

MEJORAS EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS FILTROS DE TURBA
DE LA PLANTA EXPERIMENTAL DE CARRIÓN DE LOS CÉSPEDES
(Sevilla, ESPAÑA)

MARTHA LILIANA PORRAS MARÍN

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
Bucaramanga
2008

MEJORAS EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS FILTROS DE TURBA
DE LA PLANTA EXPERIMENTAL DE CARRIÓN DE LOS CÉSPEDES
(Sevilla, ESPAÑA)

MARTHA LILIANA PORRAS MARÍN

Informe Final de Prácticas Profesionales

Coordinado Por
JUAN JOSÉ SALAS
Responsable de Investigación Aplicada

Coordinadora Asignada por la Universidad Pontificia Bolivariana
ING. MARTHA ROCÍO MANTILLA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
Bucaramanga
2008

MEJORAS EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS FILTROS DE TURBA
DE LA PLANTA EXPERIMENTAL DE CARRIÓN DE LOS CÉSPEDES
(Sevilla, ESPAÑA)

AUTOR

MARTHA LILIANA PORRAS MARÍN

APROBADO

Martha Rocío Mantilla, Ingeniera Civil
Supervisora

Cesar Enrique Rojas, Ingeniero Sanitario Ambiental
Jurado Asignado

**A Dios, compañero y guía de vida
A mis padres, que gracias
a su amor y apoyo incondicional
alentaron mi espíritu a lo largo
esta gran experiencia
A mi sobrino Andrés David, motivo de
mi lucha constante**

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y mi prima Sandra Sandoval, por brindarme su apoyo absoluto desde que emprendí este nuevo camino lejos de casa.

Al Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA) por acogerme y darme la oportunidad de realizar este trabajo bajo su orientación y experiencia en el campo de la investigación.

A la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, por su formación profesional y moral, además por darme la oportunidad de llevar a cabo este intercambio cultural y cognitivo con uno de los países de mayor investigación en el campo de la depuración de las aguas residuales.

A la Universidad Politécnica de Valencia por permitir que mi proceso de formación se complementara bajo sus enseñanzas.

A la Escuela de Ingeniería Ambiental y a los docentes que la conforman por su orientación y coordinación durante los años cursados de la carrera.

Juan José Salas Rodríguez, Químico e Ingeniero Técnico, encargado del departamento de Investigación Aplicada de la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes, por su valiosa orientación y supervisión durante esta experiencia, además por transmitirme parte de su amplio conocimiento y dominio sobre temas de depuración de aguas residuales.

A Luciana Sánchez, bióloga encargada del laboratorio de la Planta Experimental por brindarme su asesoría y cariño a lo largo de esta experiencia.

A todos mis amigos y familiares que siempre me apoyaron, me dieron todo lo mejor de sí y me colaboraron en el transcurso de esta valiosa experiencia en el extranjero.

CONTENIDO

	pág.
LISTA DE TABLAS.....	8
LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE IMÁGENES.....	11
LISTA DE GRÁFICAS.....	12
LISTA DE ANEXOS.....	14
GLOSARIO.....	15
RESUMEN.....	16
ABSTRACT.....	17
INTRODUCCIÓN.....	18
1. OBJETIVOS.....	19
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	19
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
2. GENERALIDADES DE LA EMPRESA.....	20
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y LOCALIZACIÓN.....	20
2.2 RESEÑA HISTÓRICA.....	21
2.3 ACTIVIDAD ECONÓMICA	21
2.4 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DE LA EMPRESA.....	22
3. ANTECEDENTES.....	24
4. JUSTIFICACIÓN.....	26
5. MARCO TEÓRICO.....	27
5.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA TURBA.....	27

5.2 MECANISMOS DE DEPURACIÓN DE LOS FILTROS DE TURBA.....	29
5.2.1 Acciones Físicas.....	29
5.2.2 Acciones Químicas.....	30
5.2.3 Acciones Biológicas.....	30
5.3 DISEÑO Y COMPOSICIÓN DE LOS FILTROS DE TURBA.....	32
5.4 PROCESO DE DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES POR MEDIO LOS FILTROS DE TURBA.....	32
5.4.1 Desbaste.....	33
5.4.2 Desarenado y Desengrasado aireado.....	33
5.4.3 Tamizado.....	34
6. ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN LA PRÁCTICA.....	36
6.1 METODOLOGÍA APLICADA.....	36
6.2 PLANIFICACIÓN DEL ENSAYO.....	37
6.3 DESCRIPCIÓN DE TOMA DE MUESTRAS.....	40
6.4 ANÁLISIS DE LABORATORIO.....	42
6.5 SEGUIMIENTO Y MUESTREO DE LOS FILTROS DE TURBA.....	44
6.6 RESULTADOS OBTENIDOS.....	52
6.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	68
7. CONCLUSIONES.....	77
8. RECOMENDACIONES.....	80
9. BIBLIOGRAFÍA.....	82
10. ANEXOS.....	84

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Características generales de los tipos de turba existentes.....	28
Tabla 2. Requisitos de las turbas para su empleo en depuración de aguas residuales urbanas.....	29
Tabla 3. Parámetros de diseño para Filtros de Turba.....	31
Tabla 4. Características de las capas de áridos.....	31
Tabla 5. Características generales del proyecto.....	37
Tabla 6. Características generales de la turba tipo T-100.....	38
Tabla 7. Características generales de la turba original.....	38
Tabla 8. Parámetros de operación de los Filtros de Turba.....	40
Tabla 9. Biodegradabilidad del agua residual.....	43
Tabla 10. Parámetros analizados en el estudio experimental.....	34
Tabla 11. Condiciones de operación del ensayo 1.....	47
Tabla 12. Condiciones de operación del ensayo 2.....	50
Tabla 13. Condiciones de operación del ensayo 3.....	51
Tabla 14. Características operativas del ensayo 1.....	52
Tabla 15. Valores In situ obtenidos durante el ciclo operativo del ensayo 1.....	53
Tabla 16. Parámetros físico-químicos del ensayo 1.....	56
Tabla 17. Rendimientos del filtro 2 obtenido tras el primer ciclo operativo (ensayo 1).....	56
Tabla 18. Características operativas del ensayo 2.....	57
Tabla 19. Valores In situ obtenidos durante el ciclo operativo del ensayo 2.....	57

pág.

Tabla 20. Parámetros físico-químicos del ensayo 2.....	61
Tabla 21. Rendimientos del filtro 2 obtenido tras el segundo ciclo operativo (ensayo 2).....	61
Tabla 22. Características operativas del ensayo 3.....	62
Tabla 23. Valores In situ obtenidos durante el ciclo operativo del ensayo 3.....	66
Tabla 24. Parámetros físico-químicos del ensayo 3.....	67
Tabla 25. Rendimientos del filtro 1 obtenido tras el tercer ciclo operativo (ensayo 3).....	68
Tabla 26. Resumen de las concentraciones obtenidas con los Filtros de Turba.....	68
Tabla 27. Recomendaciones en el diseño de los Filtros de Turba.....	81
Tabla 28. Datos obtenidos en el análisis de nutrientes del ensayo 1.....	88
Tabla 29. Datos obtenidos en el análisis de nutrientes del ensayo 2.....	89
Tabla 30. Datos obtenidos en el análisis de nutrientes del ensayo 3.....	90

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Vista general de la Planta Experimental.....	22
Figura 2. Organigrama de la PECC.....	23
Figura 3. Esquema de funcionamiento de los Filtros de Turba de la PECC.....	33
Figura 4. Metodología de seguimiento al proyecto de Filtros de Turba.....	36
Figura 5. Esquema de funcionamiento del Filtro 1.....	45
Figura 6. Esquema de funcionamiento del Filtro 2.....	46
Figura 7. Representación esquemática del muestreo para la recogida de la costra (vista en planta).....	49

LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1. Fotografía aérea de la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes.....	20
Imagen 2. Muestra de la turba utilizada en la Planta.....	28
Imagen 3. Detalle de las tuberías de reparto de los Filtros de Turba (Planta Experimental de Carrión de los Céspedes).....	32
Imagen 4. Pretratamiento del sistema de depuración.....	34
Imagen 5. Aspecto de la costra de los Filtros de Turba.....	35
Imagen 6. Ubicación de las tuberías sobre los filtros a muestrear.....	39
Imagen 7. Detalle del “cuello de ganso” que permitió la saturación del sistema.....	40
Imagen 8. Tamiz autolimpiante.....	45
Imagen 9. Filtro 1 en fase de llenado.....	45
Imagen 10. Tamiz autolimpiante.....	46
Imagen 11. Filtro 2 en fase de llenado.....	46
Imagen 12. Detalle de la salida del Filtro 2.....	46
Imagen 13. Filtro 2 en operación (modulo 3 en fase de regeneración y modulo 4 iniciando su actividad).....	47
Imagen 14. Detalle de las orificios presentes en las tuberías de reparto.....	48
Imagen 15. Costra del Filtro de Turba.....	49
Imagen 16. Retirada de la costra por medio de rastrillado.....	50
Imagen 17. Detalle de la bomba de activación del lecho bacteriano.....	51
Imagen 18. Arqueta de salida del Filtro de Turba (modulo 1).....	66

LISTA DE GRAFICAS

	pág.
Gráfica 1. Caudales de entrada en el Ensayo 1.....	53
Gráfica 2. pH del Ensayo 1.....	54
Gráfica 3. Potencial redox en el Ensayo 1.....	54
Gráfica 4. Conductividad Eléctrica del Ensayo 1.....	55
Gráfica 5. Temperaturas del Ensayo 1.....	55
Gráfica 6. Caudales del Ensayo 2.....	58
Gráfica 7. pH del Ensayo 2.....	58
Gráfica 8. Conductividad eléctrica del Ensayo 2.....	59
Gráfica 9. Temperaturas del Ensayo 2.....	59
Gráfica 10. Oxígeno disuelto del Ensayo 2.....	60
Gráfica 11. Caudales del Ensayo 3.....	64
Gráfica 12. pH del Ensayo 3.....	64
Gráfica 13. Conductividad eléctrica del Ensayo 3.....	65
Gráfica 14. Temperaturas del Ensayo 3.....	65
Gráfica 15. Oxígeno disuelto del Ensayo 3.....	66
Gráfica 16. Concentraciones obtenidas en el ensayo 1.....	69
Gráfica 17. Concentraciones obtenidas en el ensayo 2.....	70
Gráfica 18. Concentraciones obtenidas en el ensayo 3.....	71
Gráfica 19. Concentración de los Ensayos realizados en la experimentación con Filtros de Turba.....	72
Gráfica 20. Porcentaje de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en la experimentación con los Filtros de Turba.....	72

Gráfica 21. Porcentaje de remoción de la Demanda Química de Oxígeno en la experimentación con los Filtros de Turba.....74

Gráfica 22. Porcentaje de remoción de los Sólidos Suspendidos en la experimentación con los Filtros de Turba.....75

LISTA DE ANEXOS

	pág.
A. Procedimientos para el análisis de las muestras dentro del laboratorio de PECC.....	84
B. Datos obtenidos en el análisis de nutrientes del ensayo 1.....	88
C. Datos obtenidos en el análisis de nutrientes del ensayo 2.....	89
D. Datos obtenidos en el análisis de nutrientes del ensayo 3.....	90
E. Certificación del laboratorio de la PECC.....	91

GLOSARIO

Aglomeración urbana: zona geográfica formada por uno o varios municipios, que por su población o actividad económica constituyan un foco de generación de aguas residuales que justifique su recogida y posterior tratamiento.

DBO₅: medida que representa la cantidad de oxígeno necesario para estabilizar biológicamente la materia orgánica contenida en una muestra de agua incubada durante 5 días a 20°C. Indica la contaminación orgánica de las aguas residuales.

Habitante equivalente: materia orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno de 5 días de 60 gramos de oxígeno por día.

PECC: Planta Experimental de Carrión de los Céspedes

Tecnologías Convencionales: actividades en las que los procesos de depuración de las aguas transcurren de forma secuencial en tanques y reactores, y a velocidades aceleradas (gracias al aporte de energía).

Tecnologías no Convencionales: son aquellas que requieren actuaciones de bajo impacto ambiental, logrando una reducción considerable de la carga contaminante, con costes de operación inferiores a los de los tratamientos convencionales y con unas necesidades de mantenimiento sin grandes dificultades técnicas, permitiendo su explotación por parte de personal no especializado.

Tratamiento primario: tratamiento de las aguas residuales urbanas mediante un proceso físico o físico-químico que incluya la sedimentación de sólidos en suspensión, u otros procesos que permitan una remoción considerable de la DBO₅.

Tratamiento secundario: es el tratamiento de las aguas residuales urbanas mediante un proceso que incluya un tratamiento biológico con sedimentación secundaria y otro proceso, en el que se respeten los requisitos establecidos por la normativa.

Plan I+D: procedimientos llevados a cabo por la gran mayoría de empresas en España y en los cuales se encuentran contenidas todas las actividades de Investigación y desarrollo.

Zona sensible: medios acuáticos superficiales que teniendo un intercambio de aguas escaso, o que recibiendo nutrientes sean o puedan llegar a ser eutrofizados si no se adoptan medidas de protección.

RESUMEN

MEJORAS EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS FILTROS DE TURBA DE LA PLANTA EXPERIMENTAL DE CARRIÓN DE LOS CÉSPEDES (SEVILLA, ESPAÑA)

Autor: Martha Liliana Porras Marín
Facultad de Ingeniería Sanitaria y Ambiental
Director/a: Martha R. Mantilla

Palabras claves: aguas residuales urbanas, depuración de aguas residuales, filtros de turba, tecnologías no convencionales, Planta Experimental de Carrión de los Céspedes.

Los Filtros de Turba son una de las tecnologías no Convencionales con mayor grado de implementación en la Comunidad de Andalucía; no obstante de un tiempo para acá se ha detectado un rechazo a la aplicación de esta tecnología, debido a los bajos rendimientos de depuración y problemas operativos presentados. Para poner remedio a estas deficiencias, actualmente se realizan diferentes estudios a escala piloto para establecer nuevas recomendaciones en cuando al diseño y operación de los filtros con el fin de obtener las mayores remociones de contaminantes presentes en el agua residual a tratar; para llevar a cabo estas actividades, la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes se presenta como una herramienta fundamental en investigaciones de este tipo. A continuación se expone el trabajo realizado durante las prácticas empresariales llevadas a cabo dentro de la Planta Experimental, para establecer nuevas recomendaciones en el diseño de este tipo de sistemas y mejorar la tecnología, demostrando a su vez las capacidades depurativas que poseen los Filtros de Turba.

ABSTRACT

IMPROVEMENTS IN THE BEHAVIOUR OF PEAT FILTERS FROM THE CARRION DE LOS CESPEDES EXPERIMENTAL PLANT-CCEP (SEVILLE, SPAIN)

Author: Martha Liliana Porras Marin
Faculty of Sanitary Engineering and Environmental
Manager: Martha R. Mantilla

Keywords: urban wastewater, wastewater treatment, peat filters, non-conventional technologies, Carrion de los Céspedes Experimental Plant-CCEP.

Peat Filters are one of the Non-conventional technologies with greater degree of implementation in the commonwealth of Andalucía. However, rejection for the application of this technology, due to low yields of purification and operational problems has been seen. To solve these shortcomings, several scale pilot studies to establish new recommendations regarding design and filters operation have been carried out. This intend to obtain the largest removal of contaminants in wastewater to be treated; in order to be able of accomplishing these activities, the Carrion de los Céspedes Experimental Plant-CCEP, introduces itself as a useful tool in researches of this type. The following is the result of managerial practices carried out within the experimental plant to establish new recommendations on such systems design and upgrade technology, demonstrating, in the meanwhile, peat filters capabilities.

INTRODUCCIÓN

El problema de las aguas residuales a nivel mundial es sin duda uno de los puntos a tratar más importantes ya que la mayoría de fuentes hídricas están siendo contaminadas, debido a los vertidos de este tipo de fluidos de forma inadecuada como consecuencia del crecimiento poblacional que se sufre. Sin duda la acción antropogénica sobre el medio ambiente ha ocasionado un cambio en la trayectoria del ciclo del agua, puesto que se ha alterado en cierta forma el curso de los recursos hídricos.

Debido al alto grado de contaminación presentado en las fuentes hídricas, se hace necesaria la implementación de diferentes sistemas de tratamiento que permitan un vertido más controlado por parte de industrias y diferentes asentamientos.

Ante esta situación y debido a la falta de atención en la explotación adecuada de los sistemas, surge la idea de impulsar iniciativas orientadas al estudio experimental de los diferentes sistemas de depuración de aguas residuales de pequeñas poblaciones, siendo la **Planta Experimental de Carrión de los Céspedes**, quien proporcione las herramientas en materia de investigación para llevar a cabo estudios a escala piloto, con el objeto de obtener experiencias concretas y de fácil aplicación a nivel mundial.

En el presente documento se expone la experiencia obtenida a lo largo de los 6 meses en la Planta Experimental, en la que se llevo a cabo el seguimiento de una de las Tecnologías no Convencionales de mas uso en la Comunidad de Andalucía: los Filtros de Turba.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Mejorar el comportamiento de los Filtros de Turba mediante modificaciones en su diseño y en el régimen de operación.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar el comportamiento de los Filtros de Turba, operando en saturación y no saturación, trabajando con diferentes regímenes de cargas hidráulicas y orgánicas, al objeto de determinar los valores idóneos de estas cargas que permiten obtener los rendimientos de depuración más elevados.
- Estudiar el comportamiento de los Filtros de Turba alimentados de forma continua y de forma intermitente.
- Establecer nuevas recomendaciones para el diseño de la tecnología de Filtros de Turba.

2. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

2.1 DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN

La Planta Experimental de Carrión de los Céspedes nace del Plan I+D de depuración de aguas residuales mediante Tecnologías no Convencionales, con el objetivo de obtener experiencias concretas aplicables en la Comunidad Andaluza; en su espacio se encuentran ubicados diversos sistemas de depuración a escala reducida (Imagen 1.), permitiendo el desarrollo e investigación de diferentes sistemas de tratamiento. A su vez divulga trabajos que en ella se realizan, mediante publicaciones y visitas de diferentes personas, organismos e instituciones interesadas en el tema, también busca servir de centro de demostración y formación del personal que allí labora.

Imagen 1. Fotografía aérea de la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes



Fuente: Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua

La Planta se encuentra ubicada en el municipio sevillano de Carrión de los Céspedes; situada mas exactamente junto la autopista A-49 vía Sevilla-Huelva y en el Km. 28 de Sevilla. Carrión de los Céspedes es una

población que cuenta con 2.500 habitantes y presenta un clima mediterráneo-subtropical; tiene una extensión de 21.000 m², con una precipitación media anual de 675 mm., y cuya temperatura media anual aproximadamente es de 18°C.

La población donde se encuentra ubicada la Planta Experimental fue escogida a razón de situarse en un punto próximo a universidades y a otros centros dedicados al estudio científico y técnico referente a medio ambiente, y además que cuenta con un tamaño de población adecuado y con aguas residuales con características netamente urbanas.

2.2 RESEÑA HISTÓRICA

El proyecto y construcción de la Planta Experimental se creó en la Primera Fase del Plan I+D de depuración de aguas residuales mediante Tecnologías no Convencionales, con el objeto de obtener experiencias concretas aplicables a la realidad del territorio andaluz¹.

La Planta Experimental fue inaugurada el 16 de Marzo de 1990 pero inició su operación a mediados de 1989 y actualmente es el Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA) el responsable de su gestión.

La planta ha ampliado su eje temático desde 1995, dando cabida en sus instalaciones a prototipos industriales de sistemas de tratamiento de aguas residuales de todo tipo de tecnologías, ya que en sus inicios se centraba básicamente en Tecnologías no Convencionales.

2.3 ACTIVIDAD ECONÓMICA

Gracias al trabajo que allí se da en cuanto a sus proyectos de investigación, difusión de sus conocimientos y la transmisión de sus experiencias a otros países se ha convertido en un centro experimental único, pionero y de referencia tanto nacional como internacional.

Otra de las actividades que desarrolla la planta tiene que ver con la asistencia técnica a entes locales en materia de depuración, a empresas privadas las cuales cuentan con un espacio reservado para la evaluación de sus equipos y sistemas de tratamiento de aguas residuales.

En la Figura 1 se puede apreciar la ubicación de algunos de los sistemas de depuración con los que cuenta, tales como: Filtro Verde, Filtros de

¹ Publicación: Planta Experimental de Depuración de Aguas Residuales. Evolución y Experiencias. Junta de Andalucía. 1997. Pág. 13

Turba, Lagunaje, Humedales Artificiales, Contactores Biológicos Rotativos y Lechos Bacterianos, entre otros.

La planta a su vez pretende convertirse en el Centro Experimental para la Impulsión de los Modelos Sostenibles de Depuración de Aguas Residuales, con el fin de servir como centro de referencia sobre innovación tecnológica a nivel mundial.

Figura 1. Vista general de la Planta Experimental



Fuente: Planta Experimental de Carrión de los Céspedes

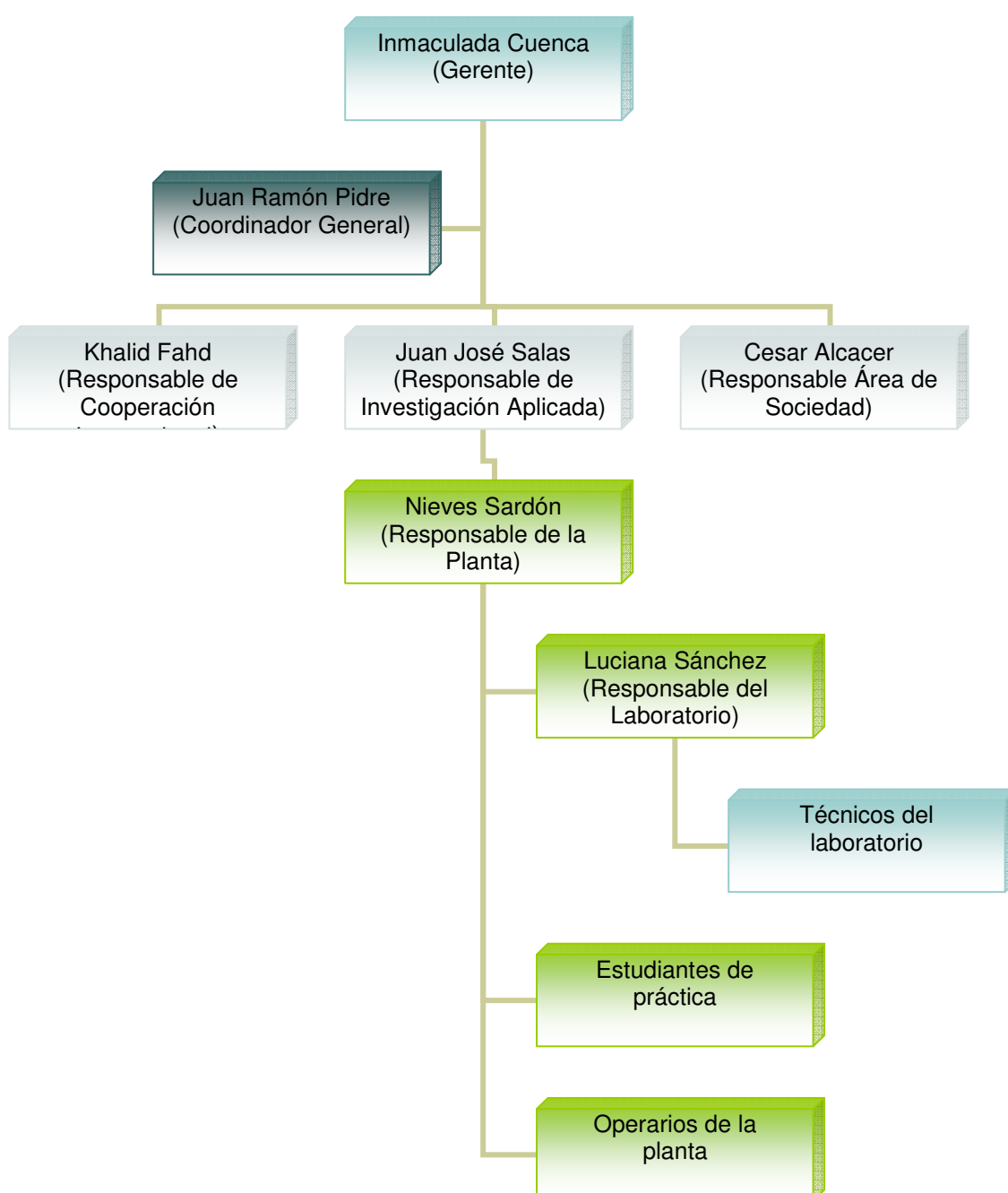
La planta además dispone de un completo laboratorio donde se realizan las determinaciones fisicoquímicas y microbiológicas necesarias para el seguimiento adecuado de los diferentes sistemas existentes, algunos de los parámetros que allí se estudian son: pH, conductividad, Sólidos Totales, DBO₅, DQO, NTK, amoníaco, nitratos, fósforo total, fosfato, coniformes totales y fecales, etc., a su vez cuenta con aulas de recepción de visitas y formación, además posee una estación metereológica homologada dentro sus instalaciones.

2.4 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DE LA EMPRESA

Como se mencionó antes, la Planta Experimental se encuentra gestionada por el Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA), pero a continuación se presentará la estructura organizativa que se maneja dentro PECC, ya que en ella se llevan a cabo los diferentes proyectos de tipo investigativo que tiene que ver con la depuración de las aguas residuales.

La PECC cuenta con un número de trabajadores reducido, ya que tiene asignadas labores específicas en cuanto a la experimentación; el equipo de trabajo esta conformado por 15 personas aproximadamente, entre las que se encuentran biólogas, licenciados ambientales, técnicos de laboratorio, secretaria, jefes de departamento y operarios de la misma planta, sin contar con los estudiantes de prácticas que realizan allí sus labores de seguimiento y control a los diferentes sistemas; en promedio se podría hablar de cerca de unos 2 o 3 practicantes que entran por semestre. A continuación se presenta el organigrama de la PECC.

Figura 2. Organigrama de la PECC



3. ANTECEDENTES

La Planta Experimental cuenta con una gran variedad de proyectos llevados a cabo dentro de sus instalaciones, para desarrollar la investigación con un mayor grado de flexibilidad, facilitando la interconexión entre sus diferentes sistemas.

Con el fin de comprobar la validez en el diseño propuesto por bibliografías relacionadas con los diferentes tipos de sistemas y además con el fin de obtener experiencias concretas con posible aplicación a la realidad, se realizan diferentes estudios, como es el caso de los Filtros de Turba, puesto que es una de las tecnologías mas utilizadas en el territorio andaluz.

Dentro de la Comunidad de Andalucía, desde la década de los 80, se ha ido extendiendo la aplicación de este tipo de tecnologías, contando hoy día con 91 instalaciones basadas en la tecnología de los Filtros de Turba y repartidas por todo su territorio resaltando su presencia en las provincias de Almería y Granada².

Son varios los estudios experimentales que se han llevado a cabo sobre este tipo de sistemas, pues se pretende establecer las condiciones óptimas de funcionamiento, para así poder aprovechar la gran capacidad depurativa de este tipo de Tecnología no Convencional. En principio se desarrollaron estudios en los cuales se operó con los filtros de forma saturada (manteniendo una lámina de agua de unos 20 cm. sobre la superficie de la turba), con el fin de observar la evolución del sistema bajo dichas condiciones; a su vez la combinación de este sistema con otros también a jugado un papel importante en el estudio de los Filtros de Turba, ya que se han realizado estudios en los cuales éstos últimos son utilizados como tratamiento secundario³ (lagunaje Anaerobio + Filtros de Turba).

Otro factor de estudio de las diferentes investigaciones realizadas, ha sido la evaluación de turbas de diferentes características a escala reducida⁴, trabajando con dos tipos de este material (T100 y TF20) de las cuales se hablará en los próximos apartados.

² SALAS, JJ. Manual de Tecnologías no Convencionales para la depuración de aguas residuales. Capítulo V: Filtros de Turba.

³ Publicación: Planta Experimental de Depuración de Aguas Residuales. Evolución y Experiencias. Junta de Andalucía. 1997. Pág. 55

⁴ Publicación: Planta Experimental de Carrión de los Céspedes. Nuevas Experiencias. Junta de Andalucía. 2000. Pág. 32

Debido al rechazo en la aplicación de esta tecnología se ha definido además la realización de un estudio en el cual se pueda determinar las mejoras en el proceso de depuración, para lo cual se han llevado a cabo dos tipos de estudio de forma paralela, por una parte, el estudio de los módulos principales de los Filtros de Turba ubicados en la PECC, alternando las condiciones de operación de los mismos (el cual se describirá en los próximos apartados); por otro lado se ha venido estudiando el comportamiento de otros módulos presentes en la planta pero que poseen menores dimensiones, con el fin de observar la combinación Filtros de Turba + Humedal Artificial, para lo cual aún no se posee una publicación específica y documentada sobre la experiencia realizada.

4. JUSTIFICACIÓN

Se investiga este tipo de sistemas para saber cuales son las mejores condiciones bajo las cuales pueden operar los Filtros de Turba, además para establecer las posibles soluciones y mejoras que se pueden implementar, para poder aprovechar la gran capacidad de depuración que tiene esta tecnología.

También debido a la simplicidad del proceso y los bajos costes de mantenimiento puede resultar una herramienta eficaz alternativa para el tratamiento de los vertidos provenientes de pequeñas poblaciones. Dado además a que este tipo de Tecnologías no Convencionales ofrece grandes ventajas en cuanto a su explotación y sobre todo que suponen una posible aplicación como sistemas depuradores para medianas y pequeñas poblaciones. Algunas de las ventajas presentadas por el sistema son: reducido consumo energético, proporciona una estética armónica y rápida con el medio, fácil adaptación del sistema de soportar oscilaciones de caudal y carga de las aguas a tratar, etc.

Lo que se pretende al realizar este estudio es una vez mas, demostrar que a pesar de los inconvenientes presentados durante su operación, éste tipo de sistemas proporcionan altos rendimientos de remoción de carga contaminante, además al ser una de las tecnologías mas encontradas en la zona, es conveniente establecer nuevos parámetros de funcionamiento para que puedan tener una mayor acogida y no terminen marginas, de ser así, la estructuración del sistema presenta otras funciones adicionales de gran interés con miras a unas futuras aplicaciones, a continuación se mencionan algunas: pueden ser empleados como eras de secado, permiten una sustitución de los decantadores secundarios en caso de estar presentes, y actualmente se estudia su posible aplicación (Filtro de Turba+Humedal Artificial).

5. MARCO TEÓRICO

5.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA TURBA

Con relación a este tema, Juan José Salas presenta la siguiente definición y descripción de la turba:

La turba es un tipo de humus formado en condiciones anaerobias en medio saturados con agua, ya sea por transformación de restos orgánicos, o por reacciones químicas o microorganismos, siendo el humus su producto final; éste humus consiste en aquella fracción de materia orgánica que no es susceptible de ser descompuesta. Entre sus componentes mayoritarios encontramos la lignina y la celulosa.

Las sustancias húmicas son compuestos de color amarillo o negro, pueden ser amorfos, muy polimerizados, poseen un peso molecular alto, de naturaleza coloidal cuyo núcleo es de carácter aromático (benceno, naftaleno, etc.).

En su estado natural se asocia con otros constituyentes orgánicos (hidratos de carbono, proteínas, etc.) y es de difícil determinación el papel de los diferentes componentes.

Los compuestos húmicos contienen grupos funcionales ácidos, por ello intervienen en reacciones de intercambio catiónico formando complejos con los metales como el hierro, manganeso, zinc, cobre, y además contribuyen a mejorar la absorción por las plantas del fósforo, nitrógeno, sodio, calcio y magnesio⁵.

Según su origen las turbas se clasifican en:

- Turba negra, parda, baja o eutróficas

Se acumulan en depresiones con presencia de zonas inundadas y alto nivel freático lo cual determina las condiciones anaerobias, su pH es próximo a la neutralidad, es materia vegetal descompuesta, realizan síntesis de ácidos húmicos y su especie vegetal típica es el corrizo y las ciperáceas. En el caso de la PECC, cuenta con un tipo de turba de este tipo (Imagen 2.)

⁵ SALAS, JJ. Manual de Tecnologías no Convencionales para la depuración de aguas residuales. Capítulo V: Filtros de Turba.

Imagen 2. Muestra de la turba utilizada en la Planta



- Turba rubia, claras, altas u oligotróficas

Se da en climas fríos y lluviosos, turbas altas ya que son las lluvias las que mantienen saturada la materia orgánica que se va acumulando, vegetación adaptada poco exigente de nutrientes (musgos del género sphagnum), no hay síntesis de ácidos húmicos por la naturaleza ácida del suelo y por el clima frío, provocando una materia vegetal poco descompuesta, es muy frecuente encontrarla en Noruega, Escocia e Irlanda⁶.

En la Tabla 1 se resumen las características generales y relevantes de los diferentes tipos de turba existentes.

Tabla 1. Características generales de los tipos de turba existentes

	Turba Negra	Turba Rubia
pH	5	3
Capacidad de Intercambio Iónico	150-300	60-129
Materia Orgánica %	50-60	88
Porosidad %	88	92
Relación C/N	20-26	49-54

Fuente: Manual de Tecnologías no Convencionales para depuración de aguas residuales.

Los requisitos fisicoquímicos exigibles a estas turbas para su empleo como sustrato filtrante en depuración de aguas residuales quedan recogidos en la Tabla 2.

⁶ SALAS, JJ. Manual de Tecnologías no Convencionales para la depuración de aguas residuales. Capítulo V: Filtros de Turba.

Tabla 2. Requisitos de las turbas para su empleo en depuración de aguas residuales urbanas

pH* (extracto 1:5)	6-8
Conductividad* (extracto. 1:5) (dS/cm)	<5
Humedad* (%)	50-60
Cenizas (%)	40-50
Materia orgánica por calcinación (%)	50-60
Extracto húmico total (%)	20-30
Ácidos húmicos (%)	10-20
C.I.C./meq/100g	>125
Relación C/N	20-25
Nitrógeno Kjeldhal	1,2-1,5
Hierro (ppm)	<9000
Conductividad hidráulica (l/m ² .h)	25

*Nota: salvo pH, conductividad y Humedad, el resto de datos se refieren a materia seca⁷.

5.2 MECANISMOS DE DEPURACIÓN DE LOS FILTROS DE TURBA

Los Filtros de Turba son un tipo de tratamiento que se basa en la filtración natural de las aguas residuales urbanas a través de una capa de turba.

Al filtrarse el agua a través del lecho, se producen un sinnúmero de reacciones complejas de intercambio entre agua y turba, éstas son llevadas a cabo por una serie de acciones propias de las turbas y que además permiten alcanzar una alta eficacia depuradora del efluente; a continuación se habla de cada una de las acciones:

5.2.1 Acciones Físicas: La turba ejerce una acción de filtro mecánico, reteniendo en los primeros centímetros de su espesor la mayor parte de los sólidos en suspensión que no han sido eliminados previamente.

El efecto depurador de la turba esta estrechamente ligado a la granulometría y a la porosidad de la misma, siendo más efectivo trabajar con turbas de menor granulometría, lo cual implica una menor velocidad de percolación del agua.

A medida que se va colmatando la superficie del filtro, como consecuencia de los sólidos que han ido quedando retenidos entre sus poros y al crecimiento bacteriano que también se ha dado, la acción de filtración va siendo cada vez mejor.

La granulometría de las turbas suele ser muy variada, eso si, dependiendo de algunos factores como lo son: origen y naturaleza del

⁷ Consejería de Obras Públicas y Transportes. "Planta Experimental de Depuración de Aguas Residuales".

sustrato, condiciones de las operaciones, sistema de recolección, etc.; sin embargo, las turbas están constituidas por partículas de diferentes tamaños y cuya distribución ejerce una gran influencia sobre las aguas a depurar.

Referente a la porosidad, ésta representa el porcentaje de su volumen que no se encuentra ocupado por la fase sólida. El incremento de la porosidad puede conllevar a la disminución de la capacidad de retención del agua.

5.2.2 Acciones Químicas: Están basadas fundamentalmente en la elevada capacidad de intercambio iónico que presenta la turba, y en las reacciones de oxidación-reducción que allí tienen lugar como consecuencia de la alternancia de las condiciones de encharcamiento-aireación del sustrato filtrante, que suceden a lo largo de los ciclos operativos.

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) se refiere a la facultad de retener cationes e intercambiarlos con la solución acuosa. El valor de la carga negativa total del humus dependerá del tipo de materia orgánica presente.

Al ser el CIC una propiedad ligada a la superficie, ésta será más elevada cuanto mayor sea el área superficial de las partículas del humus, que a su vez aumenta al disminuir el tamaño; además, la CIC del humus depende en gran medida de la acidez o pH del medio.

5.2.3 Acciones Biológicas: Sobre la materia orgánica absorbida y adsorbida por la turba prolifera gran cantidad y variedad de microorganismos que intervienen en la descomposición de la misma, la cual ha sido aportada por el agua residual.

La turba puede considerarse que actúa como un medio en el que se desarrolla y se mantiene una actividad bacteriana, que confiere al medio filtrante una importante capacidad de depuración biológica del influente.

Cabe resaltar que se hace necesario un reparto uniforme para que en el sustrato tenga lugar una intensa actividad bacteriana (principalmente por vía aerobia).

5.3 DISEÑO Y COMPOSICIÓN DE LOS FILTROS DE TURBA

Los parámetros habituales en Andalucía para el dimensionamiento de sistemas de depuración, son los presentados en la Tabla 3 a continuación:

Tabla 3. Parámetros de diseño para Filtros de Turba

Parámetro	Valor
Carga Hidráulica ($\text{l/m}^2 \cdot \text{d}$)	≈ 600
Carga Orgánica ($\text{g DBO}_5/\text{m}^2 \cdot \text{d}$)	≤ 300
Carga de Sólidos ($\text{g SS}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$)	≤ 240
Relación superficie total /superficie activa	2:1

Fuente: Manual de Tecnologías no Convencionales para depuración de aguas residuales.

Los filtros suelen tener una forma rectangular, además para facilitar un reparto homogéneo del agua, es recomendable que la superficie de cada unidad de filtración se sitúe en torno a los 100 m^2 . Los Filtros de Turbas están conformados por una serie de capas de áridos, cuyo objetivo es retener al inmediato superior, siendo la turba la que se sitúa en la parte superior⁸.

Los Filtros de Turba están constituidos por una serie de capas filtrantes, cuya composición suele ser: turba, arena, gravilla y grava, en la parte más inferior. La acción depuradora se realiza en la capa de turba, mientras que el resto de los estratos empleados tienen una función de sostener al inmediato superior y también es posible que se de una filtración en los mismos. El suelo debe estar impermeabilizado y dotado de una ligera inclinación; posee canales de drenaje para recoger el efluente por escorrentía y conducirlo hasta la tubería de salida.

A continuación se presenta en la Tabla 4 la capa de áridos recomendada (en orden descendiente) determinados gracias a la extensa experimentación que se ha llevado a cabo con el tiempo en materia de depuración de aguas residuales a través de Filtros de Turba, pues al ser una de las tecnologías de más uso se hace necesario conocer las condiciones de operación que facilitan el proceso.

Tabla 4. Características de las capas de áridos

Tipo de capa	Espesor (cm)
Gravilla (ϕ 3-6mm)	15-20
Gravilla (ϕ 6-12mm)	15-20
Grava (ϕ 25-30mm)	20

Fuente: Manual de Tecnologías no Convencionales para depuración de aguas residuales.

Respecto al espesor que debe presentar la capa de turba, se recomienda 40 cm, teniendo en cuenta la medida del espesor una vez se hayan puesto en marcha los filtros y una vez se ha asentado el sustrato.

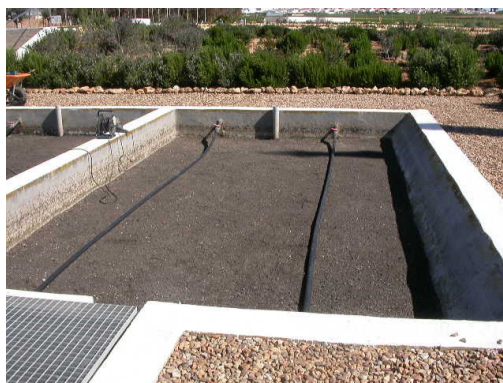
⁸ SALAS, JJ. Manual de Tecnologías no Convencionales para la depuración de aguas residuales. Capítulo V: Filtros de Turba.

En lo que tiene que ver con el coste actual de la turba, se toma como referencia los valores establecidos por las turberas de Granada, estimando un precio de 35€/ton en cuanto a la turba negra.

Referente al sistema de reparto, es de gran importancia conseguir un reparto uniforme del influente sobre la turba, ya que éste influye en la forma de operación de los filtros.

Hoy día se ha recurrido al empleo de tuberías perforadas (polietileno o metálicas), las cuales son posibles desconectar, dejando toda la superficie de la turba libre, favoreciendo de esta forma la etapa de regeneración del filtro operado; en la Imagen 3 se pueden observar las tuberías de alimentación utilizadas en los Filtros de Turba de la PECC.

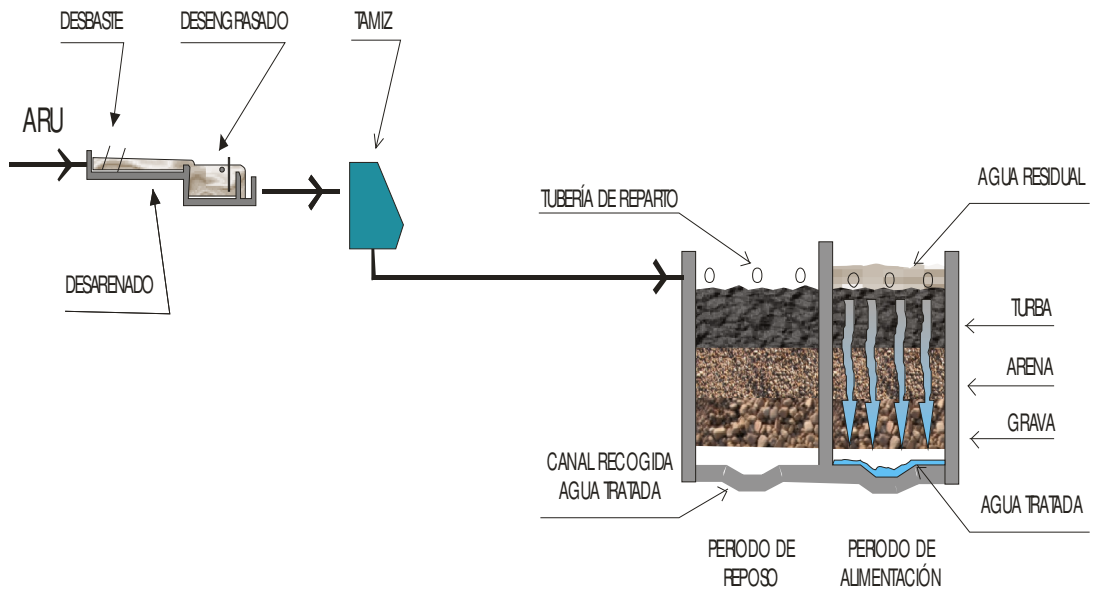
Imagen 3. Detalle de las tuberías de reparto de los Filtros de Turba (Planta Experimental de Carrión de los Céspedes)



5.4 PROCESO DE DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES POR MEDIO LOS FILTROS DE TURBA

El modo de funcionamiento de este sistema es similar al llevado a cabo por las Tecnologías Convencionales, pero para poder conocer mejor su procedimiento, en la Figura 3 se presenta el esquema bajo el cual se opero en la presente experimentación.

Figura 3. Esquema de funcionamiento de los Filtros de Turba de la PECC



Fuente: Instituto Tecnológico de Canarias (ITC) y Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA)

El Pretratamiento, cuyo objetivo es el de eliminar objetos gruesos, grasas y flotantes presentes en aguas residuales para que estos no supongan un problema para el resto de las etapas, esta constituido por un proceso de desbaste, desengrasado y desarenado, a continuación se describe cada parte del sistema.

5.4.1 Desbaste: consiste en la eliminación de sólidos de gran tamaño y mediano a través de rejillas de 2-3 cm. entre barrotes, con un sistema de limpieza manual cuyo objetivo es el de separar del agua residual la mayor cantidad posible de materiales de gran tamaño.

5.4.2 Desarenado y Desengrasado aireado: utilizado para eliminar arenas, grasas y flotantes; estructura estática y cuya recogida de grasas y flotantes se lleva de forma manual; el proceso consiste en hacer pasar las aguas por un depósito dotado de un tabique que obliga a las aguas a salir por la parte inferior del mismo, permitiendo que los componentes de menor densidad del agua queden retenidos en la superficie.

Imagen 4. Pretratamiento del sistema de depuración



Fuente: PECC

5.4.3 Tamizado: su objetivo es el de reducir el contenido de sólidos en suspensión presentes en las aguas residuales mediante su filtración a través de un soporte delgado dotado de ranuras de paso; en la planta se cuenta con un tamiz estático del orden de 1mm y autolimpiante, que consta de un enrejado constituido por barras horizontales orientadas de tal forma que la parte plana se encara al flujo. El agua a tratar es introducida por la parte superior del tamiz, y los sólidos mayores que la luz de paso quedan retenidos por el enrejado rodando hasta un contenedor inferior.

Para el Tratamiento Primario, se recomienda realizarlo mediante un proceso físico o fisicoquímico que incluya la sedimentación de sólidos en suspensión, u otros procesos que permitan alcanzar una reducción considerable de la materia orgánica, de forma tal que se consiga una disminución de por lo menos un 20% de la DBO_5 , y un total del 50% de los sólidos en suspensión presentes en las aguas residuales de entrada.

En el caso de la planta, los Filtros de Turba, son alimentados de la etapa de pretratamiento, pasando por el depósito de distribución que es el que proporciona el caudal indicado en cada sistema; después el agua es suministrada en los filtros a través de tuberías que reparten el agua de forma homogénea sobre la superficie de la turba.

Los filtros operan de forma secuencial, hallándose unos en funcionamiento y otros en reposo, ya que la superficie de los filtros en operación se va colmatando, producto de las grasas y sólidos que van quedado y que no fueron eliminados, además por el propio desarrollo bacteriano que se da allí. Este hecho origina una pérdida de la capacidad de filtración, provocado por el incremento de nivel de la lámina de agua en los filtros. Tal es el motivo que incita la activación del lecho en reposo, estimándose que la duración del ciclo operativo de los lechos esta entre los 10-12 días.

La alternancia en el funcionamiento de los filtros, permite mantener el sustrato filtrante lo más oxigenado posible y además ayuda a recuperar la capacidad de filtración, beneficiando la degradación aerobia de los contaminantes.

Los filtros que culminan su ciclo operativo inician su etapa de regeneración, dejándose éste secar y dando lugar a la formación de una costra de color oscuro (Imagen 5) y con presencia de malos olores, producto de las reacciones aerobias y anaerobias que se dan en el transcurso del proceso. El requerido para el secado de la costra varía, ya que está limitado por las condiciones meteorológicas del lugar.

Imagen 5. Aspecto de la costra de los Filtros de Turba



Una de las ventajas que tiene este tipo de sistemas es que debido a su sencillez operativa, las labores de mantenimiento son fáciles y rápidas, ya que una vez la costra se encuentra bien seca, se procede a su extracción por medio de un rastrillado manual y sencillo.

La costra una vez recogida es posible emplearla como abono en las tierras colindantes, siempre y cuando se adopten las medidas de seguridad pertinentes.

Debido a que durante el rastrillado se pierde parte de la turba, se recomienda que regularmente se resustituya el espesor inicial, para garantizar buenos rendimientos de depuración. Se estima que por año ocurre una pérdida de unos 2 cm de turba, como consecuencia de la retirada de la costra.

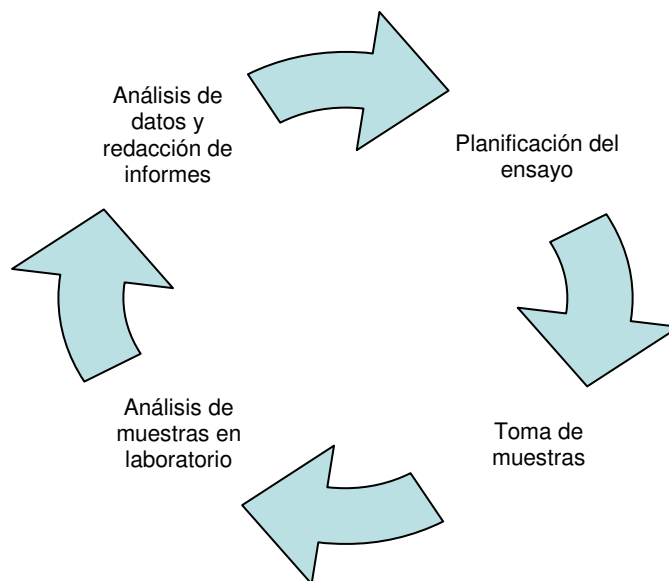
6. ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN LA PRÁCTICA

6.1 METODOLOGÍA APLICADA

Para la realización del siguiente proyecto de investigación llevada a cabo dentro de la PECC, fue necesario realizar previamente un conocimiento de las instalaciones, se recurrió además a la documentación de los diferentes sistemas que allí se trabajan, ya que gracias a su amplio estudio en cuanto a Tecnologías Convencionales y no Convencionales, se requiere conocer como es el mecanismo de funcionamiento de los mismos.

En la Figura 3 se presentan las principales actividades llevadas a cabo dentro del seguimiento del sistema de depuración basado en la tecnología de los Filtros de Turba y las cuales serán descritas detalladamente.

Figura 4. Metodología de seguimiento al proyecto de Filtros de Turba



El proyecto que fue llevado a cabo durante la estancia en la planta, centrado en establecer mejoras en el sistema de tratamiento de los Filtros de Turba estableciendo nuevas modificaciones en su diseño y régimen de operación. Parte fundamental del proyecto fue la toma y el análisis de las muestras recogidas, siendo el laboratorio de la planta pieza fundamental a la hora de estudiar el comportamiento de los filtros a través de sus ciclos operativos; no obstante es importante resaltar que gracias al apoyo y asesoría de las biólogas se logró determinar la evolución del sistema a evaluar, y a su vez se obtuvo una visión mas técnica de la situación ya

que son ellas las personas que poseen un mayor conocimiento acerca de los diferentes trabajos que allí se llevan a cabo.

En la Tabla 5 se describen los aspectos generales del proyecto realizado durante la práctica.

Tabla 5. Características generales del proyecto

Característica	Descripción
Carga Hidráulica	Principal parámetro de diseño y estudio
Superficie unitaria de 25 m ² por modulo	Agrupada en tres filtros conformados por dos módulos cada uno
Turba negra	Tipo de turba utilizada, pero se tuvo en cuenta de dos tipos: la T100 y la turba originaria
Agua residual urbana	Agua tratada, proveniente de la población de Carrión de los Céspedes, pretratada y tamizada
Régimen de alimentación de flujo subsuperficial vertical	El agua fluye verticalmente a través de un medio poroso (grava, gravilla, turba) y es recogido por dos canaletas ubicadas en su parte inferior
Sistema de reparto por tuberías de polietileno	Se alimenta el sistema por 2 tuberías, las cuales presentan 5 orificios con ϕ de 1 cm ubicados a lo largo de las mismas
Caudal variado	Según el ensayo a realizar, éste es regulado por el tanque de distribución que reparte el agua a los diferentes sistemas de la planta
Filtros en operación 2	Teniendo en cuenta que cada uno posee diferente salida de su efluente
Ciclo operativo entre 10 y 12 días	Determinado en experiencias anteriores

6.2 PLANIFICACIÓN DEL ENSAYO

La planta cuenta con 3 lechos de turba conformados cada uno por 2 módulos, teniendo en cuenta que cada uno posee un tipo de turba diferente; el primer filtro cuenta con una turba tipo T-100 procedente de Castellón (Valencia, ESPAÑA), mientras que el segundo filtro trabaja con el tipo de turba original, natural de Padul (Granada, ESPAÑA) y con el cual se dio inicio a la operación de los filtros desde los primeros años de

funcionamiento de la planta (desde 1990 aproximadamente). A continuación se presenta la Tabla 6 y la Tabla 7 que contienen las características de cada tipo de turba utilizada.

Tabla 6. Características generales de la turba tipo T-100

Parámetro	Valor
pH (extracto 1:5)	7,5
Conductividad (extracto. 1:5) (dS/cm)	4,8
Humedad (%)	57,6
Cenizas (%)	45
Materia orgánica por calcinación (%)	55
Extracto húmico total (%)	23,2
Ácidos húmicos (%)	16,9
C.I.C.(meq/100g)	>125
Relación C/N	21,6
Nitrógeno Kjeldahl (%)	1,4
Hierro (ppm)	<9000
Conductividad hidráulica (l/m ² .h)	21

Fuente: Publicación de la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes. Nuevas Experiencias. Junta de Andalucía. 2000

Tabla 7. Características generales de la turba original

Parámetro	Valor
pH (extracto 1:5)	7,1
Conductividad (extracto. 1:5) (dS/cm)	4,47
Humedad (%)	57,3
Cenizas (%)	43,3
Materia orgánica por calcinación (%)	56,7
Extracto húmico total (%)	24
Ácidos húmicos (%)	15
C.I.C./meq/100g	>125
Relación C/N	22,8
Nitrógeno Kjeldahl (%)	1,44
Hierro (ppm)	9100
Conductividad hidráulica (l/m ² .h)	25

Fuente: Publicación de la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes. Evolución y Experiencias. Junta de Andalucía. 1997

El proyecto fue llevado a cabo bajo diferentes ciclos operativos con dos de los tres lechos de turba con los que cuenta la planta, denominados Filtro 1 y Filtro 2. Los dos filtros han funcionado de forma permanente a lo

largo del proyecto, teniendo en cuenta que con el tiempo se han ido alternando.

Inicialmente se procede a la adecuación de los filtros, ya que estos en años anteriores operaban bajo otras condiciones y parámetros⁹, para ello fue necesario ubicar las tuberías sobre la turba (Ver Imagen 6), dando un plazo de 2 días aproximadamente para que éstas se adaptaran a las condiciones del medio.

Imagen 6. Ubicación de las tuberías sobre los filtros a muestrear



Lo que se pretendía con cada ciclo era determinar las nuevas Cargas Hidráulicas y Cargas Orgánicas bajo las cuales los filtros pueden llegar a tener mejores rendimientos a la hora de eliminar los diferentes contaminantes presentes en este tipo de aguas residuales domésticas.

Para ver el comportamiento de los Filtros de Turba, se llevaron a cabo una serie de ensayos basados en la variación del régimen de operación de los mismos, con el fin de observar como se comportaban los filtros una vez se presentaban diferentes condiciones a la entrada del sistema (caudal, régimen de operación, etc.), para conseguir esto se procedió de la siguiente manera:

-Para obtener una *saturación* del sistema, se procedió a colocar un “cuello de ganso”, ilustrado en la Imagen 7, y que permitió un aumento del tiempo de retención del sistema y consiguiendo que el nivel del agua en el lecho superara el nivel de altura del codo. Para variar el tiempo de retención, simplemente se recurrió a la realización de diferentes ensayos sin la colocación del accesorio en la salida, de esta manera el agua residual fluía libremente y no se presentaba ningún tipo de retención.

Para cada ensayo realizado bajo dichas condiciones, el sistema de llenado de cada filtro varió en función del caudal de entrada, viéndose afectado el tiempo de retención de la turba.

⁹ Publicación Planta Experimental de Carrión de los Céspedes. Nuevas Experiencias. 1997

Imagen 7. Detalle del “cuello de ganso” que permitió la saturación del sistema



-Para el caso de la *Carga hidráulica* a la entrada en el sistema de depuración, éste fue controlado por la válvula ubicada a la entrada de la tubería que suministraba el flujo al sistema; cabe resaltar que el agua provenía del tanque de distribución, el cual se activaba gracias a la presencia de una bomba sumergible especial para aguas residuales de 0,75 KW accionada por bollas de nivel.

Es necesario tener en cuenta los parámetros bajo los cuales fueron diseñados los lechos de turba (Ver Tabla 8), para evitar que éstos pudieran sufrir una descompensación en su funcionalidad y presentaran problemas durante la experiencia.

Tabla 8. Parámetros de operación de los Filtros de Turba

Parámetro	Valor
Carga Hidráulica ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$)	$\approx 0,6$
Carga Orgánica ($\text{Kg. DBO}_5/\text{m}^2.\text{d}$)	$\leq 0,3$
Carga de Sólidos ($\text{Kg. SS}/\text{m}^2.\text{d}$)	≤ 0.24
Duración de los ciclos (d)	10-12
Relación de la superficie total/superficie activa	2:1

Fuente: Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población (ICREW).

6.3 DESCRIPCIÓN DE TOMA DE MUESTRAS

Para llevar a cabo el seguimiento del proyecto, fue necesario establecer un sistema de muestreo que permitiera recoger un volumen y una muestra considerable, para poder obtener un resultado que pudiera garantizar un estudio más detallado sobre la evolución del sistema basado en la depuración de aguas residuales a través de Filtros de Turba.

Se realizó un muestreo de tipo manual, ya que el sitio donde se tomaba la muestra era de fácil acceso y además permitía observar los cambios presentados en el agua a tratar.

En cuanto a la frecuencia del muestreo, ésta fue establecida según los objetivos planteados, ya que se deseaba estudiar el comportamiento de los filtros bajo diferentes condiciones de operación, siendo necesario tomar una muestra diaria del efluente, ya que de esta manera se podría determinar las concentraciones de contaminantes obtenidas al finalizar el tratamiento y a su vez poder establecer los porcentajes de remoción por parte de los lechos de turba.

Es importante tener en cuenta que los datos del influente fueron proporcionados por la planta, resaltando que el periodo de muestreo estipulado por ellos era de tipo semanal.

La muestra tomada fue de tipo puntual pues fue recolectada en un sitio específico por corto tiempo, además este tipo de muestras representan un instante en el tiempo y en un punto del espacio donde se realiza el muestreo; de esta forma es posible conocer la evolución y el comportamiento del sistema.

El muestreo se realizó sobre las 10 a.m., hora establecida para llevar a cabo la salida de campo en la planta; se tomó aproximadamente 1 lt de la muestra y posteriormente ésta fue llevada al laboratorio para realizar allí los diferentes análisis; cabe resaltar que referente a los parámetros In situ (pH, temperatura, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto) debido a la dificultad en la salida del sistema no fue posible determinarlos directamente, así que fueron tomados allí los datos referentes a dichos parámetros, hecho que no interfirió significativamente en el resultado de los mismos.

Para el resto de los parámetros (DBO, DQO, Sólidos Suspendidos, $N_{\text{en todas sus formas}}$ y $P_{\text{en todas sus formas}}$), fueron analizados en el laboratorio por medio de los diferentes procedimientos llevados a cabo para su determinación (Ver Anexo A).

Sin embargo, otros factores que influyeron a lo largo del muestreo fueron los ocurridos durante los fines de semana, pues las muestras fueron tomadas por los operarios de la planta, incidiendo en la determinación de los parámetros In situ, que en ocasiones no pudieron ser tomados; se destaca además que durante las épocas de lluvia no se recogió muestra, ya que ésta no suele ser muy representativa debido a su gran dilución.

6.4 ANÁLISIS DE LABORATORIO

Con el fin de conocer el comportamiento de los Filtros de Turba, se realizaron una serie de análisis, tanto In situ como en el laboratorio, con el fin de conocer y determinar su comportamiento, y además para saber la reacción de los mismos ante los cambios realizados; a continuación se mencionan:

- Parámetros In situ (temperatura, pH, Oxígeno disuelto, conductividad y redox)
- Demanda Química de Oxígeno
- Demanda Biológica de Oxígeno
- Sólidos Suspendidos

De igual forma se determinó:

- Nitrógeno Amónico
- Nitratos
- Nitrógeno Kjeldahl (NTK)
- Fósforo Total
- Ortofosfatos

Las siguientes son las descripciones de los instrumentos utilizados en la determinación de los parámetros In situ; no obstante, en la Tabla 9, se encontrarán consignadas las metodologías utilizadas para cada caso.

- pH: pHmetro portátil multi sesión 156 de Hach
- Conductividad Eléctrica: conductímetro 524 de Crison con compensador automático de temperatura.
- Temperatura: tomada del conductímetro
- Oxígeno Disuelto: tomada con un Oxímetro Cellox 325 de WIW
- Potencial Redox: sonda medición redox 5055 de Crisol

Durante la realización de la experimentación se llevaron a cabo una serie de análisis en el laboratorio, para lo cual se hace necesario describir cada uno de los parámetros estudiados y así obtener un mayor conocimiento de ellos, además de su incidencia sobre las aguas residuales tratadas.

-Sólidos Suspendidos: Conforman los denominados Sólidos Totales (ST), que representan el contenido total de materia orgánica presente en el agua. Éstos se pueden encontrar como: Sólidos disueltos (aquellos que no sedimentan en el agua en estado molecular) y los Sólidos en Suspensión (que pueden ser: sedimentables o no sedimentables).

La importancia en la determinación de este parámetro está dada porque pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones

anaerobias cuando son vertidas las aguas residuales sin un tratamiento previo.

-Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): Parámetro de contaminación orgánica mas utilizado, DBO_5 , puesto que representa aproximadamente el 70% de la materia orgánica oxidada; su determinación esta relacionada con la cantidad de oxígeno disuelto medido, el cual ha sido consumido por los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica.

El valor estimado de esta medida es de gran importancia en el estudio de las aguas residuales, ya que permite: determinar la cantidad aproximada de oxígeno requerido para estabilizar biológicamente la materia presente, es además una medida utilizada en el dimensionamiento de las instalaciones de tratamiento de las aguas residuales a tratar, permite medir eficacia de algunos sistemas de tratamiento y sirve como herramienta de control para conseguir el cumplimiento de la normativa sobre vertimientos.

Se tiene en cuenta además la relación entre la DBO / DQO, ya que este valor nos puede indicar la biodegradabilidad de la materia contaminante presente en el agua residual.

Tabla 9. Biodegradabilidad del agua residual

DBO₅/DQO	Biodegradabilidad del agua residual
< 0,2	Baja biodegradable
0,2-0,4	Biodegradable
> 0,4	Alta biodegradable

Fuente: Fuente: *Manual de Tecnologías no Convencionales para depuración de aguas residuales.*

-Demanda Química de Oxígeno (DQO): Mide la cantidad de oxígeno requerido para oxidar toda la materia orgánica presente en el agua residual. Este valor suele ser mayor que el correspondiente al de la DBO, debido la presencia en gran parte de compuestos cuya oxidación es de tipo químico frente a los compuestos que se oxidan por vía biológica.

Éste valor suele emplearse para valorar el funcionamiento y control de los sistemas utilizados en una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR).

-Nutrientes: Hacen referencia al Nitrógeno (N) y al Fósforo (P), los cuales son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas, siendo ésta la razón por la cual se les da dicha denominación.

Estos elementos son básicos para la síntesis de proteínas, hecho que permite determinar si es o no posible llevar a cabo un tratamiento de tipo biológico.

A continuación se presenta en la Tabla 10 todos los parámetros estudiados durante la experiencia realizada con los Filtros de Turba y además se menciona el método por el cual fue determinado.

En el apartado de Anexos, se podrá conocer el procedimiento llevado a cabo para la determinación de cada uno de los parámetros determinados en el laboratorio de la PECC.

Tabla 10. Parámetros analizados en el estudio experimental

ANÁLISIS	UND	MÉTODO UTILIZADO	CONSERVACIÓN DE LAS MUESTRAS (Según "Standard Methods", edición 1992)
pH		pHmetro	Inmediatamente (2 horas)
Conductividad (20°C)	μS/cm	conductímetro	Refrigerar días 28
Temperatura	°C	Tomada el conductímetro	Inmediatamente (inmediato)
O ₂ disuelto	mg/l	Oxímetro Cellox 350 WIW	Inmediatamente (0,5 horas)
Sólidos Suspendidos	mg/l	Método tradicional	Refrigerar días 2-7
DQO	mg O ₂ /l	Digestión de la muestra	H ₂ SO ₄ pH<2, refrigerar días 7-28
DBO ₅	mg O ₂ /l	Valoración de OD antes y después	Refrigerar horas 6-48
Amonio	mg N/l	Electrodo selectivo del amonio	H ₂ SO ₄ pH<2, refrigerar días 7-28
Nitratos	mg N/l	Espectrofotometría de absorción molecular	H ₂ SO ₄ pH<2, refrigerar (*) días 7-28
N. Kjeldahl (NTK)	mg N/l	M. Kjeldahl	H ₂ SO ₄ pH<2, refrigerar días 7-28
Fósforo Total	mg P/l	Ácido ascórbico	H ₂ SO ₄ pH<2, refrigerar días 7-28
Fosfatos	mg P/l	Colorimétrico del ácido ascórbico	H ₂ SO ₄ pH<2, refrigerar (*) días 7-28

Fuente: Laboratorio de la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (PECC)

6.5 SEGUIMIENTO Y MUESTREO DE LOS FILTROS DE TURBA

Los Filtros de Turba funcionaron de forma similar, teniendo en cuenta que la recogida del efluente difiere para cada caso, ya que cada filtro posee salidas en diferentes puntos, que conllevan las aguas hacia el mismo vertido final.

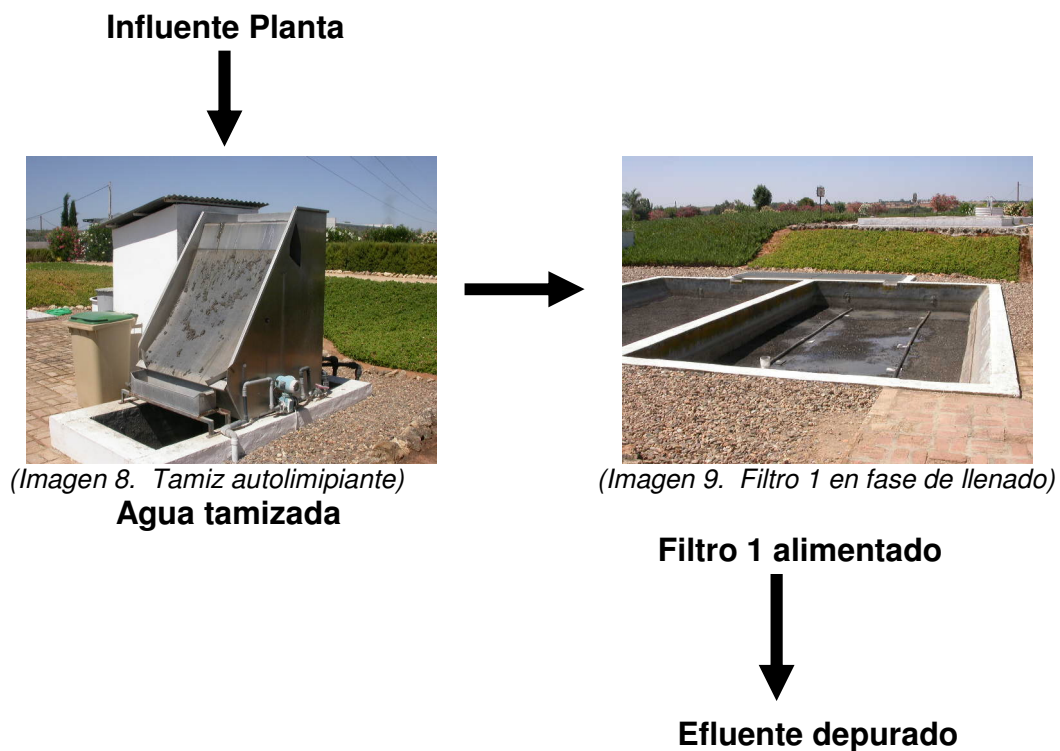
Para conocer mejor su funcionamiento, a continuación se habla de la forma como operó cada filtro durante el periodo de estudio.

Filtro 1

Se procedió a la alimentación del Filtro 1 con agua residual proveniente del tamiz, su evolución dependía del tiempo estimado de duración del sistema y del comportamiento que presentaba a lo largo de la experiencia; la recogida de las aguas de salida se da en la arqueta situada al lado, su funcionamiento a sido el mismo para el cual fue diseñado.

En la Figura 5 se presenta el esquema de funcionamiento del filtro en el que se llevo a cabo parte de la experimentación.

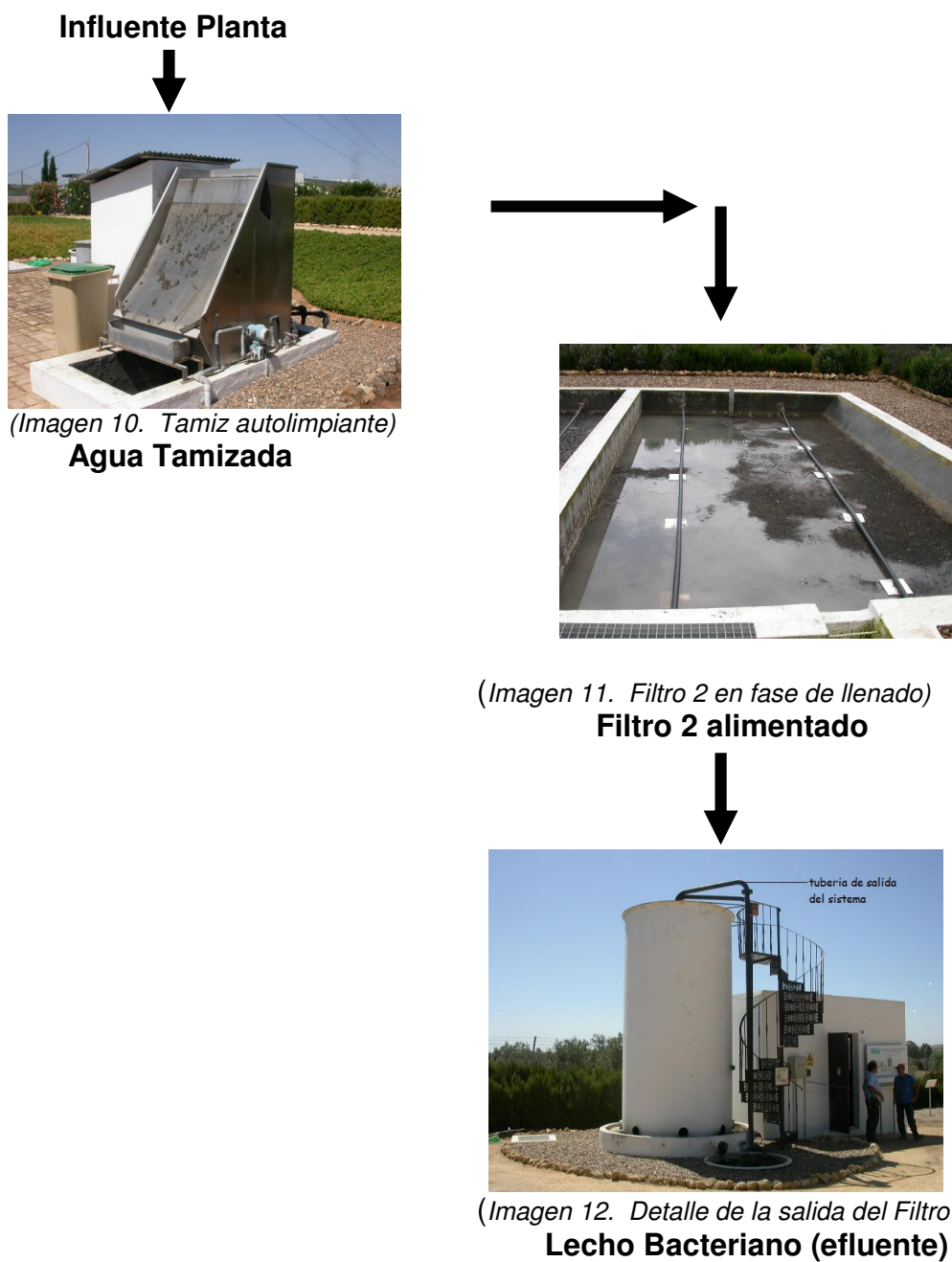
Figura 5. Esquema de funcionamiento del Filtro 1



Filtro 2

El sistema funcionó de la misma forma que el Filtro 1, pero debido a otras experiencias llevadas a cabo por la planta, se implementó una recogida del efluente en otro punto, ya no en la arqueta general sino que se daba paso del agua a otro sistema, al Lecho Bacteriano. Muchos fueron los estudios que se presentaron para poder ver como funcionaban los Filtros de Turba como tratamiento previo a un lecho, por ello aun se conserva la comunicación entre dichos sistemas (Ver Figura 6).

Figura 6. Esquema de funcionamiento del Filtro 2



Una vez empezaba a salir el efluente tratado, se daba inicio al muestreo diario del mismo (cerca de las 10 a.m.) con el fin de observar su comportamiento frente a la actividad realizada. La forma de alimentación de los filtros fue continua, teniendo en cuenta que la activación del tanque de distribución requería de un tiempo aproximado de 5 a 10 minutos para estabilizarse, suministrando agua residual al modulo durante el día.

Las diferentes combinaciones llevadas a cabo a lo largo de los diferentes ciclos permitieron estudiar varias situaciones, destacando el comportamiento de los Filtros de Turba frente a las modificaciones en su régimen de operación (variación carga hidráulica y saturación).

En el apartado de resultados se podrá observar de mejor forma los datos obtenidos durante la experiencia realizada bajo dichas condiciones.

A continuación se hablará mas en detalle de cada una de las experiencias llevadas a cabo dentro del proyecto, mencionando sus características y comportamientos presentados a lo largo de la experimentación.

En la Tabla 11 se encuentran consignados los parámetros bajo los cuales operó el sistema durante la realización del ensayo 1.

Tabla 11. Condiciones de operación del ensayo 1

Parámetro	Cantidad
Caudal de alimentación aprox. (m ³ /d)	15
Régimen del sistema trabajado	Sin saturación
Superficie de operación (m ²)	25
Módulos trabajados	1
Duración aproximada del ciclo (d)	10-12

El sistema inició de tal forma que se puso en funcionamiento el filtro 2, conformado por los módulos 3 y 4, siendo el primero el que más presentó dificultad para operar, por ello fue necesario detener la actividad durante los primeros días (operando por 5 días simplemente) y pasando éste a la fase de regeneración (Ver Imagen 13); los datos obtenidos tras los análisis realizados permitieron deducir que el filtro no se encontraba funcionando de la mejor forma, además debido a la presencia de lluvias durante este ciclo los resultados se vieron afectados ya que este fenómeno permite que las aguas residuales tratadas sufran un lavado y pierdan parte de su composición inicial (material contaminante).

Imagen 13. Filtro 2 en operación (modulo 3 en fase de regeneración y modulo 4 iniciando su actividad)



La distribución de agua residual sobre el filtro se dio a través de los orificios ubicados sobre las tuberías (Imagen 14), permitiendo así un reparto uniforme del influente sobre el filtro; es importante para este tipo de tecnologías una aplicación pareja del influente a tratar, ya que esto puede suponer un aumento de la carga aplicada.

Imagen 14. Detalle de los orificios presentes en las tuberías de reparto



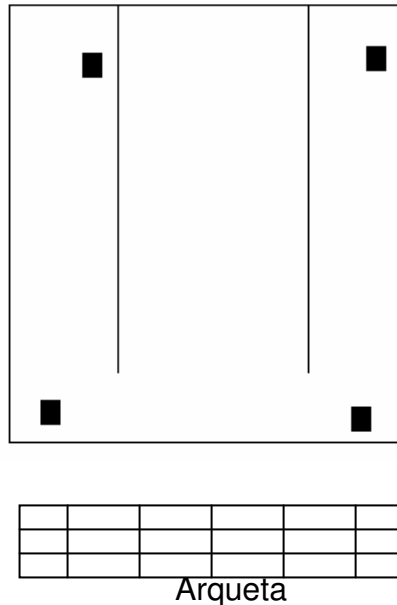
Una vez finalizado el ciclo operativo del modulo 4, se dio inicio a la etapa de recuperación, siendo necesario esperar entre 6 y 7 días para poder tomar la muestra de la costra que se forma en la parte superior de la turba (este tiempo depende de las condiciones meteorológicas del sitio); durante la realización de este ensayo, las lluvias presentadas dificultaron el proceso, siendo necesario esperar mas tiempo de lo habitual mientras el secado se efectuaba; es importante tener en cuenta que en el momento de recoger la muestra de la costra, la turba debe estar completamente seca.

Para analizar la humedad presente, se recomienda tomar varias muestras aleatorias a lo largo y ancho de la costra formada sobre la turba, de esta forma se obtuvo una muestra representativa, y la cual se describe en la Figura 7.

Figura 7. Representación esquemática del muestreo para la recogida de la costra (vista en planta)

Numero de muestras tomadas= 4;

■ → Puntos de muestreo



En la Imagen 15 se puede apreciar el aspecto que presentaba la costra formada en la parte superior del Filtro de Turba; ésta es de una textura dura y áspera, de color negro y con presencia de malos olores como consecuencia de los gases que se eliminaron, producto de las reacciones anaerobias que se daban en el transcurso del proceso; además esta compuesta por una población microbiana de gran variedad y por un sin número de compuestos que se han ido reteniendo al paso de las aguas residuales.

Imagen 15. Costra del Filtro de Turba



Una de las ventajas que presenta este tipo de tecnologías es su sencillez de operación y mantenimiento, pues tan sólo hay que proceder al cambio de los Filtros de Turba una vez éstos vayan culminando sus ciclos operativos, además las labores de mantenimiento son típicamente

agrícolas, siendo necesario únicamente un rastrillado para la retirada de la costra (Ver Imagen 16).

Imagen 16. Retirada de la costra por medio de rastrillado



En el Ensayo 2 (Ver Tabla 12) se dio inicio al filtro de forma semi-continua, es decir, la bomba se activaba cada 10 o 15 minutos alimentando de esta forma el sistema. Se presentó cierto grado de dificultad a la hora de regular el caudal, puesto que no se obtuvo un caudal de entrada estable a la planta lo cual repercutió en el momento de suministrar agua al lecho.

Tabla 12. Condiciones de operación del ensayo 2

Parámetro	Cantidad
Caudal de alimentación aprox. (m ³ /d)	7
Régimen del sistema trabajado	Sin saturación
Superficie de operación (m ²)	25
Módulos trabajados	1
Duración aproximada del ciclo (d)	10-12

En esta fase del proyecto se trabajó con los lechos en mejores condiciones, debido a que el material filtrante ya se encontraba mas adaptado, gracias a que en el anterior ensayo se había trabajado con dichos módulos; esta situación es muy ventajosa, ya que el material filtrante se encuentra en mejores condiciones y no hubo complicaciones durante el proceso.

La toma de la muestra siguió siendo un inconveniente, ya que al estar conectado este sistema con el lecho bacteriano, fue necesario tomar la muestra a la entrada del mismo, impidiendo establecerse una hora determinada para muestrear; esto como consecuencia de que la bomba reguladora del caudal del lecho bacteriano (Imagen 17) no se pudiera activar con el paso del agua proveniente del Filtro de Turba, evitando el paso del flujo una vez había alcanzado una altura mínima (de la lamina de agua) preestablecida, la cual es del orden de unos diez centímetros aproximadamente dentro de la arqueta de recogida del modulo; una vez ocurrido este hecho, se daba paso a la alimentación del lecho bacteriano.

Otro factor que también influyó en este hecho, fue el comportamiento de la planta como tal, pues el caudal de entrada proporcionado por el depósito de distribución no tendió a ser el esperado, pues se presentaron muchas variaciones, afectando la alimentación del tamiz y por ende el del Filtro de Turba.

Imagen 17. Detalle de la bomba de activación del lecho bacteriano



Cabe resaltar que la alimentación del sistema es igual para los tres ensayos, siendo ésta, a través de las tuberías ubicadas sobre la turba, presentando una serie de orificios que permitían un reparto uniforme del influente sobre el filtro.

En cuanto al ensayo 3, las condiciones de operación del sistema variaron, ya que el régimen de operación trabajado fue en saturación del medio, con el objetivo de conocer el comportamiento de los Filtros de Turba bajo dichas condiciones (Ver Tabla 13).

Tabla 13. Condiciones de operación del ensayo 3

Parámetro	Cantidad
Caudal de alimentación aprox. (m ³ /d)	7
Régimen del sistema trabajado	Saturado
Superficie de operación (m ²)	25
Módulos trabajados	1
Duración aproximada del ciclo (d)	10-12

En el siguiente apartado, se demostrará teóricamente el tiempo de tardó en llenarse el filtro (Tiempo de Retención Hidráulica), para así establecer las condiciones que inciden en la determinación de dicho parámetro de estudio.

Se destaca que en la mayoría de los ensayos no fue posible realizar repeticiones, por falta de tiempo y por la carencia de personas auxiliares en el proyecto, pero aún así, con los datos obtenidos tras la

experimentación se alcanzó a evaluar el comportamiento de los Filtros de Turba bajo las condiciones de funcionamiento establecidas.

6.6 RESULTADOS OBTENIDOS

En este apartado se presentan los datos obtenidos tras las pruebas realizadas durante la experimentación, destacando que solo se presentan los 3 ensayos más relevantes del proyecto llevado a cabo con los Filtros de Turba dentro de la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes.

Realizada la primera experiencia se obtuvieron los datos consignados en la Tabla 13 en la que se resumen los parámetros bajo los cuales operó el sistema.

Tabla 14. Características operativas del ensayo 1

Caudal medio de alimentación (m ³ /d)	14
Módulos en operación	1
Superficie de operación (m²)	25
Régimen de operación	Filtro sin saturar
Carga hidráulica superficial (l/m².h)	23,3
Carga orgánica obtenida (g DBO₅/m².d)	34,2
Duración del ciclo operativo (d)	14

A continuación se presentan los datos obtenidos después de realizar y tomar los parámetros In situ, resaltando que a razón de no tener un lugar adecuado para la recogida de la muestra fue necesario tomarla y analizarla dentro del laboratorio.

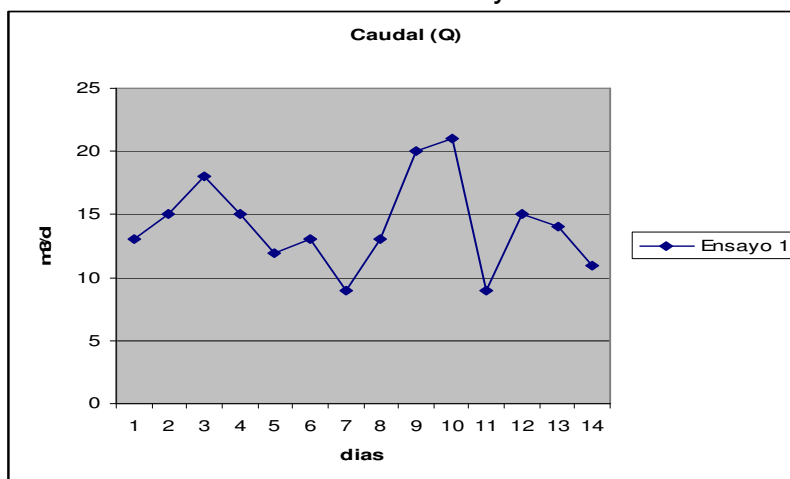
Tabla 15. Valores In situ obtenidos durante el ciclo operativo del ensayo 1

Modulo	Q (m ³ /d)	pH	Conductividad (μS/cm)	Tº (°C)	OD (mg/l)	Potencial Redox (mV)
4	13	6,8	2100	8,7		
4	15	6,9	2070	14,7	2,6	35
4	18	6,7	2280	14,7	2,3	
4	15	6,9	2230	14,4	<1	65
4	12	7,2	2340	13,1		
4	13	7,1	2120	12,4		
4	9	7	2080	12,6		
4	13	7,2	2210	12,9		
4	20	7	2130	17,8	<1	46
4	21	7,1	2140	18,4	<1	3
4	9	7	2470	18,5	<1	-108
4	15	7	2550	18,9	<1	-134
4	14	6,8	1793	16,3	<1	-228
4	11	7,1	2240	18	<1	

Nota: los valores que no se encuentran se debe a que las muestras fueron tomadas durante el fin de semana y además el ciclo se realizo durante la semana santa.

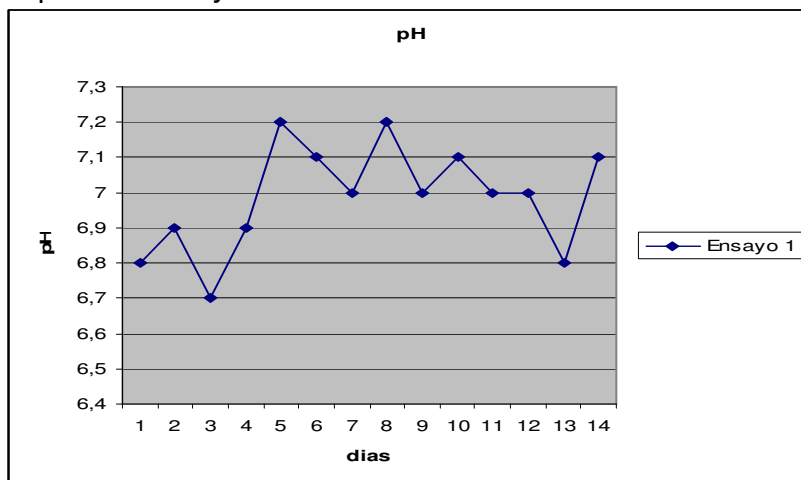
En la Gráfica 1 se aprecia el comportamiento del caudal de entrada al sistema; nótese que debido a las variaciones a la entrada del sistema no fue posible obtener un caudal estable; este hecho pudo ser consecuencia del tipo de bomba utilizado a la entrada del sistema, pues no permite un control del flujo a la entrada y acepta las oscilaciones presentadas.

Gráfica 1. Caudales de entrada en el Ensayo 1



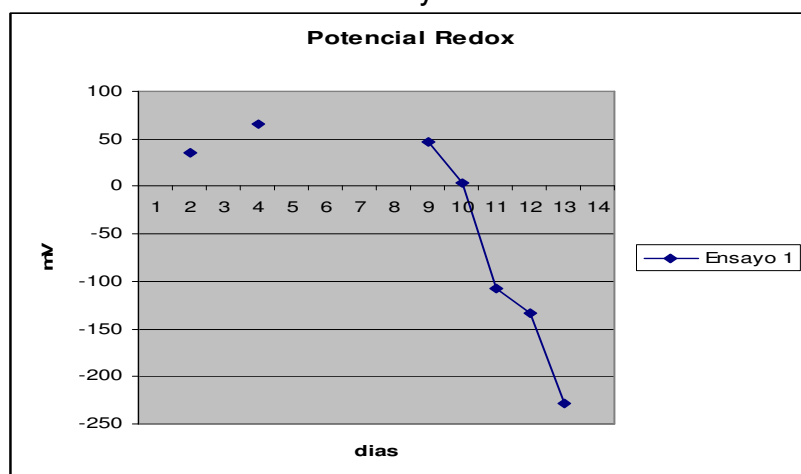
En cuanto al pH, en la Gráfica 2 se aprecia como al inicio del sistema éste fue un poco ácido (pH <7), debido a los ácidos fúlvicos que se desprenden al iniciar el sistema, pero se observa que con el tiempo, éste valor se fue estabilizando, gracias a las características reductoras que posee la turba como material filtrante.

Gráfica 2. pH del Ensayo 1



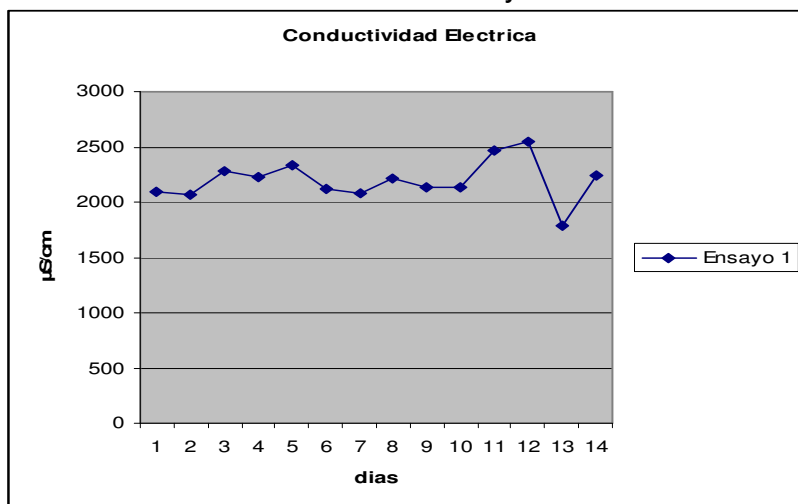
Referente al potencial redox (Gráfica 3), se recuerda que al ser un parámetro que permite evaluar y determinar la calidad del agua a través de su valor obtenido (entre más alto valor, mayor oxidación, mejor calidad del agua), se pudo estimar la continuidad del proceso o su respectiva detención; además éste hecho brindó la posibilidad de reconocer y estimar la duración del ciclo operativo, estableciendo que módulo debía dejar de funcionar y pasar a su fase de regeneración. Se aprecia además que a partir del día 9 el comportamiento de dicho parámetro disminuye, hecho que incidió en la continuidad del ensayo, recurriendo a detener el mismo una vez alcanzo el menor valor.

Gráfica 3. Potencial redox en el Ensayo 1



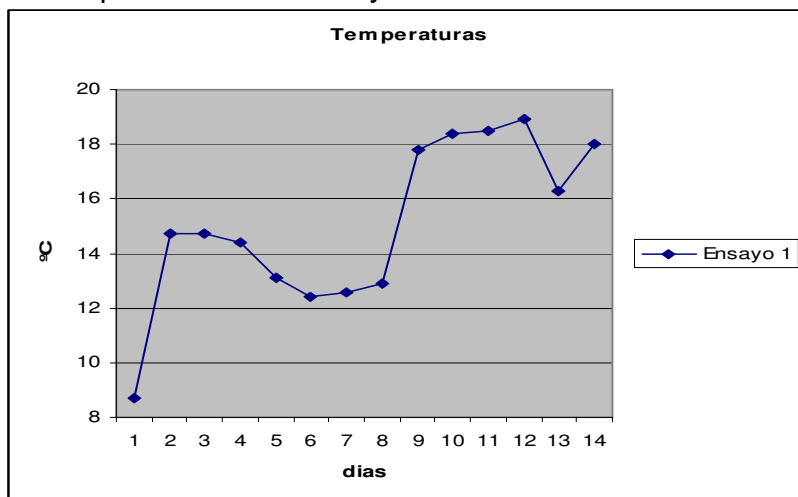
En la Gráfica 4 se representa el comportamiento de la conductividad eléctrica del ensayo 1; los valores estuvieron entre el orden de los 1500 y 2600 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pero al final del ciclo (día 13) se presentó un descenso de dicho parámetro, quizás por alteraciones del afluente tratado.

Gráfica 4. Conductividad Eléctrica del Ensayo 1



En cuanto a las temperaturas, se aprecia en la Gráfica 5 un comportamiento unas veces en descenso y en otros en incremento, producto de los cambios de temperatura presentados en la zona, ya que además el ensayo fue llevado a cabo durante la estación de primavera y suelen haber algunos cambios en las temperaturas.

Gráfica 5. Temperaturas del Ensayo 1



En cuanto a los parámetros físico-químicos estudiados (Ver Tabla 16), éstos presentaron algunas variaciones, resaltando que el filtro se encontraba en etapa de arranque bajo las nuevas condiciones establecidas; uno de los factores que más influyó a la hora de estudiar estos parámetros, fue que el filtro al encontrarse comunicado con el lecho bacteriano dependía en gran medida de la bomba que activaba la salida del efluente, teniendo que recurrir algunas veces a la activación manual de la bomba y repercutiendo este hecho en los datos obtenidos.

Tabla 16. Parámetros físico-químicos del ensayo 1

Modulo	Q (m³/d)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)
4	13	26	73	28
4	15	33	86	30
4	18	41	69	32
4	15	90	168	54
4	12	19	96	65
4	13	39	118	12
4	9	101	267	78
4	13	49	292	40
4	20	52	222	61
4	21	56	200	61
4	9	105	252	70
4	15	90	262	127
4	14	74	278	81
4	11	129	299	62
PROMEDIO	14	61	186	57

Nota: el promedio se obtuvo de la sumatoria de las cargas orgánicas obtenidas en relación al caudal de entrada al sistema

A pesar de los inconvenientes presentados, el comportamiento de la turba durante el ciclo operativo fue adecuado, quedando demostrado en los resultados presentados; se resalta que para la determinación de los rendimientos obtenidos (Ver Tabla 17), los valores del influente fueron proporcionados por la planta, recordando que éstos fueron tomados semanalmente.

Tabla 17. Rendimientos del filtro 2 obtenido tras el primer ciclo operativo (ensayo 1)

Parámetros Físico-Químicos	Influente	Efluente	% Rendimiento
Sólidos en Suspensión (mg/l)	294	57	81
DBO ