



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**“DETERMINACIÓN DE EFICIENCIA DE ESPECIES VEGETALES: TOTORA -  
ACHIRA IMPLEMENTADAS EN BIOFILTROS PARA AGUA DE RIEGO EN  
PUNÍN 2013”**

**TESIS DE GRADO**

**PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

**ING. EN BIOTECNOLOGÍA  
AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR**

**VIVIANA NATALY DUCHICELA GOYES**

**MAGALY KATERINE TOLEDO VERDEZOTO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2014**

## **DEDICATORIA**

*Dedico este trabajo de tesis a mis padres Francisco y Jacqueline, por ser el eje fundamental en mi vida, por sus sabios y acertados consejos, por su ejemplo de superación; a mi hermano Alejandro por estar conmigo en las buenas y en las malas y apoyarme de forma incondicional; A mi abuelita Elsitita por todo el amor, palabras de aliento y fortaleza cuando más lo necesitaba; a mi familia y amigos porque creyeron en mí; y hoy, puedo ver culminada mi meta, ¡Ya soy Ingeniera!. A ustedes por siempre mi cariño y agradecimiento.*

VIVI

## **DEDICATORIA**

*A mis queridos padres Ángel y Yolanda quienes con su amor, paciencia, sabiduría y apoyo han guiado mi camino estudiantil con sabios consejos para culminar mis objetivos profesionales con éxito.*

*A mi hermana Jossy por su comprensión y a mi linda sobrina Tyrita por su alegría y apoyo en todo momento.*

*A mi compañero Carlitos que ha estado a mi lado durante estos años de estudio brindándome todo su apoyo en buenos y malos momentos.*

*Los quiero mucho*

**KATY**

## **AGRADECIMIENTO**

*Queremos agradecer en primer lugar a Dios, quien nos ha dado sus bendiciones y nos ha guiado durante nuestra vida estudiantil.*

*A nuestros padres quienes con su esfuerzo y amor siempre nos apoyaron para alcanzar con éxito nuestro objetivo profesional.*

*Al Dr. Celso Recalde y al Dr. Robert Cazar por habernos guiado durante este proceso, por sus sabias y acertadas correcciones que nos permitieron mirar más allá, y tener una perspectiva diferente de lo que involucra el desarrollo de una tesis.*

*Al GADPCH por habernos otorgado la oportunidad de realizar nuestra tesis profesional dentro del departamento de Gestión Ambiental y al equipo técnico por brindarnos su apoyo y todas las facilidades para culminar con el trabajo.*

*A la ESPOCH por ser nuestro segundo hogar y forjarnos como profesionales exitosas; al Laboratorio de Microbiología y de Aguas en las personas de la Dra. Maritza Yáñez y Dra. Gina Álvarez por su apoyo incondicional en la parte experimental de nuestra tesis.*

*Vivi y Katy*

# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

## FACULTAD DE CIENCIAS

### ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS

El Tribunal de Tesis certifica que: El trabajo de investigación: “DETERMINACIÓN DE EFICIENCIA DE ESPECIES VEGETALES: TOTORA - ACHIRA IMPLEMENTADAS EN BIOFILTROS PARA AGUA DE RIEGO EN PUNÍN 2013”, de responsabilidad de las Egresadas Srta. Viviana Nataly Duchicela Goyes y Srta. Magaly Katerine Toledo Verdezoto ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

| <b>NOMBRE</b>   | <b>FIRMA</b> | <b>FECHA</b> |
|---|--------------|--------------|
| Dr. Silvio Álvarez<br><b>DECANO FAC. CIENCIAS</b>             | .....        | .....        |
| Dra. Nancy Veloz<br><b>DIR. ESCUELA<br/>CIENCIAS QUÍMICAS</b> | .....        | .....        |
| Dr. Celso Recalde<br><b>DIRECTOR DE TESIS</b>                 | .....        | .....        |
| Dr. Robert Cazar<br><b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>               | .....        | .....        |
| Dra. Magdy Echeverría<br><b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>          | .....        | .....        |
| <b>DIRECTOR CENTRO<br/>DOCUMENTACIÓN</b>                      | .....        | .....        |
| <b>NOTA DE TESIS ESCRITA</b> .....                            |              |              |

Yo, Viviana Nataly Duchicela Goyes, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis; y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado, pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

---

**VIVIANA NATALY DUCHICELA GOYES**

Yo, Magaly Katerine Toledo Verdezoto, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis; y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado, pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

---

**MAGALY KATERINE TOLEDO VERDEZOTO**

## INDICE DE ABREVIATURAS

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| AVG                           | Velocidad Promedio   |
| BULB                          | Temperatura del Bulbo Húmedo   |
| °C                            | Grados Celsius   |
| DBO <sub>5</sub>              | Demanda Biológica de Oxígeno a los 5 días.                               |
| DP                            | Temperatura del punto de rocío   |
| DQO                           | Demanda Química de Oxígeno.  |
| GADPCH                        | Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Chimborazo.         |
| mg/L                          | Miligramos por Litro.  |
| ml                            | Mililitro.   |
| m.s.n.m                       | Metros sobre el nivel del mar.   |
| NaOH                          | Hidróxido de Sodio   |
| NMP                           | Número más probable.   |
| NO <sub>3</sub>               | Nitratos.  |
| NTK                           | Nitrógeno total Kjeldahl   |
| pH                            | Potencial hidrógeno  |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | Fosfatos   |
| SPD                           | Velocidad del viento primera aproximación                                |
| SPDmax                        | Velocidad del viento máxima  |
| STD/TDS                       | Sólidos Totales Disueltos  |
| ST                            | Sólidos Totales  |
| T°                            | Temperatura  |
| TULSMA                        | Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente |
| UFC                           | Unidades Formadoras de Colonias  |
| μS/cm                         | microsiemens por centímetro  |

## INDICE GENERAL

|  |     |
|--|-----|
| INTRODUCCIÓN .....   | i   |
| JUSTIFICACIÓN .....  | iii |
| OBJETIVOS.....   | v   |
| General.....   | v   |
| Específicos .....  | v   |
| ANTECEDENTES .....   | vi  |
| 1. MARCO TEÓRICO.....  | 10  |
| 1.1 DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO .....                     | 10  |
| 1.2 HUMEDALES ARTIFICIALES O BIOFILTROS .....                  | 12  |
| 1.2.1 Características Físico – Químicas De Agua Residual ..... | 17  |
| 1.2.1.1 Potencial de Hidrógeno (pH). .....                     | 17  |
| 1.2.1.2 Temperatura .....                                      | 17  |
| 1.2.1.3 Sólidos Totales (ST).....                              | 18  |
| 1.2.1.4 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) .....             | 18  |
| 1.2.1.5 Nitrógeno Total.....                                   | 19  |
| 1.2.1.6 Fosforo total.....                                     | 20  |
| 1.2.1.7 Coliformes totales .....                               | 20  |
| 1.2.2 MARCO LEGAL APLICABLE .....                              | 21  |
| CAPÍTULO II.....   | 23  |
| 2. PARTE EXPERIMENTAL.....                                     | 23  |
| 2.1 Lugar de Investigación.....                                | 23  |
| 2.2 Metodología.....   | 24  |
| 2.2.1 En campo .....   | 24  |
| 2.2.1.1 Determinación de las especies vegetales .....          | 24  |
| 2.2.1.2 Diseño del biofiltro .....                             | 25  |
| 2.2.1.3 Colocación de las capas filtrantes .....               | 25  |
| 2.2.1.4 Vegetación .....                                       | 26  |
| 2.2.1.5 Selección de los biofiltros a muestrear.....           | 27  |
| 2.2.2 En laboratorio .....                                     | 29  |

|   |    |
|---|----|
| 2.2.2.1 Determinación de las especies vegetativas .....   | 29 |
| 2.2.2.2 Diseño de biofiltro.....  | 29 |
| 2.2.2.3 Colocación de las capas filtrantes .....  | 29 |
| 2.2.2.4 Vegetación .....  | 30 |
| 2.2.2.5 Determinación de condiciones Meteorológicas Del Lugar De Estudio .....                    | 30 |
| 2.2.3 Muestreo .....  | 30 |
| 2.2.3.1 Materiales de Campo.....  | 30 |
| 2.2.3.2 Recolección de muestras .....   | 31 |
| 2.2.3.3 Preservación de las muestras .....  | 33 |
| 2.2.4 Análisis De Los Parámetros Físico Químicos Y Microbiológicos.....                           | 33 |
| 2.2.4.1 Determinación del Potencial de Hidrógeno, Conductividad y Sólidos Totales Disueltos:..... | 34 |
| 2.2.4.2 Determinación de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5).....                                | 34 |
| 2.2.4.3 Determinación de nitratos y fosfatos.....   | 34 |
| 2.2.4.5 Coliformes fecales.....   | 34 |
| CAPÍTULO III .....  | 35 |
| 3. RESULTADOS .....   | 35 |
| 3.1 Condiciones Meteorológicas .....  | 35 |
| 3.1.2 Semana: 16-01-2014 .....  | 36 |
| 3.1.3 Semana: 23-01-2014 .....  | 36 |
| 3.1.4 Semana: 30-01-2014 .....  | 37 |
| 3.2 Resultados físicos químicos .....   | 38 |
| 3.2.1 Semana: 08 – 01 – 2014 .....  | 38 |
| 3.2.2 Semana 16 – 01 – 2014 .....   | 40 |
| 3.2.3 Semana 23 – 01 – 2014 .....   | 42 |
| 3.2.4 Semana 31 – 01 – 2014 .....   | 44 |
| 3.3 Resultados microbiológicos.....   | 46 |
| 3.4 Resultado de los porcentajes de remoción .....  | 46 |
| 3.4.1 Semana: 08-01-2014 .....  | 46 |
| 3.4.2 Semana: 16-01-2014 .....  | 47 |
| 3.4.3 Semana: 23-01-2014 .....  | 47 |
| 3.4.4 Semana: 30-01-2014 .....  | 48 |

|  |    |
|--|----|
| 3.5 Discusión De Resultados .....                        | 48 |
| 3.5.1 Semana: 08-01-2014 .....                           | 49 |
| 3.5.2 Semana: 16-01-2014 .....                           | 50 |
| 3.5.3 Semana:23-01-2014 .....                            | 51 |
| 3.5.4 Semana: 30-01-2014 .....                           | 52 |
| 3.6 Discusión de resultados para la especie Totora ..... | 53 |
| 3.6.1 Características físicas de la especie.....         | 53 |
| 3.6.2 Características del efluente .....                 | 53 |
| 3.7 Discusión de resultados para la especie Achira.....  | 54 |
| 3.7.1 Características físicas de la especie.....         | 54 |
| 3.7.2 Características del agua del efluente .....        | 54 |
| 3.8 Coliformes Fecales.....                              | 55 |
| 3.9 Resultados finales.....                              | 56 |
| 3.10 Análisis Estadístico .....                          | 56 |
| CAPÍTULO IV .....  | 59 |
| 4 MANUAL DE MANTEMIENTO.....                             | 59 |
| 4.1 OBJETIVO.....  | 60 |
| 4.2 ALCANCE .....  | 60 |
| 4.3 REFERENCIAS .....                                    | 60 |
| 4.4 RESPONSABILIDADES .....                              | 60 |
| 4.5 DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES.....                  | 60 |
| 4.5.1 CONSIDERACIONES GENERALES .....                    | 60 |
| 4.5.4 MANTENIMIENTO DEL TANQUE RESERVORIO.....           | 61 |
| CAPÍTULO V.....  | 62 |
| 5 CONCLUSIONES .....                                     | 62 |
| CAPÍTULO VI .....  | 64 |
| 6 RECOMENDACIONES .....                                  | 64 |
| CAPÍTULO VII.....  | 65 |
| 7.BIBLIOGRAFÍA .....                                     | 65 |
| CAPÍTULO VIII.....                                       | 73 |
| 8. RESUMEN .....   | 73 |
| CAPITULO IX .....  | 75 |

|  |    |
|--|----|
| 9. ANEXOS .....  | 75 |
| ANEXO 1: Muestreo .....  | 75 |
| ANEXO 2: Determinación de análisis físico químicos y microbiológicos ..... | 76 |
| ANEXO 3: Planos .....  | 78 |

## INDICE DE FOTOGRAFÍAS

|  |    |
|--|----|
| FOTOGRAFÍA N° 1 COMUNIDAD CHULCUNAG CENTRO _____             | 10 |
| FOTOGRAFÍA N° 2 COMUNIDAD CHULCUNAG ALTO _____               | 11 |
| FOTOGRAFÍA N° 3 UBICACIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO _____         | 11 |
| FOTOGRAFÍA N° 4 BIOFILTRO CON LECHO FILTRANTE EN CAMPO _____ | 26 |
| FOTOGRAFÍA N° 5 TOTORA SCIRPUS CALIFORNICUS _____            | 27 |
| FOTOGRAFÍA N° 6 ACHIRA CANNA EDULIS _____                    | 27 |
| FOTOGRAFÍA N° 7 TANQUE CON FISURAS _____                     | 28 |
| FOTOGRAFÍA N° 8 HUMEDALES CON LECHO FILTRANTE _____          | 30 |
| FOTOGRAFÍA N° 9 AFLUENTE DE HUMEDAL EN CAMPO _____           | 32 |
| FOTOGRAFÍA N° 10 AFLUENTE DEL HUMEDAL EN LABORATORIO _____   | 32 |
| FOTOGRAFÍA N° 11 EFLUENTE DE HUMEDAL EN CAMPO _____          | 33 |
| FOTOGRAFÍA N° 12 EFLUENTE DE HUMEDAL EN LABORATORIO _____    | 33 |
| FOTOGRAFÍA N° 13 MEDICIÓN DE PH, CONDUCTIVIDAD Y STD _____   | 34 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla I. Datos Chulcunag Centro .....                                  | 23 |
| Tabla II. Datos Chulcunag Alto.....                                    | 23 |
| Tabla III. Características de las especies vegetales .....             | 24 |
| Tabla IV. Dimensiones de biofiltro en campo.....                       | 25 |
| Tabla VII. Condiciones meteorológicas Chulcunag Centro semana 1 .....  | 35 |
| Tabla VIII. Condiciones meteorológicas Chulcunag Alto semana 1.....    | 35 |
| Tabla IX. Condiciones meteorológicas Chulcunag Centro semana 2.....    | 36 |
| Tabla X. Condiciones meteorológicas Chulcunag Altos semana 2 .....     | 36 |
| Tabla XI. Condiciones meteorológicas Chulcunag Centro semana 3.....    | 36 |
| Tabla XII. Condiciones meteorológicas Chulcunag Alto semana 3.....     | 37 |
| Tabla XIII. Condiciones meteorológicas Chulcunag Centro semana 4 ..... | 37 |
| Tabla XIV. Condiciones meteorológicas Chulcunag Alto semana 4 .....    | 37 |
| Tabla XV. Resultados físico químico – Achira semana 1 .....            | 38 |
| Tabla XVI. Resultados físico químico – Totora semana 1 .....           | 38 |
| Tabla XVII. Resultados físico químico – Achira semana 2 .....          | 40 |
| Tabla XVIII. Resultados físico químico – Totora semana 2 .....         | 40 |
| Tabla XIX. Resultados físico químico – Achira semana 3.....            | 42 |
| Tabla XX. Resultados físico químico – Totora semana 3 .....            | 42 |
| Tabla XXI. Resultados físico químico – Achira semana 4.....            | 44 |
| Tabla XXII. Resultados físico químico – Totora semana 4.....           | 44 |
| Tabla XXIII. Resultados microbiológico - Achira.....                   | 46 |
| Tabla XXIV. Resultados microbiológico - Totora.....                    | 46 |
| Tabla XXV. Eficiencia de remoción – Achira (1).....                    | 46 |
| Tabla XXVI. Eficiencia de remoción – Totora (1).....                   | 47 |
| Tabla XXVII. Eficiencia de remoción – Achira (2) .....                 | 47 |
| Tabla XXVIII. Eficiencia de remoción – Totora (2) .....                | 47 |
| Tabla XXIX. Eficiencia de remoción – Achira (3).....                   | 47 |
| Tabla XXX. Eficiencia de remoción – Totora (3).....                    | 47 |
| Tabla XXXI. Eficiencia de remoción – Achira (4).....                   | 48 |
| Tabla XXXII. Eficiencia de remoción – Totora (4).....                  | 48 |
| Tabla XXXIII. Características físicas de la Totora.....                | 53 |

|  |    |
|--|----|
| Tabla XXXIV. Porcentajes de eficiencia de la Totora con respecto a la Achira ..... | 54 |
| Tabla XXXV. Características físicas de la Achira .....                             | 54 |
| Tabla XXXVI. Porcentajes de eficiencia de la Achira con respecto a la Totora ..... | 54 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Resultados DBO semana 1 .....   | 39 |
| Figura 2. Resultado de Nitratos y fosfatos semana 1 .....                       | 39 |
| Figura 3. Resultado DBO semana 2.....   | 41 |
| Figura 4. Resultados Nitratos Fosfatos semana 2 .....                           | 41 |
| Figura 5. Resultado de DBO semana 3 .....                                       | 43 |
| Figura 6. Resultado de Nitratos y Fosfatos semana 3.....                        | 43 |
| Figura 6. Resultado DBO semana 4.....   | 45 |
| Figura 7. Resultado Nitratos y Fosfatos semana 4 .....                          | 45 |
| Figura 8. Porcentaje de remoción de contaminantes en comunidad semana 1 .....   | 49 |
| Figura 9. Porcentaje de remoción de contaminantes en laboratorio semana 1 ..... | 49 |
| Figura 10. Porcentaje de remoción de contaminantes comunidad semana 2 .....     | 50 |
| Figura 11. Porcentaje de remoción de contaminantes laboratorio semana 2 .....   | 50 |
| Figura 12. Porcentaje de remoción de contaminantes comunidad semana 3 .....     | 51 |
| Figura 13. Porcentaje de remoción de contaminantes laboratorio semana 3 .....   | 51 |
| Figura 14. Porcentaje de remoción de contaminantes comunidad semana 4 .....     | 52 |
| Figura 15. Porcentaje de remoción de contaminantes laboratorio semana 4 .....   | 52 |
| Figura 16. Resultado de Coliformes Fecales .....                                | 55 |
| Figura 17. Resultado de remoción de DBO en la comunidad .....                   | 58 |
| Figura 18. Resultado de remoción de DBO en laboratorio .....                    | 58 |

## **INTRODUCCIÓN**

El agua es un recurso indispensable para todos los organismos vivientes de nuestro planeta, es vital para la supervivencia de los seres humanos, aunque lastimosamente siendo un derecho universal, existen lugares donde es un privilegio, y su escasez repercute en el desarrollo de diversas actividades económicas dentro de las cuales predomina la agricultura.

Este problema se lo evidencia en las comunidades rurales de la Parroquia de Punín en la Provincia de Chimborazo, donde los habitantes del sector se ven obligados a utilizar las aguas grises para riego de sus sembríos sin considerar que, la calidad del agua usada tiene dos efectos importantes; a corto plazo influye en la producción, calidad y tipo de cultivo y a largo plazo puede modificar las propiedades del suelo tornándolo infértil; por lo que surge como iniciativa del GADPCH dar un tratamiento previo a las aguas grises mediante la implementación de biofiltros con especies vegetales propias del medio. El trabajo realizado consiste en determinar que especie vegetal tiene una mayor eficiencia de remoción de carga contaminante y asegurar que el agua tratada es idónea para el fin establecido.

En la investigación se realizó el tratamiento de agua residual en el sistema de humedales artificiales por separado para las especies vegetales totora y achira, evaluándolos un día a la semana durante el mes de Enero del año 2014, en los que se determinó los parámetros físicos químicos y microbiológicos, pH, sólidos totales disueltos, nitratos, fosfatos, DBO y coliformes fecales, analizando los niveles de concentración en la entrada y salida de los humedales.

