.

- Tatlier, M., Munz, G., & Henninger, S. K. (2018). Relation of water adsorption capacities of zeolites with their structural properties. *Microporous and Mesoporous Materials*, 264, 70–75. <https://doi.org/10.1016/J.MICROMESO.2017.12.031>
- Toro Chica, F. de J., Londoño Benítez, L. M., & Álvarez, M. I. (2006). La zeolita en la mitigación ambiental. *Revista Lasallista de Investigación*, 3(1), 30–34. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/695/69530106.pdf>
- TORO, F. de J., LONDOÑO, L. M., & ÁLVAREZ, M. I. (2006). La zeolita en la mitigación ambiental. *Revista Lasallista de Investigación*.
- Worako, A. W. (2015). Physicochemical and biological water quality assessment of lake hawassa for multiple designated water uses. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 9(2), 146–157. <https://doi.org/10.4090/juee.2015.v9n2.146157>
- Wu, T., Yu, Y., & Wang, B. (2018). Water resources availability and the growth of housing prices in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 555–562. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2016.06.022>