



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

TEMA

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA DBO Y DQO
EN EL AGUA RESIDUAL DOMESTICA USANDO UN
HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL CON
LECHO DE ZEOLITA**

TUTOR

ING. PABLO MARIO PAREDES RAMOS

AUTORES

**JEFFERSON SERGIO CERCADO MIRANDA
JACQUELINE DAMARIZ ZANDE DE LA ESE**

GUAYAQUIL 2019



| | |
|---|--|
| REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA | |
| FICHA DE REGISTRO DE TESIS | |
| <p>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</p> <p>Evaluación del comportamiento de la DBO y DQO en el agua residual domestica usando un humedal artificial de flujo subsuperficial con lecho de zeolita</p> | |
| <p>AUTOR/ES:</p> <p>Zande De La Ese Jacqueline Damariz y Cercado Miranda Jefferson Sergio</p> | <p>REVISORES O TUTORES:</p> <p>Paredes Ramos Pablo Mario</p> |
| <p>INSTITUCIÓN:</p> <p>Universidad Laica Vicente Roca fuerte de Guayaquil</p> | <p>Grado obtenido:</p> <p>Tercer Nivel</p> |
| <p>FACULTAD:</p> <p>INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN</p> | <p>CARRERA:</p> <p>INGENIERÍA CIVIL</p> |
| <p>FECHA DE PUBLICACIÓN:</p> <p>2019</p> | <p>N. DE PAGS:</p> <p>111</p> |
| <p>ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y construcción</p> | |

RESUMEN:

En Ecuador para el mejoramiento de tratamiento de agua residual doméstica existen varias alternativas, en el cual aportamos con un innovador proceso de filtración. Esto se realizó, ejecutando los respectivos análisis para determinar la disminución de materia orgánica, nitrógeno entre otros parámetros físicos y químicos. Con este estudio se pretende realizar un sistema de tratamiento de agua residual domestica usando como material filtrante la zeolita (Piedra Volcánica), que alcanzo una agua de calidad que cumplió con las Normas nacionales e internacionales en cuanto a su reutilización como agua de riego de cultivo u otros usos. Se realizó la adecuación de la Planta piloto, para trabajar en el estudio de la evaluación del comportamiento de la DBO y DQO en el agua residual domestica usando un humedal artificial de flujo subsuperficial con lecho de zeolita, en el análisis de la concentración y remoción de DBO, DQO y Oxígeno, se obtuvo resultados que cumplieron con los límites de descarga al sistema de alcantarillado público tanto como límites de descarga a un cuerpo de agua dulce del (TULAS) Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Medio Ambiente. Con base a los resultados obtenidos en la investigación, se pudo deducir que este método utilizando como lecho filtrante la zeolita es viable y económico para evaluar el comportamiento de la remoción de contaminantes de tipo orgánicos y agentes patógenos de aguas residuales domésticas, los promedios de remoción de contaminantes DBO, DQO y nitrógeno están por encima del 80% de eficacia, además de fácil mantenimiento y operación.

| | | |
|--|---|---|
| N. DE REGISTRO (en base de datos): | N. DE CLASIFICACIÓN: | |
| DIRECCIÓN URL (tesis en la web): | | |
| ADJUNTO PDF: | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| CONTACTO CON AUTOR/ES: Zande De La Ese Jacqueline Damariz Cercado Miranda Jefferson Sergio | Teléfono: 0981110742 0969375507 | E-mail: jacquelinez94@hotmail.com jcermir@hotmail.com |
| CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN: | Mg. Alex Salvatierra Espinoza , Decano Teléfono: (04) 259 6500 Ext. 241 E-mail: asalvatierrae@ulvr.edu.ec | |

CERTIFICADO DE SIMILITUDES

URKUND

Urkund Analysis Result


Analysed Document: TESIS FINAL EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DEL DBO Y DQO EN AARR CON ZEOLITA URKUND.docx (D44934889)
Submitted: 12/3/2018 2:52:00 PM
Submitted By: pparedesr@ulvr.edu.ec
Significance: 6 %

Sources included in the report:

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000300004#f1
<https://www.carbotecnia.info/encyclopedia/filtros-de-lecho-profundo/>
<http://artesianiajunco.blogspot.com/2012/06/descripcion-del-junco.html>
<http://humedalesbogota.com/2012/08/01/plantas-acuaticas-en-los-humedales-de-bogota/>
<https://steemit.com/stem-espanol/@joseleogon/demanda-quimica-de-oxigeno-dqo-y-demanda-biologica-de-oxigeno-dbo>
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-71072013000100007

Instances where selected sources appear:

16

Firma: 
PABLO MARIO PAREDES RAMOS
C.I. # 0911828150

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

Los/as estudiantes/egresados/as JACQUELINE DAMARIZ ZANDE DE LA ESE Y JEFFERSON SERGIO CERCADO MIRANDA, declaro (amos) bajo juramento, que la autoría del presente trabajo de investigación, corresponde totalmente a los/as suscritos/as y nos responsabilizamos con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedemos nuestros derechos patrimoniales y de titularidad a la UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL, según lo establece la normativa vigente.

Este proyecto se ha ejecutado con el propósito de estudiar la Evaluación del comportamiento de la DBO y DQO en el agua residual domestica usando un humedal artificial de flujo subsuperficial con lecho de zeolita.

Autor(es)



Firma:
JEFFERSON SERGIO CERCADO MIRANDA
C.I. 0914820741



Firma:
JACQUELINE DAMARIZ ZANDE DE LA ESE
C.I. 0941472540

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor(a) del Proyecto de Investigación en la EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA DBO Y DQO EN EL AGUA RESIDUAL DOMESTICA USANDO UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL CON LECHO DE ZEOLITA, designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería Industria y Construcción de la Universidad LAICA VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Proyecto de Investigación titulado: “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA DBO Y DQO EN EL AGUA RESIDUAL DOMESTICA USANDO UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL CON LECHO DE ZEOLITA”, presentado por los estudiantes **JEFFERSON SERGIO CERCADO MIRANDA Y JACQUELINE DAMARIZ ZANDE DE LA ESE** como requisito previo, para optar al Título de INGENIERO CIVIL, encontrándose apto para su sustentación

Firma:



ING. PABLO MARIO PAREDES RAMOS

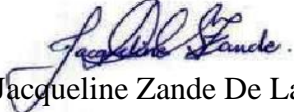
C.I. # 0911828150

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas. A mis padres y hermanas que sin duda alguna me apoyaron y tuvieron confianza en mí, corrigiendo y celebrando mis buenos y malos momentos, de cada etapa de mi vida, sé que están orgullosos de la persona que me han convertido.

Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal que hacen la Universidad Laica Vicente Rocafuerte, Facultad de Ingeniería Industria y Construcción, por confiar en mí, abrirme las puertas y permitirme realizar todo el proceso investigativo dentro de su establecimiento educativo.

Al Tutor de tesis, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma. Gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.


Jacqueline Zande De La Ese

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

Al Tutor de la tesis, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma. Gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

Agradezco también la confianza y el apoyo brindado por parte de mi Padre, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me ha demostrado su confianza, corrigiendo mis faltas, celebrando mis triunfos y sé que está orgulloso de la persona en la cual me he convertido.

A toda mi familia en general que supieron confiar en mí.



Jefferson Sergio Cercado Miranda

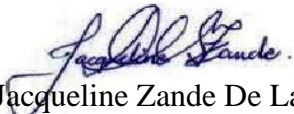
DEDICATORIA

El presente proyecto, lo dedico principalmente a Dios, por darme fuerzas para continuar en este proceso de obtener la meta deseada, a mis padres, por brindarme su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí, y poder llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

A mis hermanas, sobrina y toda mi familia en general por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindaron y motivaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

A mi amigo y compañero de tesis, con quien compartí experiencias en el transcurso de la carrera de ingeniería civil.

A todas las personas profesores y amigos que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.


Jacqueline Zande De La Ese

DEDICATORIA

Al creador de todas las cosas, el que me ha dado fortaleza para continuar cuando a punto de caer he estado; por ello, con toda la humildad que de mi corazón puede emanar, dedico primeramente mi trabajo a Dios.

De igual forma, dedico esta tesis a mi Padre que ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles, a mi madre aunque no esté conmigo su recuerdo y demostración de una madre ejemplar me ha enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos.

A mi familia en general, porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos, el cual los hijos son la fortaleza que me ayuda a seguir adelante. Y mi amiga y compañera de tesis que gracias al equipo que formamos hicimos de esta experiencia una de las más especiales.

A mis profesores, gracias por su tiempo, por su apoyo así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional. Al tutor de tesis, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma.



Jefferson Sergio Cercado Miranda

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-------|
| CERTIFICADO DE SIMILITUDES..... | iv |
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES | v |
| CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR..... | vi |
| AGRADECIMIENTO | vii |
| AGRADECIMIENTO..... | viii |
| DEDICATORIA | ix |
| DEDICATORIA | x |
| ÍNDICE GENERAL | xi |
| ÍNDICE DE TABLAS | xiv |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIÓN | xv |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xvii |
| ÍNDICE DE ANEXOS..... | xviii |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| CAPÍTULO I | 4 |
| DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN | 4 |
| 1.1. Tema..... | 4 |
| 1.2. Planteamiento del problema..... | 4 |
| 1.3. Formulación del problema..... | 5 |
| 1.4. Sistematización del problema..... | 5 |
| 1.5. Objetivos..... | 5 |
| 1.5.1 Objetivo general | 5 |
| 1.5.2 Objetivos específicos | 6 |
| 1.6. Justificación..... | 6 |

| | |
|---|-----------|
| 1.7. Delimitación del problema. | 7 |
| 1.8. Hipótesis. | 7 |
| 1.8.1. Variable Independiente. | 8 |
| 1.8.2. Variable Dependiente. | 8 |
| CAPÍTULO II..... | 9 |
| MARCO TEÓRICO..... | 9 |
| 2.1. Antecedentes | 9 |
| 2.2. Marco conceptual. | 10 |
| 2.2.1. Demanda química de oxígeno (DQO)..... | 10 |
| 2.2.2. Relación entre DBO y DQO. | 11 |
| 2.2.3. Relación $DBO/DQO = DBO \div DQO$ | 11 |
| 2.2.4. Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO). | 12 |
| 2.2.5. Aguas residuales..... | 13 |
| 2.2.6. Tipos de Sistemas para humedales..... | 17 |
| 2.2.7. Zeolita. | 20 |
| 2.2.8. Plantas acuáticas..... | 25 |
| 2.2.9. Raíces. | 27 |
| 2.2.10. Descripción del junco..... | 29 |
| 2.2.11. Microorganismos. | 31 |
| 2.2.12. Mecanismos de remoción de contaminantes..... | 31 |
| 2.2.13. Lechos filtrantes. | 40 |
| 2.3. Marco legal..... | 48 |
| 2.3.1. Ley de la Constitución del Ecuador | 48 |
| 2.3.2. Texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente “TULAS”. | 50 |
| 2.3.3. Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental..... | 51 |
| 2.3.4. Anexo 1 del libro vi del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente: norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua..... | 51 |
| CAPÍTULO III | 54 |

| | |
|---|-----------|
| METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN | 54 |
| 3.1. Tipos de metodologías..... | 54 |
| 3.2. Implementación de la Planta piloto. | 57 |
| 4.1. Determinación de capacidad de remoción del DQO y DBO, en un humedal artificial de flujo subsuperficial con lecho de zeolita..... | 72 |
| 4.1.2 Ecuación de cálculo de porcentaje de remoción de DQO..... | 73 |
| 4.2 Tasas de remoción de nitrógeno, en un humedal artificial de flujo subsuperficial con lecho de zeolita | 74 |
| 4.3 Efectividad de remoción de DBO Y DQO del humedal artificial en varias alturas del lecho de zeolita | 75 |
| 4.4 Costo general del sistema implementado | 79 |
| CONCLUSIONES | 80 |
| RECOMENDACIONES | 86 |
| BIBLIOGRAFIA | 87 |
| ANEXOS | 89 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|----------|--|----|
| Tabla 1 | Parámetros Permisibles en Descargas de aguas Residuales..... | 12 |
| Tabla 2 | Principales procesos y mecanismos que ocurren en los humedales..... | 32 |
| Tabla 3 | Límites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público del TULAS | 52 |
| Tabla 4 | Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua dulce del TULAS | 53 |
| Tabla 5 | Concentración obtenida de DBO en planta piloto | 70 |
| Tabla 6 | Concentración obtenida de DQO en planta piloto | 71 |
| Tabla 7 | Concentración obtenida de NITROGENO en planta piloto..... | 72 |
| Tabla 8 | Resumen de Porcentajes de Remoción DBO..... | 73 |
| Tabla 9 | Resumen de porcentajes Remoción DQO..... | 74 |
| Tabla 10 | Resumen de tasas de remoción Nitrógeno | 75 |
| Tabla 11 | Costo Sistema Implementado | 79 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIÓN

| | |
|--|----|
| <i>Ilustración 1</i> Limpieza del Humedal Artificial subsuperficial horizontal y tanque de almacenamiento del agua residual doméstica..... | 57 |
| <i>Ilustración 2</i> Limpieza de tanque inicial para almacenamiento de aguas residuales doméstica | 58 |
| <i>Ilustración 3</i> Medición de Tuberías en Salida del Tanque | 58 |
| <i>Ilustración 4</i> Colocación de Tuberías en la Salida del Tanque..... | 59 |
| <i>Ilustración 5</i> Material para el Planta Piloto La Zeolita..... | 59 |
| <i>Ilustración 6</i> Material Para el Planta Piloto Arena de Rio..... | 60 |
| <i>Ilustración 7</i> Material Para el Planta Piloto Piedrilla de 1/8..... | 60 |
| <i>Ilustración 8</i> Material Colocado en el Humedal Artificial | 61 |
| <i>Ilustración 9</i> Flauta con Perforaciones de Diámetro $\frac{3}{4}$ mm | 62 |
| <i>Ilustración 10</i> Tanque con Agua residual Doméstica | 62 |
| <i>Ilustración 11</i> Cisterna de Aguas Residual Domestica..... | 63 |
| <i>Ilustración 12</i> Abertura de válvula para que ingrese el caudal inicial de Agua Residual Doméstica..... | 63 |
| <i>Ilustración 13</i> Material Humedecido Primer Día de Prueba..... | 64 |
| <i>Ilustración 14</i> Toma de Muestra de Entrada de Agua Residual doméstica | 65 |
| <i>Ilustración 15</i> Toma de Primera muestra de Salida de Agua Residual..... | 65 |
| <i>Ilustración 16</i> Colocación primera capa de zeolita..... | 66 |

| | |
|---|----|
| <i>Ilustración 17</i> Colocación del Material en el Humedal Artificial Para el Segundo Día | 67 |
| <i>Ilustración 18</i> Material Humedecido en el Humedal Segundo Día de Prueba | 68 |
| <i>Ilustración 19</i> Toma de la Segunda Muestra de Salida de Agua Residual Domestica. | 68 |
| <i>Ilustración 20</i> Toma de la Tercera Muestra de Agua Residual Domestica. | 69 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| <i>Figura 1</i> Humedal | 18 |
| <i>Figura 2</i> Enea..... | 25 |
| <i>Figura 3</i> Junco de Rio | 26 |
| <i>Figura 4</i> Planta Herbácea Monocotiledónea..... | 30 |
| <i>Figura 5</i> Diagrama del Metabolismo del Nitrógeno | 35 |
| <i>Figura 7</i> Concentración de DBO | 75 |
| <i>Figura 8</i> Concentración de DQO | 76 |
| <i>Figura 9</i> Concentración de nitrógeno. | 76 |
| <i>Figura 10</i> Porcentaje de remoción DBO..... | 77 |
| <i>Figura 11</i> Porcentaje de remoción DQO. | 77 |
| <i>Figura 12</i> Porcentaje remoción nitrógeno..... | 78 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|--|----|
| Anexo 1 Análisis de resultado primera muestra de entrada y salida..... | 89 |
| Anexo 2 Análisis de resultado segunda muestra salida | 90 |
| Anexo 3 Análisis de resultado tercera muestra de salida..... | 91 |
| Anexo 4 Artículo de Revista..... | 92 |
| Anexo 5 Ficha Técnica..... | 93 |

INTRODUCCIÓN

En la actualidad es necesario utilizar el lecho de Zeolita en el humedal artificial con flujo subsuperficial, para que se permita dar solución al problema medio ambiental, este tipo de sistema de tratamiento comprueba su alta efectividad de remoción de DBO y DQO, a su vez establece las tasas de remoción de nitrógeno(N) en un humedal artificial de flujo subsuperficial con lecho de Zeolita.

Con esto quiero decir, que para evaluar el material alternativo en este proyecto permite conocer el comportamiento de la demanda biológica de oxígeno y demanda química de oxígeno del agua residual doméstica, en efecto con el material filtrante que contiene minerales de la familia de los aluminosilicatos (minerales compuestos de aluminio, silicio y oxígeno), además que se encuentran en la naturaleza y al secarse desarrollan gran porosidad esto incentiva investigar, buscar y reducir el impacto ambiental que causa las agua residuales no tratadas.

La importancia de esta investigación es su funcionabilidad ya que contribuye a la protección del medio ambiente, que busca desarrollar nuevos procesos de filtración para el tratamiento de las aguas residuales que a su vez estas aguas ya tratadas sean reutilizadas como por ejemplo en zonas agrícolas dado que los más beneficiados serán las generaciones futuras.

Las aguas residuales son materiales procedentes de residuos domésticos o de procesos industriales, los cuales por razón de salud pública y por consideraciones de recreación económica y estética no pueden desecharse ni dispersar sin tratamiento alguno en lagos o corrientes convencionales, su alto grado de contaminación es tal que demandan de sistemas de canalización, tratamientos y desalojos para no generar graves problemas en nuestro medio ambiente.

Como resultado la construcción de humedales artificiales de flujo subsuperficial rellenos con arena, piedrilla y zeolita donde se planta vegetación acuática actúa tanto como filtro para eliminar sólidos. Se obtiene un porcentaje de remoción de los parámetros DBO₅ en las aguas residuales domésticas, al mismo tiempo con el lecho de zeolita remover más cantidad de nitrógeno.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo demostraran que es posible implementar la tecnología de humedales artificiales de flujo subsuperficial, con lecho de zeolita, para el tratamiento de aguas residuales domésticas de forma económica y ambientalmente responsable. Es decir que el lecho filtrante zeolita puede fomentar el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización.

El tratamiento de aguas residuales que consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente del uso humano. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable en el ambiente , convenientes para su disposición o reúso.

Las zeolitas naturales son un medio filtrante nuevo y muy bueno disponible para la filtración del agua. Ofrece un funcionamiento superior a los filtros de arena y carbón, con una calidad más pura y mayores tasas de rendimiento sin necesidad de altos requisitos de mantenimiento, tiene muchas ventajas sobre la arena y puede ser directamente reemplazado por la arena en un filtro normal.

Se implanta el planta piloto colocando el material filtrante en el humedal artificial con flujo subsuperficial, comenzando con una altura de 25 cm adicionando 10 cm diarios hasta llegar a 45 cm del lecho filtrante zeolita a su vez el caudal inicial para la prueba es de 42 litros de agua residual doméstica y el tiempo de 3.35 minutos, equivalente a 0.21 l/s.

El tiempo para humedecer el material filtrante es de 20 minutos, para luego abrir la llave de paso y tomar las muestras de entrada y tres muestras diarias de salida por tres días para ser llevada al laboratorio de calidad de aguas “INGEESTUDIOS”, el cual es un laboratorio acreditado por el SAE (Servicio De Acreditación Ecuatoriano), mismo que se encargará dar resultados de DBO, DQO y Nitrógeno.

Con base a los resultados que se obtiene en la investigación, se concluirá que el humedal artificial de flujo subsuperficial, utilizando como lecho filtrante zeolita es viable para evaluar el comportamiento de la remoción de aguas residuales domésticas, que los promedios de remoción de los parámetros DBO₅, DQO y nitrógeno están por encima del 80% de eficacia.

CAPÍTULO I

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Tema.

Evaluación del comportamiento de la DBO y DQO en el agua residual domestica usando un humedal artificial de flujo subsuperficial con lecho de zeolita.

1.2. Planteamiento del problema.

Por desconocimiento humano de nuestro medio ambiente, cada día afecta más la vida de los seres vivos, es dispensable el estudio del tratamiento de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) de las aguas residuales doméstica, las misma que puedan ser reutilizables para otros medios, para así buscar solución a esta problemática.

El seguimiento se realizará, buscando un nuevo material filtrante para un humedal artificial dando ejecución a los respectivos análisis evaluando el comportamiento para así determinar cuáles serían los porcentajes de disminución de estos parámetros físicos y químicos, entre estos la DBO, DQO y NITROGENO, esta problemática incentiva a investigar, buscar y reducir el impacto ambiental que causan las aguas residuales no tratadas.

Para obtener datos fiables sobre la efectividad del sistema se plantearán la toma decisión sobre la metodología experimental para el trabajo a desarrollar, realizando muestreos durante un amplio periodo que abarcará desde el desarrollo inicial del humedal construido hasta su régimen normal de funcionamiento, las tomas de muestras se tendrán que evaluar como objetivo principal, la obtención de una porción de agua

cuyo volumen sea lo suficientemente pequeño como para que pueda ser transportado y manipulado con facilidad en el laboratorio, pero que mantenga con exactitud las características del agua de procedencia.

1.3. Formulación del problema.

¿De qué manera afecta el comportamiento de la DBO y DQO en el agua residual doméstica, usando como material filtrante la zeolita?

1.4. Sistematización del problema.

¿Cuál es la capacidad de remoción de DQO y DBO (demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno), en un humedal artificial de flujo subsuperficial, con lecho de zeolita?

¿Cuáles son las tasas de remoción de nitrógeno (N), en un humedal artificial de flujo subsuperficial, con lecho de zeolita?

¿Cómo se comporta la efectividad de remoción de DBO y DQO del humedal artificial en varias alturas del lecho de zeolita?

1.5. Objetivos.

1.5.1 Objetivo general

Evaluar el comportamiento de la DBO y DQO en el agua residual doméstica mediante el lecho de zeolita para una óptima filtración.

1.5.2 Objetivos específicos

1. Determinar la capacidad de remoción de DQO y DBO (demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno), en un humedal artificial de flujo subsuperficial, con lecho de zeolita.
2. Calcular las tasas de remoción de nitrógeno (N), en un humedal artificial de flujo subsuperficial, con lecho de zeolita.
3. Evaluar el comportamiento de la efectividad de remoción de DBO y DQO del humedal artificial en varias alturas del lecho de zeolita.

1.6. Justificación.

Para la evaluación del comportamiento de la DBO y DQO en el agua residual domestica usando un humedal artificial de flujo subsuperficial con lecho de zeolita. Es necesario conocer de qué manera afecta el comportamiento de los mismos parámetros existentes en el agua residual doméstica, usando como material filtrante la zeolita para una óptima filtración.

La importancia radica en reutilizar el agua tratada, buscando reducir el impacto ambiental que causa las aguas residuales no tratadas con esto darle otra funcionalidad en el ámbito de la ingeniería, ya que lo más afectados o beneficiarios serán las generaciones futuras, con este proyecto de investigación, que corresponde a la metodología experimental científica para la evaluación del comportamiento de la DBO y DQO en el agua residual domestica usando un humedal artificial de flujo subsuperficial con lecho de zeolita.

El proyecto tiene como objetivo principal evaluar el comportamiento, para así determinar la capacidad de efectividad de remoción de la DBO, DQO y calcular las tasas de remoción de nitrógeno. Utilizando el lecho de zeolita como filtro se logrará dar una solución al problema medio ambiental. En un tiempo de seis meses en la Planta piloto ubicada en la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.

1.7. Delimitación del problema.

| | |
|-------------------------------|--|
| Campo: | Educación Superior Tercer Nivel |
| Aspecto: | Investigación Experimental |
| Área: | Ingeniería Civil. |
| Tema: | Evaluación del comportamiento de la DBO y DQO en el agua residual domestica usando un humedal artificial de flujo subsuperficial con lecho de zeolita. |
| Delimitación Espacial: | Guayaquil, Planta piloto ULVR |
| Delimitación Temporal: | 6 meses |

1.8. Hipótesis.

Evaluando el comportamiento de la DBO y DQO en el agua residual doméstica se obtendrán porcentajes de efectividad de remoción, y se calculará las tasas de remoción de nitrógeno usando como lecho filtrante la zeolita en un humedal artificial con flujo subsuperficial.

1.8.1. Variable Independiente.

Evaluando el comportamiento de la DBO y DQO en el agua residual doméstica se obtendrán porcentajes de efectividad de remoción, y se calculará las tasas de remoción de nitrógeno.

1.8.2. Variable Dependiente.

Usando como lecho filtrante la zeolita en un humedal artificial con flujo subsuperficial

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes.

La DQO y DBO representan la cantidad de oxígeno requerida por las sustancias y microorganismos presentes en el agua, vale la pena señalar que estas pruebas se utilizan mayormente en el caso de aguas residuales o en cuerpos de aguas donde se sospeche contaminación, y rara vez son utilizadas en el caso de aguas potables. (Joseleogon, s.f.)

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente del uso humano. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango (también llamado BIOS olido o lodo) convenientes para su disposición o reúso.

Es muy común llamarlo depuración de aguas residuales para distinguirlo del tratamiento de aguas potables. (EcuRed, s.f.). Los sistemas de humedales artificiales son tratamientos biológicos con gran potencial por su facilidad de operación y por representar técnica y económicamente una opción viable para ser utilizados.

Estos sistemas artificiales consisten en un diseño de áreas con sustrato saturado por aguas superficiales o subterráneas y con Plantas emergentes, con una distribución y duración suficientes para mantener condiciones saturadas. El agua residual pasa a

través del humedal y es depurada por los microorganismos existentes. Sin embargo, el agua resultante no es potable, pero puede utilizarse para riego agrícola y forestal, limpiar maquinaria, vehículos y equipo industrial o bien para uso sanitario. (Galindo, 2013).

La zeolita es un mineral microporosos miembro del grupo de los aluminosilicatos, que se usa comercialmente como absorbente, aunque sus aplicaciones en la sociedad son variadas que van desde su uso en pastillas antidiarreicas, hasta como alimento para animales de granjas. El término "zeolita" fue acuñado en 1756 por el geólogo sueco Axel Fredrik Cronstedt, que observó como a medida que se calentaba una muestra de estilbita, se producía vapor a partir del agua que había sido absorbida por la muestra. Por este fenómeno, llamó al mineral zeolita, que se deriva de la unión de las palabras griegas (zeō), que significa "hervir" y (lithos), que significa "piedra". (EcuRed, s.f.)

2.2. Marco conceptual.

2.2.1. Demanda química de oxígeno (DQO).

Se refiere a la cantidad de oxígeno necesario para degradar por medio de un proceso de oxidación, la totalidad de la carga orgánica presente en el agua. Es la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para la degradación de las sustancias presentes en el agua, debido a que no todas las sustancias contaminantes en el agua son susceptibles a la degradación de tipo biológico, este valor siempre será menor o igual a de la DQO. (Joseleogon, 2018)

2.2.2. Relación entre DBO y DQO.

Se obtiene al dividir el resultado obtenido de la demanda biológica de oxígeno entre el obtenido para la demanda química de oxígeno.

2.2.3. Relación $DBO/DQO = DBO \div DQO$.

El resultado de esta relación es adimensional, sirve para definir el tipo de tratamiento a utilizar para la eliminación de cargas orgánicas en aguas de vertidos residuales. (Joseleogon, 2018). Cuando el valor de esta relación es inferior a 0,2 significa que la mayor parte de la carga orgánica presente en el agua no es biodegradable, por tal motivo el tratamiento químico sería el adecuado para su depuración.

Cuando el valor de la relación se encuentra entre 0,2 - 0,4 se interpreta que la materia orgánica presente responde a la bio-degradabilidad, por tal motivo los tratamientos de depuración recomendados son de tipo biológicos, como la utilización de cultivos bacterianos y lodos activos. (Joseleogon, 2018). Cuando este valor es superior a 0,4 significa que la materia orgánica presente es muy biodegradable y para su depuración solo bastaría con un tratamiento de lodos activos.

Las sustancias contaminantes en el agua consumirán el oxígeno disuelto de la misma para lograr su metabolización a sustancias más simples, no solamente estas sustancias agotaran el oxígeno del agua, también la acción bacteriana, los microorganismos utilizan el oxígeno del agua para completar sus procesos biológicos consumiendo los nutrientes presentes en la misma.

Ese exceso de nutrientes en el agua genera muchas veces las condiciones para la proliferación y multiplicación desordenada de algas y bacterias, las cuales terminan disminuyendo considerablemente el oxígeno disuelto y por consiguiente destruyendo

la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos, a este fenómeno se le conoce con eutrofización. (Joseleogon, 2018)

Con la finalidad de reducir esta problemática, a nivel internacional se han establecido regulaciones en cuanto a la carga orgánica de los vertidos a efluentes que generan las empresas, las actividades relacionadas con la agricultura y las aguas negras de origen doméstico, ya que en la mayoría de los casos estos vertidos terminan en ríos, lagunas y lagos. Es por ello que estas aguas deben cumplir ciertos requisitos mínimos para ser vertidas. (Joseleogon, 2018)

Tabla1
Parámetros Permisibles en Descargas de aguas Residuales

| PARAMETRO | UNIDAD | LIMITES PARA DESCARGA A: |
|------------------|---------------|-------------------------------------|
| DBO ₅ | mg/l | 200 |
| DQO | mg/l | 700 |

Fuente: (Joseleogon, 2018)

En la tabla 1 explica los parámetros permisibles en descarga de aguas residuales el mismo que demuestra que el límite para descarga en DBO₅ es de 200 mg/l y límite para descarga en DQO es de 700 mg/l.

2.2.4. Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO).

Su determinación se fundamenta en la degradación química toda la materia orgánica presente en el agua, mediante la acción de un agente oxidante fuerte, como los son el permanganato o el dicromato de potasio, el cual se hace reaccionar en un medio acidificado con ácido sulfúrico y con la presencia de sulfato de plata como catalizador. (EcuRed, s.f.)

2.2.5. Aguas residuales.

Son materiales derivados de residuos domésticos o de procesos industriales, los cuales por razones de salud pública y por consideraciones de recreación económica y estética, no pueden desecharse vertiéndolas sin tratamiento en lagos o corrientes convencionales. (EcuRed, s.f.)

2.2.5.1. Clasificación de las aguas residuales según su origen.

De acuerdo con su origen, las aguas residuales pueden ser clasificadas como:

- **Domésticas:** aquellas utilizadas con fines higiénicos (baños, cocinas, lavanderías, etc.). Consisten básicamente en residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de descargas de instalaciones hidráulicas de la edificación también en residuos originados en establecimientos comerciales, públicos y similares. (EcuRed, s.f.)
- **Industriales:** son líquidos generados en los procesos industriales. Poseen características específicas, dependiendo del tipo de industria. (EcuRed, s.f.)
- **Infiltración y caudal adicionales:** las aguas de infiltración penetran en el sistema de alcantarillado a través de los empalmes de las tuberías, paredes de las tuberías defectuosas, tuberías de inspección y limpieza, etc. Hay también aguas pluviales, que son descargadas por medio de varias fuentes, como canales, drenajes y colectores de agua de lluvia. (EcuRed, s.f.)
- **Pluviales:** son agua de lluvia: Que descargan grandes cantidades de agua sobre el suelo. Parte de esta agua es drenada y otro escurre por la superficie, arrastrando arena, tierra, hojas y otros residuos que pueden estar sobre el suelo. (EcuRed, s.f.)

2.2.5.2. Principales contaminantes.

Los principales contaminantes del agua son los siguientes: Aguas residuales y otros residuos que demandan oxígeno (en su mayor parte materia orgánica, cuya descomposición produce la desoxigenación del agua), agentes infecciosos. Nutrientes vegetales que pueden estimular el crecimiento de las Plantas acuáticas. Éstas, a su vez, interfieren con los usos a los que se destina el agua y, al descomponerse, agotan el oxígeno disuelto y producen olores desagradables. . (EcuRed, s.f.)

Productos químicos, incluyendo los pesticidas, varios productos industriales, las sustancias tenso activas contenidas en los detergentes, y los productos de la descomposición de otros compuestos orgánicos, Petróleo, especialmente el procedente de los vertidos accidentales, minerales inorgánicos y compuestos químicos. (EcuRed, s.f.). Sedimentos formados por partículas del suelo y minerales arrastrados por las tormentas y escorrentías desde las tierras de cultivo, los suelos sin protección, las explotaciones mineras, las carreteras y los derribos urbanos. . (EcuRed, s.f.)

Sustancias radiactivas procedentes de los residuos producidos por la minería y el refinado del uranio y el torio, las centrales nucleares y el uso industrial, médico y científico de materiales radiactivos. El calor también puede ser considerado un contaminante cuando el vertido del agua empleada para la refrigeración de las fábricas y las centrales energéticas hace subir la temperatura del agua de la que se abastecen. (EcuRed, s.f.)

2.2.5.3. El uso de aguas residuales.

Las aguas residuales para poder adaptarlas a las condiciones locales, sociales, económicas y ambientales se deben implementar paralelamente con otras intervenciones de salud como la promoción de la higiene, los servicios de agua

potable y saneamiento adecuados y otras medidas de atención primaria de la salud. (EcuRed, s.f.). En 1989, la Organización Mundial de la Salud (OMS) publicó las Guías sobre el Uso Seguro de Aguas Residuales en la Agricultura y Acuicultura.

2.2.5.4 Tratamiento de aguas residuales.

Éstas pueden ser tratadas dentro del sitio en el cual son generadas (por ejemplo: tanques sépticos u otros medios de depuración) o bien pueden ser recogidas y llevadas mediante una red de tuberías - y eventualmente bombas - a una Planta de tratamiento municipal. Los esfuerzos para recolectar y tratar las aguas residuales domésticas de la descarga están típicamente sujetas a regulaciones y estándares locales, estatales (regulaciones y controles). (EcuRed, s.f.).

A menudo ciertos contaminantes de origen industrial presentes en las aguas residuales requieren procesos de tratamiento especializado. El tratamiento de aguas residuales comienza por la separación física inicial de sólidos grandes (basura) de la corriente de aguas domésticas o industriales empleando un sistema de rejillas (mallas), aunque también pueden ser triturados esos materiales por equipo especial.

Posteriormente se aplica un desarenado (separación de sólidos pequeños muy densos como la arena) seguido de una sedimentación primaria (o tratamiento similar) que separe los sólidos suspendidos existentes en el agua residual. Para eliminar metales disueltos se utilizan reacciones de precipitación, que se utilizan para eliminar plomo y fósforo principalmente. A continuación, sigue la conversión progresiva de la materia biológica disuelta en una masa biológica sólida usando adecuadas, generalmente presentes en estas aguas. (EcuRed, s.f.)

Una vez que la masa biológica es separada o removida (proceso llamado sedimentación secundaria), el agua tratada puede experimentar procesos adicionales

(tratamiento terciario) como desinfección, filtración, etc. El efluente final puede ser descargado o reintroducido de vuelta a un cuerpo de agua natural (corriente, río o bahía) u otro ambiente (terreno superficial, subsuelo, etc.). Los sólidos biológicos segregados experimentan un tratamiento y neutralización adicional antes de la descarga o reutilización apropiada. (EcuRed, s.f.)

2.2.5.5. Depuración de aguas residuales.

Se realiza una agrupación basada en la acción que pueden ejercer los microorganismos de estas aguas sobre la salud del hombre, las Plantas y los animales o sobre las sustancias que llevan estas aguas. Es importante el papel de los microorganismos en la depuración del agua, para ello se divide en: (EcuRed, s.f.)

2.2.5.6. Acción de los microorganismos anaerobios.

Las bacterias anaerobias atacan y descomponen gran cantidad de las materias en suspensión que tiene el agua albañal. Por ello se colecta esta agua en depósitos profundos donde ocurre la descomposición anaeróbica. Estos microorganismos hidrolizan a compuestos más simples la celulosa, el almidón, las proteínas y las grasas. Se dice que puede solubilizarse el 50% de la materia orgánica. Escherichia, Aerobacter, Proteus, Clostridium. (EcuRed, s.f.).

2.2.5.7. Acción de los microorganismos aerobios.

El proceso aerobio disminuye la cantidad de sólidos suspendidos y disueltos en el agua albañal, mineralizando los productos del proceso anaerobio. Se usan tres métodos de purificación: (EcuRed, s.f.)

- **Lechos aerobios o de contacto:** son depósitos cuyo fondo está constituido por piedras, grava, gravilla y arena, dispuestas en capas. Se regula la entrada de agua y ocurre la oxidación y descomposición de las sustancias disueltas. Estos se usan en pequeñas ciudades. El agua puede devolverse a la circulación sin ningún peligro. (EcuRed, s.f.)

- **Sistema de riego subsuperficial:** se distribuye el agua en el terreno de modo que siempre prevalezcan en él las condiciones aerobias, por lo que el tanque séptico situado a 40-50cm por debajo de la superficie del suelo descarga periódicamente una o dos veces al día, para que no se sature el sistema. El agua tiende a subir por capilaridad y en este recorrido del proceso aerobio, descompone la materia orgánica, lo que origina el CO₂ que, con los cationes del suelo, da lugar a carbonatos. (EcuRed, s.f.)

- **Fondos activados:** consiste en hacer burbujear aire durante algunas horas a través de toda la masa de agua de las cloacas. La materia en suspensión se deposita en forma de barro estabilizado, inofensivo y el líquido decantado puede verterse sin peligro a lagos, mares, corrientes de agua, etc. El barro depositado puede venderse como fertilizante, para su posterior uso agrícola. (EcuRed, s.f.).

2.2.6. Tipos de Sistemas para humedales.

- Sistema según el material vegetativo
- Sistema según el flujo del agua
- Sistemas de flujo libre/humedales de flujo superficial (HFS)
- Sistemas con flujo horizontal subsuperficial (HFSS)

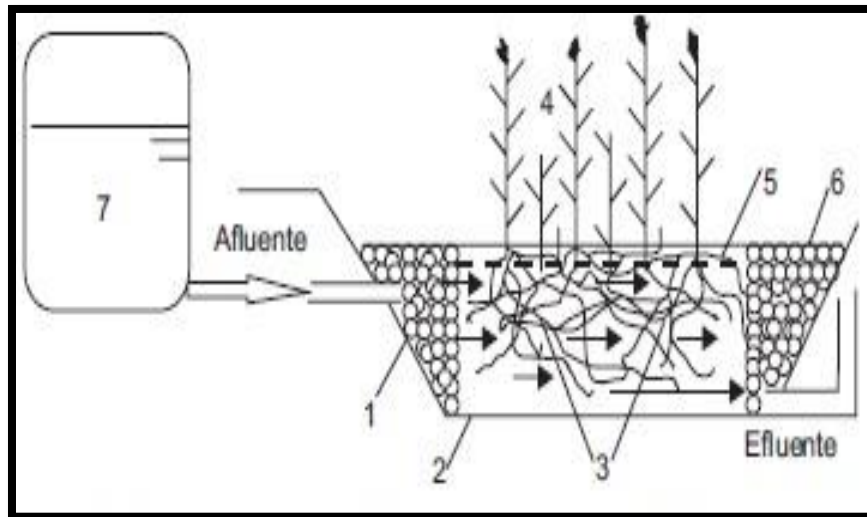


Figura 1 Humedal

Fuente: (Bedoya Perez, Ardila Arias, & Reyes Calle, 2014)

2.2.6.1. Según el Material Vegetativo.

Según las características del material vegetal predominante en los lechos estos se clasifican:

- Humedales construidos, basados en macrófitas flotantes. Ej. Eichhornia crassipes, lemna minor.
- Humedales construidos, basados en macrófitas de hojas flotantes. Ej.: Nymphaea alba, Potamogeton gramineus.
- Humedales construidos, con macrofitas sumergidas. Ej.: Littorella uniflora, Potamogeton crispus.
- Humedales construidos, con macrófitas emergentes. Ej.: Thypha latifolia, Phragmites australis, Vetiveria zizanoides. (Galindo, 2013).

El criterio más importante al momento de elegir el tipo de material vegetativo a utilizar es la adaptabilidad a las condiciones ambientales de la región donde se pretende implementar el sistema de tratamiento, sin embargo; según Arias y Brix

(2003) son los del tipo que posee macrófitas emergentes los que han demostrado mayor adaptación a condiciones adversas. (Galindo, 2013)

2.2.6.2. Según el Flujo del Agua.

Según Arias y Brix (2003) existe otro criterio para la clasificación de estas estructuras de tratamiento, siendo este el movimiento del agua en los lechos. (Galindo, 2013).

2.2.6.3. Sistemas de flujo libre/Humedales de flujo superficial (HFS).

El agua se vierte en superficie en un extremo del lecho, trasiega expuesta a la atmósfera, lenta y horizontalmente, para finalmente ser evacuada en el extremo opuesto del lecho, por medio de un vertedero. (Galindo, 2013)

2.2.6.4. Sistemas con flujo horizontal subsuperficial (HFSS).

El agua se distribuye en un extremo del lecho, se infiltra, trasiega en sentido horizontal a través de un medio granular de relleno y entre las raíces de las Plantas. Al final y en el fondo del lecho, el agua tratada se recoge y se evacua por medio de tuberías y/o vertederos. Las profundidades de estos humedales descritos no suelen exceder los 0.6 m. y para facilitar el trasiego del agua deben ser construidos con una leve pendiente en el fondo, pero manteniendo en lo posible las condiciones hidráulicas de flujo laminar. (Galindo, 2013).

Los lechos deben ser aislados del suelo subyacente para evitar la contaminación de suelos y de las aguas subterráneas. Se considera que las reacciones biológicas se deben a la actividad de los microorganismos adheridos a las superficies disponibles en el lecho y las raíces sumergidas, ya que estas últimas proporcionan también un sustrato

para los procesos microbiológicos y dado que la mayoría de las macrófitas emergentes pueden transmitir oxígeno de las hojas a las raíces, se presentan micro zonas aeróbicas en la superficie de las raíces y los rizomas. (Galindo, 2013).

El resto del medio sumergido de este tipo de humedal tiende a carecer de oxígeno lo que en general limita la remoción biológica de amoníaco por nitrificación, pero aun así el sistema es efectivo en la remoción de DBO, SST, metales y algunos contaminantes orgánicos prioritarios, dado que su tratamiento puede ocurrir bajo condiciones aeróbicas y anóxicas (EPA, 2000). (Galindo, 2013)

Las principales ventajas de mantener un nivel subsuperficial del agua son la prevención de mosquitos y olores y la eliminación del riesgo de que el público entre en contacto con el agua residual parcialmente tratada (EPA, 2000), para mayor detalle se presentan en el cuadro 1, tanto las ventajas como las desventajas de este tipo de humedal artificial. (Galindo, 2013).

2.2.7. Zeolita.

Las zeolitas son una familia de minerales aluminio silicatos hidratados altamente cristalinos, que al deshidratarse desarrollan, en el cristal ideal, una estructura porosa con diámetros de poro mínimos de 3 a 10 angstroms. Su estructura forma cavidades ocupadas por iones grandes y moléculas de agua con gran libertad de movimiento que permiten el cambio iónico y la deshidratación reversible, están compuestas por aluminio, silicio, sodio, hidrógeno, y oxígeno. (EcuRed, s.f.)

La estructura cristalina está basada en las tres direcciones de la red con SiO_4 en forma tetraédrica con sus cuatro oxígenos compartidos con los tetraedros adyacentes. Las propiedades físicas proveen aspectos únicos para una variedad amplia de

aplicaciones prácticas. Según Breck (1974) las zeolitas son caracterizadas por las siguientes propiedades: (EcuRed, s.f.).

- Alto grado de hidratación.
- Baja densidad y un gran volumen de vacíos cuando es deshidratado.
- La estabilidad de su estructura cristalina cuando se deshidrata.
- Las propiedades de intercambio del catión.
- Presenta canales moleculares uniformes clasificados en los cristales deshidratados.
- Por su habilidad de absorber gases y vapores.
- Por sus propiedades catalíticas. (EcuRed, s.f.).

Todas las zeolitas son consideradas como tamices moleculares, que son materiales que pueden absorber selectivamente moléculas en base a su tamaño, pero no todos los tamices moleculares son considerados como zeolitas, ya que también el carbón activado, las arcillas activadas, la alúmina en polvo, y la sílice en gel se consideran como tamices moleculares. (EcuRed, s.f.).

Existen dos grandes grupos por su forma de obtención en la naturaleza: naturales y sintéticas. Las naturales son extraídas de yacimientos, mientras las otras son producidas artificialmente en laboratorios. Hasta enero del 2008 se habían identificado 175 tipos zeolíticos únicos, entre zeolitas naturales y sintéticas, de ellos 40 naturales. Al ser un material poroso que se compone de moléculas de agua con libertad de movimiento y una gran variedad de cationes como Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} en sus cavidades de dimensiones moleculares. (EcuRed, s.f.).

Estos iones positivos pueden ser intercambiados por otros al entrar en contacto con una solución química, permitiendo el intercambio iónico. Esta propiedad físico-

química le brinda la versatilidad de aplicaciones tan grande que tiene este mineral, por lo cual ha sido llamado mineral del siglo XXI. Un ejemplo de fórmula mineral es la de la natrolita: $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$. (EcuRed, s.f.).

2.2.7.1. Propiedades de la zeolita.

2.2.7.1.1. Propiedades físicas.

Las propiedades físicas de una zeolita deben de considerarse de dos formas: Primero una descripción mineralógica de la zeolita desde el punto de vista de sus propiedades naturales, incluyendo la morfología, hábitos del cristal, gravedad específica, densidad, color, tamaño del cristal o grano, el grado de cristalización, resistencia a la corrosión y abrasión. (EcuRed, s.f.)

El segundo desde el punto de vista de su desempeño físico como un producto para cualquier aplicación específica, tomando en cuenta las características de brillantes, color, viscosidad de Brookfield, viscosidad de Hércules, área superficial, tamaño de partícula, dureza, resistencia al desgaste. La caracterización de cualquier zeolita siempre incluye la descripción básica de sus características mineralógicas y una evaluación al cambio con el efecto con la humedad las cuales son consideradas para las aplicaciones comerciales específicas. (EcuRed, s.f.).

2.2.7.1.2. Propiedades químicas.

El intercambio iónico es una de las propiedades más importantes de las zeolitas debido a que por un lado se pueden llevar a cabo modificaciones de las zeolitas, para cambiar sus propiedades superficiales (afinidad por compuestos orgánicos) y por otro lado, esta propiedad de intercambio iónico es útil en más de un proceso industrial, en la agricultura, en la acuicultura y en usos ambientales. (EcuRed, s.f.)

El comportamiento del intercambio iónico en una zeolita depende de:

- La topología de la red.
- El tamaño del ion y su carga.
- La densidad de carga de la zeolita.
- La concentración del electrolito en solución. (EcuRed, s.f.).

2.2.7.2. Aplicaciones de las Zeolitas.

Las zeolitas naturales son un medio filtrante nuevo y muy bueno disponible para la filtración del agua. Ofrece un funcionamiento superior a los filtros de arena y carbón, con una calidad más pura y mayores tasas de rendimiento sin necesidad de altos requisitos de mantenimiento. Tiene muchas ventajas sobre la arena y puede ser directamente reemplazado por la arena en un filtro normal de arena. (EcuRed, s.f.). Existen tres usos de zeolitas en industria: catálisis, separación de gas e intercambiador de iones.

2.2.7.2.1. Catálisis.

Zeolitas son extremadamente útiles como catalizadores para muchas reacciones importantes con moléculas orgánicas. Las más importantes son craqueo, isomerización y síntesis de hidrocarburos. Las zeolitas pueden promover una serie de reacciones catalíticas incluyendo ácido-base y reacciones de metal inducido. Las zeolitas también pueden ser catalizadores de ácidos y pueden usarse como soporte para metales activos o reactivos. (EcuRed, s.f.)

Las zeolitas pueden ser catalizadores selectivos en cuanto a la forma, tanto por la selectividad del estado de transición o por exclusión de reactivos competidores en base al diámetro de la molécula. También se han utilizado como catalizadores de oxidación.

Las reacciones tienen lugar dentro de los poros de la zeolita, que permite un mayor grado de control del producto. La principal aplicación industrial es: refinamiento del petróleo, producción de fuel e industria petroquímica. Las zeolitas sintéticas son los catalizadores más importantes en las refinerías petroquímicas. (EcuRed, s.f.).

2.2.7.2.2. Absorción.

Las zeolitas se usan para la absorción de una gran variedad de materiales. Esto incluye aplicaciones en secado, purificación y separación. Pueden remover agua a presiones parciales muy bajas y son unos desinfectantes muy efectivos, con capacidad de más de un 25% en peso con agua. Pueden extraer químicos orgánicos volátiles de las corrientes de aire, separar isómeros y mezclar gases. (EcuRed, s.f.)

Una propiedad de las zeolitas es su capacidad para la separación de gases. La estructura porosa de las zeolitas puede utilizarse como "tamiz" para moléculas con un cierto tamaño permitiendo su entrada en los poros. Esta propiedad puede cambiarse variando la estructura y así cambiando el tamaño y el número de cationes alrededor de los poros. Otras aplicaciones que pueden tener lugar dentro del poro incluyen la polimerización de materiales semiconductores y polímetros conductores para producir materiales con propiedad física y eléctrica extraordinaria. (EcuRed, s.f.)

2.2.7.2.3. Intercambio de iones.

Cationes hidratados dentro de los poros de la zeolita están unidos débilmente y preparados para intercambiarse con otros cationes cuando se encuentran en un medio acuoso. Esta propiedad permite su aplicación como ablandadores de agua, y el uso de zeolitas en detergentes y jabones. Los mayores volúmenes de uso de zeolitas son en la formulación de detergentes donde se reemplazan fosfatos como agentes ablandadores

del agua. Esto se realiza mediante el intercambio de sodio en la zeolita por Calcio y Magnesio presente en el agua (EcuRed, s.f.).

Incluso es posible remover iones reactivos del agua contaminada. En el Este de Europa, Japón y Cuba, las zeolitas han sido usadas tradicionalmente en agricultura. Sobre un 5% añadido en raciones para ganado reduce emisiones de amonio y olores, mejora la utilización de alimentos, ayuda a la adsorción de mico-toxinas y elementos traza. Hace muchos años la NASA utilizaba zeolitas cargadas de nutrientes como fertilizantes para la liberación lenta de nutrientes. (EcuRed, s.f.)

2.2.8. Plantas acuáticas.

Las Plantas acuáticas de los humedales cumplen un importante papel para el ecosistema, colaboran con la producción primaria, regulación de la calidad del agua, aportan detritus al sistema, absorben y liberan nutrientes, compiten entre ellas mismas, facilitan la diversificación de hábitats y alimento faunístico. (Escobar Moreno, 2012)



Figura 2 Enea

Fuente: (Escobar Moreno, 2012)

Familia: Typhaceae, nombres comunes: Enea, anea, tifa, espadaña, junco de estera, junco de la pasión, totora, caña de la pasión. Tifa o Espadaña, se le llama Enea como alteración de Anea (Prob. del árabe hispano annáyifa, y este del árabe clásico nā'ifah, la

que sobresale. Es una de las plantas más altas del género, ya que puede alcanzar los 3 m de altura. Tiene grandes matas de follaje verde medio. (Escobar Moreno, 2012).

Sus tallos son erectos, Las hojas miden hasta 18 mm de ancho sus flores son espigas en formas de cigarro, de 30 cm de largo; las masculinas se encuentran en la parte superior y las femeninas en la inferior. Puede ser extremadamente invasiva. En algunas regiones del país se le llama totora, del quechua tutura, con el que se designan Plantas usadas para hacer esteras o en construcción. (Escobar Moreno, 2012).



Figura 3 Junco de Rio
Fuente: (Escobar Moreno, 2012)

Familia: Cyperaceae, nombres comunes: Junco, junco triangular, totora, junco redondo. Es originaria de América del Norte, sus tallos pueden llegar a medir 4 metros, habita en la mayoría de los Humedales de la ciudad y es el sitio preferido para perchar de las monjitas (*Chrysomus icterocephalus bogotensis*). En los Humedales de Capellanía, Jaboque y el separador de la Autopista Norte, existen poblaciones numerosas. (Escobar Moreno, 2012).

2.2.9. Raíces.

Importancia de las raíces de las Plantas acuáticas en humedales artificiales, proporcionan una superficie adecuada para el crecimiento de la biopelícula, esta crece adherida a las partes subterráneas de las Plantas y sobre el medio granular, alrededor del máster en ingeniería hidráulica y medio ambiente 10 raíces se forman medios aerobios que dan lugar a procesos microbianos. (Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010).

La degradación de la materia orgánica, nitrificación o Disminución de las variaciones ambientales en las Plantas asimilan nutrientes eliminan entre un 20% de fósforo y un 10% de nitrógeno en aguas residuales urbanas en aguas diluidas la contribución es mayor. O Gestionan el depósito de sedimentos, regulan el régimen hídrico, retiene y procesa muchos productos ajenos a sus procesos metabólicos. (Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010).

Para seleccionar la vegetación para un sistema se debe tomar en cuenta las características propias de cada región, así como:

- Las especies deben ser nativas y colonizadoras activas, con eficaz extensión del sistema de rizomas.
- Especies que alcancen una biomasa considerable por unidad de superficie para conseguir una máxima asimilación de nutrientes.
- La biomasa subterránea debe poseer una gran superficie específica para potenciar el crecimiento de la biopelícula. (Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010).
- Eficaz sistema de transporte de oxígeno hacia las partes subterráneas para promover la degradación aeróbica y la nitrificación.

- Especies que puedan crecer fácilmente en condiciones ambientales proyectadas.
- Especies de elevada productividad.
- Tolerar los contaminantes presentes en las aguas residuales.
- Facilidad de mantenimiento.

(Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010).

La raíz es un órgano de las Plantas que crece en dirección inversa al tallo, introducido en la tierra o en otros cuerpos absorbe de éstos las materias necesarias para el crecimiento y el desarrollo del vegetal, y sirve de sostén. Las raíces de los árboles y arbustos de este tipo pueden estar dotadas de neumatóforos (raíz de geotropismo negativo), que captan oxígeno atmosférico para su respiración. . (Cirinsky Diez, 2015)

Las plantas xerófitas específicamente adaptadas a ambientes secos. Tienen raíces largas, que constituyen una extensa red superficial, como ocurre en los cactus, para aprovechar las lluvias esporádicas; o que profundizan en la tierra hasta alcanzar niveles freáticos o simplemente húmedos. La xilema está muy desarrollada, tiene vasos de gran diámetro que permiten la circulación rápida del agua (Cirinsky Diez, 2015)

Las plantas epifitas que crece sobre otro vegetal usándolo solamente como soporte, pero que no lo parásita. Las raíces pueden desarrollarse primariamente por adhesión y las estructuras especializadas (como las escamas y copas) son las que recogen y mantienen la humedad. Las raíces son adherentes, no les sirven como órganos de absorción y raramente alcanzan el suelo. (Cirinsky Diez, 2015)

Las plantas herbáceas y rizomatosas pueden presentarse de tres maneras:

1. Flotantes: Las raíces no se fijan al fondo y toda la Planta permanece flotando en la superficie. Están dotadas de aerénquima, que hacen su peso más leve. Poseen raíces cortas y simples con caliptra, pero sin pelos absorbentes, que sirven principalmente para asegurar el equilibrio de la Planta sobre el agua (Cirinsky Diez, 2015).

2. Anfibias: parte de la Planta permanece fuera del agua, pero por lo menos las raíces están inmersas al fondo. La raíz es similar a las Plantas terrestres, ya que fijan a la Planta y están bien desarrollados. Como el factor limitante es la disponibilidad de oxígeno, presentan aerénquima (Cirinsky Diez, 2015).

3. Sumergidas: las raíces están fijas al fondo y todo el cuerpo de la Planta permanece debajo del agua. (Cirinsky Diez, 2015)

2.2.10. Descripción del junco.

La Planta del junco es una Planta herbácea monocotiledónea de la familia de las juncáceas con ramas aéreas provistas y una médula esponjosa, flores hermafroditas, cápsulas como fruto y tallos flexibles. (Castilla, 2012)



Figura 4 Planta Herbácea Monocotiledónea

Fuente: (depositphotos)

2.2.10.1. Principales características del junco.

La Planta del junco es una Planta herbácea monocotiledónea de la familia de las juncáceas con ramas aéreas provistas y una médula esponjosa, flores hermafroditas, cápsulas como fruto y tallos flexibles, alcanza una altura máxima de 5 metros la cual se debe cultivar en tierras fértiles y clima fresco a una altura superior al de los 500 metros sobre el nivel del mar. (Castilla, 2012).

Necesita bastante humedad para reproducirse, debido a que cada 20 días los tallos producen una vaina apta para transformarse en materia prima, las especies utilizadas son macrófitas emergentes típicos de las zonas húmedas como el carrizo, los juncos y la espadaña. Todas estas Plantas pueden vivir en ambientes sumergidos, sus espacios vacíos permiten el transporte de gases desde las partes aéreas hasta las subterráneas, sus rizomas tienen una capacidad colonizadora (Castilla, 2012)

2.2.11. Microorganismos.

Los microorganismos se encargan de realizar el tratamiento biológico. En la zona superior del humedal, donde predomina el oxígeno liberado por las raíces de las Plantas y el oxígeno proveniente de la atmósfera, se desarrollan colonias de microorganismos aerobios. En el resto del lecho granular predominarán los microorganismos anaerobios. (Castilla, 2012)

Los principales procesos que llevan a cabo los microorganismos son la degradación de la materia orgánica, la eliminación de nutrientes y elementos traza y la desinfección. Los principales microorganismos presentes en la biopelícula de los humedales son: Bacterias, levaduras, hongos y protozoarios. La biomasa microbiana consume gran parte del carbono y muchos nutrientes. (Castilla, 2012).

La actividad microbiana tiene la función de transformar un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas e insolubles y alterar las condiciones de potencial de reducción y oxidación del sustrato afectando así a la capacidad de proceso del humedal. Asimismo, gracias a la actividad biológica, muchas de las sustancias contaminantes se convierten en gases que son liberados a la atmósfera. (Castilla, 2012)

2.2.12. Mecanismos de remoción de contaminantes.

En un humedal artificial se desarrollan diferentes mecanismos de remoción de contaminantes del agua residual. Evidentemente, un amplio rango de procesos biológicos, químicos y físicos tiene lugar. Por lo tanto, la influencia e interacción de cada componente involucrado es bastante compleja. Degradación microbiana (aeróbica y anaeróbica) y sedimentación que es la acumulación de material orgánica, lodo en la superficie del sedimento. (Castilla, 2012).

Tabla 2
Principales procesos y mecanismos que ocurren en los humedales

| PARÁMETRO EVALUADO | MECANISMO DE REMOCIÓN |
|---------------------------|--|
| Sólidos suspendidos | Sedimentación/ filtración |
| DBO ₅ | Degradación microbiana (aeróbica y anaeróbica). Sedimentación (acumulación de material orgánica/lodo en la superficie del sedimento). |
| Nitrógeno amoniacal | Amonificación seguida por nitrificación y de nitrificación amoniacal. Captado por la Planta. |
| Patógenos | Sedimentación/ filtración. Declinación. Radiación ultravioleta. Excreción de antibióticos por las raíces de las macrófitas. |

Fuente: (Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010)

2.2.12.1. Remoción de sólidos suspendidos.

Aunque la mayor parte de los sólidos suspendidos y sedimentables son removidos en el tratamiento previo, los humedales filtran y sedimentan los remanentes, complementando esta remoción. En efecto, las raíces de las macrófitas y el sustrato reducen la velocidad del agua, favoreciendo ambos procesos. El tratamiento previo es muy importante para evitar obstrucciones y la rápida colmatación del humedal. (Castilla, 2012)

Orgánicos + O₂ Microorganismos aeróbicos + CO₂ + H₂O + energía

Remoción de materia orgánica

La biodegradación es realizada por los microorganismos, los cuales están adheridos a la Planta, en particular a las raíces y a la superficie de los sedimentos. Todos los microorganismos involucrados en este proceso de tratamiento requieren una fuente de energía y carbono para la síntesis de nuevas células, como también otros nutrientes y elementos traza. (Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010).

De acuerdo a su fuente de nutrientes, están clasificados como heterótrofos o autótrofos. Los heterótrofos requieren material orgánico como fuente de carbono para la síntesis de nuevos microorganismos, en cambio, los autótrofos no utilizan materia orgánica sino dióxido de carbono como fuente de carbono. Ambos grupos usan luz o una reacción química de oxidación-reducción como fuente de energía para todas las síntesis y son llamados fotótrofos y quimiótrofos, respectivamente. (Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010).

Dos clases diferentes de biodegradación microbial, la aeróbica o la anaeróbica, tienen lugar en los humedales construidos, dependiendo de la presencia de oxígeno disuelto. En la degradación aeróbica, dos grupos de microorganismos participan en este proceso de degradación: aeróbicos quimioheterótrofos, oxidando compuestos orgánicos y liberando amonio; y aeróbicos quimioautótrofos, (Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010).

Los cuales oxidan el nitrógeno amoniacal a nitrito y nitrato. El último proceso es llamado nitrificación. Sin embargo, debido a la tasa de metabolismo más alta, los heterótrofos son principalmente responsables para la remoción del material orgánico; por lo tanto, la presencia de oxígeno disuelto es un factor limitante. La degradación anaeróbica puede ser resumida como sigue: (Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010).

**Orgánicos alcoholes, ácidos + nuevas células CH₄, H₂S, NH₃, H₂,
nuevas células**

Éste es un proceso de cuatro pasos, realizado por heterótrofos anaeróbicos. Es menos eficiente comparado a la degradación aeróbica, pero predominará si el oxígeno no está disponible. (Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010).

2.2.12.2. Remoción de nitrógeno.

Al momento que ingresa agua residual al humedal construido, la mayor parte del nitrógeno está presente como amonio o en forma de un compuesto inestable, que es fácilmente transformado a amonio. Los principales mecanismos de remoción de nitrógeno en humedales construidos son la nitrificación y la de nitrificación, que ocurren en diferentes zonas del sustrato. (Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010).

Todo el proceso puede ser dividido en pasos, iniciando con la amonificación, seguido por la nitrificación y desnitrificación. La amonificación ocurre en las zonas aeróbicas, como también en zonas anaeróbicas, por la mineralización del nitrógeno contenido en los orgánicos (Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010).

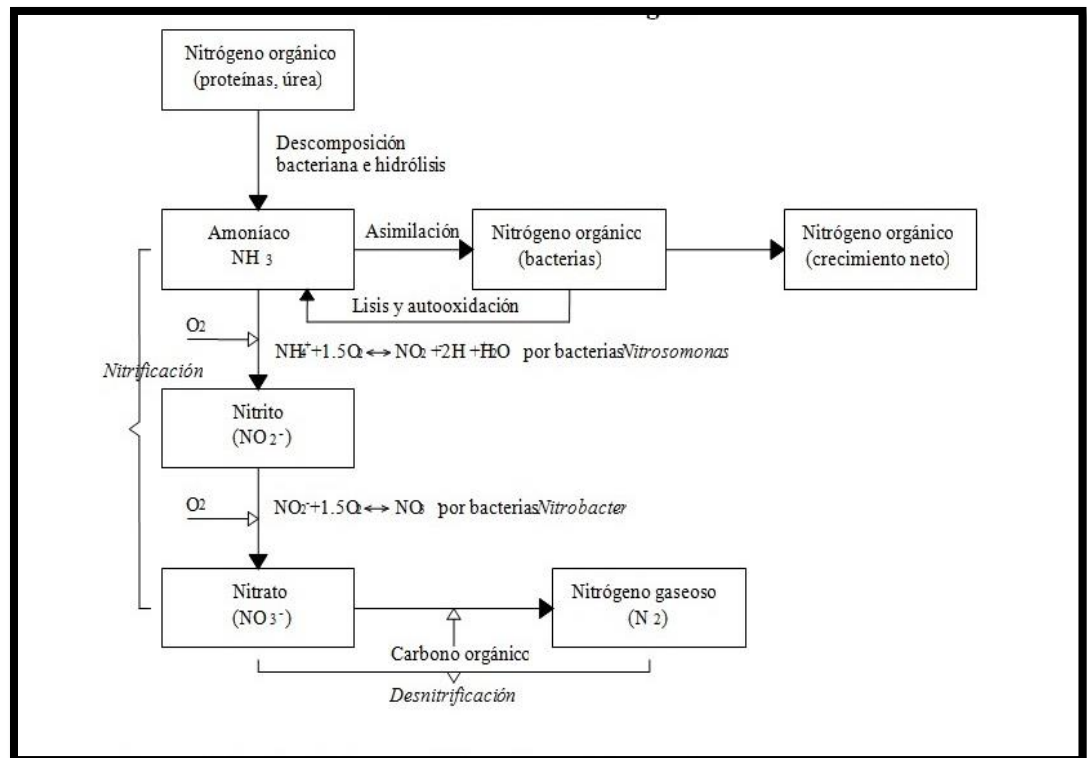
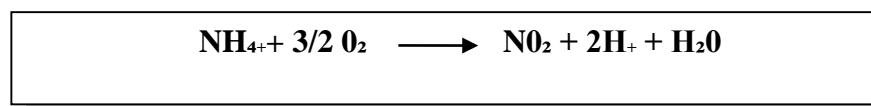


Figura 5 Diagrama del Metabolismo del Nitrógeno

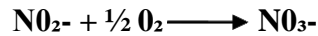
Fuente: (SciELO, 2013).

La nitrificación requiere la presencia de oxígeno disuelto (condiciones aeróbicas), amonio o nitrito como fuente de energía y dióxido de carbono como fuente de carbono. La oxidación en sí ocurre en dos estados, cada uno involucra diferentes especies de bacterias nitrificantes quimios autótrofas. El primer paso es la oxidación de iones amonio a nitrito (nitrosificación). (Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010).



En este paso, la liberación de iones de hidrógeno baja el pH, por lo que es necesario un medio fuertemente alcalino para mantener un pH en el rango de 7.5 a 8.6. El género bacterial que es considerado para catalizar esta reacción es Nitrosomas, en cambio el género Nitrobacter es responsable para la transformación de nitrito a nitrato. Toda la reacción necesita un alto ingreso de oxígeno: alrededor de 4.5 kg por cada kg

de amonio-nitrógeno (NH_4^+-N) oxidado. (Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010).



Las bacterias son sensibles a un amplio rango de inhibidores; así, altas concentraciones de nitrógeno amoniacal son inhibidores. También concentraciones de oxígeno disuelto por más de 1 mg O_2/l son requeridos y temperaturas por debajo de 100 °C reducen el desempeño significativamente. La de nitrificación es el paso final en la remoción de nitrógeno. (Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010).

Ocurre bajo condiciones anóxicas, esto significa, que no hay oxígeno disuelto presente (o con una concentración < a 2% de saturación) pero donde el oxígeno está disponible en fuentes tales como el nitrato, nitrito o incluso sulfato. Un amplio rango de bacterias anaeróbicas facultativas, siendo las más comunes *Pseudomonas* sp, *Achromobacter* sp, y *Aerobacter* sp, realizan el proceso. (Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010).



Toda la reacción que incluye como primer paso la conversión de nitrato a nitrito, seguida por la producción de óxido nítrico y gas nitrógeno, los tres productos son gaseosos, pero mayormente el gas nitrógeno es perdido en la atmósfera debido a que los primeros dos productos son pasajeros en la mayoría de los casos. Similar al proceso de nitrificación, la de nitrificación es también fuertemente dependiente de la temperatura y es necesario suficiente carbono como fuente de energía para que la bacteria realice la conversión. (Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010).

2.2.12.3. Remoción de fósforo.

El fósforo está presente en la alcantarilla en tres distintas formas: como ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico. El último es un constituyente menor de la alcantarilla y como las polifosfatos, requieren una posterior descomposición a una forma de ortofosfato más asimilable. (Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010).

Cerca del 25% del fósforo total fijado en la alcantarilla está presente como ortofosfatos tales como: P_043 , HP_042 - H_2PO_4 H_3PO_4 , que están disponibles para el metabolismo biológico inmediato. Por lo tanto, en términos de utilización, en la Planta de tratamiento lo que importa es la concentración de fosfato orgánico antes que la concentración de fósforo total (Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010).

La remoción de ortofosfato ocurre principalmente como una consecuencia de la adsorción, complejización y reacciones de precipitación con Al, Fe, Ca y materiales arcillosos en la matriz del sustrato. El consumo de fósforo por la Planta puede ser considerado como insignificante comparado con los efectos de adsorción, valores de alrededor del 3% de la carga anual han sido reportados (Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010).

Dependiendo del valor de pH dentro del sustrato, el fósforo está presente en la forma de sal soluble o minerales insolubles, lo cual significa que el fósforo puede ser transferido dentro de un humedal construido. Debido al contenido de óxidos metálicos en el sustrato, la fijación de fósforo como fosfatos por medio de la adsorción varía (Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010).

2.2.12.4. Remoción de metales pesados.

Los metales trazan tienen una alta afinidad para la adsorción y complejización. Los metales trazan tienen una alta afinidad para la adsorción y complejización con material orgánico y se acumulan en la matriz de un humedal construido. Los metales pueden encontrarse en formas solubles o como partículas asociadas, siendo las primeras las formas más biodisponibles (Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010).

Los procesos físico químicos tales como la adsorción, precipitación, complejación, sedimentación, erosión y difusión, determinan la distribución entre las partículas y las fases disueltas. Los parámetros específicos que controlan la sedimentación en el agua incluyen la relación de flujo/sólidos suspendidos, condiciones óxicas/anóxicas, fuerza iónica, pH, contenidos de carbono orgánico particulados y disueltos, concentraciones de ligantes inorgánicos y orgánicos y movilización de metales mediante reacciones bioquímicas. (Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010).

Desafortunadamente, la resolubilización de metales desde los humedales construidos es una causa de preocupación. La adsorción involucra la unión de las partículas (o sustancias disueltas en solución), en partes de la Planta o a la superficie de la matriz. En una reacción de intercambio catiónico los iones metálicos positivamente cargados en solución se unen a los sitios negativamente cargados en la superficie del material adsorbente (Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010).

La fuerza atractiva para el intercambio catiónico es electrostática y la medida de esta fuerza depende de un amplio rango de factores. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) de un material es una medida del número de puntos de unión por masa

o volumen. En cuanto a los procesos microbianos mediados, es necesario tener en cuenta que en un humedal construido se pueden distinguir dos zonas: la zona aeróbica, que contiene una alta proporción de material orgánico y la zona anaeróbica, dominada por materia inorgánica. Entre estas dos principales zonas también existen zonas anóxicas (Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010).

2.2.12.5. Remoción de bacterias.

La remoción de estos microorganismos está basada en una combinación de factores físicos, químicos y biológicos. Los factores físicos incluyen la filtración, sedimentación, agregación y acción de la radiación ultravioleta. Los mecanismos biológicos incluyen, como se mencionó antes, predación y ataque por bacteriófagos y también la muerte (declinación *die-off*). (Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010).

Finalmente, los factores químicos son la oxidación, adsorción y la exposición a toxinas fijadas por otros microorganismos y exudadas por las raíces de las Plantas (aunque la cantidad de estos antibióticos causa dudas respecto a su efectividad para afectar a los patógenos) (Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010).

2.2.12.6. Funciones de las macrófitas en los mecanismos de remoción.

Las macrófitas están adaptadas a crecer bajo condiciones de suelos saturados por agua, porque tienen desarrollado un sistema de grandes espacios aéreos internos. Estos sistemas internos les permiten la provisión de aire bajo condiciones de suelo saturado con agua desde la atmósfera hacia las raíces y rizomas. Las macrófitas poseen varias propiedades que hacen de ellas un importante componente de los humedales construidos. (Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010).

Entre estas propiedades, los efectos físicos como la estabilización de la superficie de los humedales construidos y la prevención de taponamientos de la matriz son muy importantes. Además, proveen buenas condiciones para la filtración física y una superficie grande para el crecimiento microbiano adjunto. Otra de sus propiedades es la transferencia de oxígeno a la rizósfera, aunque las estimaciones sobre la cantidad de esta transferencia de oxígeno varían en un amplio rango. (Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010).

El consumo de nutrientes por la Planta no juega un rol importante y solamente tiene que ser considerado en el caso de cosecha del tejido de la Planta. Otro hecho importante, especialmente en climas templados, es la capacidad de aislamiento térmico de las macrófitas. En invierno, la capa de tejido muerto que cubre la superficie protege del frío y por lo tanto de las disminuciones de temperatura del agua residual. Por último, las macrófitas pueden proveer hábitat para la vida salvaje y dar una apariencia agradable a los sistemas de tratamiento de aguas residuales, según la especie escogida. (Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010).

2.2.13. Lechos filtrantes.

El proceso de filtración consiste en la eliminación de la materia en suspensión del agua a través de un lecho filtrante. El material filtrante es sílex de diferentes granulometrías y antracita para obtener un rendimiento óptimo, todo ello sobre un lecho soporte de grava. La arena sílica, zeolita y la antracita producen resultados satisfactorios en la filtración de agua, y pueden usarse en una amplia gama de tamaños y de alturas de cama. (carbotecnia, 2014).

La selección del tamaño de la partícula y de la altura de cama es responsabilidad del diseñador, y debe hacerse con base en las condiciones del agua a tratar. En general,

mientras más grueso es un medio filtrante, permite un mayor tiempo de filtrado entre retrolavados. La filtración es función tanto del tamaño del medio filtrante como de la altura de la cama, y la remoción generalmente es mejor con mayores alturas de cama, con menores tamaños de medio filtrante, o con ambos (carbotecnia, 2014).

En el tratamiento de agua se pueden utilizar filtros de camas simples un solo medio filtrante dual o múltiple. En las camas duales o múltiples, los medios filtrantes gruesos se colocan en la parte superior y los medios finos en la inferior. Esta colocación se realiza con el objeto de combinar un mayor lapso de filtración con una remoción más fina -característica de un medio fino. (carbotecnia, 2014).

Es necesario seleccionar adecuadamente el rango de tamaños de partícula y la densidad de las distintas capas filtrantes, con el objeto de mantener la posición de las capas las gruesas arriba y las finas abajo durante la filtración y después de los retrolavados. En filtros de camas duales o múltiples que utilizan antracita, el tamaño de esta depende del tamaño y de la densidad de la arena u otro material que se coloque bajo la antracita. (carbotecnia, 2014).

Si las partículas de la antracita son demasiado pequeñas, pueden ocasionar pérdidas excesivas durante el mínimo retrolavado requerido para limpiar la arena de manera efectiva. Si las partículas de antracita son demasiado grandes, pueden ocasionar un mezclado excesivo de ambas capas en su interfase. La idea de usar medios con masas diferentes es que durante el retrolavado los medios más ligeros con las partículas más grandes. (carbotecnia, 2014).

La antracita se estratificará naturalmente en la parte superior del filtro, mientras que los medios de tamaño intermedio (arena) se asentarán en el medio y los medios más pesados con las partículas más pequeñas (garnet o granate) se asentarán en el fondo. Este cómodo del lecho de filtración hace que los contaminantes más grandes a quedar atrapados en la primera capa del filtro, y las partículas más pequeñas se filtran hacia las capas inferiores. (carbotecnia, 2014).

La retención de contaminantes de esta manera permite una eliminación más eficiente de la turbidez y tiempos de ejecución más largos entre los ciclos de retro lavado. Se puede esperar que un simple filtro de arena elimine partículas de hasta 25-50 micrones de tamaño, en comparación con un filtro multimedia que puede eliminar partículas de hasta 10-25 micras (carbotecnia, 2014).

2.2.13.1. Composición de los lechos filtrantes.

El filtro puede ser un solo medio (arena o antracita), de medio dual (arena y antracita) o lechos mezclados. Puede ser de profundidad convencional de 60 cm a 90 cm o de capa profunda de más de 90 cm de altura. Las partículas deben ser duras, resistentes, de forma preferiblemente redondeada sin esquistos ni partículas extrañas, libre de lodo, arcilla o materias orgánicas (carbotecnia, 2014).

Evaluación del rendimiento de humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal utilizando zeolita natural (escott).

El estudio es evaluar los parámetros fisicoquímicos en aguas residuales domesticas de intensidad moderada utilizando humedal construido a escala horizontal de subsuelo horizontal a escala de laboratorio. El humedal se implementó utilizando zeolita natural como sustrato. En este estudio, los tanques de polietileno de alta

densidad (0,36 m²) se plantaron con phragmites australis y scirpus maritimus. (Engineering, 2011)

Las características físico-químicas de las aguas residuales cambian significativamente a medida que las aguas residuales fluyen a través de los respectivos filtros utilizados dentro del humedal.

Sobre la base de operación, la zeolita logra una eliminación significativamente mayor de DQO, DBO y nitrógeno. Esta unidad fue altamente efectiva para eliminar los compuestos que se encontraron. Un simple estudio mineralógico de materiales de filtro para las zeolitas puede dar muchas instalaciones de Humedales construidos exitosos. (Engineering, 2011)

2.2.13.2. Filtración lenta en arena (fla).

El tratamiento del agua en una unidad de FLA es el producto de un conjunto de mecanismos de naturaleza biológica y física, los cuales interactúan de manera compleja para mejorar la calidad microbiológica del agua. En un tanque con un lecho de arena fina, colocado sobre una capa de grava que constituye el soporte de la arena la cual, a su vez, se encuentra sobre un sistema de tuberías perforadas que recolectan el agua filtrada. El flujo es descendente, con una velocidad de filtración muy baja que puede ser controlada preferiblemente al ingreso del tanque (carbotecnia, 2014).

En la superficie del lecho se forma una película filtrante (schmutzdecke) que consiste en material orgánico e inorgánico retenido y una amplia variedad de microorganismos activos biológicamente, los cuales descomponen la materia orgánica

La actividad biológica se extiende hasta unos 0,4 m de profundidad. La limpieza del filtro se hace raspando unos pocos centímetros de la parte superior del

lecho filtrante y reiniciando luego el proceso de filtración. (Girón Gómez & Campos Espinoza, 2013).

2.2.13.3. Filtración rápida con arena.

Para la filtración rápida comúnmente se usa la arena como el medio de filtro, pero el proceso es bastante diferente a la filtración lenta en arena. Esto es debido a que se usa arena más gruesa con un tamaño efectivo de grano en la escala de 0.4-1.2 m³/m²/hora (120-360 m³/m²/día). Filtración directa la solución adecuada para tratar aguas superficiales de baja turbiedad y color es aquella conocida como filtración directa. (Girón Gómez & Campos Espinoza, 2013).

En general, la unidad de filtración está precedida por la mezcla rápida y el pre-floculación o solamente por la mezcla rápida. Cuando la fuente de abastecimiento es un lago, la presencia de algas en cantidades superiores a 1.000 unidades por mililitro puede reducir significativamente la carrera de filtración (Girón Gómez & Campos Espinoza, 2013).

La mayor parte de las investigaciones realizadas con instalaciones de filtración directa, como los trabajos de Monscvitz y colaboradores, Culp, Tredgett, Hutchison y colaboradores, Tate y colaboradores y Di Bernardo, han mostrado que la turbiedad del agua cruda debe ser inferior a 20 UNT, color inferior a 40 UC y, siempre que sea posible, utilizar pequeñas dosis de polímeros sintéticos o naturales. (Girón Gómez & Campos Espinoza, 2013).

Clasificación de la filtración directa teniendo en cuenta el sentido de la filtración, esta puede ser descendente, ascendente o ascendente-descendente. Para cada uno de estos tipos de filtración, los procesos que podrían estar involucrados son los siguientes: Filtración directa descendente: mezcla rápida y filtración descendente o mezcla rápida,

prefloculación y filtración descendente. En este último caso, la necesidad de incorporar la prefloculación se define en el ámbito del laboratorio (Girón Gómez & Campos Espinoza, 2013).

Para el caso de filtración ascendente, los procesos involucrados serían mezcla rápida seguida de la filtración ascendente. En este caso, no cabría la posibilidad de considerar la prefloculación, pues esta se estaría produciendo necesariamente al pasar el agua por el lecho de soporte del filtro, el mismo que se estaría comportando como un floculador demedio poroso. Este tipo de filtración tiene una mayor capacidad de remoción que uno de flujo descendente y la explicación está en que la filtración se realiza en el sentido decreciente de la granulometría, con lo que se aprovecha mejor toda la capa filtrante (carbotecnia, 2014).

Adicionalmente, este tipo de filtración presenta un crecimiento menos acentuado de la pérdida de carga a lo largo de la carrera de filtración. La filtración directa ascendente-descendente tiene como procesos la mezcla rápida y la filtración ascendente seguida de la filtración descendente. Este tipo de unidades tienen una doble barrera para la remoción de partículas. Por lo tanto, pueden operar con cargas mayores a las de los filtros de flujo ascendente. (carbotecnia, 2014).

2.2.13.4. Ventajas de la filtración rápida.

- El costo de construcción de la Planta de tratamiento puede disminuir hasta en 50% con respecto al de una Planta convencional.
- Menor costo de operación y mantenimiento.
- Reducción sustancial del consumo de coagulante.
- Menor volumen de lodo producido en la Planta.

- Facilidad en el tratamiento de agua cruda con baja turbiedad.(carbotecnia, 2014).

2.2.13.5. Desventajas de la filtración rápida.

- Dificultad en el tratamiento de agua con alto contenido de color o turbiedad.
- Necesidad de monitoreo continuo o control riguroso de los principales parámetros de calidad del agua cruda y tratada.
- El tiempo de retención total para el tratamiento es relativamente corto, lo que implica que debe reaccionarse rápidamente ante las modificaciones de calidad del agua cruda.
- Posibilidad de paralización temporal de la Planta, debido a errores en la dosificación de coagulante. (carbotecnia, 2014).

2.2.13.6. Filtración en lecho de zeolita.

La zeolita puede utilizarse como un medio de filtración en diferentes aplicaciones de purificación de agua. Al ser un excelente intercambiador iónico, la zeolita contribuye a la protección del medio ambiente. La zeolita tiene la capacidad de purificar las aguas residuales, aguas tecnológicas, aguas municipales y aguas de lluvia. El uso de zeolita en la purificación del agua es muy amplio. (QuimiNet, 2012).

El propósito de la dosificación de la zeolita es aumentar la actividad biológica del proceso de limpieza, mejorando las características de sedimentación de lodos y la calidad de las aguas residuales tratadas. El contenido de hierro y manganeso se reduce, hay una reducción en el contenido total de nitrógeno, y se ajusta el pH. La zeolita también se utiliza para la limpieza de aguas residuales a partir de amoníaco. (QuimiNet, 2012).

La adición de zeolita para la purificación del agua afecta positivamente al nivel de activación de parámetros tecnológicos, como el exceso de producción de lodo, la carga de volumen sustancial y las cargas, la edad y los índices de lodo. Debido a las increíbles propiedades de la zeolita también se reducen los costos gracias al ahorro en productos químicos. (QuimiNet, 2012)

La filtración de agua es uno de los procesos donde interviene el uso de zeolitas, las cuales son sustratos filtrantes de origen natural. La aplicación de este sustrato ayuda a ofrecer un rendimiento alto y superior en comparación con filtros de arena y carbón. La zeolita posee una estructura a base de minerales volcánicos y cristales que funcionan como intercambiadores de iones. A su vez, poseen canales de materiales microporosos. (QuimiNet, 2012)

En el intercambio de iones los canales absorben los elementos contaminantes del agua purificándola y filtrándola. De acuerdo al tipo de zeolita empleada se pueden extraer diferentes minerales del agua, entre ellos el calcio. Cuando el calcio se extrae del agua se logra un ablandamiento progresivo en la dureza del agua. Los poros de la zeolita con mayor volumen son aquellos que benefician en la retención de partículas ya que logran delimitar su paso sin diferenciar entre tipo orgánico o amoniacal (QuimiNet, 2012).

La zeolita funciona de manera diferente si es aplicada en agua dulce o agua marina. Las zeolitas intercambiadoras de calcio funcionan cuando existe una baja presencia de iones de calcio o magnesio. En aguas saladas la zeolita actúa como sustrato biológico, es decir, transforma el amoníaco en nitrito y posteriormente en nitrato. En la parte interna de la zeolita la presencia de oxígeno es mínima por el exceso del consumo exterior, lo cual provoca un asentamiento de las bacterias y una

eliminación del nitrato convirtiéndolo en nitrógeno evaporable por medio del carbono. (QuimiNet, 2012).

En los sistemas de filtrado la zeolita puede aplicarse de manera sencilla en el interior del filtro presurizado permitiendo el control de la coloración del agua y actuando como un filtro biológico. La zeolita se debe cambiar cada tres meses para evitar que esta pierda sus características de filtración y se logre una purificación óptima en el agua. La capacidad filtrante del material, en cambio, no podremos regenerarla. (QuimiNet, 2012).

2.3. Marco legal.

2.3.1. Ley de la Constitución del Ecuador

Art. 12.- El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida.

Art. 264.- Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley:

1. Ítem N.º 4 Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley.

Art. 282.- El Estado regulará el uso y manejo del agua de riego para la producción de alimentos, bajo los principios de equidad, eficiencia y sostenibilidad ambiental.

Art. 318.- El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua.

La gestión del agua será exclusivamente pública o comunitaria. El servicio público de saneamiento, el abastecimiento de agua potable y el riego serán prestados únicamente por personas jurídicas estatales o comunitarias.

El Estado fortalecerá la gestión y funcionamiento de las iniciativas comunitarias en torno a la gestión del agua y la prestación de los servicios públicos, mediante el incentivo de alianzas entre lo público y comunitario para la prestación de servicios.

El Estado, a través de la autoridad única del agua, será el responsable directo de la Planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinarán a consumo humano, riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas, en este orden de prelación. Se requerirá autorización del Estado para el aprovechamiento del agua con fines productivos por parte de los sectores público, privado y de la economía popular y solidaria, de acuerdo con la ley.

Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

Art. 412.- La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su Planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico.

2.3.2. Texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente “TULAS”.

Art. 3 del Acuerdo N. ° 061 de la Reforma del libro VI del Texto unificado de legislación secundaria.

2. Aguas. - Todas las aguas marítimas, superficiales, subterráneas y atmosféricas del territorio nacional, en todos sus estados físicos, mismas que constituyen el dominio hídrico público conforme lo definido en la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua.

3. Tratamiento de aguas residuales. - Conjunto de procesos, operaciones o técnicas de transformación física, química o biológica de las aguas residuales.

4. Cuerpo de agua. - Es todo río, lago, laguna, aguas subterráneas, cauce, depósito de agua, corriente, zona marina, estuario.

Art. 211 Tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales

La Autoridad Ambiental Competente en coordinación con la Agencia de Regulación y Control del Agua, verificará el cumplimiento de las normas técnicas en las descargas provenientes de los sistemas de tratamiento implementados por los Gobiernos Autónomos Descentralizados.

La Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional. La presente norma técnica determina o establece:

Los principios básicos y enfoque general para el control de la contaminación del agua, las definiciones de términos importantes y competencias de los diferentes actores establecidas en la ley, los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos, los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado, permisos de descarga, los parámetros de monitoreo de las descargas a cuerpos de agua y sistemas de alcantarillado de

actividades industriales o productivas, de servicios públicas o privadas; métodos y procedimientos para determinar parámetros físicos, químicos y biológicos con potencial riesgo de contaminación del agua.

2.3.3. Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.

Art. 42 Determinar, a nivel nacional, los límites permisibles para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado; emisiones al aire incluyendo ruido, vibraciones y otras formas de energía; vertidos, aplicación o disposición de líquidos, sólidos o combinación, en el suelo.

Art. 150 Almacenar los desechos en condiciones ambientalmente seguras, evitando su contacto con el agua y la mezcla entre aquellos que sean incompatibles.

Art. 185 Debe existir estratos impermeables entre la formación de eliminación de desecho y la superficie o agua para consumo humano existente en el subsuelo. No deben existir fracturas verticales las cuales podrían provocar que el desecho entre en contacto con el agua del subsuelo.

2.3.4. Anexo 1 del libro vi del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente: norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua.

Art. 5.2.3.5 Las descargas al sistema de alcantarillado provenientes de actividades sujetas a regularización, deberán cumplir, al menos, con los valores establecidos en la TABLA 8, en la cual las concentraciones corresponden a valores medios diarios.

Tabla 3
Límites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público del TULAS

| Parámetros | Expresados como | Unidad | Límite máximo permisible |
|---------------------------------------|--|--------|--------------------------|
| Aceites y grasas | solubles en hexano | mg/l | 70,0 |
| Explosivas o inflamables | sustancias | mg/l | cero |
| Alkil mercurio | | mg/l | No detectable |
| Aluminio | Al | mg/l | 5,0 |
| Arsénico total | As | mg/l | 0,1 |
| Cadmio | Cd | mg/l | 0,02 |
| Cianuro total | CN | mg/l | 1,0 |
| Cinc | Zn | mg/l | 10,0 |
| Cloro activo | Cl | mg/l | 0,5 |
| Cloroformo | Extracto carbon cloroformo | mg/l | 0,1 |
| Cobalto total | Co | mg/l | 0,5 |
| Cobre | Cu | mg/l | 1,0 |
| Compuesto fenólicos | Expresado como fenol | mg/l | 0,2 |
| Compuestos organoclorados | Organoclorados totales | mg/l | 0,05 |
| Cromo Hexavalente | Cr ⁺⁶ | mg/l | 0,5 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno(5 días) | DBO ₅ | mg/l | 250,0 |
| Demanda Química de Oxígeno | DQO | mg/l | 500,0 |
| Dicloroetileno | Dicloroetileno | mg/l | 1,0 |
| Fosforo total | P | mg/l | 15,0 |
| Hidrocarburos totales de petróleo | TPH | mg/l | 20,0 |
| Hierro total | Fe | mg/l | 25,0 |
| Manganeso total | Mn | mg/l | 10,0 |
| Mercurio (total) | Hg | mg/l | 0,01 |
| Niquel | Ni | mg/l | 2,0 |
| Nitrogeno total Kjedahl | N | mg/l | 60,0 |
| Organofosforados | Especies Totales | mg/l | 0,1 |
| Plata | Ag | mg/l | 0,5 |
| Plomo | Pb | mg/l | 0,5 |
| Potencial de hidrogeno | pH | mg/l | 6-9 |
| Selenio | Se | mg/l | 0,5 |
| Solido Sedimentales | SD | mg/l | 20,0 |
| Solidos Suspendedos totales | SST | mg/l | 220 |
| Solidos totales | ST | mg/l | 1600,0 |
| Sulfatos | SO ₄ ²⁻ | mg/l | 400,0 |
| Sulfuros | S | mg/l | 1,0 |
| Temperatura | °c | mg/l | <40,0 |
| Tensoactivos | sustancias activas al azul de metileno | mg/l | 2,0 |
| Tetracloruro de carbono | Tetracloruro de carbono | mg/l | 1,0 |
| Tricloroetileno | Tricloroetileno | mg/l | 1,0 |

Fuente: (VI, 2015)

Art. 5.2.4.7 Los lixiviados generados en los rellenos sanitarios cumplirán con las normas fijadas considerando el criterio de calidad de acuerdo al uso del cuerpo receptor. Adicionalmente, los límites máximos permisibles para descarga de estos lixiviados a cuerpos de agua, se regirán conforme a la normativa ambiental emitida para el efecto.

Tabla 4
Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua dulce del TULAS

| | | | |
|---------------------------------------|--|-------------------|-------------------------------|
| Aluminio | Al | mg/l | 5,0 |
| Arsénico total | As | mg/l | 0,1 |
| Bario | Ba | mg/l | 2,0 |
| Boro Total | B | mg/l | 2,0 |
| Cadmio | Cd | mg/l | 0,02 |
| Cianuro total | CN | mg/l | 0,1 |
| Cinc | Zn | mg/l | 5,0 |
| Cloro activo | Cl | mg/l | 0,5 |
| Cloroformo | Ext.carbón cloroformo ECC | mg/l | 0,1 |
| Cloruros | Cl | mg/l | 1000 |
| Cobre | Cu | mg/l | 1,0 |
| Cobalto | Co | mg/l | 0,5 |
| Coliformes Fecales | NMP | NMP/100ml | 10000 |
| Color real ¹ | Color real | unidades de color | Inapreciable en dilución:1/20 |
| Compuesto fenólicos | fenol | mg/l | 0,2 |
| Cromo Hexavalente | Cr ⁺⁶ | mg/l | 0,5 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno(5 días) | DBO ₅ | mg/l | 100 |
| Demanda Química de Oxígeno | DQO | mg/l | 200 |
| Dicloroetileno | Dicloroetileno | mg/l | 1,0 |
| Estaño | Sn | mg/l | 5,0 |
| Fluoruros | F | mg/l | 5,0 |
| Fosforo total | P | mg/l | 10,0 |
| Hidrocarburos totales de petróleo | TPH | mg/l | 20,0 |
| Manganeso total | Mn | mg/l | 2,0 |
| Materia flotante | Visibles | mg/l | Ausencia |
| Mercurio (total) | Hg | mg/l | 0,005 |
| Níquel | Ni | mg/l | 2,0 |
| Nitrogeno amiacal | N | mg/l | 30,0 |
| Nitrogeno total Kjeldahl | N | mg/l | 50,0 |
| Compuestos organoclorados | Organoclorados totales | mg/l | 0,05 |
| Compuestos Organofosforados | Organofosforados totales | mg/l | 0,1 |
| Plata | Ag | mg/l | 0,1 |
| Plomo | Pb | mg/l | 0,2 |
| Potencial de hidrogeno | pH | mg/l | 6-9 |
| Selenio | Se | mg/l | 0,1 |
| Solidos Suspendidos totales | SST | mg/l | 130 |
| Solidos totales | ST | mg/l | 1600,0 |
| Sulfatos | SO ₄ ⁻² | mg/l | 1000,0 |
| Sulfuros | S ⁻² | mg/l | 0,5 |
| Temperatura | °c | mg/l | Condición natural ±3 |
| Tensoactivos | sustancias activas al azul de metileno | mg/l | 0,5 |
| Tetracloruro de carbono | Tetracloruro de carbono | mg/l | 1,0 |

Fuente: (VI, 2015)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El proceso investigativo que se empleara para el método de estudio en este sistema de implementación y criterio utilizado en la conducción de la investigación experimental y científica.

3.1. Tipos de metodologías.

El presente proyecto requiere de los siguientes tipos de investigación:

Metodología experimental

Será experimental debido a que se van tomar muestras del agua filtrada simultáneamente en tres alturas diferentes del material filtrante a utilizar investigado en este proyecto para poder observar los cambios que se van presentando en el agua filtrada; y cumplir con el objetivo principal del mismo, que es evaluar el comportamiento de la DBO y DQO, entre otros parámetros en el agua residual doméstica para luego determinar la capacidad de efectividad de remoción y calcular las tasas de remoción de nitrógeno, o si cumple con los límites máximos permisibles, generando información para estudios futuros.

El lecho de zeolita (piedra volcánica) usado como material filtrante en un humedal artificial de flujo subsuperficial aportará una solución para el tratamiento de aguas residuales domésticas en lo posible para que sean reutilizables, y con esto disminuir el impacto ambiental. Para la desinfección y eliminación de microorganismos, implantamos Plantas acuáticas (juncos de río), la cual ayuda en la absorción de oxígeno y dióxido de carbono.

Metodología científica

El método científico se basa en un conjunto de técnicas que se utilizarán para la investigación de los materiales filtrantes a emplear en este sistema implantado en un humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de agua residual doméstica. El adquirir nuevos conocimientos o corregir e integrar conocimientos previos depende no solo de un método o procedimiento que ha caracterizado a la ciencia natural si no que consiste de en la observación sistemática, medición, experimentación, la formulación, análisis y modificación de las hipótesis.

El método científico está sustentado por dos pilares fundamentales: la reproducibilidad y la refutabilidad. El primero, la reproducibilidad, implica la capacidad de repetir un determinado experimento, en cualquier lugar y por cualquier persona. Este pilar se basa, esencialmente, en la comunicación y publicidad de los resultados.

El segundo pilar, la refutabilidad, implica que toda proposición científica debe ser susceptible de ser falsada o refutada (falsacionismo), siendo la falsabilidad el modus tollendo tollens del método hipotético-deductivo experimental. La estructura de reglas y principios coherentemente concatenados del método científico permite minimizar la influencia de la subjetividad del científico en su trabajo, lo cual refuerza la validez de los resultados, y por ende, del conocimiento producido.

El "método experimental científico" abarca entonces las prácticas utilizadas y ratificadas por la comunidad científica como válidas a la hora de exponer y confirmar sus teorías. Las teorías científicas, destinadas a explicar de alguna manera los fenómenos que observamos, pueden apoyarse o no en experimentos que certifiquen su validez. Es decir, el mero uso de experimentos no es necesariamente sinónimo del uso del método científico, o de su realización al 100%. Por ello, Francis Bacon definió el método científico de la siguiente manera: (wikipedia.org)

1. Observación: Es aplicar atentamente los sentidos a un objeto o a un fenómeno, para estudiarlos tal como se presentan en realidad, puede ser sistemática u ocasional.

2. Inducción: Extraer el principio fundamental de cada observación o experiencia.

3. Hipótesis: Elaborar una explicación provisional de las observaciones o experiencias y sus posibles causas.

4. Probar la hipótesis por experimentación.

5. Demostración o refutación (antítesis) de la hipótesis.

6. Tesis o teoría científica. (wikipedia.org)

Así queda definido el método científico tal y como es normalmente entendido, es decir, la representación social dominante del mismo. Esta definición se corresponde sin embargo únicamente a la visión de la ciencia denominada positivismo en su versión más primitiva. Empero, es evidente que la exigencia de la experimentación es imposible de aplicar a áreas de conocimiento como la astronomía, la física teórica, etcétera. En tales casos, es suficiente la observación de los fenómenos producidos naturalmente, en los que el método científico se utiliza en el (wikipedia.org)

Por otra parte, existen ciencias no incluidas en las ciencias naturales, especialmente en el caso de las ciencias humanas y sociales, donde los fenómenos no sólo no se pueden repetir controlada y artificialmente (que es en lo que consiste un experimento), sino que son, por su esencia, irrepetibles, por ejemplo la historia.

Así, por método o proceso científico se entiende aquellas prácticas utilizadas y ratificadas por la comunidad científica como válidas a la hora de proceder con el fin de exponer y confirmar sus teorías, como por ejemplo los Postulados de Koch para la microbiología. Las teorías científicas, destinadas a explicar de alguna manera los fenómenos que observamos, pueden apoyarse o no en experimentos que certifiquen su validez. (wikipedia.org)

3.2. Implementación de la Planta piloto.

Se inició con la limpieza del laboratorio, luego se efectuó la limpieza del reservorio donde se implementó humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal y por último se realizó la limpieza del tanque donde se almacenó el agua servida.



Ilustración 1 Limpieza del Humedal Artificial subsuperficial horizontal y tanque de almacenamiento del agua residual doméstica.

Fuente: (Los Autores, 2018)



Ilustración 2 Limpieza de tanque inicial para almacenamiento de aguas residuales doméstica
Fuente: (Los Autores, 2018)



Ilustración 3 Medición de Tuberías en Salida del Tanque
Fuente: (Los Autores, 2018)



Ilustración 4 Colocación de Tuberías en la Salida del Tanque
Fuente: (Los Autores, 2018)

En otro día, se efectuó la compra del material a utilizar: piedrilla, arena, y la zeolita. La zeolita se pudo conseguir en la compañía ZEONATEC S.A.



Ilustración 5 Material para el Planta Piloto La Zeolita
Fuente: (Los Autores, 2018)



Ilustración 6 Material Para el Planta Piloto Arena de Rio

Fuente: (Los Autores, 2018)



Ilustración 7 Material Para el Planta Piloto Piedrilla de 1/8

Fuente: (Los Autores, 2018)

Se procedió a la colocación del material dentro del humedal artificial que se encuentra en la Planta piloto de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.

El día martes 09 de octubre del 2018, se colocó inicialmente una altura de 5 cm piedrilla de 1/8" dentro del humedal artificial, lo que equivale a un volumen de 0.04 m³. Posteriormente se colocó una altura de 10cm de arena gruesa dentro del humedal artificial, lo que equivale a un volumen de 0.08 m³, Luego, se sembró la Planta vegetal (junco de rio), y concretamente a la colocación de 25 cm de zeolita lo que equivale a un volumen de 0.20 m³.



Ilustración 8 Material Colocado en el Humedal Artificial

Fuente: (Los Autores, 2018)



Ilustración 9 Flauta con Perforaciones de Diámetro $\frac{3}{4}$ mm

Fuente: (Los Autores, 2018)

Usando flauta con perforaciones de diámetro $\frac{3}{4}$ mm. El tiempo dejado entre una prueba y otra fue de apenas 20 minutos.

El día miércoles 10 de octubre del 2018, se procedió al llenado del tanque inicial repartidor con agua residual doméstica.



Ilustración 10 Tanque con Agua residual Doméstica

Fuente: (Los Autores, 2018)



Ilustración 11 Abertura de válvula para que ingrese el caudal inicial de Aguas Residual Doméstica

Fuente: (Los Autores, 2018)



Ilustración 12 Cisterna de Aguas Residual Domestica

Fuente: (Los Autores, 2018)

Comenzamos con el primer día en la Planta piloto con el material la capa inferior de piedrilla 1/8" con una altura de 5 cm equivalente a un volumen de 0.04 m³, la segunda altura de 10 cm de arena gruesa equivalente a un volumen de 0.08 m³, y la tercera altura de zeolita con una altura de 25 cm equivalente a un volumen de 0.20 m³.

El caudal inicial fue de 42 litros en un tiempo de 3.35 minutos, equivalente a 0.21 l/s tomando en cuenta las medidas (diámetro 52cm, radio 26 cm y altura de 20 cm).



Ilustración 13 Material Humedecido Primer Día de Prueba.

Fuente: (Los Autores, 2018)

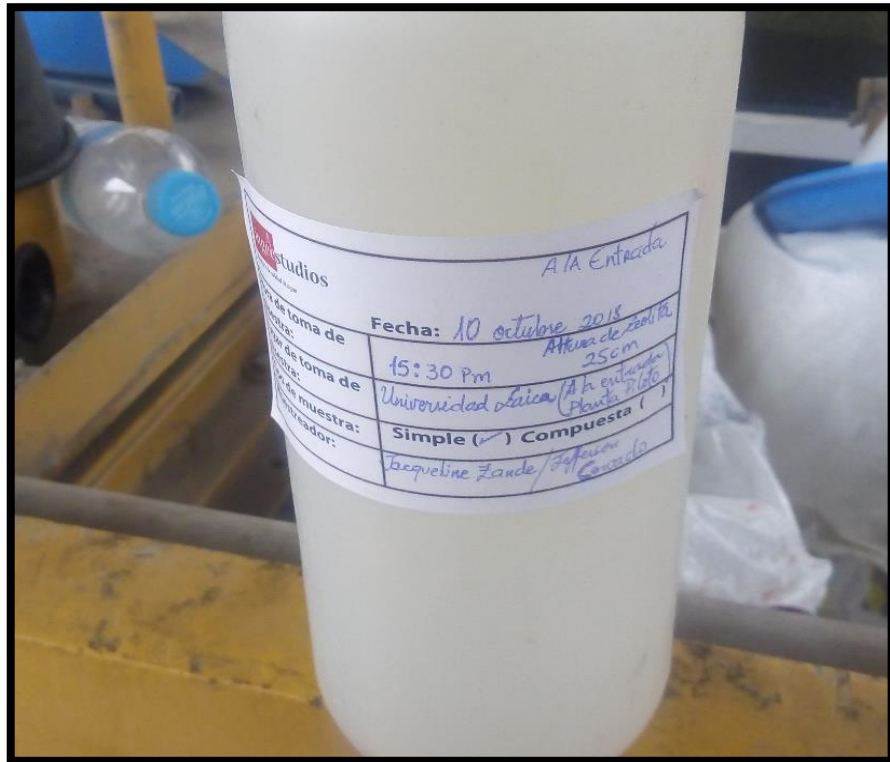


Ilustración 14 Toma de Muestra de Entrada de Agua Residual doméstica
Fuente: (Los Autores, 2018)



Ilustración 15 Toma de Primera muestra de Salida de Agua Residual
Fuente: (Los Autores, 2018)



Ilustración 16 Colocación primera capa de zeolita

Fuente: (Los Autores, 2018)

Se tomó la muestra de entrada de agua residual doméstica del tanque antes de dirigirse al humedal artificial para ser llevada a laboratorio.

Por consiguiente, se preparó el material para proceder el día siguiente dado que La capa inferior de lecho filtrante fue piedrilla de 1/8" con una altura de 5 cm equivalente a un volumen de 0.04 m^3 , la capa intermedia fue de arena gruesa con una altura de 10 cm equivalente a un volumen de 0.08 m^3 , y la capa superior de zeolita fue de una altura de 25 cm equivalente a un volumen de 0.20 m^3 .

De ahí que se fue aumentando 10cm de zeolita en cada ensayo hasta llegar a una altura de 45 cm. Se esperó 20 minutos para humedecer todo el material filtrante, luego se abrió la llave de paso y se tomó la muestra de salida y se llevó al laboratorio.

Por consiguiente el día jueves 11 de octubre del 2018, procedió a colocar el material filtrante zeolita para el día siguiente con una altura adicional de 10 cm equivalente a un volumen de 0.08m³, obteniendo un total 35 cm de zeolita.

El caudal inicial fue de 42 litros en un tiempo de 3.35 minutos, equivalente a 0.21 l/s tomando en cuenta las medidas (diámetro 52cm, radio 26 cm y altura de 20 cm).

Se esperó 20 minutos para humedecer todo el material filtrante, para luego abrir la llave de paso y tomar la segunda muestra de salida para ser llevada a laboratorio.



Ilustración 17 Colocación del Material en el Humedal Artificial Para el Segundo Día

Fuente: (Los Autores, 2018)

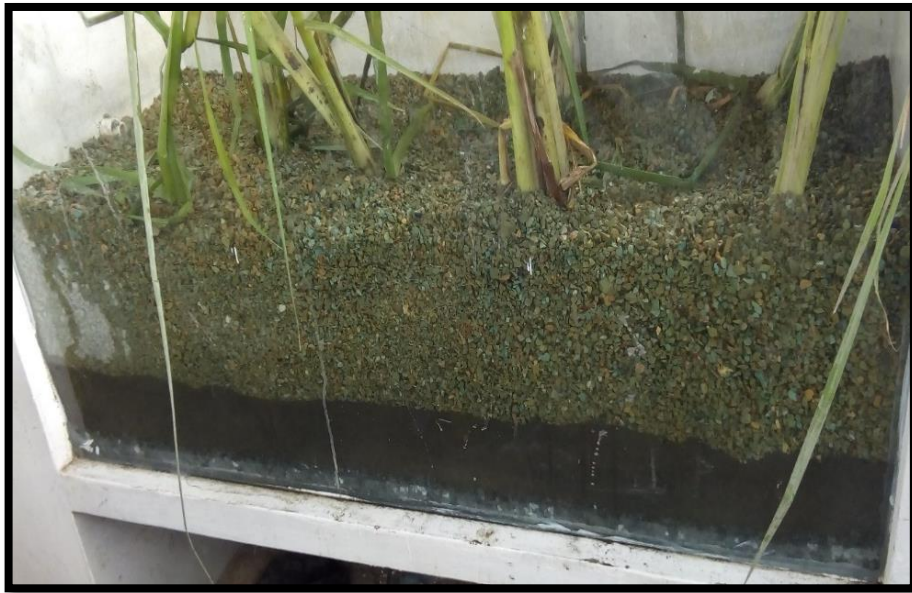


Ilustración 18 Material Humedecido en el Humedal Segundo Día de Prueba

Fuente: (Los Autores, 2018)

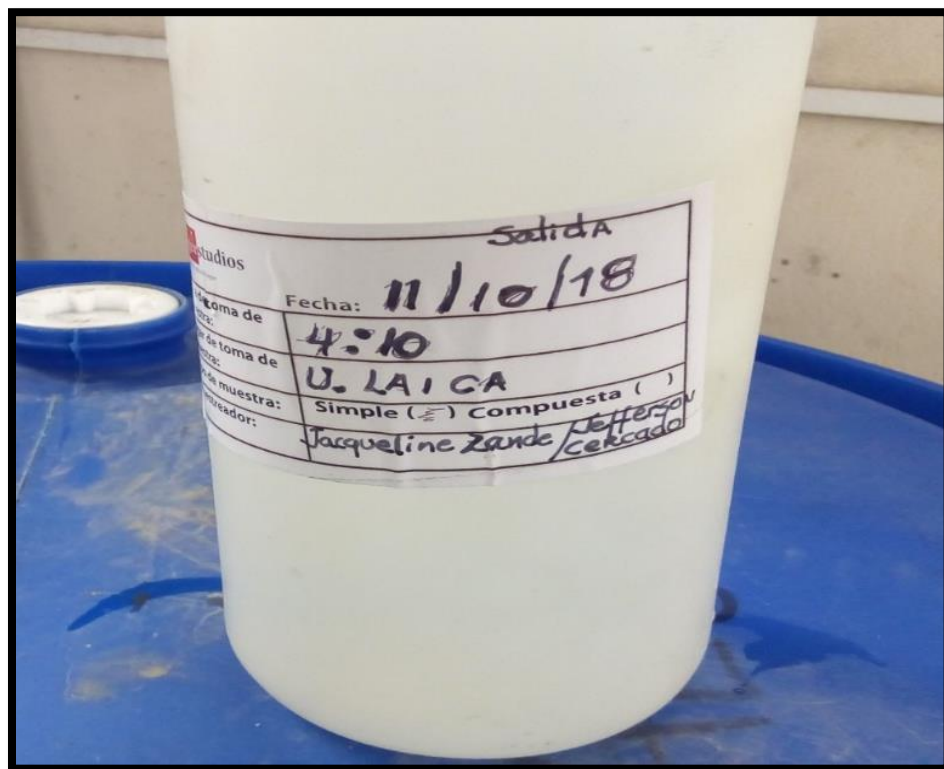


Ilustración 19 Toma de la Segunda Muestra de Salida de Agua Residual Domestica.

Fuente: (Los Autores, 2018)

Para finalizar el día Viernes 12 de octubre del 2018, tercer día procedió a colocar el material filtrante zeolita con una altura adicional de 10 cm equivalente a un volumen de 0.08m³, un obteniendo total de 45 cm zeolita. El caudal inicial fue de 42 litros en un tiempo de 3.35 minutos, equivalente a 0.21 l/s tomando en cuenta las medidas (diámetro 52cm, radio 26 cm y altura de 20 cm).

Se esperó 20 minutos para humedecer todo el material filtrante, para luego abrir la llave de paso y tomar la tercera muestra de salida para ser llevada a laboratorio.

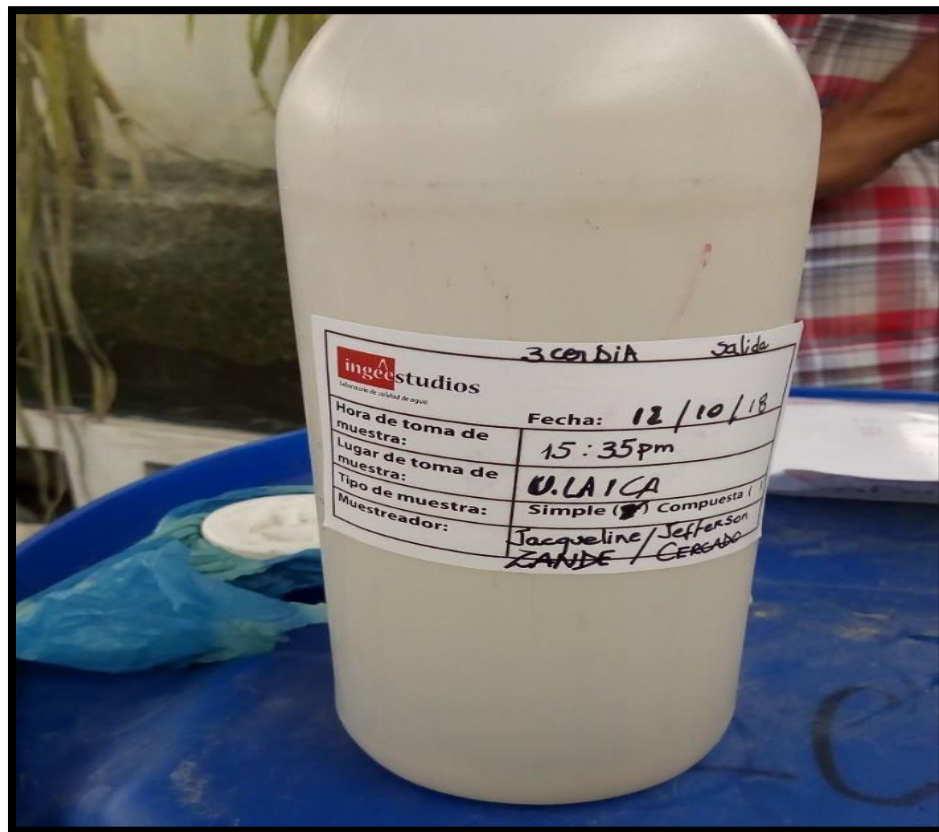


Ilustración 20 Toma de la Tercera Muestra de Agua Residual Domestica.
Fuente: (Los Autores, 2018)

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En base a los resultados obtenidos del laboratorio de calidad de aguas “INGEESTUDIOS”, el cual es un laboratorio acreditado por el SAE (Servicio De Acreditación Ecuatoriano), se tiene:

Tabla 5
Concentración obtenida de DBO en planta piloto

| ALTURA DE LECHO DE ZEOLITA | CONCENTRACIÓN DE DBO ₅ ENTRADA (mg/l) | CONCENTRACIÓN DE DBO ₅ SALIDA (mg/l) | LIMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO(TULAS) | LIMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE (TULAS) |
|----------------------------|--|---|---|---|
| 25 cm | 92,7 | 5,9 | 250 | 100 |
| 35 cm | 92,7 | 5,8 | 250 | 100 |
| 45 cm | 92,7 | 13,5 | 250 | 100 |

Fuente: (INGEESTUDIOS, 2018)

De acuerdo a los resultados obtenidos se observa que las muestras de DBO₅ a la salida usando las tres alturas de lecho de zeolita cumplen con los límites de descarga al sistema de alcantarillado público tanto como límites de descarga a un cuerpo de agua dulce del (TULAS) Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Medio Ambiente.

Tabla 6
Concentración obtenida de DQO en planta piloto

| ALTURA DE LECHO DE ZEOLITA | CONCENTRACIÓN DE DQO ENTRADA (mg/l) | CONCENTRACIÓN DE DQO SALIDA (mg/l) | LIMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO(TULAS) | LIMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE (TULAS) |
|----------------------------------|---|--|---|---|
| 25 cm | 224 | 10 | 500 | 200 |
| 35 cm | 224 | 17 | 500 | 200 |
| 45 cm | 224 | 20 | 500 | 200 |

Fuente: (INGEESTUDIOS, 2018)

De acuerdo a los resultados obtenidos se observa que las muestra de DQO a la salida usando las tres alturas de lecho de zeolita cumplen con los límites de descarga al sistema de alcantarillado público tanto como límites de descarga a un cuerpo de agua dulce del (TULAS) Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Medio Ambiente.

Tabla 7
Concentración obtenida de NITROGENO en planta piloto

| ALTURA DE LECHO DE ZEOLITA | CONCENTRACIÓN DE NITROGENO ENTRADA (mg/l) | CONCENTRACIÓN DE NITROGENO SALIDA (mg/l) | LIMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO(TULAS) | LIMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE (TULAS) |
|----------------------------|---|--|---|---|
| 25 cm | 47 | 27 | 60 | 50 |
| 35 cm | 47 | 0 | 60 | 50 |
| 45 cm | 47 | 0 | 60 | 50 |

Fuente: (INGEESTUDIOS, 2018)

De acuerdo a los resultados obtenidos se observa que las muestras de Nitrógeno a la salida usando las tres alturas de lecho de zeolita cumplen con los límites de descarga al sistema de alcantarillado público tanto como límites de descarga a un cuerpo de agua dulce del (TULAS) Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Medio Ambiente.

4.1. Determinación de capacidad de remoción del DQO y DBO, en un humedal artificial de flujo subsuperficial con lecho de zeolita.

4.1.1. Ecuación de cálculo de porcentaje de remoción de DBO

$$\left(1 - \frac{\text{concentración DBO salida}}{\text{concentración DBO entrada}}\right) * 100$$

Con altura de 25 cm de lecho de zeolita

$$\left(1 - \frac{5,9 \text{ mg/l}}{92,7 \text{ mg/l}}\right) * 100 = 93,64 \%$$

Con altura de 35 cm de lecho de zeolita

$$\left(1 - \frac{5,8 \text{ mg/l}}{92,7 \text{ mg/l}}\right) * 100 = 93,74 \%$$

Con altura de 45 cm de lecho de zeolita

$$\left(1 - \frac{13,5 \text{ mg/l}}{92,7 \text{ mg/l}}\right) * 100 = 85,44 \%$$

Tabla 8
Resumen de Porcentajes de Remoción DBO

| ALTURA DE LECHO DE ZEOLITA | PORCENTAJE DE REMOCIÓN (%) DBO |
|----------------------------|-----------------------------------|
| 25 cm | 93,64 |
| 35 cm | 93,74 |
| 45 cm | 85,44 |

Fuente: (Los Autores, 2018)

4.1.2 Ecuación de cálculo de porcentaje de remoción de DQO.

$$\left(1 - \frac{\text{concentración DQO salida}}{\text{concentración DQO entrada}}\right) * 100$$

Con altura de 25 cm de lecho de zeolita

$$\left(1 - \frac{10 \text{ mg/l}}{224 \text{ mg/l}}\right) * 100 = 95,54 \%$$

Con altura de 35 cm de lecho de zeolita

$$\left(1 - \frac{17 \text{ mg/l}}{224 \text{ mg/l}}\right) * 100 = 92,41 \%$$

Con altura de 45 cm de lecho de zeolita

$$\left(1 - \frac{20 \text{ mg/l}}{224 \text{ mg/l}}\right) * 100 = 91,07 \%$$

Tabla 9
Resumen de porcentajes Remoción DQO

| ALTURA DE LECHO DE ZEOLITA | PORCENTAJE DE REMOCIÓN (%) DQO |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| 25 cm | 95,54 |
| 35 cm | 92,41 |
| 45 cm | 91,07 |

Fuente: (Los Autores, 2018)

4.2 Tasas de remoción de nitrógeno, en un humedal artificial de flujo subsuperficial con lecho de zeolita

Ecuación de cálculo de tasas de remoción de nitrógeno

$$\left(1 - \frac{\text{concentración NITROGENO salida}}{\text{concentración NITROGENO entrada}}\right) * 100$$

Con altura de 25 cm de lecho de zeolita

$$\left(1 - \frac{27 \text{ mg/l}}{47 \text{ mg/l}}\right) * 100 = 42.55 \%$$

Con altura de 35 cm de lecho de zeolita

$$\left(1 - \frac{0 \text{ mg/l}}{47 \text{ mg/l}}\right) * 100 = 100 \%$$

Con altura de 45 cm de lecho de zeolita

$$\left(1 - \frac{0 \text{ mg/l}}{47 \text{ mg/l}}\right) * 100 = 100 \%$$

Tabla 10
Resumen de tasas de remoción Nitrógeno

| ALTURA DE LECHO DE ZEOLITA | PORCENTAJE DE REMOCIÓN (%) NITROGENO |
|-------------------------------|---|
| 25 cm | 42,55 |
| 35 cm | 100,00 |
| 45 cm | 100,00 |

Fuente: (Los Autores, 2018)

4.3 Efectividad de remoción de DBO Y DQO del humedal artificial en varias alturas del lecho de zeolita

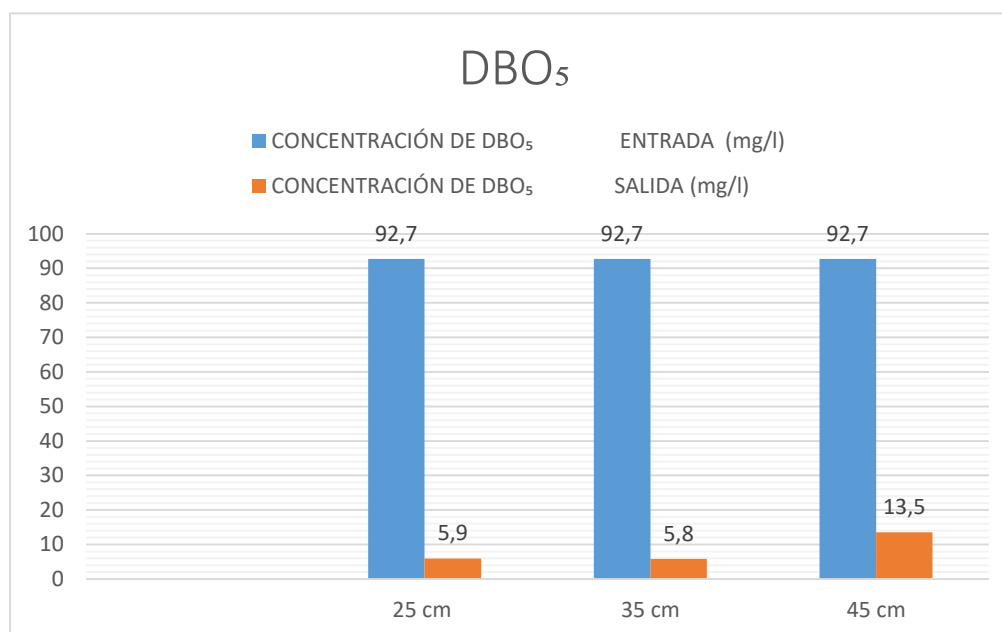


Figura 6 Concentración de DBO

Fuente: (Los Autores, 2018)

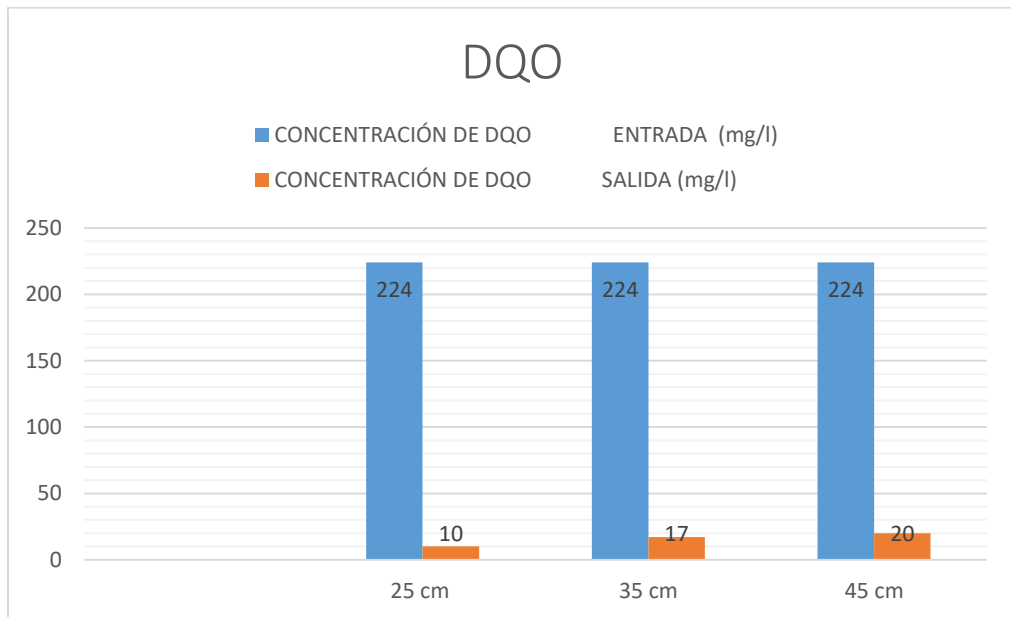


Figura 7 Concentración de DQO
Fuente: (Los Autores, 2018)

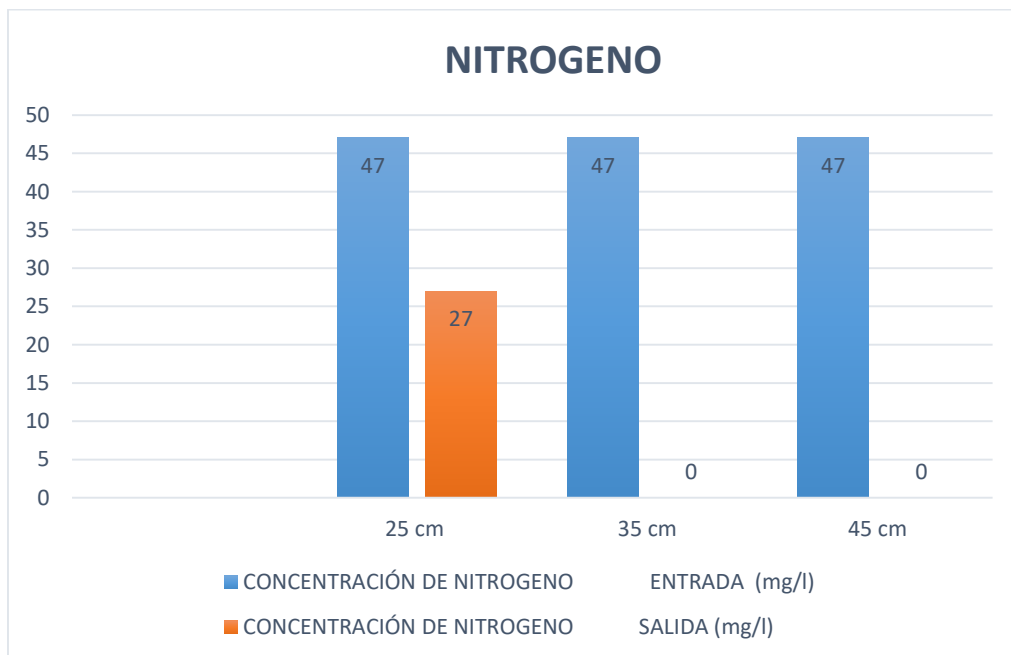


Figura 8 Concentración de nitrógeno.
Fuente: (Los Autores, 2018)

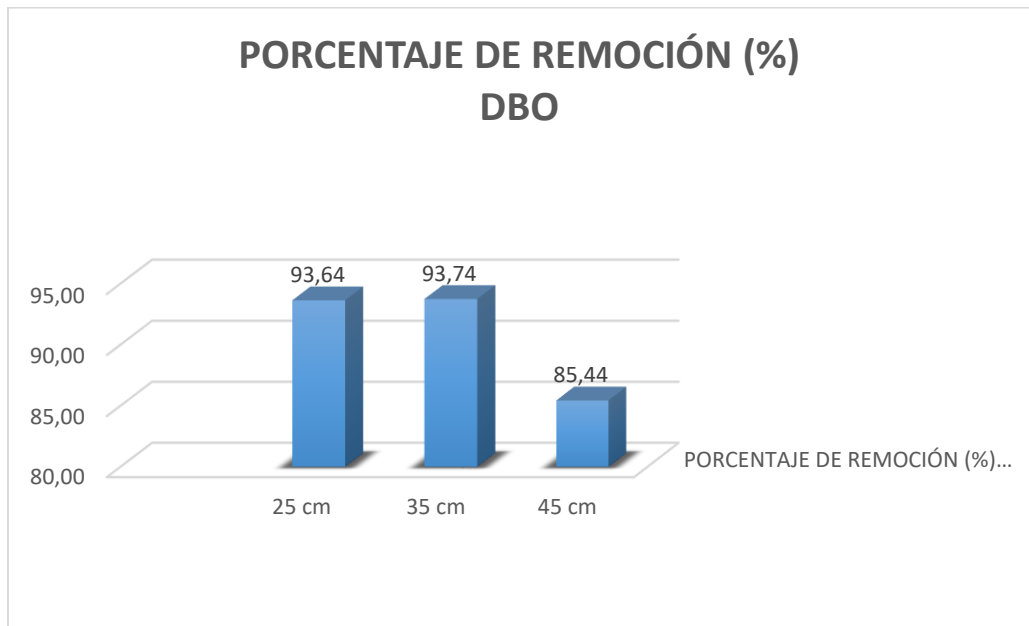


Figura 9 Porcentaje de remoción DBO.
Fuente: (Los Autores, 2018)

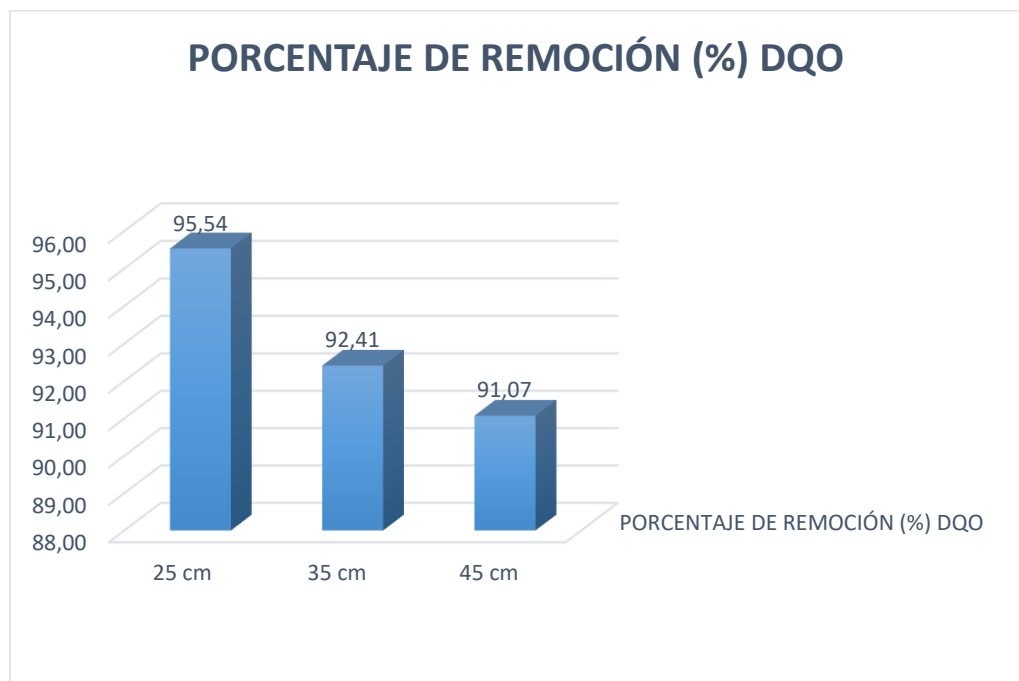


Figura 10 Porcentaje de remoción DQO.
Fuente: (Los Autores, 2018)

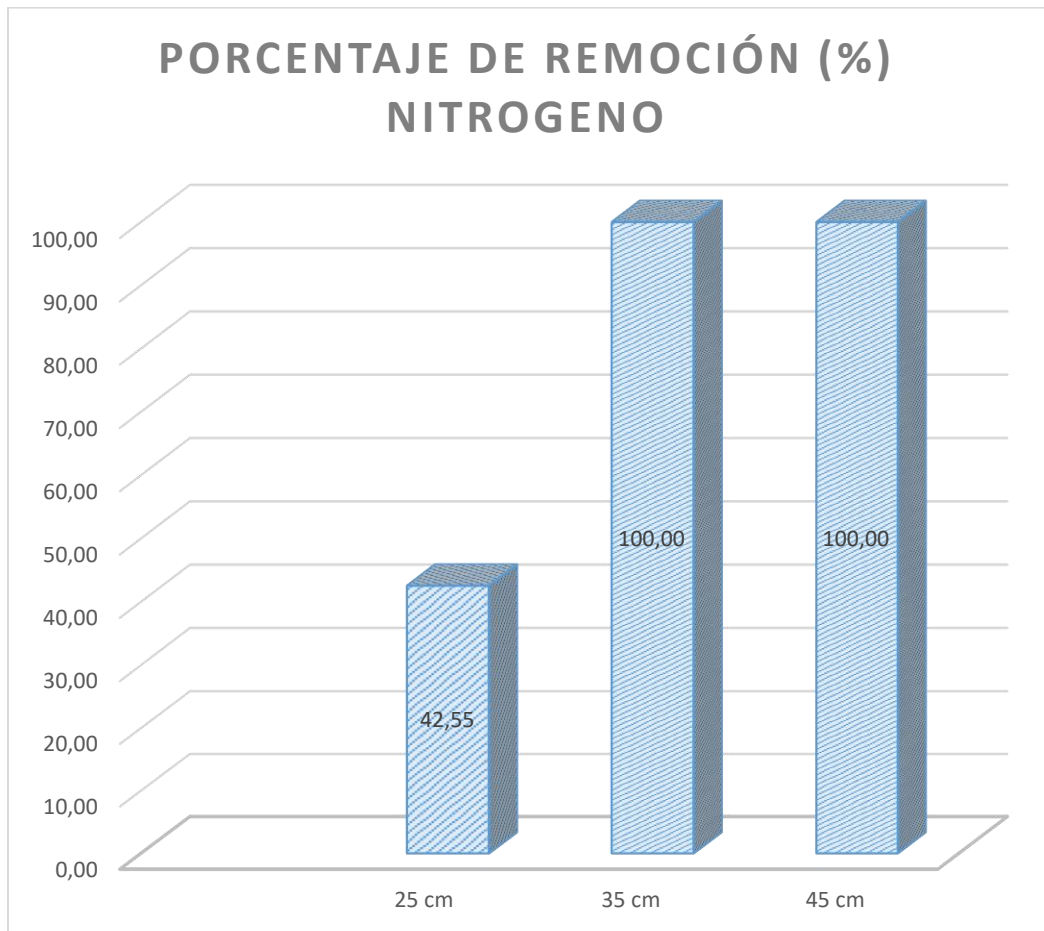


Figura 11 Porcentaje remoción nitrógeno.
Fuente: (Los Autores, 2018)

4.4 Costo general del sistema implementado

Se pudo analizar los siguientes costos generales del sistema implementado en este proyecto.

Tabla 11
Costo Sistema Implementado

| Descripción | Unidad | Cant. | Valor Unitario | Total |
|---------------------------|----------------|-------|----------------|---------------|
| Arena Gruesa | m ³ | 0,08 | 18,36 | 1,47 |
| Piedrilla 1/8 | m ³ | 0,04 | 20,90 | 0,84 |
| Zeolita(Piedra Volcánica) | m ³ | 0,36 | 400,00 | 144,00 |
| Tuberías PVC | Unid. | 2 | 20,00 | 40,00 |
| TOTAL | | | | 186,30 |

Fuente: (Los Autores, 2018)

CONCLUSIONES

Del trabajo realizado se puede concluir que se obtuvo un porcentaje de remoción de 93,74% del parámetro DBO₅ en las aguas residuales domesticas usando 35 cm de altura con lecho filtrante de zeolita, comparado con 25 cm de altura de zeolita que se obtuvo un porcentaje de remoción de 93,64 % y 45 cm de altura de zeolita con un porcentaje de remoción de 85,44 %.

En definitiva, tiene que ver con las remociones del parámetro DQO en el agua residual doméstica, se alcanzó mayor porcentaje de remoción de este parámetro con el 95,54 % en 25 cm de altura con lecho filtrante de zeolita y, fue disminuyendo a las alturas de 35 cm de altura de zeolita se obtuvo un porcentaje de remoción del parámetro DQO de 92,41 % y, 45 cm de altura de zeolita se obtuvo un porcentaje de remoción del parámetro DQO de 91,07 %.

En resumen, respecto a la remoción de nitrógeno total en aguas residuales, es posible apreciar que en 25 cm de lecho filtrante de zeolita presentó una tasa de remoción de nitrógeno de 42,55%, lo que permitió evaluar y confirmar que en alturas de 35 cm y 45cm de lecho de zeolita remueve más cantidad de nitrógeno llegando a un porcentaje de remoción de nitrógeno de 100 %.

Con base a los resultados obtenidos en la investigación, se puede concluir que el humedal artificial de flujo subsuperficial utilizando como lecho filtrante zeolita es viable para evaluar el comportamiento de la remoción de contaminantes de tipo orgánicos de aguas residuales domésticas, que los promedios de remoción de los parámetros DBO₅, DQO y nitrógeno están por encima del 80% de eficacia.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo demuestran que es posible implementar la tecnología de humedales artificiales de flujo subsuperficial, con lecho de zeolita, para el tratamiento de aguas residuales domésticas de forma económica y ambientalmente responsable. Para terminar el lecho filtrante zeolita puede fomentar el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización, el cual no perjudica las fuentes receptoras, los suelos o la vida silvestre lo que estipula el código orgánico del ambiente ecuatoriano.

Demostrado los resultados se observa que las muestras de Nitrógeno a la salida usando las tres alturas de lecho de zeolita cumplen con los límites de descarga al sistema de alcantarillado público tanto como límites de descarga a un cuerpo de agua dulce del (TULAS) Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Medio Ambiente.

Desarrollado las debidas muestras se observa que la de DBO₅ a la salida usando las tres alturas de lecho de zeolita cumplen con los límites de descarga al sistema de alcantarillado público tanto como límites de descarga a un cuerpo de agua dulce del (TULAS) Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Medio Ambiente

Los resultados obtenidos se concreta que las muestra de DQO a la salida usando las tres alturas de lecho de zeolita cumplen con los límites de descarga al sistema de alcantarillado público tanto como límites de descarga a un cuerpo de agua dulce del (TULAS) Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Medio Ambiente.

La DBO, Demanda Biológica de Oxígeno (BOD en inglés, Biological Oxygen Demand), y la DQO, Demanda Química de Oxígeno (COD en inglés, Chemical Oxygen Demand), son unos de los parámetros más importantes en la caracterización (medición del grado de contaminación) de las aguas residuales.

La DBO es la demanda bioquímica de oxígeno que tiene un agua. Es la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aeróbicas o anaeróbicas), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en mgO_2/l . La DBO es un proceso biológico y por lo tanto es delicado y requiere mucho tiempo. Como el proceso de descomposición depende de la temperatura, se realiza a 20°C durante 5 días de manera estándar, denominándose DBO5. Se tomó 5 días como estándar porque es el tiempo medio que los ríos británicos tardan en llegar al mar.

Con carácter general, cuanto más contaminación, más DBO. Proporciona una medida aproximada y algunos valores de referencia en función del tipo del agua pueden ser:

Pura: entre 2 y 20 mg/l

Poco contaminada entre 20 y 100 mg/l

Medianamente contaminada entre 100 y 500 mg/l

Muy contaminada entre 500 y 3.000 mg/l

Extremadamente contaminada entre 3.000 y 15.000 mg/l

Por otra parte, la DQO es la demanda química de oxígeno del agua.

Es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en CO₂ y H₂O. Se expresa también en mgO₂/l. Cuanto mayor es la DQO, más contaminada está el agua. La DQO es una prueba que solo toma alrededor de tres horas, por lo que los resultados se pueden tener en mucho menor tiempo que lo que requiere una prueba de DBO. La DQO en aguas industriales puede situarse entre 50 y 2.000 mgO₂/l, aunque puede llegar a 5.000 según el tipo de industria.

La diferencia principal entre la DBO y la DQO es que la segunda engloba la primera, e incluye más cosas. En la DBO sólo se detecta el material orgánico degradado biológicamente o que es biodegradable, mientras que en la DQO se busca la oxidación completa de la muestra, de manera que todo el material orgánico, biodegradable y no biodegradable, es químicamente oxidado. Para una muestra dada de agua, el valor de DQO siempre ha de ser mayor que el de DBO.

DBO y DQO están relacionadas y mantienen su relación para cada tipo de agua. La relación entre ellas no es igual para diferentes tipos de agua, pero aguas industriales del mismo tipo tienen parecida relación DBO/DQO.

La DBO como ya vimos es la Demanda Bioquímica de oxígeno y la DQO es la Demanda Química de Oxígeno.

La DBO (mg O₂/l) es básicamente la cantidad de oxígeno (mg O₂) que consumen los organismos presentes en un litro de agua en oscuridad y a 20°C.

La DQO es la Demanda Química de Oxígeno. Es la medida del oxígeno necesario para una oxidación completa fuerte (oxidación llevada a cabo con dicromato potásico en medio sulfúrico). Su valor comprende todo lo que puede tener una demanda de oxígeno, especialmente las sales oxidables y la mayor parte de los compuestos

orgánicos biodegradables o no. Los hidrocarburos minerales son resistentes a esta oxidación por lo que pueden dar medidas erróneas.

La DBO va variando con el tiempo. Durante los primeros días el oxígeno que se consume se usa para degradar la contaminación carbonosa. A partir del séptimo día se incrementa el consumo de oxígeno (el valor de la DBO) porque el oxígeno se empieza a consumir para degradar los compuestos nitrogenados. Estos compuestos nitrogenados necesitan más oxígeno para su degradación. Si se continúa midiendo la DBO entre 21 y 28 días se consigue la DBO completa o última.

La DBO última sería parecida a la DQO si todas las materias orgánicas de un agua fuesen biodegradables. Si el agua contiene materias orgánicas no biodegradables (que por ejemplo pueden venir de vertidos industriales) la DQO es mayor que la DBO última. Además la DBO última es también mayor que la DBO5. En el caso de la glucosa la DBO última = 1,46 * DBO5.

La DBO generalmente se realiza a los 5 días (tiempo medio que tarda el Támesis en llegar al mar) aunque en ocasiones algunas medidas se realizan a los 7 días (cuando toda la materia carbonosa se ha degradado). Pero el standard es a 20°C y 5 días. 5 días de espera es un valor alto para una medida analítica pero 21 días es un tiempo excesivo. En general en Europa cada vez se tiende más a usar la DQO en lugar de la DBO porque el tiempo necesario para tener el valor es de 2 horas frente a 5 días.

Por tanto y a modo de resumen; como el agua contiene parte no biodegradable $DQO > DBO_{21}$ y como $DBO_{21} > DBO_5$ la DQO es siempre mayor que la DBO5.

Por ejemplo, para el caso del humedal artificial usando una altura de zeolita de 25 cm, se encuentra la carga agua residual tratada $C = Q \times$ concentración de DBO de agua tratada = $18140 \text{ l/d} \times 86,8 \text{ mgDBO tratada/l} / 1'000.000 \text{ mg/Kg} = 1,57 \text{ Kg DBO tratada /d}$.

Por lo que, el costo del Kg DBO tratado es igual a $\text{U\$ } 186,30 / 1,57 \text{ Kg DBO tratada/d} = \text{U\$ } 118,66/\text{kg DBO tratada} = \text{U\$ } 0,12/\text{g DBO tratada}$.

RECOMENDACIONES

Para finalizar esta investigación experimental científica se puede plantear que, ante el impacto ambiental que emana las descargas de aguas residuales domésticas, se impone la necesidad de implementar este sistema de tratamiento encontrado para reducir las concentraciones de DBO₅ y DQO en un humedal artificial con flujo subsuperficial con lecho de zeolita.

Para el tratamiento y disposición final de las mismas, contaminantes que se encuentran en las aguas residuales domésticas, por debajo de los límites de descarga al sistema de alcantarillado público y límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, ya que fue exitosa; sin embargo, se recomienda continuar con investigaciones acerca del mismo, para obtener mejores resultados.

Según mi punto de vista si se continúan los estudios con este tipo de lechos filtrantes como la zeolita (piedra volcánica), es recomendable utilizarla en tamaños de la piedra menores a $\frac{3}{4}$ de pulgadas, para que se evalúe nuevamente la eficiencia en la absorción de agua residual doméstica. Dado que es de vital importancia la implementación de plantas acuáticas en la remoción de los parámetros DBO₅ y DQO.

El junco de río es recomendable por la habilidad que tienen sus raíces para absorber oxígeno, dióxido de carbono, también tiene lugar para la depuración de contaminantes en las aguas residuales domésticas, con sus mecanismos de filtración y sedimentación de sólidos, degradación de la materia orgánica por su conjunto de microorganismos facultativos asociado a las raíces de esta planta.

Como resultado se recomienda proseguir con la evaluación de remoción de otros parámetros de calidad del agua residual usando el humedal artificial de flujo subsuperficial, y de esta manera poder registrar los niveles de remoción de concentración de contaminantes que existen en el agua residual doméstica.

BIBLIOGRAFIA

- Bedoya Perez, J., Ardila Arias, A. N., & Reyes Calle, J. (03 de agosto de 2014). *Scielo*. Obtenido de Revista Internacional de Contaminacion Ambiental: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000300004#f1
- carbotecnia. (17 de Julio de 2014). *Carbotecnia.info*. Obtenido de Filtros de lecho profundo: <https://www.carbotecnia.info/encyclopedia/filtros-de-lecho-profundo/>
- Castilla, M. (19 de Junio de 2012). *Mis blogs*. Obtenido de El Junco: <http://artesanaijunco.blogspot.com/2012/06/descripcion-del-junco.html>
- Cirinsky Diez, A. (6 de noviembre de 2015). *Prezi*. Obtenido de Las Raices de las Plantas Acuaticas: <https://prezi.com/user/bi8iwqvarbiw/>
- Delgadillo, O., Camacho, A., Perez, L., & Andrade, M. (2010). Obtenido de Depuracion de Aguas residuales por medio de Humedales Artificiales: Fuente:(<https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>)
- depositphotos. (s.f.). *Junco en la orilla del rio*. Obtenido de <https://sp.depositphotos.com/112756946/stock-video-reeds-on-the-bank-of.html>
- EcuRed. (s.f.). *EcuRed*. Obtenido de Conocimiento con todos y para todos Zeolita: <https://www.ecured.cu/Zeolita>
- EcuRed. (s.f.). *Ecured(conocimientos con todos y para todos)*. Obtenido de Tratamiento de aguas residuales: https://www.ecured.cu/Tratamiento_de_aguas_residuales
- Engineering, I. C. (January de 2011). *International Journal of Environmental Science and Development*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/267697928_Evaluating_the_Performance_of_Horizontal_Subsurface_Flow_Constructed_Wetlands_Using_Natural_Zeolite_escott
- Escobar Moreno, J. E. (1 de Agosto de 2012). *Humedales Bogota.com*. Obtenido de humedales: <http://humedalesbogota.com/2012/08/01/plantas-acuaticas-en-los-humedales-de-bogota/>
- Galindo, R. (Febrero de 2013). *AGROPECUARIA ATITLÁN S.A.* Obtenido de HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO: <https://www.agroatitlan.com/wp-content/uploads/2015/07/HUMEDAL-ARTIFICIAL-PARA-EL-TRATAMIENTO-DE-AGUAS-MIELES-DE-FINCA-PAMPOJILA.pdf>

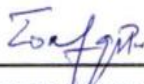
- Girón Gómez, J. C., & Campos Espinoza, S. R. (17 de 10 de 2013). *SCRIBD*.
Obtenido de es.scribd.com/doc/61499158/FILTROS:
<https://es.scribd.com/doc/178630389/Filtro-Lento-y-Rapido-PDF>
- INGEESTUDIOS. (Octubre de 2018). Laboratorio de calidad de aguas. *Informe de Resultados*. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Joseleogon. (s.f.). *steemit*. Obtenido de Demanda biologica de oxigeno y demanda quimica de oxigeno: <https://steemit.com/stem-espanol/@joseleogon/demanda-quimica-de-oxigeno-dqo-y-demanda-biologica-de-oxigeno-dbo>
- JOSELEOGON. (s.f.). *STEEMIT*. Obtenido de DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO Y DEMANDA BIOLOGICA DE OXIGENO:
<https://steemit.com/stem-espanol/@joseleogon/demanda-quimica-de-oxigeno-dqo-y-demanda-biologica-de-oxigeno-dbo>
- Los Autores, R. (octubre de 2018). Guayas, Guayaquil, Ecuador.
- Norman W, E. (31 de julio de 2005). *Wikipedia la enciclopedia libre*. Obtenido de mc-14: <https://es.wikipedia.org/wiki/MC-14>
- QuimiNet. (2012). Obtenido de www.quiminet.com
- Scielo. (7 de Junio de 2013). *Universidad y Salud*. Obtenido de Nitrogeno en Aguas Residuales:
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-71072013000100007
- VI, R. O. (04 de Noviembre de 2015). Limite de Descarga a un cuerpo de agua dulce. *TULAS*. Quito, Pichincha, Ecuador:
<http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155128.pdf>.
- wikipedia.org. (s.f.). *wikipedia.org*. Obtenido de La enciclopedia libre:
https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo_cient%C3%ADfico

ANEXOS

Anexo 1 Análisis de resultado primera muestra de entrada y salida



| INFORME DE RESULTADOS | | | No. 0691-18 | | |
|--|-------------|------------|--|----------------------|---------|
| FECHA DEL INFORME: 19/10/2018 INFORMACION DEL CLIENTE Empresa : Universidad Laica Vicente Rocafuerte Dirección : Av. De las Américas Solicitado por : Sr. Cercado y Srta Zande | | | DATOS DEL MUESTREO Tipo de Muestra : Simple Lugar de Toma : Universidad Laica Vicente Rocafuerte (Salida) Fecha de Toma : 12/10/2018 Responsable Muestreo : Ing. Kieber Moscoso Hora : 17H00 Simple Fecha de Ingreso : 12/10/2018 | | |
| CONDICIONES DEL ANALISIS F.Inicio del Análisis : 12/10/2018 T * C : 24,6 F.Fin del Análisis : 17/10/2018 %H : 58,0 | | | | | |
| <u>RESULTADOS</u> | | | | | |
| PARÁMETROS | UNIDADES | RESULTADOS | U (k=2) | MÉTODO DE REFERENCIA | LÍMITES |
| *pH a 25°C | <i>u pH</i> | 7,6 | 0,1 u pH | SM 4500-H PE 1.1. | 6,5-8,3 |
| *Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | <i>mg/l</i> | 13,5 | 12% | SM 5210B PE-1.3 | 100 |
| *Demanda Química de Oxígeno (DQO) | <i>mg/l</i> | 20 | 10% | SM 5220 D PE 1.4 | 200 |
| Nitrógeno Total | <i>mg/l</i> | 0 | - | PE 1.9 R01 | 50 |



 Jefe del Laboratorio
 Qca. Esmeralda Quintero

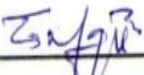
NOTAS:

1. Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometidas al ensayo.
 2. No se debe reproducir el informe de manera parcial sólo en su totalidad.
 3. Las opiniones e interpretaciones no forman parte del alcance de acreditación solicitado al SAE.
- *Parámetro incluido en el alcance de acreditación solicitado al SAE (Servicio de Acreditación Ecuatoriano).
 **Parámetro subcontratado.

Anexo 2 Análisis de resultado segunda muestra salida



| INFORME DE RESULTADOS | | No. 0674-18 | | | |
|--|----------|--|----------|----------------------|---------|
| FECHA DEL INFORME: 19/10/2018 | | DATOS DEL MUESTREO | | | |
| INFORMACION DEL CLIENTE | | Tipo de Muestra : Simple | | | |
| Empresa : Universidad Laica Vicente Rocafuerte | | Lugar de Toma : Universidad Laica Vicente Rocafuerte (Salida) | | | |
| Dirección : Av. De las Américas | | Fecha de Toma : 11/10/2018 | | | |
| Solicitado por : Sr. Cercado y Srta Zande | | Responsable Muestreo : Ing. Kleber Moscoso | | | |
| CONDICIONES DEL ANÁLISIS | | Hora : 17H00 Simple | | | |
| F.Inicio del Análisis : 11/10/2018 T ° C : 23,1 | | Fecha de Ingreso : 11/10/2018 | | | |
| F.Fin del Análisis : 16/10/2018 %H : 56,2 | | | | | |
| RESULTADOS | | | | | |
| PARÁMETROS | UNIDADES | RESULTADOS | U (k=2) | MÉTODO DE REFERENCIA | LÍMITES |
| *pH a 25°C | u pH | 7,5 | 0,1 u pH | SM 4500-H PE 1.1. | 6,5-8,3 |
| *Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | mg/l | 5,8 | 12% | SM 5210B PE-1.3 | 100 |
| *Demanda Química de Oxígeno (DQO) | mg/l | 17 | 10% | SM 5220 D PE 1.4 | 200 |
| Nitrógeno Total | mg/l | 0 | - | PE 1.9 R01 | 50 |



 Jefe del Laboratorio
 Qca. Esmeralda Quintero

NOTAS:

1. Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometidas al ensayo.
 2. No se debe reproducir el informe de manera parcial sólo en su totalidad.
 3. Las opiniones e interpretaciones no forman parte del alcance de acreditación solicitado al SAE.
- *Parámetro incluido en el alcance de acreditación solicitado al SAE (Servicio de Acreditación Ecuatoriano).
 **Parámetro subcontratado.

Anexo 3 Análisis de resultado tercera muestra de salida



| INFORME DE RESULTADOS | | No. 0672 - 0673-18 | | | |
|--|--------------------------------------|--|--------------------------------------|----------------------|---------|
| FECHA DEL INFORME: 19/10/2018 | | | | | |
| INFORMACION DEL CLIENTE | | DATOS DEL MUESTREO | | | |
| Empresa : | Universidad Laica Vicente Rocafuerte | Tipo de Muestra : | Simple | | |
| Dirección : | Av. De las Américas | Lugar de Toma : | Universidad Laica Vicente Rocafuerte | | |
| Solicitado por : | Sr. Cercado y Srta Zande | Fecha de Toma : | 10/10/2018 | | |
| CONDICIONES DEL ANÁLISIS | | Responsable Muestreo : Ing. Kleber Moscoso | | | |
| F.Inicio del Analisis : | 10/10/2018 T °C : 26,1 | Hora : | 15H00 - 15H20 Simple | | |
| F.Fin del Analisis : | 15/10/2018 %H : 43,3 | Fecha de Ingreso : | 10/10/2018 | | |
| RESULTADOS | | | | | |
| Identificación de la muestra: U.L.V.R. (Entrada) (No. 0672-18) | | | | Hora de toma: 15H00 | |
| PARÁMETROS | UNIDADES | RESULTADOS | U (h=2) | MÉTODO DE REFERENCIA | LIMITES |
| *pH a 25°C | u pH | 7,7 | 0,1 u pH | SM 4500-H PE 1.1. | 6,5-8,3 |
| *Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | mg/l | 92,7 | 12% | SM 5210B PE-1.3 | 100 |
| *Demanda Química de Oxígeno (DQO) | mg/l | 224 | 10% | SM 5220 D PE 1.4 | 200 |
| Nitrógeno Total | mg/l | 47 | - | PE 1.9 R01 | 50 |
| Identificación de la muestra: U.L.V.R. (Salida) (No. 0673-18) | | | | Hora de toma: 15H20 | |
| PARÁMETROS | UNIDADES | RESULTADOS | U (h=2) | MÉTODO DE REFERENCIA | LIMITES |
| *pH a 25°C | u pH | 7,5 | 0,1 u pH | SM 4500-H PE 1.1. | 6,5-8,3 |
| *Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | mg/l | 5,9 | 12% | SM 5210B PE-1.3 | 100 |
| *Demanda Química de Oxígeno (DQO) | mg/l | 10 | 10% | SM 5220 D PE 1.4 | 200 |
| Nitrógeno Total | mg/l | 27 | - | PE 1.9 R01 | 50 |



 Jefe del Laboratorio
 Qca. Esmeralda Quintero

NOTAS:

1. Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometidas al ensayo.
 2. No se debe reproducir el informe de manera parcial sólo en su totalidad.
 3. Las opiniones e interpretaciones no forman parte del alcance de acreditación solicitado al SAE.
- *Parámetro incluido en el alcance de acreditación solicitado al SAE (Servicio de Acreditación Ecuatoriano).
 **Parámetro subcontratado.

Anexo 4 Artículo de Revista



Inicio > Usuario/a > Autor/a > Envíos activos

Envíos activos

[ACTIVO/A](#) [ARCHIVAR](#)

| <u>ID.</u> | <u>DD-MM</u> <u>ENVIAR</u> | <u>SECC</u> | <u>AUTORES/AS</u> | <u>TÍTULO</u> | <u>ESTADO</u> |
|------------|-------------------------------|-------------|-------------------|---|---------------|
| 336446 | 11-19 | ART | | EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA DBO Y DQO EN EL AGUA... | Asignación |

[Empezar un nuevo envío](#)

Anexo 5 Ficha Técnica



FILTROCEL

Filtrante de agua

FICHA TÉCNICA

1.- IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO

| | |
|-------------------------------|--|
| Nombre Químico | Aluminosilicatos altamente cristalizados |
| Nombre Comercial del producto | FILTROCEL |
| Nombre Común del Mineral | Zeolita Natural |
| Nombre Científico | Tamiz molecular |
| Presentación | Granulado (0.7 a 26 mm) en grupos granulométricos |
| Formula Química | SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , MgO, H ₂ O |
| IDENTIFICACION DE LA EMPRESA | ZEONATEC S.A. |
| Dirección | Km 50 via a la Costa (sector Cerecita) |
| Telefax | (593) 42692752- (593) 99 110 587 |
| E-mail | zeonatec@gmail.com |
| USOS DE LA SUSTANCIA | <p>FILTRO MOLECULAR DE AGUAS</p> <p>Filtros de piscinas, parques acuáticos y acuarios Recuperación de aguas industriales y/o servidas Retención y captura de metales pesados Ablandamiento de aguas para riego y uso agrícola Absorbente de gases tóxicos y limpieza de ambiente Tratamiento de aguas de desecho industrial Potabilización de aguas para uso humano Separación de humedad en medios gaseosos Filtración de aguas con residuos petroleros y grasosos Absorción de aceites y medios acuosos</p> |

1.- COMPOSICION DEL PRODUCTO

| Tipo | % | CIC | Elementos componentes |
|----------------|----|-----------|-----------------------------|
| Clinoptilolita | 87 | 112 - 118 | Ver análisis de laboratorio |

3.- IDENTIFICACION DEL PELIGRO

Producto considerado como No Peligroso. Al manipular el producto en macropartículas se debe tomar medidas anti contaminación y de corte de la piel, es un cristal o vidrio de origen volcánico.

4.-PRIMEROS AUXILIOS

| | |
|---------------------------|--|
| Contacto con los ojos | Lavar inmediatamente con agua |
| Contacto con la piel | Lavar con agua la zona afectada. |
| Inhalación | Apartar de la fuente de exposición. |
| Ingestión | No provocar el vómito, lavar la boca y dar de beber agua. |
| Recomendaciones Generales | Utilizar equipos de protección individual durante su manipulación. |



www.zeonatec.com
 info@zeonatec.com
 zeonatec@gmail.com