En este estudio se presentan los resultados obtenidos y las eficiencias que tienen las especies vegetales, Totora y Achira en la remoción de carga contaminante de las aguas residuales grises. La Achira la especie que tiene mayor remoción de DBO, siendo 8,5% más eficiente que la totora en la Comunidad y 3,2% más eficiente en los biofiltros de laboratorio. Se obtiene así que la Achira al ser una especie nueva en el tratamiento de depuración de aguas residuales es más eficiente que la Totora que ha sido considerada como la especie modelo

para estos sistemas. Se puede elegir a los humedales artificiales como una buena opción en el tratamiento de aguas residuales de grandes y pequeñas poblaciones, por sus bajos costos y fácil instalación.

## JUSTIFICACIÓN

El agua, líquido vital universal no es distribuido correctamente, existiendo lugares en donde se lo desperdicia y otros en donde es escasa y de malas condiciones. Las comunidades rurales más alejadas viven esta cruda realidad, por diversos aspectos como políticos, económicos y sociales.

El presente proyecto tiene relevante importancia por varios factores entre ellos se encuentra la aridez de los terrenos ubicados en la zona (fotografía 01, 02) y la contaminación de los mismos causado por aguas grises originadas en cada una de las viviendas de las comunidades de Chulcunag Centro y Chulcunag Alto pertenecientes a la parroquia Punín, que son vertidas directamente en las parcelas de cultivos sin ningún tipo de tratamiento previo, problema ocasionado por la falta de líquido vital, razón por la cual los habitantes para satisfacer sus necesidades captan el agua desde una fuente de origen natural que se encuentra ubicada a una distancia de 7Km para Chulcunag Centro y 5Km para Chulcunag Alto, indicadores que manifiestan la insuficiencia de agua destinada para consumo y riego. Dentro de la comunidad de Chulcunag Centro las 25 familias poseen un total de 15 hectáreas de terreno, de las cuales el 80% son cultivables y el 20% pastizales nativos, y en Chulcunag Alto las 20 familias se dedican a la agricultura y eventualmente al comercio de productos agrícolas por épocas del año.

El propósito es determinar la eficiencia de un sistema de depuración “biofiltros” construidos con materiales accesibles facilitando su implementación para el tratamiento de todas las aguas grises domésticas y su posterior uso en los cultivos, con el fin de minimizar la contaminación que pueda presentarse en los componentes bióticos y abióticos del sector. La tecnología a ser aplicada ha sido ya implementada en algunos países teniendo buenos resultados en la remoción de contaminantes de aguas residuales. Dicha eficiencia se debe al tiempo de vida útil que tiene un biofiltro, el mismo que oscila entre los 15 y 20 años, lo que depende de factores tales como: la construcción y el mantenimiento. Considerando las ventajas mencionadas, la visión del proyecto es obtener un agua con características óptimas para riego, beneficiando directamente a las comunidades, cuya economía se basa en actividades agrícolas.

Como futuras profesionales en el ámbito de la Ingeniería en Biotecnología Ambiental nos sentimos capaces para solucionar problemas de diversas índoles entre ellos el tratamiento de las aguas residuales grises, motivo por el cual unimos esfuerzos con el Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Chimborazo quienes nos han apoyado de forma valiosa en cuanto se refiere al contacto con la comunidad, movilización y asesoría en el tema de Implementación de Biofiltros en la Parroquia de Punín, proyecto que favorece directamente a los habitantes de las comunidades y representa un aporte positivo para la sociedad. Conociendo bibliográficamente que no se cuenta con estudios acerca de humedales artificiales implementados con totora y achira, ha sido necesario investigar estas especies desde el laboratorio, por tal razón se toma la decisión de construir dos biofiltros, para obtener resultados referentes a la eficiencia en la remoción de contaminantes con las especies: totora y achira.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Determinar la eficiencia de las especies vegetales, Totora y Achira implementadas en biofiltros para obtener agua de riego a partir de aguas grises generadas en las comunidades Chulcunag Centro y Chulcunag Alto pertenecientes a Punín durante el año 2013.

### **Específicos**

- ❖ Caracterizar cuali-cuantitativamente el agua gris generada por las actividades diarias de los habitantes.
- ❖ Determinar las características fisicoquímicas y microbiológicas del efluente.
- ❖ Identificar que especie vegetal: totora y/o achira presenta un mayor porcentaje de remoción de carga contaminante.

## ANTECEDENTES

Los estudios realizados sobre humedales artificiales o conocidos como biofiltros se realizaron desde el año 1952 por Seidel en Alemania, y junto a Kickuth durante las décadas de 1950 y 1960 desarrollaron el tratamiento de agua conocido como “Root Zone Method”, que es un humedal de flujo subsuperficial relleno de arcilla. Las plantas que principalmente se utilizan son carrizo (*Phragmites Australis*), junco (*Juncus sp*) y totora (*Typha sp*).

En 1971 se inició el estudio de un humedal natural al cual se le vertía un efluente secundario con el objetivo de evitar la eutrofización de un lago situado aguas abajo (Houghton Lake, Michigan). A partir de 1972 se empezaron a estudiar otros humedales construidos de flujo superficial en Michigan, Florida y California que trataban efluentes secundarios. Este sistema permitió la remoción de los contaminantes de las aguas servidas provenientes de industrias cerveceras, lecheras y textiles, por lo que se lo consideró como un purificador eficiente tanto en Alemania y Estados Unidos. (26)

En el año de 1974 se construyó un humedal de flujo subsuperficial a escala en Wolverton, Mississippi. En el mismo año se lo hizo en Othedresen en Alemania, el que siguió un modelo del Instituto Max Plank. Este sistema en el que se utilizó plantas como la Totora y la Iris dio buenos resultados en la eliminación de contaminantes de las aguas residuales.

En el año de 1985 Inglaterra se interesó por la implementación de estos sistemas de depuración, es así que investigadores de Waterresearch Center visitaron Alemania, construyendo múltiples instalación y colocaron una pendiente al fondo de los humedales, en donde se utilizó el suelo como material granular, pero fue un fracaso por la colmatación en poco tiempo. Posteriormente se utilizó la grava con el que se empezaron a construir gran número de humedales, es así que al año 1998 se estimó que se encontraban millones de instalaciones en todo el mundo, siendo este un sistema que beneficio al tratamiento de agua residuales (26).

En el año 2009 en México se llevó a cabo una investigación basada en el Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales por los Investigadores Mariana Romero, Arturo Colín, Enrique Sánchez y María Laura Ortiz, en donde se utilizó como especies vegetativas al carrizo (*Phragmites australis*) y la totora o tule (*Typha dominguensis*) generando resultados alentadores, ya que las raíces de las plantas y los microorganismos presentes disminuyen la carga contaminante de las aguas residuales. (35)

El mismo año en México los investigadores Adriana Gutiérrez, María Laura Ortiz, Enrique Sánchez y María Magdalena Ortega desarrollaron el estudio “Tratamiento de aguas residuales por medio de la instalación secuencial de Humedales artificiales”, utilizando las especies *Phragmites australis* y *Typha dominguensis*. Los resultados finales luego de seis meses de monitoreo son positivos, demostrado en la disminución de la carga contaminante del agua. (34)

Latinoamérica se ha preocupado por el saneamiento del recurso agua, desarrollando tratamientos alternos, Humedales artificiales, que han sido implementados en el país colombiano, en donde investigadores Valderrama L, Campos C, VelandiaS, Zapata N. han realizado la Evaluación del efecto del tratamiento con plantas acuáticas (*E. Crassipes*, *Lemnasp.* y *L. Laevigatum*) en la remoción de indicadores de contaminación fecal en aguas residuales domésticas, que durante un tiempo de doce días los tratamientos con las diferentes especies dieron resultados positivos frente a la remoción de DQO, fósforo, y coliformes fecales. (21)

En Ecuador los estudios realizados utilizando humedales o biofiltros se han realizado en la Provincia de Imbabura, investigación realizada por el Ing. Ambiental Sánchez Rodrigo de la Escuela Politécnica Nacional, quien implementó este sistema en la Hostería Cuicocha, con el fin de tratar las aguas residuales negras provenientes de las diferentes actividades y que no sean vertidas directamente en la laguna para evitar la contaminación e impactos negativos. El tratamiento de las aguas residuales por los humedales artificiales en la Hostería ha resultado eficiente siendo el principal tratamiento de depuración. (11)

Según los Ingenieros Agrónomos y de Alimentos, Pozo German y Velasteguí Ramiro de la Universidad Técnica de Ambato realizaron los estudios con el mismo principio de sistema de purificación en el canal de riego que atraviesa las ciudades de Latacunga-Salcedo-Ambato para evaluar y descontaminar las aguas con humedales separados para las especies vegetales, Lechuguín (*Eichornia crassipes*) y Carrizo (*Arundo donax*). El presente estudio realizado en el agua de riego del canal es significativo, ya que se logró remover los contaminantes existentes en el afluente. (24)

Para la tesista Diana García de la Universidad de Cuenca, quien realizó su trabajo relacionado con la “Fitodepuración sostenible de aguas residuales mediante la utilización de humedales artificiales”, es una alternativa frente a la tecnología cara, ya que es viable para la depuración de aguas residuales, con plantas utilizadas como la cola de caballo, berro de agua, pinito de agua, junco y carrete de agua, por ser especies acuáticas absorben por sus raíces los contaminantes dejando el efluente con un nivel bajo en contaminantes (7)

Otro estudio de investigación realizado en el Ecuador se lo hizo en Santo Domingo, por la Escuela Superior Politécnica del Ejército a cargo de los tesisistas Edison Cueva y Fidel Rivadeneira, en donde se realizó el tratamiento de aguas residuales domesticas mediante un humedal artificial de flujo subsuperficial con vegetación herbácea, dando resultados muy eficientes en la depuración de las aguas contaminadas ya que luego del tratamiento los niveles de contaminantes se encontraron bajo los límites permisibles siendo óptima para el uso agrícola.(6)

En la ciudad de Riobamba, el Gobierno Autónomo Provincial Descentralizado de Chimborazo, considerando que esta tecnología se lleva realizando desde muchos años y con una alta eficiencia en el tratamiento de aguas residuales grises ha elaborado un proyecto para implementar los Humedales artificiales en la parroquia de Punín.

Considerando todos los estudios, investigaciones y trabajos realizados a nivel nacional, se ha observado que los humedales artificiales tienen amplias ventajas en la depuración de aguas residuales tales como, utilización de especies vegetales propias del sector, bajos costos en la implementación y buena eficiencia en la descontaminación del agua.

Conociendo el funcionamiento de los Humedales artificiales gracias a las investigaciones realizadas, para el desarrollo del proyecto se toma como referencia a los artículos: “Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de remoción de la carga orgánica”, “Tratamiento de aguas residuales por medio de la instalación secuencial de Humedales artificiales”, “Tratamiento de aguas residuales domesticas mediante plantas macrófitas típicas en los Altos de Jalisco, México”. Artículos en donde se da a conocer la importancia de implementar tecnologías alternativas dentro del tratamiento de aguas residuales, siendo los humedales artificiales sustentables para la remoción de carga orgánica y microorganismos, demostrándose en los estudios realizados antes mencionados, razón por la cual se implementa este método de remoción en las comunidades para eliminar los contaminantes de aguas residuales domésticas y beneficiarse de agua de riego de calidad.

# CAPITULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO

El lugar en donde serán implementados los humedales artificiales se encuentra ubicado en la parroquia rural de Punín, aproximadamente a 12km al sur de la ciudad de Riobamba, específicamente en las comunidades: de Chulcunag Centro ubicada en la coordenadas geográficas S 1°45'50" W 78°39'05", sobre los 2800 msnm y constituida por 25 familias la mayoría de etnia indígena, quienes se dedican a la agricultura principalmente, posee 15 hectáreas de terreno, de las cuales el 80% son cultivables y el 20% pastizales nativos; y en Chulcunag Alto ubicado sobre los 3300 msnm en las coordenadas geográficas S 1°45'58", W 78°39'09". Formada de 20 familias de etnia indígena dedicadas a la agricultura en la zona y eventualmente al comercio de productos agrícolas por épocas del año. El lugar de estudio está formado por una topografía irregular debido a la presencia de pendientes pronunciadas, y suelo cangahuoso dándole a los terrenos la característica de xerófilo.



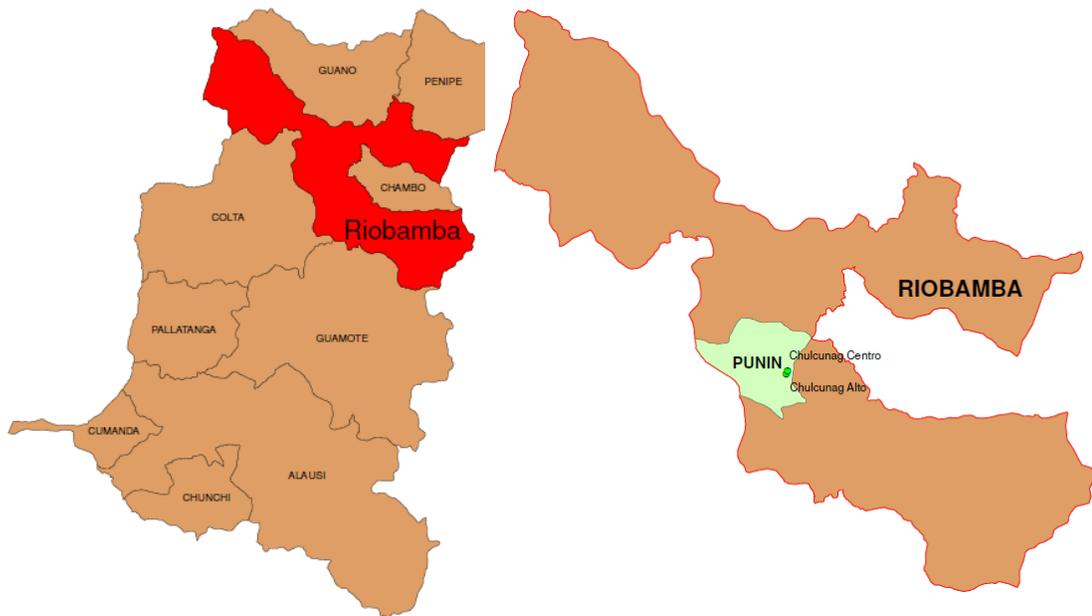
**FOTOGRAFÍA N° 1 COMUNIDAD CHULCUNAG CENTRO**

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K



**FOTOGRAFÍA N°2 COMUNIDAD CHULCUNAG ALTO**

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K



**FOTOGRAFÍA N°3 UBICACIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO**

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

## 1.2 HUMEDALES ARTIFICIALES O BIOFILTROS

El tratamiento de las aguas residuales es un factor prioritario puesto que disponer de agua de calidad y en cantidad suficiente, permite mejorar el ambiente, la salud y la calidad de vida. Paulatinamente en el Ecuador se van implementando proyectos que tratan el agua residual utilizando humedales artificiales implementados con especies vegetales como: lechuguín, carrizo, totora, etc.

Estos proyectos se han visto plasmados en las ciudades como: Latacunga, Salcedo, Ambato, Santo Domingo donde la alternativa de utilizar humedales es significativa, debido a su alta eficiencia de remoción de contaminantes y a su bajo costo de instalación y mantenimiento.

Diversas investigaciones coinciden en el modelo estructural de un humedal artificial cuya conclusión llega a que el tratamiento de aguas residuales para depuración se lo realiza mediante sistemas que tienen tres partes principales: reserva de agua en una trampa de grasas en donde por gravedad se sedimentan el material sólido, una jardinera, tratamiento que consiste en una locación en la cual se encuentra el material filtrante (arenas y gravas) donde se siembran plantas. Se hace colocar el agua y se lo hace pasar por el sistema, las plantas por medio de bacterias y sus raíces, permiten que el oxígeno penetre; además las mismas plantas van extrayendo materia orgánica y nutriente del agua como contaminantes. Como paso final se tiene la evacuación para lo cual se utiliza un tanque reservorio donde se almacena el agua tratada para su uso posterior. Los humedales eliminan contaminantes mediante varios procesos que incluyen sedimentación, degradación microbiana, acción de las plantas, absorción, reacciones químicas y volatilización, purifican el agua mediante la remoción del material orgánico (DBO), oxidando el amonio, reduciendo los nitratos y removiendo el fósforo. (13)

Las funciones básicas por las que se utilizan los humedales artificiales son porque fijan físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica, para que los microorganismos la transformen y exista una disminución de la contaminación.

“El funcionamiento de los humedales artificiales se fundamenta en tres principios básicos: la actividad bioquímica de microorganismos, aporte de oxígeno a través de los vegetales durante el día y el apoyo físico de un lecho inerte que sirve como soporte para el enraizamiento de los vegetales”. (13)

La necesidad de desarrollar tecnologías para la depuración de aguas que se adapten a los diferentes lugares, medios y especies filtrantes han permitido que se estructuren una infinidad de modelos una de las principales caracterizaciones es en función de la especie vegetal a ser implementada: macrófitas fijas al sustrato (enraizadas) o macrófitas flotantes libres, de ellas se derivan la su clasificación: Macrófitas de hojas flotantes, macrófitas sumergidas y macrófitas enraizadas emergentemente para el último caso de acuerdo a la circulación del agua que se emplee puede ser de dos tipos: 1) humedales de flujo superficial, si el agua circula en forma superficial por entre los tallos de las macrófitas y 2) humedales de flujo subsuperficial, si el agua circula por debajo de la superficie del estrato del humedal.(18)

En el caso de nuestro proyecto debido a los factores como espacio físico, especie vegetal, factor económico entre otros se eligió el tipo **Humedales artificiales de flujo subsuperficial** debido a diferentes experiencias exitosas en el uso de este modelo dentro de ellos se puede citar a la investigación realizada por la ESPE en la Provincia de Santo Domingo en la que el agua residual doméstica después de atravesar el tratamiento por humedales los niveles de contaminantes se encontraron bajo los límites permisibles siendo óptima para el uso agrícola. Este tipo de humedales se caracterizan por que la circulación del agua en los mismo se realiza a través de un medio granular con una profundidad de agua cercana a los 0,6m. La vegetación se planta en este medio granular y el agua está en contacto con los rizomas y raíces de las plantas. (11)

El agua ingresa en forma permanente por la parte superior y recogida por la parte inferior opuesta al drenaje. El agua residual se trata a medida que fluye lateralmente a través de un medio poroso, variando la profundidad del lecho entre 0,45m a 1 m.

Para comprender de una mejor forma la función que cumple un Biofiltro es necesario analizar los componentes del mismo:

**El agua** constituye uno de los factores primordiales, las características que presente en cuanto a su composición fisicoquímica y microbiológica será la pauta principal para desarrollar un sistema de tratamiento por medio de humedales artificiales. El proyecto implementado por el GADPCH tomó como base el agua gris generada por las actividades de los habitantes de la zona en la cual la presencia de Nitrógeno y Fósforo como nutrientes en vez de representar un problema como la eutrofización se constituye en un plus para el agua de riego puesto que, estos son nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas. En cuanto a la DBO<sub>5</sub>, sólidos totales, coliformes lo que se espera de la investigación es que posterior al tratamiento se encuentren dentro de los límites permisibles para el agua de riego estipulados en la normativa vigente ecuatoriana.

El éxito de la remoción de los contaminantes depende no solo del diseño adecuado sino también del **lecho filtrante** a ser utilizado. Varias experiencias que utilizan material filtrante concuerdan en que generalmente es una composición en diferentes porcentajes de: suelo, arena, grava, roca.

Los criterios para seleccionar el lecho filtrante son la granulometría, la porosidad, la permeabilidad y la resistencia física contra el desgaste provocado por las aguas residuales. Es indispensable que se realice una evaluación cuidadosa a cargo de especialistas para garantizar el buen funcionamiento de un biofiltro. (7)

Dentro de las funciones principales se destacan: la eliminación de los sólidos presentes en las aguas pre tratadas y proporcionar una superficie que dará lugar al desarrollo de los microorganismos cuya función es degradar aeróbica y anaeróbicamente la materia contaminante, además de constituir el medio para que las raíces de las plantas puedan fijarse desarrollarse de manera óptima. (7)

Parte esencial dentro del correcto funcionamiento de los humedales artificiales son **los microorganismos** que cumple con la función biológica, disminuyendo la carga orgánica, como se puede evidenciar en los estudios realizados, en los que se indica que existe gran presencia de colonias de microorganismos, desarrollados en la parte radicular de las especies vegetales al igual que en el lecho filtrante obteniendo mayor actividad biológica.

Por los diversos temas de investigación se puede conocer que en la parte superior del humedal se desarrollan microorganismos aerobios y dentro del lecho existen microorganismos anaerobios. Así se puede nombrar que los principales microorganismos son: bacterias, levaduras, hongos y protozoos que ayudan a la degradación de la materia orgánica presente en el agua. (18)

En las diferentes investigaciones sus autores concluyen que los microorganismos son parte fundamental para el funcionamiento del humedal o biofiltro, ya que de ellos depende la eficiencia de la remoción, contribuyen a la degradación de la materia orgánica y a la transformación de compuestos nitrogenados y de fosforo contenidos en aguas residuales a compuestos más simples, además hay que conocer que dentro de la remoción las sustancias contaminantes se convierten en gases que se liberan a la atmósfera. (3)

Según Lara, las poblaciones microbianas se ajustan a los cambios de agua que les llega y se pueden extender rápidamente cuando se tiene la suficiente energía, pero si las condiciones ambientales no son convenientes, los microorganismos se inactivan y pueden permanecer inactivos durante muchos años.(17)

El uso de **especies vegetales** en los humedales artificiales constituye un factor importante dentro del tratamiento de las aguas residuales; importancia que se le da, ya que las plantas transfieren el oxígeno desde la atmósfera hasta las raíces que se encuentran sumergidas en el material filtrante. Las plantas establecen una relación simbiótica con los microorganismos, fijando las partículas y absorbiendo los nutrientes como fósforo y nitrógeno que se encuentra en el agua residual por la presencia de detergentes y materia orgánica, que lo convierten en alimento para su crecimiento. Son varias las funciones que las plantas cumplen en el

humedal como se da a conocer en los diferentes trabajos de investigación, en los que se utilizan diferentes especies para lograr la remoción de contaminantes de las aguas residuales.

En el artículo, “tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de carga orgánica”, se indica que las diferentes plantas que se utilizan son importantes debido a que difieren en su capacidad de depuración en la remoción de nutrientes específicos y compuestos potencialmente tóxicos, convirtiéndolos en compuestos más simples e inoocuos. (35)

Existe una gran variedad de especies vegetales que pueden participar del proceso de depuración de aguas; todo depende del estudio que se realiza, el lugar en donde se implementa y el tiempo de duración. Para el presente estudio se ha considerado escoger a dos especies vegetales que poseen un alto poder de purificación y que a pesar de no ser autóctonas, se las encuentra en grandes poblaciones en los andes ecuatorianos, dichas especies se las nombra a continuación:

**La totora** (*Scirpus californicus*) como es conocida comúnmente, crecen en ambientes salobres y húmedos desde 5cm a 3m de profundidad. Las temperaturas deseables son de 16-27°C y un pH de 4 a 9. (12). La mayoría de las especies tienen un crecimiento moderado y puedan lograr un buen cubrimiento en alrededor de un año, algunas variedades crecen más rápido. En la grava sus raíces penetran aproximadamente 0,6m por lo que son muy usadas en los humedales. (32)

En los proyectos de investigación elaborados en las diferentes universidades ya se han realizado estudios con esta especie vegetal, por ser una planta acuática que tiene una alta eficiencia en la remoción de contaminantes, obteniéndose excelentes resultados, como muestra de lo mencionado se presenta una comparación de dos estudios elaborados por diferentes investigadores con la especie totora donde la remoción de metales pesados alcanza una eficiencia del 85% y la remoción de N=22 a 23 %; PO<sub>4</sub>= 30%; P=20%; Coliformes y bacterias= 99.9% (18)

Otra especie con la que trabaja en el proyecto es la **Achira** (*Canna edulis*), que pertenece a la familia de la Cannáceas. Esta planta se desarrolla desde temperaturas de 9°C hasta los 32°C; Además se desarrolla en una amplia gama de suelos, tolera la acidez y crece en pH de 4.5 a 7.5, pero su mejor comportamiento se observa en pH de 5.0 a 6.5. (34)

*Canna edulis* no ha sido utilizada como una especie depuradora en proyectos dentro de los humedales artificiales, ya que no es una planta acuática y sus aplicaciones principales con alimenticias. En la investigación que se lleva a cabo, se ha considerado estudiar la eficiencia de esta planta por encontrarse en gran cantidad en el lugar y ser de fácil adaptación a las condiciones climáticas de las comunidades.

## **1.2.1 Características Físico – Químicas De Agua Residual**

### **1.2.1.1 Potencial de Hidrógeno (pH).**

El pH constituye un parámetro primordial en el análisis de aguas residuales, considerando como rango óptimo de 6.5 y 8.5, valores en los que se favorece al crecimiento de microorganismos, caso contrario valores menores a 6 y mayores a 9 dificultan el tratamiento mediante procesos biológicos.

Es importante tener en cuenta que si el pH del agua residual no es ajustado al rango optimo antes de ser vertido al tratamiento este puede ser alterado, y cambiar las características del efluente.

### **1.2.1.2 Temperatura**

La determinación de temperatura es un parámetro importante en el tratamiento de aguas residuales, porque es el factor que determina el desarrollo de la actividad bacteriana, influyendo en el metabolismo, productividad, respiración y descomposición de la materia orgánica.

La temperatura óptima para el desarrollo de las colonias microbianas se encuentra entre los 25° y 35°C, pero este rango puede variar dependiendo del lugar en donde sea implementado el humedal, es así que la temperatura para el crecimiento bacteriano en el lugar del proyecto es de 7 a 18°C por ser considerado como región fría. Aunque esta es la temperatura ambiente, dentro del humedal la temperatura se incrementa por la presencia de lecho filtrante permitiendo que aumente la actividad de los microorganismos.

#### **1.2.1.3 Sólidos Totales (ST)**

Las aguas residuales contienen materiales sólidos por lo que se torna importante analizarlos, ya que al hablar de sólidos totales se engloba a los sólidos disueltos y sólidos sedimentables, si no se analiza pueden existir problemas en el desarrollo del tratamiento.

La determinación de sólidos nos da a conocer el desempeño del humedal y el control del mismo, ya que su presencia puede ocasionar depósitos de lodos y olores desagradables, disminuyendo la eficiencia en la remoción de contaminantes.

#### **1.2.1.4 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

Uno de los parámetros primordiales para medir la calidad de aguas residuales así como la concentración de contaminantes orgánicos, en las aguas resultantes del uso doméstico constituye la Demanda biológica de oxígeno o (DBO). La determinación de DBO además de indicarnos la presencia y biodegradabilidad del material orgánico presente, es una forma de estimar la cantidad de oxígeno que se requiere para estabilizar el carbono orgánico y de saber con qué rapidez este material va a ser metabolizado por las bacterias que normalmente se encuentran presentes en las aguas residuales (23)

El proyecto implementado ya en las comunidades rurales de la parroquia Punín cuenta con especies vegetales implementadas en el biofiltro, la presencia de raíces densas proporcionan una mayor cantidad de sitios de adhesión para las colonias bacterianas degradadoras de materia orgánica y a su vez actúan como filtros de material particulado en la remoción de DBO<sub>5</sub>

Los diferentes estudios realizados en cuanto a la DBO determinan que este parámetro se ve afectado por la temperatura del medio, por las clases de microorganismos presentes, por la cantidad y tipo de elementos nutritivos presentes. Si estos factores son constantes, la velocidad de oxidación de la materia orgánica se puede expresar en términos del tiempo de vida media (14)

### **1.2.1.5 Nitrógeno Total**

“Las fuentes de N en el agua residual puede ser de origen natural (precipitaciones, polvo, escorrentía rural y fijación biológica) como artificial (industrias abonado. Las fuentes de nitrógeno en las aguas residuales domesticas son el ácido murámico, azúcares aminados, el ácido úrico, aminoácidos y bases orgánicas”. (20)

El Nitrógeno puede hallarse presente en aguas residuales en cuatro estados de oxidación: nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal y nitrógeno orgánico. Todas estas formas son interconvertibles mediante la intervención de bacterias existentes en el medio acuático.

Se entiende por nitrógeno total a la suma del Nitrógeno amoniacal más el Nitrógeno orgánico; el Nitrógeno amoniacal se encuentra presente en las aguas residuales proveniente de compuestos orgánicos nitrogenados y de la hidrólisis de la urea, el Nitrógeno orgánico incluye materiales como proteínas, péptidos, ácidos nucleicos y urea (Rojas E, 2004).

El Nitrógeno que ingresa a un sistema de biofiltros o humedales puede medirse como nitrógeno orgánico y amoniacal, la combinación de estas dos se representa como nitrógeno total Kjeldahl NTK, nitrito y nitrato).

El N orgánico que entra en un humedal esta normalmente asociado con materia particulada como sólidos orgánicos del agua residual , mucho de este N orgánico sufre descomposición o mineralización y se descarga como nitrógeno en forma amoniacal, la mejor forma para remover amoniaco es la nitrificación, este proceso ocurre en condiciones aeróbicas, suficiente alcalinidad, temperatura adecuada y una óptima remoción de DBO<sub>5</sub> para q los organismos nitrificantes puedan competir con los heterótrofos por el oxígeno disponible la

condición limitante para la nitrificación la disponibilidad de oxígeno teóricamente se necesita 4.6 g de oxígeno para oxidar un gramo de n amoniacal) biológica seguida por la desnitrificación (en condiciones anóxicas, adecuada fuente de carbono, temperatura adecuada y depende de los organismos presentes en el agua residual o q se encuentren de forma natural en el humedal, se requiere entre 5 y 9 g de DBO para desnitrificar 1 g de NO<sub>3</sub>-N. (17)

#### **1.2.1.6 Fosforo total**

El fósforo presente en las aguas residuales grises proviene de los vertidos de residuos alimenticios y de los compuestos de fosfato inorgánico contenidos en los detergentes y los productos de limpieza con compuestos fosforados como principios activos (30-50%). El fósforo se puede encontrar en tres formas distintas: fósforo orgánico (especies particuladas), ortofosfatos y polifosfatos (especies disueltas).

El fósforo es esencial para el crecimiento de los organismos y puede ser un nutriente limitante de la productividad primaria. En concentraciones elevadas por la incorporación de aguas residuales o tratadas, estimula el crecimiento acelerado de macro y microorganismos, provocando eutrofización, según la APHA. El fósforo puede ser absorbido por las plantas en diferentes formas iónicas, el cual se integrará al metabolismo principalmente en el proceso de fotosíntesis, razón por la cual disminuye su concentración en el agua a su paso por los humedales. Además, puede ser aprovechado por los microorganismos o fijado en el sustrato. (34)

#### **1.2.1.7 Coliformes totales**

Con este término, se identifica a una amplia gama de bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gran negativos y no esporulante; estos microorganismos tienen la capacidad de proliferar en presencia de concentraciones relativamente altas de sales biliares fermentando la lactosa y produciendo ácido o aldehído en 24 h a 35–37 °C y están presentes tanto en

aguas residuales como en aguas naturales. Dentro del grupo de los coliformes totales se incluyen especies fecales y ambientales (17)

El tratamiento de aguas residuales tiene como misión la eliminación de este tipo de agentes patógenos para su aprovechamiento posterior en este caso nos enfocamos a reutilizarla como agua de riego. En la práctica, dentro del grupo de los coliformes totales se incluye una gran diversidad de microorganismos que pueden adaptarse, sobrevivir y proliferar en el agua. Por consiguiente, no se pueden utilizar como un indicador de agentes patógenos fecales, puesto que por lo expuesto con anterioridad no todos los coliformes son exclusivamente de origen fecal y, generalmente, la proporción de coliformes totales es muy elevada en los climas cálidos.

Varias fuentes bibliográficas expresan como un factor incidente el análisis de las coliformes totales puesto que al ser aguas grises, lo óptimo es una ausencia de coliformes fecales por la naturaleza del agua pero en la práctica no siempre resulta así. Es por esta razón que consideramos la determinación de este parámetro como un indicador de la eficacia del tratamiento utilizado y también para evaluar la limpieza e integridad de sistemas de distribución y la posible presencia de biopelículas.

Los coliformes fecales pueden emplearse como indicadores razonablemente confiables de la presencia de agentes patógenos bacterianos, ya que por lo general sus características de persistencia en el medio ambiente y su índice de eliminación sea este instantáneo o paulatino en los procesos de tratamiento son similares. (30)

### **1.2.2 MARCO LEGAL APLICABLE**

Dentro del marco legal consideramos:

- Constitución de la República del Ecuador: en el cual consideramos el título II que es el derecho a un ambiente sano y a más de ello garantiza la protección y regulación de cualquier actividad que pueda representar un riesgo para el ambiente y la ejecución

de nuestro proyecto busca cumplir este derecho para los habitantes de la parroquia y preservar en buenas condiciones su entorno.

- Ley de Gestión Ambiental, Art. 4, Art. 8, Art. 9 y Art. 33 en la cual nuestro proyecto se rige a cumplir lo establecido por la ley y coordinar con el ministerio de ramo la actividad a ser ejecutada sin generar impactos negativos en el entorno físico de la parroquia
- Norma De Calidad Ambiental Y De Descarga De Efluentes, libro IV anexo 1 Capitulo 4, nos basamos para verificar si el agua obtenida después de aplicar el tratamiento cumplen con las características de calidad establecidas para el fin dispuesto.

## CAPÍTULO II

### 2. PARTE EXPERIMENTAL

#### 2.1 Lugar de Investigación

El trabajo de investigación se lleva a cabo en las comunidades de Chulcunag Alto y Chulcunag Centro de la parroquia de Punín. Las coordenadas geográficas y condiciones ambientales del punto de ubicación se presentan en la tabla:

**Tabla I. Datos Chulcunag Centro**

|                             |                    |
|-----------------------------|--------------------|
| <b>Latitud</b>              | <b>S 1°45'50"</b>  |
| <b>Longitud</b>             | <b>W 78°39'05"</b> |
| <b>Altitud</b>              | <b>3137msnm</b>    |
| <b>Temperatura ambiente</b> | <b>14,7°C</b>      |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

**Tabla II. Datos Chulcunag Alto**

|                    |                    |
|--------------------|--------------------|
| <b>Latitud</b>     | <b>S 1°45'58"</b>  |
| <b>Longitud</b>    | <b>W 78°39'09"</b> |
| <b>Altitud</b>     | <b>3184msnm</b>    |
| <b>Temperatura</b> | <b>12,5°C</b>      |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

## 2.2 Metodología

### 2.2.1 En campo

#### 2.2.1.1 Determinación de las especies vegetales

La determinación de la especie *Scirpus californicus* y la selección de la misma la realizaron los ingenieros del GADPCH, considerando información bibliográfica para conocer las características de la especie.

La especie *Canna edulis* fue escogida por las tesisistas para ser implementada en los humedales. Para conocer sila especie que se extrajo de un jardín casero pertenece a la zona andina se realizó el análisis en el Herbario de ESPOCH.

Las plantas a sembrarse se escogieron tomando en cuenta características como el peso, considerando que entre las especies *Scirpus californicus* este valor sea similar, igual consideración se hizo con la especie *Canna edulis*. Para ello se consideró la siguiente tabla:

**Tabla III. Características de las especies vegetales**

| <b>Características</b> | <b>Achira</b> | <b>Totora</b> |
|------------------------|---------------|---------------|
| <b>Color tallo</b>     | Morado        | Verde         |
| <b>Altura</b>          | 26cm          | 30cm          |
| <b>Numero de hojas</b> | 1             | 5             |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

Los factores importantes dentro de la selección e implementación tenemos:

- Para la elección de los ejemplares de cada especie se consideraron criterios como: Igualdad en las características anatómicas en cada especie (número de brotes; altura, tiempo de vida, apariencia y textura saludables).
- A las dos especies se les proporcionó un tiempo de adaptación de 2 semanas a un medio con características similares a las presentadas en los biofiltros
- Tanto la Totora como la Achira se implementaron el mismo día en todos los filtros elegidos para evaluar la eficiencia.

- Para obtener datos de referencia se implementaron las especies a nivel de laboratorio bajo condiciones controladas.

### 2.2.1.2 Diseño del biofiltro

La selección del diseño del biofiltro lo realizaron los ingenieros del Departamento de Gestión Ambiental del GADP-CH, quienes consideraron el modelo expuesto en la bibliografía Humedales artificiales o biofiltros “Jardineras que filtran aguas grises”. El modelo seleccionado se construyó en las comunidades beneficiarias del proyecto, utilizando materiales de construcción resistentes tales como: ladrillo, cemento; y material de conexión como lo son las tuberías de PVC.

**Tabla IV. Dimensiones de biofiltro en campo**

| <b>Estructura</b> | <b>Largo (m)</b> | <b>Ancho (m)</b> | <b>Profundidad (m)</b> | <b>Entradas y salidas</b>   | <b>Accesorios</b>  |
|-------------------|------------------|------------------|------------------------|---|--|
| Trampa de grasas  | 0,6              | 0.6              | 0.6                    | La entrada del agua gris se hace por la parte superior del tanque y la salida a 15cm por debajo de la entrada | La salida presenta un codo y un tubo que llega 10 cm encima del firme de la trampa                           |
| Filtro Jardinera  | 2                | 1                | 0.5                    | La entrada debe estar a unos 5cm debajo del borde<br>La salida debe ser por el firme                          | Tubos PVC con codos que conecta la trampa con la jardinera, por lo que trae al agua desde la trampa de grasa |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

### 2.2.1.3 Colocación de las capas filtrantes

Se limpiaron las jardineras de todo el material de construcción restante que se encontraba dentro de las estructuras. Limpios los humedales, en la mitad de la jardinera se ubicaron dos

ladrillos que permitieron dejar un espacio libre en donde se sembraron las plantas luego de colocado el lecho filtrante. (Fotografía 04)

Las capas de material filtrante se las ubicaron de la siguiente manera:

- una primera capa de 15 cm de altura de arena de río,
- una capa de grava o ripio de 15 cm de altura y
- una última capa de piedra de 15 cm de altura



**FOTOGRAFÍA N°4 BIOFILTRO CON LECHO FILTRANTE EN CAMPO**

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

#### **2.2.1.4 Vegetación**

Se utilizaron 2ejemplares de cada especie; *Scirpus californicus* (fotografía 05) sembradas una en la Comunidad de Chulcunag Alto y otra en Chulcunag Centro, el mismo proceso se lo hizo con la especie *Canna edulis* (fotografía 06). Las especies fueron sembradas el 26 de noviembre de 2013 en las unidades experimentales consideradas como Biofiltros.



**FOTOGRAFÍA N° 5 TOTORA *Scirpus californicus***

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K



**FOTOGRAFÍA N° 6 ACHIRA *Canna edulis***

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

### **2.2.1.5 Selección de los biofiltros a muestrear**

Recorrimos las comunidades de Chulcunag Alto y Chulcunag Centro inspeccionando cada uno de los 40 biofiltros; con la finalidad de seleccionar únicamente los óptimos para el correspondiente análisis.

Se escogió a los humedales artificiales que cumplieron con los siguientes parámetros estructurales:

- Dimensiones establecidas,
- No presenten fisuras en los tanques (fotografía 07)
- El material filtrante este colocado respectivamente en las capas establecidas.
- La especie vegetal esté ubicada correctamente.
- Las tuberías estén instaladas desde los techos y lavanderías hasta el tanque “trampa de grasas”, y
- Las tuberías estén conectadas entre la trampa de grasas, jardinera y reservorio.



**FOTOGRAFÍA N° 7 TANQUE CON FISURAS**

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

Realizado el recorrido de inspección se escogieron solo 4 biofiltros que cumplieron con los parámetros requeridos, 2 de ellos ubicados en la comunidad de Chulcunag Alto y 2 en la comunidad de Chulcunag Centro.

## **2.2.2 En laboratorio**

### **2.2.2.1 Determinación de las especies vegetativas**

Para lograr que las condiciones sean similares tanto en campo como en laboratorio se implementó especies vegetativas con biomasa y características similares, para lo cual asistimos al vivero de GADPCH para seleccionar la planta de Totorá, mientras que la especie Achira se la extrajo de un jardín casero, seleccionando especies lo más similares posibles entre sí, considerando características como el color de hojas, color y altura del tallo, número de hojas (Tabla III)

### **2.2.2.2 Diseño de biofiltro**

A nivel de laboratorio realizamos la construcción de dos biofiltros cumpliendo con el modelo escogido y construido en las comunidades, con medidas a escala de 1:50, en los que se implementa una especie vegetativa diferente en cada humedal.

La estructura de los humedales artificiales está construida en vidrio resistente con la finalidad que soporte el lecho filtrante y especies vegetales. Para lograr un mayor control de las variables se construyó una cubierta sobre el biofiltro, evitando que ingrese agua producto de las precipitaciones. Se presenta las dimensiones del humedal:

### **2.2.2.3 Colocación de las capas filtrantes**

Primeramente se limpiaron las jardineras para añadir el lecho filtrante, al igual que se lo hizo con los humedales artificiales implementados en las comunidades. (Figura 08)



**FOTOGRAFÍA N° 8 HUMEDALES CON LECHO FILTRANTE**

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

#### **2.2.2.4 Vegetación**

En las estructuras denominadas como jardineras ya acondicionadas con el lecho filtrante se sembraron las especies vegetales, *Scirpus californicus* y *Canna edulis*, el 26 de noviembre del 2013, una en cada biofiltro respectivamente (fotografía 05 – 06)

#### **2.2.2.5 Determinación de condiciones Meteorológicas Del Lugar De Estudio**

Es importante conocer las condiciones ambientales del lugar de estudio al momento de realizar los muestreos, por ello se tomaron datos climatológicos durante los días que se salió al campo con la ayuda de la estación meteorológica del departamento de Energías Alternativas de ESPOCH.

#### **2.2.3 Muestreo**

##### **2.2.3.1 Materiales de Campo**

Los materiales de campo utilizados para la toma de muestras fueron:

3. Botellas de plásticos de 1 litro
4. Botellas de plástico de 2 litros
5. Frascos estériles de 100ml
6. Botellas wheaton

7. Cooler
8. Hielo gel
9. Alcohol
10. Guantes
11. Cinta masking
12. Rotulador o marcador
13. Cámara fotográfica

### **2.2.3.2 Recolección de muestras**

Los muestreos se empezaron el día jueves 9 de enero de 2014 con una temperatura ambiente promedio de 14,5°C, repitiéndose el día 16 de enero la temperatura ambiente promedio 11,5°C, el día 23 de enero con una temperatura ambiente de 12,5°C y finalizando el día 30 de enero temperatura ambiente promedio 12,5°C, todas realizadas durante época de invierno, en las comunidades en un horario de 8h30 am y en los humedales de laboratorio a las 10h00 am.

El muestreo en determinados biofiltros se lo hizo de acuerdo a la Norma NTE INEN 2176:1998, para el afluente como en el efluente de los humedales artificiales.

- **Afluente del humedal:** en este punto se tomaron muestras simples de los humedales de campo (fotografía 09) en botellas de plástico de un litro, que previamente fueron purgadas, es decir se enjuagaron los envases con el agua a ser analizadas por dos ocasiones, para luego homogenizarlas, combinar y/o mezclar las dos muestras simples para conseguir una mezcla uniforme consistente en un recipiente de mayor volumen y almacenar en botellas de dos litros, del que se obtiene el volumen para los análisis físicos químicos con excepción de DBO. En los humedales de laboratorio (fotografía 10) se recolectaron muestras simples en botellas plásticas de un litro que fueron purgadas, de donde se tomó para realizar los análisis respectivos.

Para los análisis microbiológicos se tomaron las muestras directamente en los frascos estériles de 100mL.

La muestra para el análisis de DBO se lo realizó en las botellas Wheaton, tomando directamente desde la descarga.



**FOTOGRAFÍA N° 9 AFLUENTE DE HUMEDAL EN CAMPO**

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K



**FOTOGRAFÍA N°10 AFLUENTE DEL HUMEDAL EN LABORATORIO**

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

- **Efluente del humedal:** las muestras recolectadas en este punto de descarga para la realización de los análisis físico – químicos y microbiológicos se lo hace siguiendo la misma metodología para el afluente, tanto en los humedales de campo como de laboratorio (fotografía 11 -12).

El método a seguir para recolectar muestras para análisis de DBO es el mismo que se realizó en el afluente.



**FOTOGRAFÍA N°11 EFLUENTE DE HUMEDAL EN CAMPO**  
FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K



**FOTOGRAFÍA N°12 EFLUENTE DE HUMEDAL EN LABORATORIO**  
FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

### **2.2.3.3 Preservación de las muestras**

Es necesario el uso de un cooler con gel-hielo, estos permiten que las muestras no se alteren y que las mismas no entren en contacto con la luz, evitando alteración de resultados de ciertos parámetros.

### **2.2.4 Análisis De Los Parámetros Físico Químicos Y Microbiológicos**

El análisis de las muestras de agua recolectadas se realizó en el laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias – ESPOCH

#### **2.2.4.1 Determinación del Potencial de Hidrógeno, Conductividad y Sólidos Totales Disueltos:**

Para la realización de los parámetros pH, conductividad y sólidos totales se utilizó el equipo Hach Sensor Ion (fotografía 13)



**FOTOGRAFÍA N°13 MEDICIÓN DE PH, CONDUCTIVIDAD Y STD**  
FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

#### **2.2.4.2 Determinación de demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

El análisis de DBO<sub>5</sub> se lo determinó siguiendo la técnica establecida conocida como cabeza gasométrica y también mediante el método químico según los Métodos Estandarizados para agua potable y agua residual.

#### **2.2.4.3 Determinación de nitratos y fosfatos**

Los nitratos al igual que los fosfatos se analizaron utilizando el equipo espectrofotómetro Hach DR2800, con la diferencia de los reactivos, ya que para el primer parámetro se ocupó Nitra Ver 5 polvo y para fosfatos PhosVer 3 polvo.

#### **2.2.4.5 Coliformes fecales**

Para la identificación de coliformes fecales se siguió el método filtración por membrana establecido en los Métodos Estandarizados para agua potable y agua residual.

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Condiciones Meteorológicas

Las condiciones meteorológicas registradas en los puntos de estudio, Chulcunag Alto y Chulcunag Centro durante las cuatro semanas de muestreo son los siguientes:

##### 3.1.1 Semana 08-01-2014

**Tabla VII. Condiciones meteorológicas Chulcunag Centro semana 1**

|                     |          |
|---------------------|----------|
| SPD                 | <b>0</b> |
| SPD max             | 0,4      |
| AVG                 | 0,2      |
| TEMPERATURA         | 14,7     |
| WCH                 | 14,3     |
| Humedad Relativa    | 0        |
| HI                  | 11,5     |
| DP                  | -34      |
| BULB                | 0.8      |
| PRESIÓN BAROMÉTRICA | 691,8    |
| ALTURA              | 3137,0   |

FUENTE: LAS AUTORAS

**Tabla VIII. Condiciones meteorológicas Chulcunag Alto semana 1**

|                     |            |
|---------------------|------------|
| SPD                 | <b>0,4</b> |
| SPD max             | 0,6        |
| AVG                 | 0,4        |
| TEMPERATURA         | 12,3       |
| WCH                 | 12,0       |
| Humedad Relativa    | 0          |
| HI                  | 10,2       |
| DP                  | -34        |
| BULB                | 0          |
| PRESIÓN BAROMÉTRICA | 683,9      |
| ALTURA              | 3195,0     |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

### 3.1.2 Semana: 16-01-2014

Tabla IX. Condiciones meteorológicas Chulcunag Centro semana 2

|                     |          |
|---------------------|----------|
| SPD                 | <b>0</b> |
| SPD max             | 0,6      |
| AVG                 | 0,4      |
| TEMPERATURA         | 10,7     |
| WCH                 | 14,6     |
| Humedad Relativa    | 100      |
| HI                  | 10,5     |
| DP                  | -34      |
| BULB                | -2,0     |
| PRESIÓN BAROMÉTRICA | 696,6    |
| ALTURA              | 3137,0   |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

Tabla X. Condiciones meteorológicas Chulcunag Alto semana 2

|                     |            |
|---------------------|------------|
| SPD                 | <b>0,6</b> |
| SPD max             | 1          |
| AVG                 | 0,7        |
| TEMPERATURA         | 12,5       |
| WCH                 | 13,1       |
| Humedad Relativa    | 100        |
| HI                  | 14,6       |
| DP                  | -34        |
| BULB                | 0,2        |
| PRESIÓN BAROMÉTRICA | 682,9      |
| ALTURA              | 3195,0     |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

### 3.1.3 Semana: 23-01-2014

Tabla XI. Condiciones meteorológicas Chulcunag Centro semana 3

|                     |       |
|---------------------|-------|
| SPD                 | 1     |
| SPD max             | 1,4   |
| AVG                 | 0,9   |
| TEMPERATURA         | 9,7   |
| Humedad Relativa    | 100   |
| HI                  | 9,7   |
| DP                  | -34   |
| BULB                | -2    |
| PRESIÓN BAROMÉTRICA | 387,8 |
| ALTURA              | 3137  |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

**Tabla XII. Condiciones meteorológicas Chulcunag Alto semana 3**

|                     |       |
|---------------------|-------|
| SPD                 | 1,3   |
| SPD max             | 1,5   |
| AVG                 | 1     |
| TEMPERATURA         | 10,5  |
| Humedad Relativa    | 0     |
| HI                  | 10,2  |
| DP                  | -34   |
| BULB                | -1,1  |
| PRESIÓN BAROMÉTRICA | 683,5 |
| ALTURA              | 3195  |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

### 3.1.4 Semana: 30-01-2014

**Tabla XIII. Condiciones meteorológicas Chulcunag Centro semana 4**

|                     |       |
|---------------------|-------|
| SPD                 | 0     |
| SPD max             | 0,8   |
| AVG                 | 0,6   |
| TEMPERATURA         | 13,5  |
| Humedad Relativa    | 100   |
| HI                  | 13,5  |
| DP                  | -34   |
| BULB                | 0,1   |
| PRESIÓN BAROMÉTRICA | 696,7 |
| ALTURA              | 3137  |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

**Tabla XIV. Condiciones meteorológicas Chulcunag Alto semana 4**

|                     |       |
|---------------------|-------|
| SPD                 | 0,5   |
| SPD max             | 0,8   |
| AVG                 | 0,7   |
| TEMPERATURA         | 12,5  |
| Humedad Relativa    | 100   |
| HI                  | 11,6  |
| DP                  | -34   |
| BULB                | 0,1   |
| PRESIÓN BAROMÉTRICA | 682,9 |
| ALTURA              | 3195  |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

### 3.2 Resultados físicos químicos

#### 3.2.1 Semana: 08 – 01 – 2014

Tabla XV. Resultados físico químico – Achira semana 1

| ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DEL AFLUENTE Y EFLUENTE |        |                            |                           |                            |                           |
|---|--------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| ESPECIE: ACHIRA                                 |        |                            |                           |                            |                           |
| PARAMETROS                                      | Unidad | LUGAR DE ESTUDIO:          |                           |                            |                           |
|   |        | COMUNIDAD CHULCUNAG        |                           | LABORATORIO                |                           |
|   |        | Campo                      | Laboratorio               | Campo                      | Laboratorio               |
| Temperatura                                     | °C     | 13,3                       | 13,7                      | 16,8                       | 16,8                      |
| pH  |        | 6,8                        | 6,89                      | 6                          | 6,75                      |
| Conductividad                                   | uS/cm  | 47                         | 49,4                      | 309                        | 324                       |
| Sólidos Totales Disueltos                       | mg/L   | 22                         | 23                        | 148,1                      | 156                       |
|   |        | Afluente(Punto<br>Entrada) | Efluente(Punto<br>Salida) | Afluente(Punto<br>Entrada) | Efluente(Punto<br>Salida) |
| DBO   |        | 96                         | 78                        | 753                        | 605                       |
| NO3   | mg/L   | 1,2                        | 0,9                       | 3,3                        | 3,6                       |
| PO4   | mg/L   | 0,18                       | 0,03                      | 5,2                        | 5,19                      |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

Tabla XVI. Resultados físico químico – Totorá semana 1

| ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DEL AFLUENTE Y EFLUENTE |        |                     |                    |                     |                    |
|---|--------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| ESPECIE: TOTORA                                 |        |                     |                    |                     |                    |
| PARÁMETROS                                      | Unidad | LUGAR DE ESTUDIO:   |                    |                     |                    |
|   |        | COMUNIDAD CHULCUNAG |                    | LABORATORIO         |                    |
|   |        | Campo               | Laboratorio        | Campo               | Laboratorio        |
| Temperatura                                     | °C     | 16,3                | 16,2               | 16,5                | 16                 |
| pH  |        | 6,89                | 7,05               | 6,88                | 7,65               |
| Conductividad                                   | uS/cm  | 62,2                | 44,1               | 22,8                | 31,4               |
| Sólidos Totales Disueltos                       | mg/L   | 29,2                | 20,6               | 172,5               | 150,6              |
|   |        | Punto de<br>entrada | Punto de<br>salida | Punto de<br>entrada | Punto de<br>salida |
| DBO   | mg/L   | 87                  | 81                 | 600                 | 562                |
| NO3   | mg/L   | 1,4                 | 1,1                | 5                   | 4,3                |
| PO4   | mg/L   | 0,03                | 0,02               | 5,2                 | 5,06               |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

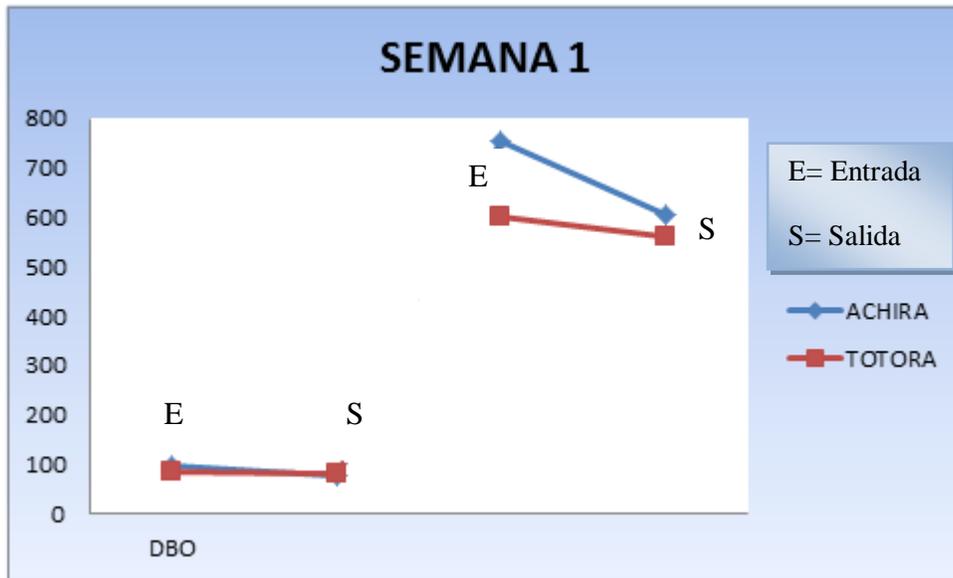


Figura 1. Resultados DBO semana 1

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

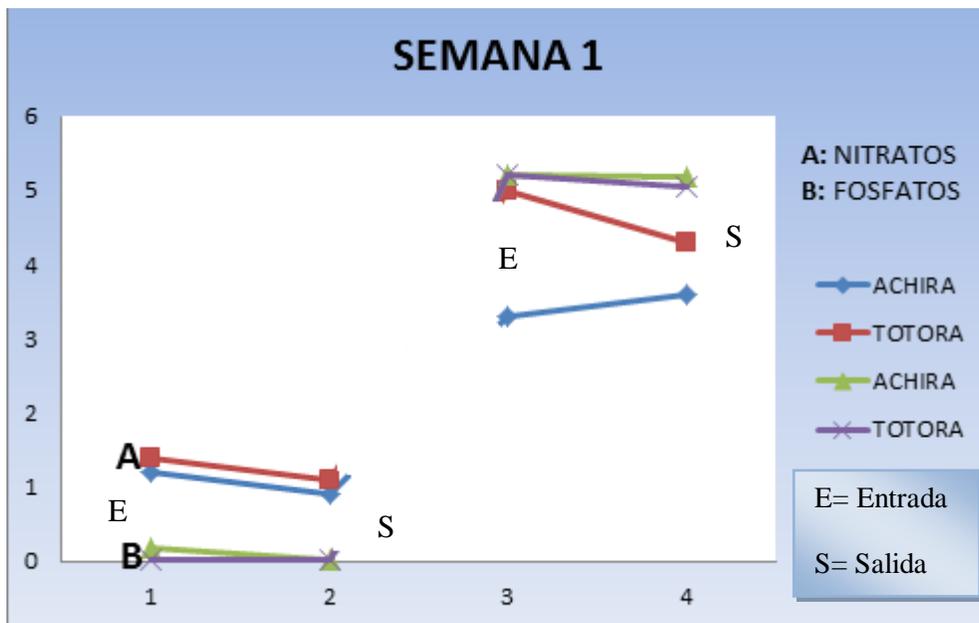


Figura 2. Resultado de Nitratos y fosfatos semana 1

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

### 3.2.2 Semana 16 – 01 – 2014

Tabla XVII. Resultados físico químico – Achira semana 2

| ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DEL AFLUENTE Y EFLUENTE |        |                     |              |               |              |
|---|--------|---------------------|--------------|---------------|--------------|
| ESPECIE: ACHIRA                                 |        |                     |              |               |              |
| PARÁMETROS                                      | Unidad | LUGAR DE ESTUDIO:   |              |               |              |
|   |        | COMUNIDAD CHULCUNAG |              | LABORATORIO   |              |
|   |        | Campo               | Laboratorio  | Campo         | Laboratorio  |
| Temperatura                                     | °C     | 13,7                | 14,3         | 16,2          | 16,5         |
| pH  |        | 7,50                | 7,50         | 6,00          | 6,05         |
| Conductividad                                   | uS/cm  | 68,5                | 85,8         | 130,7         | 171,0        |
| Sólidos Totales Disueltos                       | mg/L   | 40,5                | 32,3         | 81,6          | 62,2         |
|   |        | Punto entrada       | Punto salida | Punto entrada | Punto salida |
| DBO   |        | 237                 | 232          | 178,2         | 167,5        |
| NO3   | mg/L   | 0,7                 | 0,4          | 2,2           | 2,00         |
| PO4   | mg/L   | 0,54                | 0,37         | 1,64          | 1,45         |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

Tabla XVIII. Resultado físico químico – Totorá semana 2

| ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DEL AFLUENTE Y EFLUENTE |        |                     |                 |                  |                 |
|---|--------|---------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| ESPECIE: TOTORA                                 |        |                     |                 |                  |                 |
| PARÁMETROS                                      | Unidad | LUGAR DE ESTUDIO:   |                 |                  |                 |
|   |        | COMUNIDAD CHULCUNAG |                 | LABORATORIO      |                 |
|   |        | Campo               | Laboratorio     | Campo            | Laboratorio     |
| Temperatura                                     | °C     | 14,6                | 14,3            | 16,2             | 17              |
| pH  |        | 7,72                | 7,58            | 5,45             | 6,1             |
| Conductividad                                   | uS/cm  | 92,5                | 89              | 120,3            | 137,4           |
| Sólidos Totales Disueltos                       | mg/L   | 40,4                | 42,2            | 57,2             | 80,1            |
|   |        | Punto de entrada    | Punto de salida | Punto de entrada | Punto de salida |
| DBO   | mg/L   | 156                 | 64              | 172,9            | 168,2           |
| NO3   | mg/L   | 1,4                 | 0,9             | 2,2              | 2,2             |
| PO4   | mg/L   | 1,42                | 0,54            | 1,03             | 0,23            |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

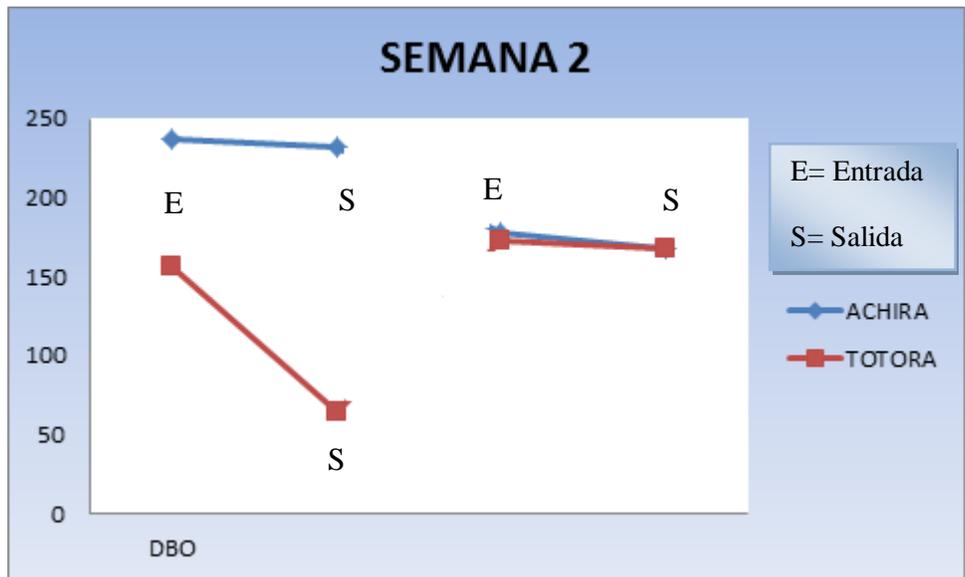


Figura 3. Resultado DBO semana 2

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

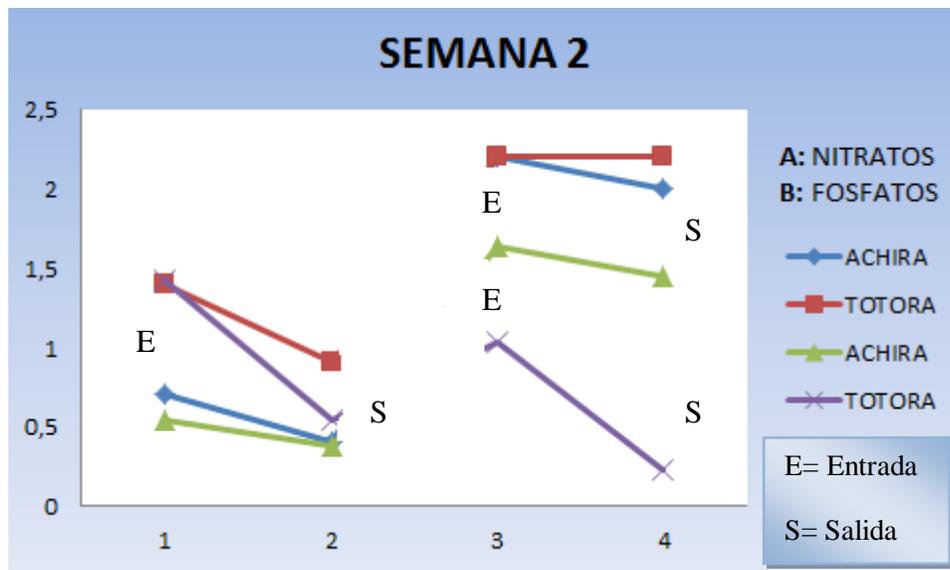


Figura 4. Resultados Nitratos Fosfatos semana 2

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

### 3.2.3 Semana 23 – 01 – 2014

Tabla XIX. Resultado físico químico – Achira semana 3

| ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DEL AFLUENTE Y EFLUENTE |        |                     |              |               |              |
|---|--------|---------------------|--------------|---------------|--------------|
| ESPECIE: ACHIRA                                 |        |                     |              |               |              |
| PARÁMETROS                                      | Unidad | LUGAR DE ESTUDIO:   |              |               |              |
|   |        | COMUNIDAD CHULCUNAG |              | LABORATORIO   |              |
|   |        | Campo               | Laboratorio  | Campo         | Laboratorio  |
| Temperatura                                     | °C     | 14,0                | 13,7         | 17,0          | 18,3         |
| pH  |        | 7,50                | 7,37         | 5,0           | 6,89         |
| Conductividad                                   | uS/cm  | 59,2                | 64,4         | 223           | 312          |
| Sólidos Totales Disueltos                       | mg/L   | 27,9                | 30,4         | 107,3         | 150,2        |
|   |        | Punto entrada       | Punto salida | Punto entrada | Punto salida |
| DBO   |        | 59                  | 21           | 162           | 124          |
| NO3   | mg/L   | 1,2                 | 0,9          | 1,6           | 0,9          |
| PO4   | mg/L   | 0,45                | 0,17         | 1,13          | 1,12         |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

Tabla XX. Resultado físico químico – Totorá semana 3

| ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DEL AFLUENTE Y EFLUENTE |        |                     |                 |                  |                 |
|---|--------|---------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| ESPECIE: TOTORA                                 |        |                     |                 |                  |                 |
| PARÁMETROS                                      | Unidad | LUGAR DE ESTUDIO:   |                 |                  |                 |
|   |        | COMUNIDAD CHULCUNAG |                 | LABORATORIO      |                 |
|   |        | Campo               | Laboratorio     | Campo            | Laboratorio     |
| Temperatura                                     | °C     | 14,1                | 13,8            | 17,5             | 18,5            |
| pH  |        | 7,6                 | 7,83            | 4,8              | 6,5             |
| Conductividad                                   | uS/cm  | 78,1                | 80,6            | 184,4            | 214             |
| Sólidos Totales Disueltos                       | mg/L   | 38                  | 36,9            | 92,3             | 88,5            |
|   |        | Punto de entrada    | Punto de salida | Punto de entrada | Punto de salida |
| DBO   | mg/L   | 59                  | 48              | 206              | 194             |
| NO3   | mg/L   | 1                   | 0,9             | 1,4              | 1,1             |
| PO4   | mg/L   | 1,06                | 0,17            | 1,47             | 1,36            |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

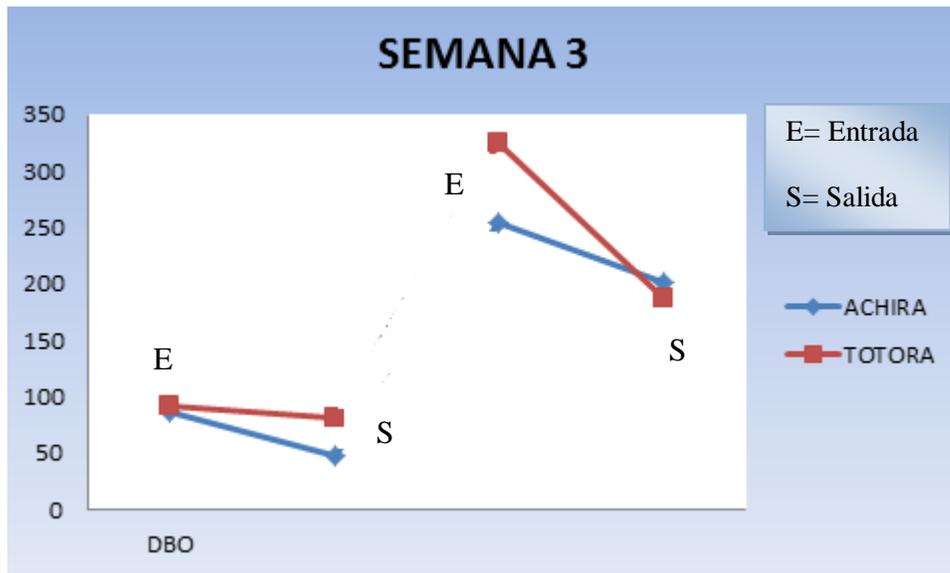


Figura 5. Resultado de DBO semana 3

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

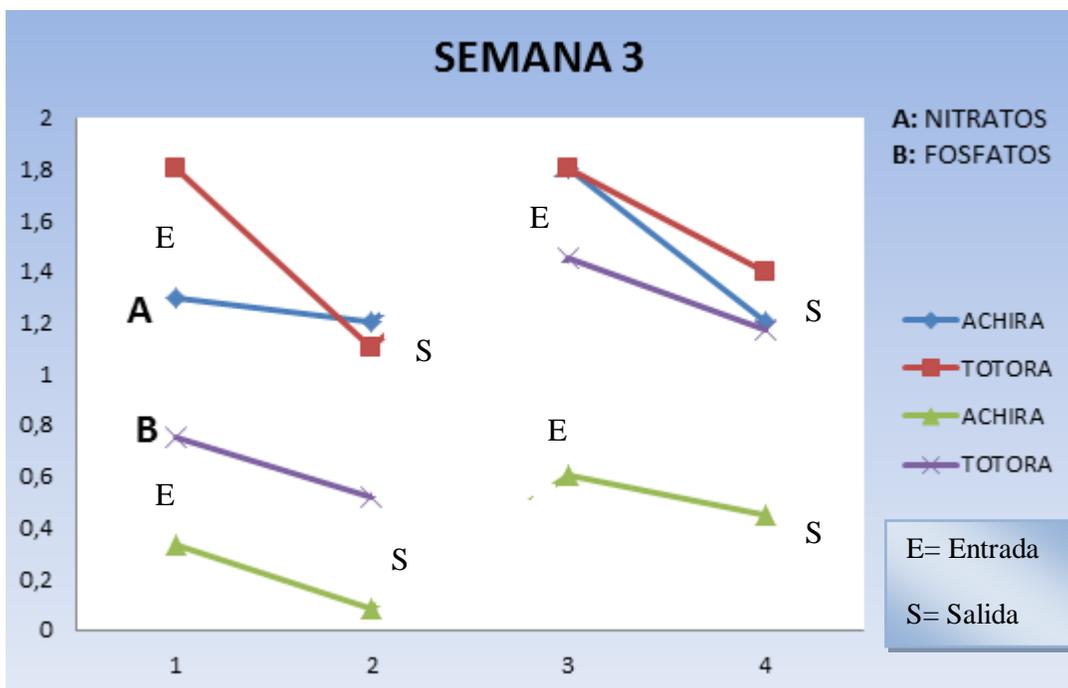


Figura 6. Resultado de Nitratos y Fosfatos semana 3

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

### 3.2.4 Semana 31 – 01 – 2014

Tabla XXI. Resultado físico químico – Achira semana 4

| ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DEL AFLUENTE Y EFLUENTE |        |                     |              |               |              |
|---|--------|---------------------|--------------|---------------|--------------|
| ESPECIE: ACHIRA                                 |        |                     |              |               |              |
| PARÁMETROS                                      | Unidad | LUGAR DE ESTUDIO:   |              |               |              |
|   |        | COMUNIDAD CHULCUNAG |              | LABORATORIO   |              |
|   |        | Campo               | Laboratorio  | Campo         | Laboratorio  |
| Temperatura                                     | °C     | 13,3                | 13,7         | 16,8          | 16,8         |
| pH  |        | 5,96                | 6,25         | 5,01          | 6,45         |
| Conductividad                                   | uS/cm  | 64,1                | 67,4         | 341           | 406          |
| Sólidos Totales Disueltos                       | mg/L   | 30,2                | 31,8         | 164,3         | 145,7        |
|   |        | Punto entrada       | Punto salida | Punto entrada | Punto salida |
| DBO   |        | 86                  | 48           | 254           | 201          |
| NO3   | mg/L   | 1,3                 | 1,2          | 1,8           | 1,2          |
| PO4   | mg/L   | 0,33                | 0,08         | 0,6           | 0,45         |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

Tabla XXII. Resultado físico químico – Totorá semana 4

| ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DEL AFLUENTE Y EFLUENTE |        |                     |                 |                  |                 |
|---|--------|---------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| ESPECIE: TOTORA                                 |        |                     |                 |                  |                 |
| PARÁMETROS                                      | Unidad | LUGAR DE ESTUDIO:   |                 |                  |                 |
|   |        | COMUNIDAD CHULCUNAG |                 | LABORATORIO      |                 |
|   |        | Campo               | Laboratorio     | Campo            | Laboratorio     |
| Temperatura                                     | °C     | 16,3                | 16,2            | 16,5             | 16              |
| pH  |        | 5,6                 | 6,36            | 5,04             | 6,35            |
| Conductividad                                   | uS/cm  | 74,9                | 74,7            | 364              | 398             |
| Sólidos Totales Disueltos                       | mg/L   | 35,3                | 35,2            | 191,5            | 176,1           |
|   |        | Punto de entrada    | Punto de salida | Punto de entrada | Punto de salida |
| DBO   | mg/L   | 91                  | 81              | 324              | 187             |
| NO3   | mg/L   | 1,8                 | 1,1             | 1,8              | 1,4             |
| PO4   | mg/L   | 0,75                | 0,52            | 1,45             | 1,17            |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

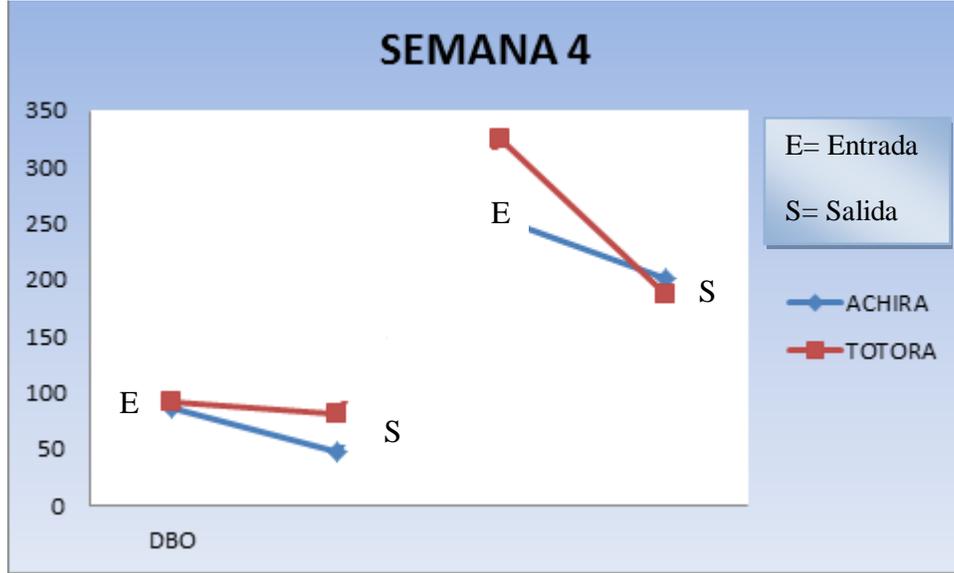


Figura 6. Resultado DBO semana 4

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

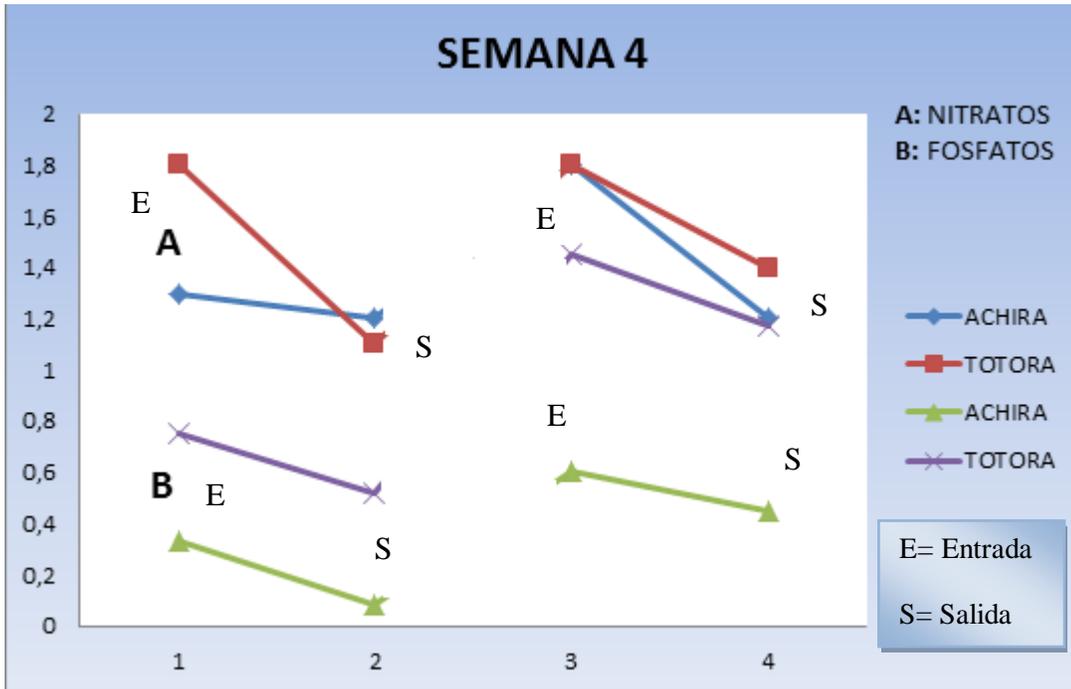


Figura 7. Resultado Nitratos y Fosfatos semana 4

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

### 3.3 Resultados microbiológicos

Tabla XXIII. Resultado microbiológico - Achira

| ESPECIE: ACHIRA    |        |                     |                     |                        |                     |
|--------------------|--------|---------------------|---------------------|------------------------|---------------------|
| PARÁMETROS         | Unidad | LUGAR DE ESTUDIO:   |                     |                        |                     |
|                    |        | COMUNIDAD CHULCUNAG |                     | LABORATORIO            |                     |
|                    |        | Punto Entrada       | Punto Salida        | Punto Entrada          | Punto Salida        |
| Coliformes Fecales | UFC    | 6,2x10 <sup>9</sup> | 2,7x10 <sup>7</sup> | 1,25 x10 <sup>12</sup> | 2,0x10 <sup>7</sup> |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

Tabla XXIV. Resultado microbiológico - Totora

| ESPECIE: TOTORA    |        |                     |                      |                        |                      |
|--------------------|--------|---------------------|----------------------|------------------------|----------------------|
| PARÁMETROS         | Unidad | LUGAR DE ESTUDIO:   |                      |                        |                      |
|                    |        | COMUNIDAD CHULCUNAG |                      | LABORATORIO            |                      |
|                    |        | Punto Entrada       | Punto Salida         | Punto Entrada          | Punto Salida         |
| Coliformes Fecales | UFC    | 5,6x10 <sup>9</sup> | 3,2 x10 <sup>7</sup> | 1,63 x10 <sup>10</sup> | 1,1 x10 <sup>9</sup> |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

### 3.4 Resultado de los porcentajes de remoción

#### 3.4.1 Semana: 08-01-2014

Tabla XXV. Eficiencia de remoción – Achira (1)

| EFICIENCIA DE REMOCIÓN: ESPECIE ACHIRA |        |            |             |
|--|--------|------------|-------------|
| PARÁMETRO                              | UNIDAD | COMUNIDAD  | LABORATORIO |
| DBO                                    | mg/L   | 18,75      | 19,6547145  |
| NO3                                    | mg/L   | 25         | -9,09090909 |
| PO4                                    | mg/L   | 83,3333333 | 0,19230769  |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

Tabla XXVI. Eficiencia de remoción – Totora (1)

| EFICIENCIA DE REMOCIÓN: ESPECIE TOTORA |        |           |             |
|--|--------|-----------|-------------|
| PARÁMETRO                              | UNIDAD | COMUNIDAD | LABORATORIO |
| DBO                                    | mg/L   | 6,90      | 6,33        |
| NO3                                    | mg/L   | 21,43     | 14,00       |
| PO4                                    | mg/L   | 33,33     | 2,69        |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

### 3.4.2 Semana: 16-01-2014

Tabla XXVII. Eficiencia de remoción – Achira (2)

| EFICIENCIA DE REMOCIÓN: ESPECIE ACHIRA |        |           |             |
|--|--------|-----------|-------------|
| PARÁMETRO                              | UNIDAD | COMUNIDAD | LABORATORIO |
| DBO                                    | mg/L   | 2,11      | 6,00        |
| NO3                                    | mg/L   | 42,86     | 9,09        |
| PO4                                    | mg/L   | 31,48     | 11,59       |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

Tabla XXVIII. Eficiencia de remoción – Totora (2)

| EFICIENCIA DE REMOCIÓN: ESPECIE TOTORA |        |           |             |
|--|--------|-----------|-------------|
| PARÁMETRO                              | UNIDAD | COMUNIDAD | LABORATORIO |
| DBO                                    | mg/L   | 58,97     | 2,72        |
| NO3                                    | mg/L   | 35,71     | 0,00        |
| PO4                                    | mg/L   | 61,97     | 77,67       |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

### 3.4.3 Semana: 23-01-2014

Tabla XXIX. Eficiencia de remoción – Achira (3)

| EFICIENCIA DE REMOCIÓN: ESPECIE ACHIRA |        |           |             |
|--|--------|-----------|-------------|
| PARÁMETRO                              | UNIDAD | COMUNIDAD | LABORATORIO |
| DBO                                    | mg/L   | 64,41     | 23,46       |
| NO3                                    | mg/L   | 25,00     | 43,75       |
| PO4                                    | mg/L   | 62,22     | 0,88        |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

Tabla XXX. Eficiencia de remoción – Totora (3)

| EFICIENCIA DE REMOCIÓN: ESPECIE ACHIRA |        |           |             |
|--|--------|-----------|-------------|
| PARÁMETRO                              | UNIDAD | COMUNIDAD | LABORATORIO |
| DBO                                    | mg/L   | 18,64     | 5,83        |
| NO3                                    | mg/L   | 10,00     | 21,43       |
| PO4                                    | mg/L   | 83,96     | 7,48        |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

#### 3.4.4 Semana: 30-01-2014

Tabla XXXI. Eficiencia de remoción – Achira (4)

| EFICIENCIA DE REMOCIÓN: ESPECIE ACHIRA |        |           |             |
|--|--------|-----------|-------------|
| PARÁMETRO                              | UNIDAD | COMUNIDAD | LABORATORIO |
| DBO                                    | mg/L   | 44,19     | 20,87       |
| NO3                                    | mg/L   | 7,69      | 33,33       |
| PO4                                    | mg/L   | 75,76     | 25,00       |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

Tabla XXXII. Eficiencia de remoción – Totora (4)

| EFICIENCIA DE REMOCIÓN: ESPECIE TOTORA |        |           |             |
|--|--------|-----------|-------------|
| PARÁMETRO                              | UNIDAD | COMUNIDAD | LABORATORIO |
| DBO                                    | mg/L   | 10,99     | 42,28       |
| NO3                                    | mg/L   | 38,89     | 22,22       |
| PO4                                    | mg/L   | 30,67     | 19,31       |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

### 3.5 Discusión De Resultados

Para determinar el comportamiento de las especies vegetales Totora y Achira implementadas en los biofiltros para obtener agua de riego a partir de aguas grises fue necesario evaluar el comportamiento de la especie por el transcurso de un mes, para lo cual se realizaron análisis del afluente y del efluente tanto a nivel de Comunidad como de Laboratorio para determinar los cambios que presenta el agua.

### 3.5.1 Semana: 08-01-2014

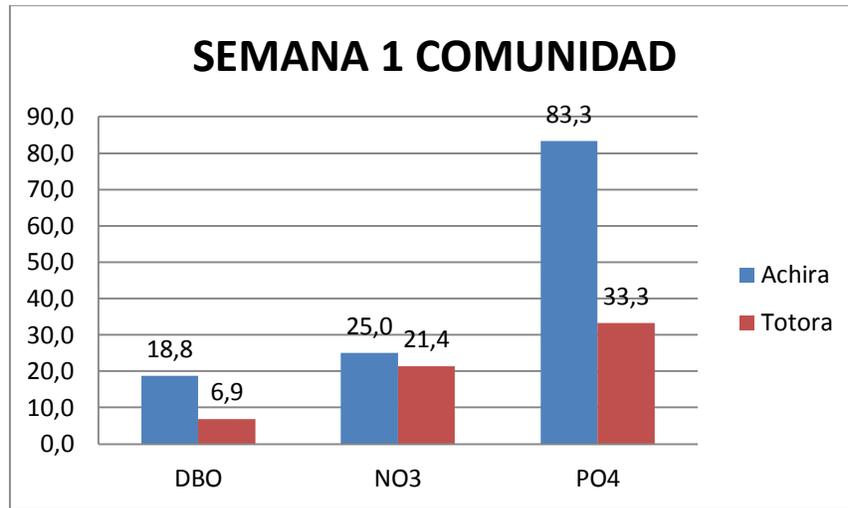


Figura 8. Porcentaje de remoción de contaminantes en comunidad semana 1

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

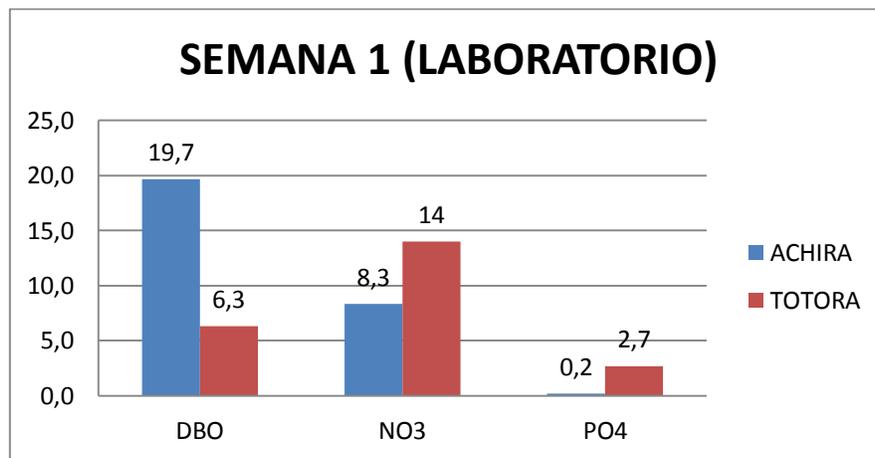


Figura 9. Porcentaje de remoción de contaminantes en laboratorio semana 1

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

En la figura 8 y 9 se ilustra el porcentaje de remoción de DBO considerado como parámetro principal en la determinación de eficiencia de las especies vegetales. En la cual se puede observar que Achira tiene una remoción similar en la comunidad y laboratorio, con el 18,8% y 19,7% respectivamente. Destacando que esta especie tiene 11,9% mayor eficiencia en las comunidades y el 13,4% más eficiencia en laboratorio con respecto a la totora.

### 3.5.2 Semana: 16-01-2014

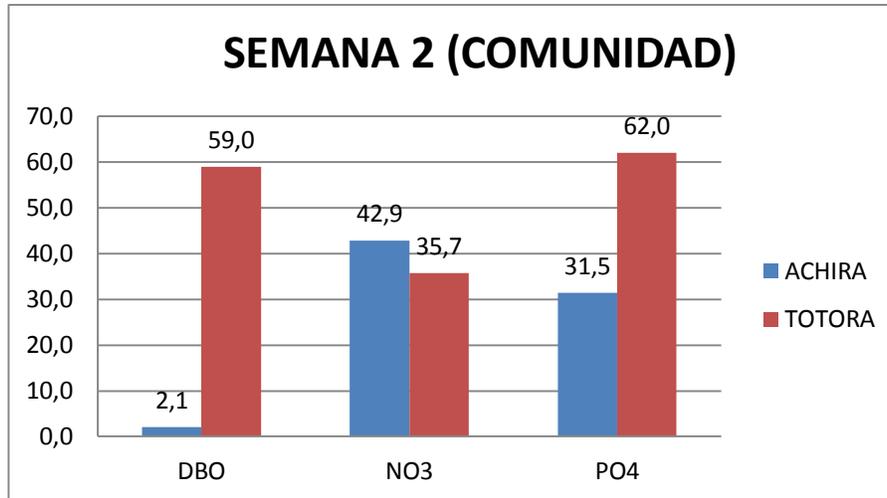


Figura 10. Porcentaje de remoción de contaminantes comunidad semana 2

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

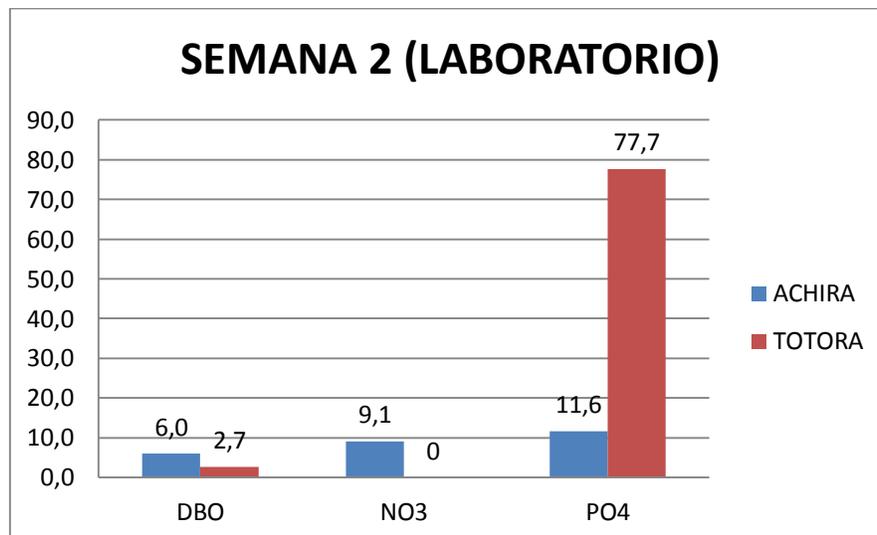


Figura 11. Porcentaje de remoción de contaminantes laboratorio semana 2

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

En la figura 10y 11se ilustra el porcentaje de remoción de DBO para la segunda semana de muestreo, en la cual se puede observar que hay diferencia de resultados y no existe una similitud en el comportamiento como se observó en la semana 1, ya que en la comunidad

la especie con mayor remoción es Totorá con 59% y en laboratorio es Achira quien tiene mayor eficiencia con 6%. El bajo porcentaje de remoción en la Achira en el humedal de la comunidad se debe a que existió una extracción de las capas del lecho filtrante y de la planta.

### 3.5.3 Semana:23-01-2014

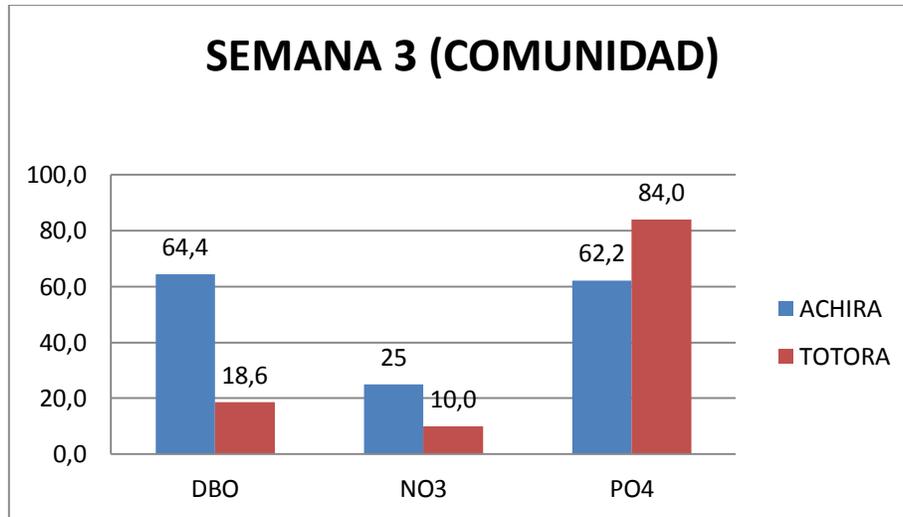


Figura 12. Porcentaje de remoción de contaminantes comunidad semana 3

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

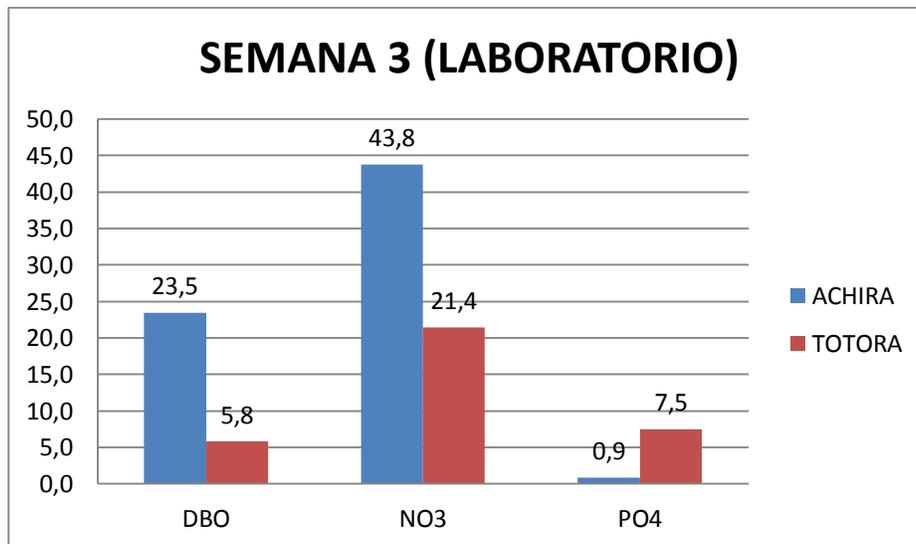


Figura 13. Porcentaje de remoción de contaminantes laboratorio semana 3

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

En las figuras 12 y 13 se observa que existe mayor eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en la especie Achira, en el laboratorio en 64,4% y en laboratorio el 23,5% para la tercera semana de muestreo. Destacando que la especie achira es más eficiente el 45,8% y el 17,7% que la totora para los humedales implementados en las comunidades y laboratorio respectivamente.

### 3.5.4 Semana: 30-01-2014

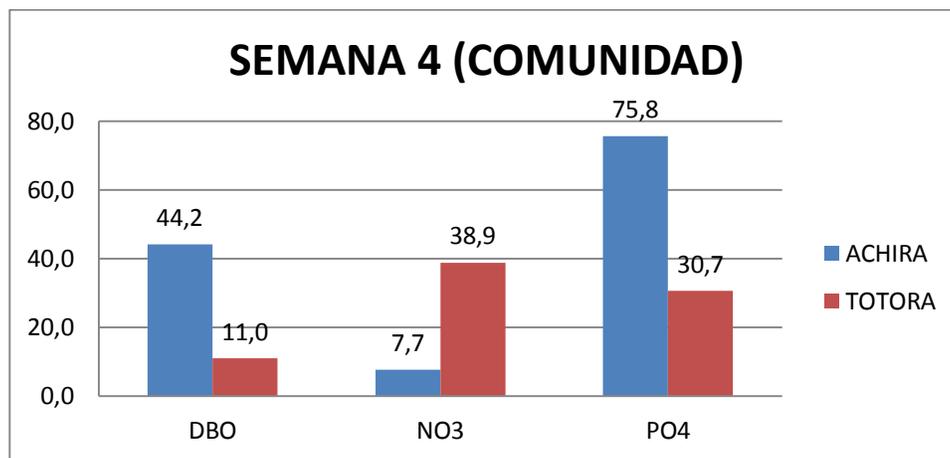


Figura 14. Porcentaje de remoción de contaminantes comunidad semana 4

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

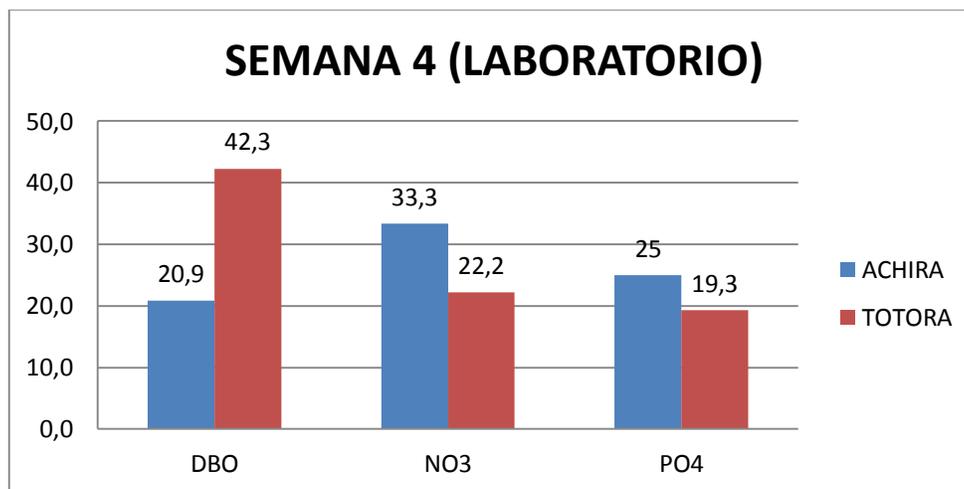


Figura 15. Porcentaje de remoción de contaminantes laboratorio semana 4

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

En esta última semana de muestreo se presenta en las figuras 14 y 15 un comportamiento similar al de la segunda semana. Observando que la especie achira es más eficiente de DBO 44,2% en los humedales implementados en la comunidad, mientras que la totora es más eficiente 42,3% en el laboratorio. El bajo porcentaje de remoción de la achira en laboratorio posiblemente se da porque la planta presentó un cuadro de marchitez ya que estaba bajo techo y no recibía la luz solar suficiente.

### 3.6 Discusión de resultados para la especie Totora

#### 3.6.1 Características físicas de la especie

Tabla XXXIII. Características físicas de la Totora

| INICIAL             |         | FINAL               |         |
|---------------------|---------|---------------------|---------|
| Características     | valores | Características     | Valores |
| Altura de la planta | 30 cm   | Altura de la planta | 33.2 cm |
| Numero de brotes    | 5       | Numero de brotes    | 6       |
| Coloración          | verde   | Coloración          | verde   |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

Desde el momento en que se trasladó la especie desde el vivero del GADPCH hasta el medio de adaptación las condiciones se mantuvieron similares

Durante el período de adaptación la planta cambió sus características visuales de la coloración verde que presentaba, se tornó ligeramente amarillenta, a más de ello, se denotaba que los brotes más superficiales se mostraban resacos. Este es un comportamiento característico hasta que la especie se adapte al nuevo medio, posteriormente a partir de la semana 2, sus características visuales mejoraron, surgieron nuevos brotes y la altura se incremento

#### 3.6.2 Características del efluente

En el transcurso de las 4 semanas se pudo observar valores fluctuantes en cuanto a la remoción de los parámetros analizados, las gráficas presentadas con anterioridad demuestran que la especie vegetal totora presenta resultados más favorables a nivel de laboratorio que estando en las comunidades donde se implementó el biofiltro.

Tabla XXXIV. Porcentajes de eficiencia de la Totora con respecto a la Achira

| Semana   | Parámetro        | %eficiencia |             |
|----------|------------------|-------------|-------------|
|          |                  | Comunidad   | Laboratorio |
| Semana 1 | DBO <sub>5</sub> |             |             |
|          | NO <sub>3</sub>  | >5.7        |             |
|          | PO <sub>4</sub>  | >2.5        |             |
| Semana 2 | DBO <sub>5</sub> | >56.9       |             |
|          | NO <sub>3</sub>  |             |             |
|          | PO <sub>4</sub>  | >30.5       | >66.1       |
| Semana 3 | DBO <sub>5</sub> |             |             |
|          | NO <sub>3</sub>  |             |             |
|          | PO <sub>4</sub>  | >21.8       | >6.6        |
| Semana 4 | DBO <sub>5</sub> | >21.4       |             |
|          | NO <sub>3</sub>  | >31.2       |             |
|          | PO <sub>4</sub>  |             |             |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

### 3.7 Discusión de resultados para la especie Achira

#### 3.7.1 Características físicas de la especie

Tabla XXXV. Características físicas de la Achira

| INICIAL             |         | FINAL               |         |
|---------------------|---------|---------------------|---------|
| Características     | Valores | Características     | Valores |
| Altura de la planta | 26 cm   | Altura de la planta | 33.2 cm |
| Número de hojas     | 1       | Número de hojas     | 3       |
| Coloración          | morado  | Coloración          | morado  |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

El comportamiento de la Achira fue muy similar al de la Totora, de igual manera se determinó especies con características similares:

Después del período de adaptación de la especie (2 semanas) tiempo en el cual se observó que las características físicas de la planta desmejoraron, pero paulatinamente la planta recuperó su apariencia inicial, y presentó cambios en cuanto a la altura y número de hojas

#### 3.7.2 Características del agua del efluente

Tabla XXXVI. Porcentajes de eficiencia de la Achira con respecto a la Totora

| Semana | Parámetro | % eficiencia |
|--------|-----------|--------------|
|--------|-----------|--------------|

|                 |                  | Comunidad | Laboratorio |
|-----------------|------------------|-----------|-------------|
| <b>Semana 1</b> | DBO <sub>5</sub> | >11.9     | >13.4       |
|                 | NO <sub>3</sub>  | >3.6      |             |
|                 | PO <sub>4</sub>  | >50       |             |
| <b>Semana 2</b> | DBO <sub>5</sub> | >3.3      |             |
|                 | NO <sub>3</sub>  | >7.2      | >9.1        |
|                 | PO <sub>4</sub>  |           |             |
| <b>Semana 3</b> | DBO <sub>5</sub> | >45.8     | >17.7       |
|                 | NO <sub>3</sub>  | >15       | >22.4       |
|                 | PO <sub>4</sub>  |           |             |
| <b>Semana 4</b> | DBO <sub>5</sub> | >33.2     |             |
|                 | NO <sub>3</sub>  | >11.1     |             |
|                 | PO <sub>4</sub>  | >45.1     | >5.7        |

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

A diferencia de la Totorá, la Achira se adaptó mucho más rápido en las comunidades; lugar donde se manifestaron mejores resultados. Al considerar la reducción de la DBO<sub>5</sub> como indicador de eficiencia podemos observar que la tendencia se mantiene con excepción de la semana 2 en la cual la Totorá presenta una mayor eficiencia.

### 3.8 Coliformes Fecales

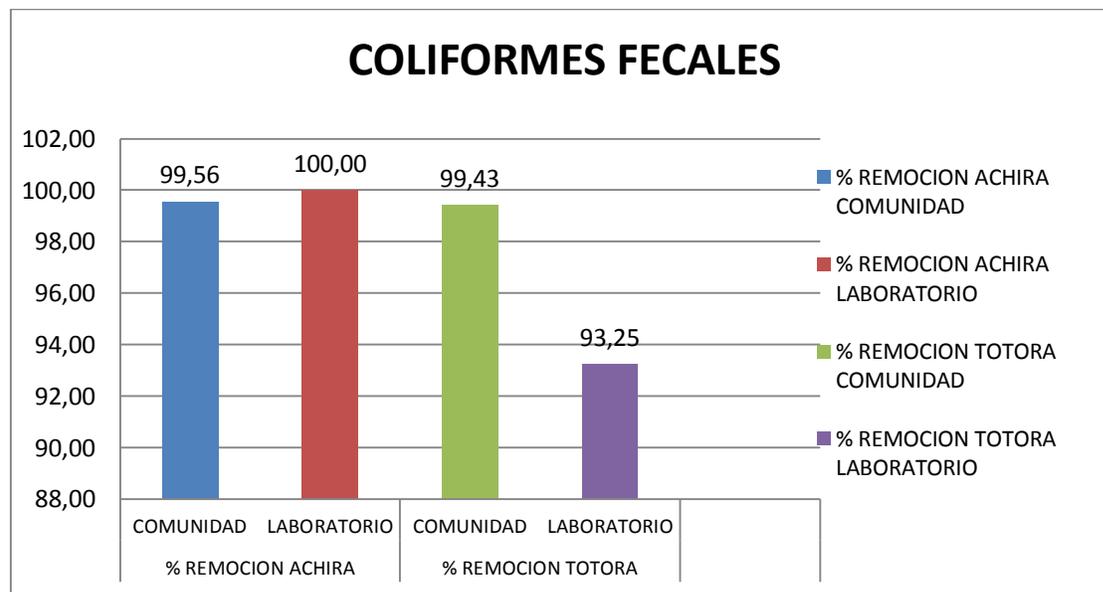


Figura 16. Resultado de Coliformes Fecales

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

En la figura 16 se ilustra el porcentaje de remoción de coliformes fecales, en el que se observa que la especie achira tiene relativamente mayor eficiencia tanto en la comunidad como en laboratorio con 99,56% y 100% respectivamente con respecto a la totora que también presenta valores altos de eficiencia con 99,43% y 93,25% en los humedales implementados en comunidad y laboratorio. La mayor eficiencia de los achira se explica por las características de su raíz en forma de tubérculo que proporciona mayor adhesión de los microorganismos.

### 3.9 Resultados finales

Una vez culminados los análisis respectivos podemos determinar que:

- Totora es mucho más eficiente que la Achira en cuanto a la remoción de  $PO_4$  en un 3,34%.
- Achira es más eficiente en la remoción del DBO en 5,95% y ligeramente más eficiente en la remoción de coliformes fecales.
- Finalmente en cuanto a la remoción de los  $NO_3$  no existe una mayor diferencia entre una especie y la otra.

### 3.10 Análisis Estadístico

#### 3.10.1 Test t-student de los datos de la comunidad

| Tratamiento | $\bar{x}$ | s      | n |
|-------------|-----------|--------|---|
| Totora (1)  | 23.9      | 22.523 | 4 |
| Achira (2)  | 32.4      | 26.777 | 4 |

Hipótesis Nula,  $H_0: \bar{x}_1 = \bar{x}_2$

Hipótesis Alternativa,  $H_1: \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$

$$t_{calc} = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

$$t_{calc} = 0.486$$

$$t_{crítico} = t_{6,0.05} = 2.447$$

Decisión: puesto que:

$$t_{calc} < t_{crítico}$$

Se acepta  $H_0$ , no se observa diferencia significativa entre los promedios de ambos tratamientos.

### 3.10.2 Test t-student de los datos de laboratorio

| Tratamiento | $\bar{x}$ | s      | n |
|-------------|-----------|--------|---|
| Totora (1)  | 14.5      | 17.277 | 4 |
| Achira (2)  | 17.5      | 7.823  | 4 |

Hipótesis Nula,  $H_0: \bar{x}_1 = \bar{x}_2$

Hipótesis Alternativa,  $H_1: \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$

$$t_{calc} = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

$$t_{calc} = 0.316$$

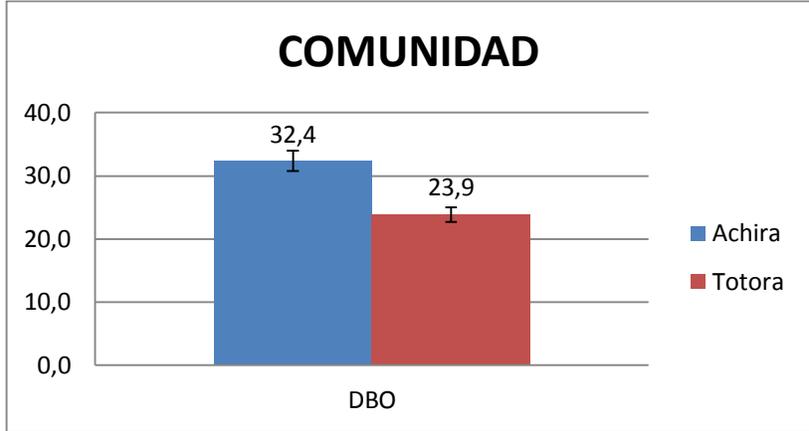
$$t_{crítico} = t_{6,0.05} = 2.447$$

Decisión: puesto que:

$$t_{calc} < t_{crítico}$$

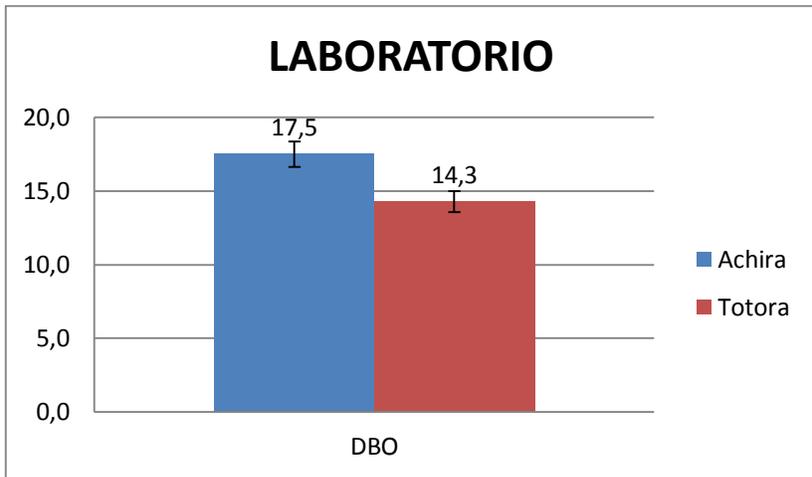
Se acepta  $H_0$ , no se observa diferencia significativa entre los promedios de ambos tratamientos.

Como indicador de eficiencia para los biofiltros, se consideró como parámetro referencial a la remoción de la  $DBO_5$ , obteniendo los siguientes resultados:



**Figura 17. Resultado de remoción de DBO en la comunidad**

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K



**Figura 18. Resultado de remoción de DBO en laboratorio**

FUENTE: DUCHICELA V., TOLEDO K

## **CAPÍTULO IV**

### **4 MANUAL DE MANTEMIENTO**

4.1. OBJETIVOS

4.2. ALCANCE

4.3. REFERENCIAS

4.4. RESPONSABILIDADES

4.5. DESCRIPCION DE ACTIVIDADES

## **4.1 OBJETIVO**

El objetivo del presente manual es establecer las directrices a seguir para un correcto funcionamiento de los biofiltros, a fin proporcionar un agua de riego con óptimas condiciones que no represente ningún tipo de riesgo para la salud humana, ni al medio ambiente.

## **4.2 ALCANCE**

Este procedimiento será para todos los usuarios de los biofiltros en las comunidades de Chulcunag Centro y Chulcunag Alto pertenecientes a la parroquia de Punín

## **4.3 REFERENCIAS**

El presente manual se ha elaborado de acuerdo con las recomendaciones expuestas por M. C. Jacinto Buenfil autor del texto “Jardineras que filtran las aguas grises para reciclarlas” y proponente del modelo implementado en las comunidades.

## **4.4 RESPONSABILIDADES**

La responsabilidad estará a cargo de todos quienes cuentan en su vivienda con la estructura mencionada

## **4.5 DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES**

### **4.5.1 CONSIDERACIONES GENERALES**

Utilizar jabones biodegradables y no abusar de sustancias químicas como el cloro.

El material removido de las distintas estructuras (sólidos, natas, poda de especies) pueden ser enterradas o incorporadas a material para la elaboración de compostaje.

Adaptar la especie vegetal al agua residual de estudio, durante unas dos semanas previamente a ser colocadas en el biofiltro.

Realizar análisis físico químicos en un período de tres meses para controlar los niveles de concentración de contaminantes en los humedales artificiales.

#### **4.5.2 MANTENIMIENTO DE LA TRAMPA DE GRASAS**

Para evitar la presencia de olores la trampa de grasas debe contar con una tapa que permita, a su vez, la aeración de la estructura.

El buen funcionamiento de este sistema requiere que se remueva la nata de grasa una vez al mes, utilizando una coladera

Para remover los sólidos acumulados, es necesario vaciar el agua de la trampa con una cubeta y aplicarla al filtro. Posteriormente, se retirarán los sedimentos con una pala; se recomienda realizar esta actividad con una periodicidad de 2 o 3 meses dependiendo los requerimientos.

#### **4.5.3 MANTENIMIENTO DEL FILTRO O JARDINERA**

Las plantas se deben podar regularmente, pues, al podarlas, absorben más nutrientes para desarrollar nuevas ramas y hojas.

Eventualmente, en un período de 5 a 10 años, el filtro se puede obstruir con la acumulación de sólidos. Cuando esto sucede, se puede apreciar que el agua desborda por la parte superior del filtro en vez de fluir por el tubo de salida. Esto indica que el material filtrante se encuentra saturado y debe cambiarse por material nuevo.

#### **4.5.4 MANTENIMIENTO DEL TANQUE RESERVORIO**

Realizar la limpieza del tanque reservorio una vez por mes, para evitar la proliferación de algas; a través de la tubería de desfogue implementada en el diseño, es necesario evacuar el agua presente en el tanque reservorio para facilitar la remoción de material adherido a las superficies de forma manual, posteriormente enjuagar el tanque para cerciorarse que todo el material fue removido.

## CAPÍTULO V

### 5 CONCLUSIONES

1. La caracterización del afluente de forma cualitativa en la comunidad presenta una coloración gris verdosa por la presencia de materia orgánica y color azulado por los detergentes, se presenciaron olores fuertes a putrefacción por el estancamiento del agua. En laboratorio no presentó características similares a la comunidad, la coloración azulada más intensa y menos olores a descomposición. Los análisis de detergentes se presenciaron por la formación de espumas, siendo mayor en laboratorio.

El promedio obtenido de pH es de 6.23 que no cumple con la normativa vigente (límite permisible 6,5-8). Los resultados de los parámetros físicos químicos conductividad, sólidos totales disueltos y demanda bioquímica de oxígeno tienen concentraciones más altas en laboratorio debido al mayor número de habitantes, generando más cantidad de materia orgánica por lo mismo mayor STD y DBO.

2. La caracterización del efluente de forma cualitativa en la comunidad y laboratorio presentó una coloración gris blanquecina y sin olores, no se presenciaron formación de espumas, lo que indica que no hay altas cantidades de detergentes.

El promedio de pH es de 6.9 cumple con la normativa vigente, la conductividad eléctrica presenta valores de 250 a 750  $\mu\text{S}/\text{cm}$  encontrándose dentro de los límites permisibles. Las concentraciones físicas químicas para los parámetros Conductividad, STD y DBO son mayores a nivel de laboratorio por las características del afluente. Los análisis microbiológicos tienen una disminución promedio de dos escalas logarítmicas para coliformes fecales.

Los resultados físicos químicos y microbiológicos indican que el tratamiento de humedales artificiales retiene los contaminantes, reduciéndolos y manteniendo las

concentraciones dentro de los valores que dicta la Norma TULSMA para agua de riego.

3. En el análisis respectivo de las figuras 17 y 18, se puede observar que la especie vegetal con mayor remoción de carga contaminante es la Achira, siendo a nivel de la comunidad más eficiente que la totora en un 8.5%, a nivel de laboratorio más eficiente que la totora en un 3.2%. Con el respectivo análisis estadístico de los resultados obtenidos mediante test t-student, 0,486 para comunidad y 0,316 en laboratorio, no se evidencian diferencias significativas, determinando que las especies Totora y Achira tienen eficiencias de remoción relativamente similares.

## **CAPÍTULO VI**

### **6 RECOMENDACIONES**

- 1.** Continuar con el mantenimiento de los biofiltros implementados en las comunidades de Chulcunag Alto y Chulcunag Centro para evitar que existan colapsos en los sistemas siguiendo el Manual de Mantenimiento expuesto en el capítulo IV.
- 2.** Se recomienda implementar las 2 especies totora y achira en un mismo biofiltro para tener mayor eficiencia en remoción de contaminantes.

## CAPÍTULO VII

### 7. BIBLIOGRAFÍA

1. **RAMALHO, R.**, Tratamiento de aguas residuales., 2da ed., Barcelona - España., Editorial Reverté., 2006., Pp 437.

**E-books:**

<http://es.scribd.com/doc/65356088/R-S-Ramalho-Tratamiento-de-Aguas-Residuales>

2. **ARIAS, C.**, Revista Redalyc., Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales., 13 ed., Bogotá – Colombia., 2003., Pp 17-24

**E-books:**

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91101302>

3. **CASTAÑEDA, A.**, Revista de Tecnología y Sociedad Paakat., Tratamiento de aguas residuales domesticas mediante plantas macrófitas típicas en Los Altos de Jalisco., 5ta ed., Guadalajara - México., 2013., Pp 1-13

**E-books:**

<http://www.udgvirtual.udg.mx/paakat/index.php/paakat/article/view/208>

4. **SOTO, M.**, Revista Redalyc., Efecto de la presencia de hidrofitas (*Typha latifolia*) sobre los potenciales redox en columnas empacadas a escala de laboratorio., Vol. 24, Núm. 1., Distrito Federal México - México., 2009., Pp 6-11.

**E-books:**

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48212169003>

5. **ZARATE, A.**, Revista Redalyc., Remoción de contaminantes en un sistema modelo de humedales artificiales a escala de laboratorio. Vol. 23, núm. 1., Distrito Federal México – México., 2008., Pp 15-22.

**E-books:**

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48223103>

6. **CUEVA, E.**, Tratamiento de aguas residuales domesticas mediante un humedal artificial de flujo subsuperficial con vegetación herbácea, Santo Domingo., Facultad de ciencias de la vida., Escuela de Ingeniería Agropecuaria., Escuela Superior Politécnica del Ejército., Santo Domingo – Ecuador., **TESIS.**, 2013., Pp 6., 17.

**E-books:**

<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6543/1/T-ESPE-STO%20D.-002470.pdf>

7. **GARCIA, D.**, Fitodepuración sostenible de aguas residuales mediante la utilización de humedales artificiales., Facultad de Ciencias Químicas, Escuela de Ingeniería Química., Universidad Católica de Cuenca., Cuenca – Ecuador, **TESIS.**,2009.,Pp17-23., 33-35., 38-39.

**E-books:**

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2399/1/tq1028.pdf>

8. **GARCIA, Z.**, Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas., Facultad de Ingeniería Ambiental., Universidad Nacional de Ingeniería., Lima – Perú., **TESIS.**, 2012., Pp 11-18.

**E-books:**

[http://www.lima-water.de/documents/zgarcia\\_tesis.pdf](http://www.lima-water.de/documents/zgarcia_tesis.pdf)

9. **GONZALEZ, F.**, Diseño de una Planta de Tratamiento Piloto de Aguas Residuales Domésticas para el Conjunto Residencial Matisse utilizando un Humedal Artificial., Universidad San Francisco de Quito., Quito-Ecuador.,**TESIS** 2011., Pp8-16.

**E-books:**

<http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1238/1/101772.pdf>

10. **MARIN, J.**, Evaluación de la remoción de contaminantes en aguas residuales en humedales artificiales utilizando la *Guadua angustifolia* Kunth., Facultad de Tecnología., Escuela de Tecnología Química., Universidad Tecnológica de Pereira., Pereira – Colombia.,**TESIS.**, 2010., Pp 9-14., 19-20.

**E-books:**

<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1801/1/6283M337.pdf>

- 11. SÁNCHEZ, R.**, Evaluación del humedal artificial de la hostería Cuicocha, utilizado para el tratamiento de aguas residuales domésticas., Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental., Escuela de Ingeniería Ambiental., Cuicocha – Ecuador., **TESIS.**, 2011., Pp 32-33.

**E-books:**

<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3984/1/CD-3757.pdf>

**12. BIOFILTRO, LA JARDINERA QUE FILTRA LAS AGUAS GRISES PARA RECICLARLAS**

[http://www.sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/BUENFIL%20La%20Jardinera%20que%20Filtra%20las%20Aguas-SPANISH.pdf](http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/BUENFIL%20La%20Jardinera%20que%20Filtra%20las%20Aguas-SPANISH.pdf)  
16-07-2013

**13. BIOFILTRO: UNA OPCIÓN SOSTENIBLE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN PEQUEÑAS LOCALIDADES**

<https://www.wsp.org/sites/wsp.org/files/publications/biofiltro.pdf>  
16-07-2013

**14. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO.**

<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6165/2/DBO%20-%20SS%20-%20SD.pdf>  
15-12-2013

**15. DEPURACIÓN BIOLÓGICA DE AGUAS RESIDUALES URBANAS**

<http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5909/08Mjkm08de18.pdf?sequence=8>  
16-07-2013

**16. DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES CON HUMEDALES**

**ARTIFICIALES: VENTAJAS DE LOS SISTEMAS HÍBRIDOS**

[http://www.alquimiaimasd.com/UserFiles/ficheros/IdiAplicada/2643\\_JMena.pdf](http://www.alquimiaimasd.com/UserFiles/ficheros/IdiAplicada/2643_JMena.pdf)

18-07-2013

**17. DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES CON HUMEDALES ARTIFICIALES.**

<http://www.aprchile.cl/pdfs/Humedales.pdf>

10-07-2013

**18. DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES POR MEDIO DE HUMEDALES ARTIFICIALES**

[http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/depuracion\\_de\\_aguas\\_residuales\\_por\\_medio\\_de\\_humedales\\_artificiales.pdf](http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf)

10-07-2013

**19. DIVERSIDAD DE TUBÉRCULOS ANDINOS EN EL ECUADOR.**

<http://www.joethejuggler.com/Funbotanica/10tubers.html>

29-07-2013

**20. ELIMINACIÓN BIOLÓGICA DE FOSFORO EN AGUAS RESIDUALES URBANAS.**

<http://books.google.com.ec/books?id=8Vlu05kqFEgC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

15-12-2013

**21. EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL TRATAMIENTO CON PLANTAS ACUÁTICAS (*E. CRASSIPES*, *LEMNASP*, *L. LAEVIGATUM*) EN LA REMOCIÓN DE INDICADORES DE CONTAMINACIÓN FECAL EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**

<http://coepsa.com.ar/Temas%20ambientales/residadaa.pdf>

05-08-2013

**22. FITORREMEDIACIÓN CON HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PORCINAS.**

[http://www.erevistas.csic.es/ficha\\_articulo.php?url=oai:informadortecnico.senaaustin.com:article/15&oai\\_iden=oai\\_revista715](http://www.erevistas.csic.es/ficha_articulo.php?url=oai:informadortecnico.senaaustin.com:article/15&oai_iden=oai_revista715)

28-07-2013

**23. FILTRO Y EQUIPOS**

<http://www.filtrosyequipos.com/GUEST/residuales/dboydgo2.pdf>

20-12-2013

**24. FITORREMEDIACIÓN DE LAS AGUAS DEL CANAL DE RIEGO**

**LATACUNGA-SALCEDO-AMBATO MEDIANTE HUMEDALES VEGETALES A NIVEL DE PROTOTIPO DE CAMPO**

<http://www.buscagro.com/www.buscagro.com/biblioteca/Ramiro-Velastegui/Fitorremediacion-de-agua-mediante-humedales.pdf>

08-08-2013

**25. FOLLETO INFORMATIVO DE TECNOLOGÍA DE AGUAS RESIDUALES, HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL**

[http://water.epa.gov/scitech/wastetech/upload/2003\\_07\\_10\\_mtb\\_cs\\_00\\_023.pdf](http://water.epa.gov/scitech/wastetech/upload/2003_07_10_mtb_cs_00_023.pdf)  
24-08-2014

## **26. HISTORIA DE LOS HUMEDALES**

<http://desastres.usac.edu.gt/documentos/pdf/spa/doc13072/doc13072-2.pdf>  
12-06-2013

## **27. MACRÓFITAS DE INTERÉS EN FITODEPURACIÓN**

[http://www.ciencias-marinas.uvigo.es/bibliografia\\_ambiental/otros/Manual%20de%20fitodepuracion/Capitulos%207.pdf](http://www.ciencias-marinas.uvigo.es/bibliografia_ambiental/otros/Manual%20de%20fitodepuracion/Capitulos%207.pdf)  
14-08-2013

## **28. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA AGUA**

<https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2226.2000.pdf>  
13-08-2013

## **29. SISTEMAS DE HUMEDALES ARTIFICIALES**

<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6087/9/CAPITULO%204.pdf>  
12-07-2013

## **30. TOTAL DE BACTERIAS COLIFORMES.**

[http://www.bvsde.paho.org/cd-gdwq/docs\\_microbiologicos/Indicadores%20PDF/bacterias%20coliformes.pdf](http://www.bvsde.paho.org/cd-gdwq/docs_microbiologicos/Indicadores%20PDF/bacterias%20coliformes.pdf)  
27-12-2013

**31. TOTORA.**

<http://www.planthogar.net/enciclopedia/fichas/279/totora-typha-latifolia.html>  
10-09-2013

**32. TOTORA *Scirpus*sp.**

[http://www.regmurcia.com/servlet/s.SI?sit=c,365,a,0,m,1050&r=ReP-5129-DETALLE\\_REPORTAJES](http://www.regmurcia.com/servlet/s.SI?sit=c,365,a,0,m,1050&r=ReP-5129-DETALLE_REPORTAJES)  
10-09-2013

**33. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES**

[http://otoruno.files.wordpress.com/2012/05/hidro-edar\\_tratamiento-de-aguas-residuales-mediante-humedales-artificiales.pdf](http://otoruno.files.wordpress.com/2012/05/hidro-edar_tratamiento-de-aguas-residuales-mediante-humedales-artificiales.pdf)  
14-07-2013

**34. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR MEDIO DE LA INSTALACIÓN SECUENCIAL DE HUMEDALES ARTIFICIALES.**

[http://www.uaemex.mx/Red\\_Ambientales/docs/memorias/Extenso/TA/EC/TAC-52.pdf](http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Extenso/TA/EC/TAC-52.pdf)  
17-08-2013

**35. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR UN SISTEMA PILOTO DE HUMEDALES ARTIFICIALES.**

México <http://www.revistas.unam.mx/index.php/rica/article/view/21580>  
17-08-2013

## CAPÍTULO VIII

### 8. RESUMEN

La presente investigación consiste en determinar la eficiencia de especies vegetales, Totora - Achira, implementadas en biofiltros independientes para obtener agua de riego a partir de agua gris en las comunidades Chulcunag Alto y Chulcunag Centro, parroquia Punín, cantón Riobamba, provincia Chimborazo, 2013.

Se utilizó el método experimental para la toma de muestras del afluente y efluente con repeticiones de un día por semana durante 1 mes en cada biofiltro para la caracterización física, química y microbiológica utilizando materiales, reactivos y equipos de laboratorio como: espectrofotómetro, pH-metro, conductímetro.

Los resultados obtenidos de la investigación son: achira presenta un porcentaje de remoción de 32,4% y totora un 23,9% en eliminación de materia orgánica representada como demanda bioquímica de oxígeno (DBO). La mayor eficiencia en achira posiblemente es por características de su raíz en forma de bulbo proporcionando mayor superficie de adhesión para microorganismos.

Se concluye que mediante el test t-student no se ha evidenciado una diferencia significativa en porcentaje de remoción determinando que la eficiencia de especies Totora y Achira son relativamente similares.

Recomendamos al Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Chimborazo realizar seguimientos por un periodo mínimo de 3 meses para obtener mayor información sobre el comportamiento de la especie, en eliminación de contaminantes y socialicen el sistema de depuración en comunidades rurales.

## **ABSTRACT**

The present research consists in determining the efficiency of plant species, Totora – Achira, implemented in separate biofilters for obtaining irrigation water from greywater in communities Chulcunag Alto and Chulcunag Centro, Punin parish, Riobamba canton, province of Chimborazo, 2013.

The experimental method was used for sampling the influent and effluent with repetitions of the one day per week for 1 month in each biofilter for physical chemical and microbiological characteristics by using materials, reagents and laboratory equipments such as: spectrophotometer, pH-meter, conductimeter

The obtained results of the research are: achira presents a removal percentage of 32,4% and totora a 23,9% in removing organic matter represented as biochemical oxygen demand (BOD). The greatest efficiency in achira is possibly by characteristics of its root in bulb form by providing greater bonding surface for microorganisms.

It is concluded that by means of t-student test has not shown a significant difference in removal percentage by determining that the efficiency of species Totora y Achira are relatively similar.

It is recommended to the Autonomous Decentralized Government of the Province of Chimborazo to keep track for a minimum period of 3 months for obtaining more information about the behavior of the species, the removal of pollutants and socialize purification system in rural communities.

## CAPITULO IX

### 9. ANEXOS

#### ANEXO 1: Muestreo



Recolección de muestras del afluente



Recolección de muestras del efluente

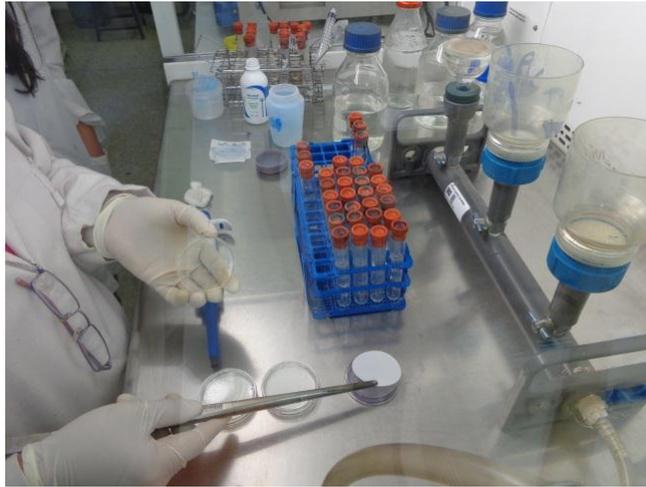
## ANEXO 2: Determinación de análisis físico químicos y microbiológicos



Equipo de DBO, cabeza gasométrica

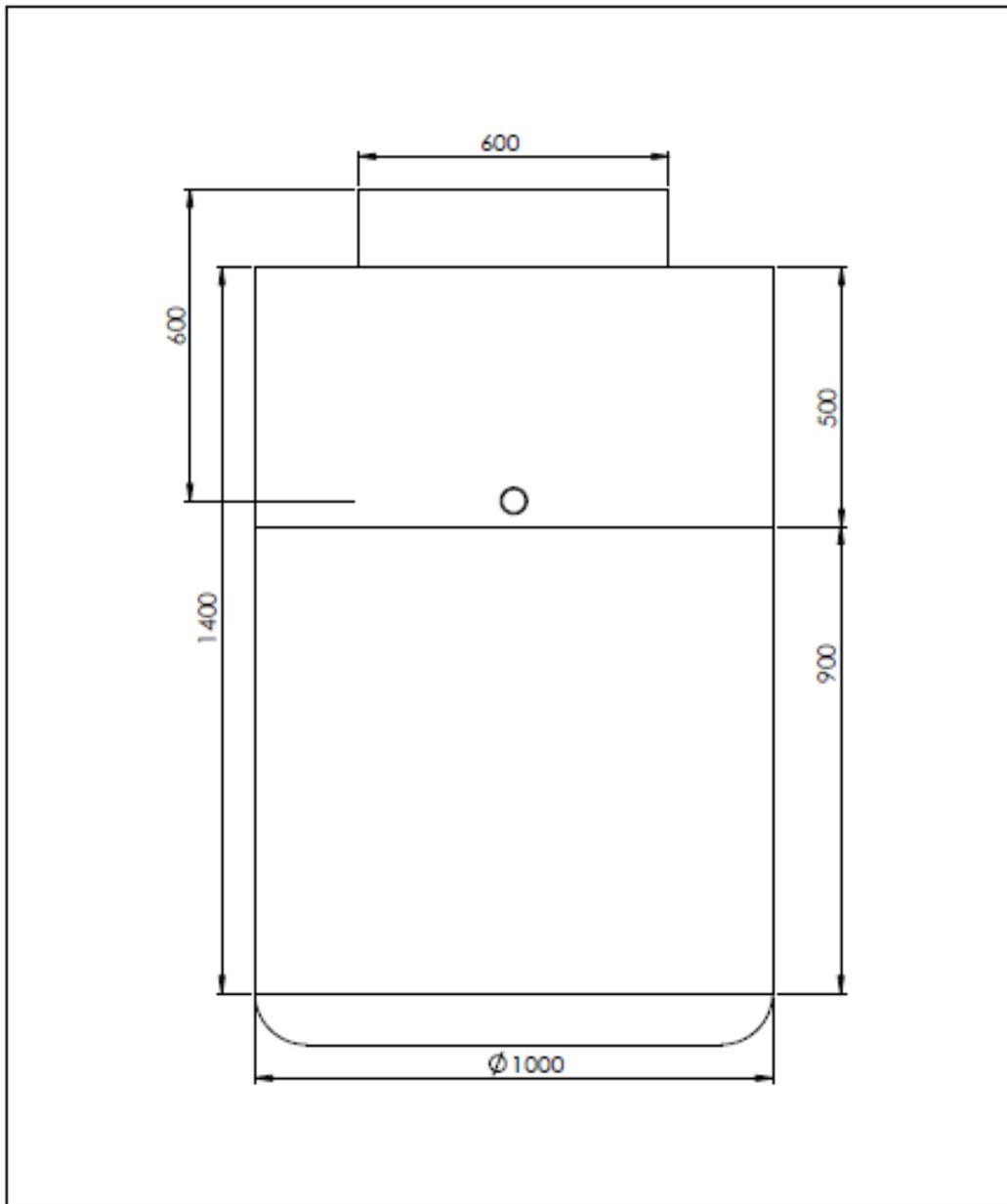


Determinación de fosfatos



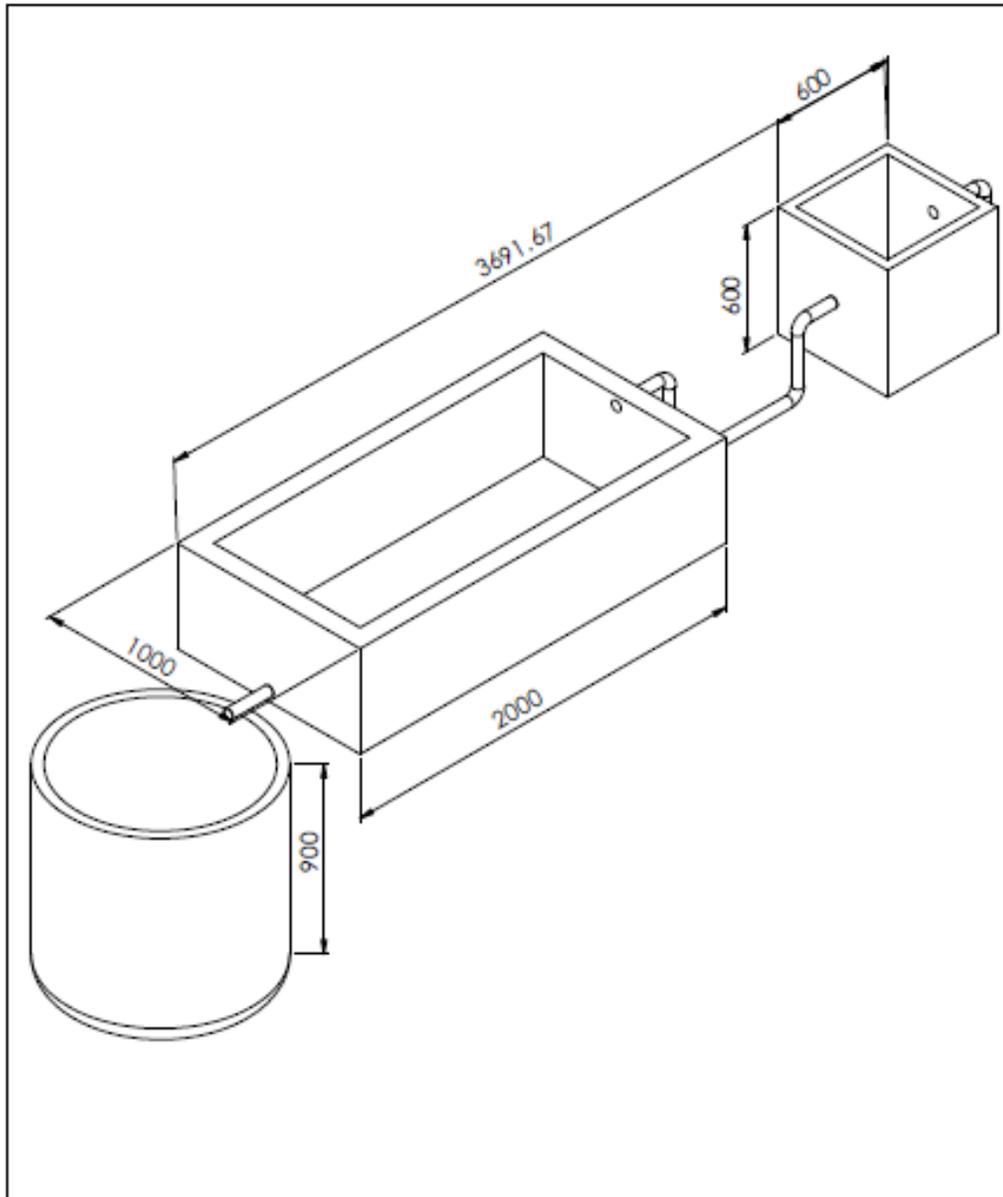
Materiales para análisis microbiológico





|   |                  |                  |      |                                |  |   |  |              |  |
|---|------------------|------------------|------|--------------------------------|--|---|--|--------------|--|
| UNITS OTHERWISE SPECIFIED:<br>DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS |                  | RISK:            |      | SCALE AND<br>BRAS 200P<br>R000 |  | DO NOT SCALE DRAWING  |  | REVISION     |  |
| TOLERANCES:<br>LINEAR:<br>ANGULAR:                          |                  |                  |      |                                |  | Determinación de eficiencia de especies vegetales: totora-echina<br>implementadas en biofiltros para agua de riego en Puntín 2013 |  |              |  |
| DESIGN  | NAME             | SIGNATURE        | DATE |                                |  | TITLE   |  |              |  |
| CHET  |                  |                  |      |                                |  | Biofiltro Vista Frontal   |  |              |  |
| APPROV  |                  |                  |      |                                |  |   |  |              |  |
| MPD   |                  |                  |      |                                |  | DWG NO.   |  | 2:3          |  |
| SLA   | Victoria Nataly  | Dianiviera Reyes |      |                                |  | MATERIAL:   |  | A4           |  |
|   | Maggaly Estelina | Tulio Vendeado   |      |                                |  | Ladrillo; Cemento;<br>Tubería PVC;<br>Material filtrante  |  |              |  |
|   |                  |                  |      |                                |  | REVISION:   |  | SCALE: 1:10  |  |
|   |                  |                  |      |                                |  |   |  | SHEET 1 OF 1 |  |

Biofiltro Vista Frontal



|  |  |            |                                   |  |  |           |
|--|--|------------|-----------------------------------|--|--|-----------|
| UNITS GIVEN DESCRIBED:<br>DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS<br>SURFACE FINISH:<br>TOLERANCES:<br>LINEAR:<br>ANGULAR: |  | FINISH:    | CORNER AND<br>EDGE SHARP<br>EDGES |  | DO NOT SCALE DRAWING   | REVISION: |
|  |  |            |                                   |  | Determinación de eficiencia de especies vegetales: totora-achira<br>implementadas en biofiltros para agua de riego en Puris 2013 |           |
| DESIGN:  | NAME:  | SIGNATURE: | DATE:                             |  | FILE:  |           |
| DRAWN:   |  |            |                                   |  | Biofiltro Vista Isométrica   |           |
| CHECKED:   |  |            |                                   |  |  |           |
| APPROVED:  |  |            |                                   |  | DWG NO. 3:3  |           |
| DATE:  |  |            |                                   |  | A4   |           |
|  | Material: Ladrillo; Cemento;<br>tubería PVC;<br>Material filtrante |            |                                   |  | SHEET 02   |           |
|  |  |            |                                   |  | SHEET 1 OF 1   |           |

Biofiltro Vista Isométrica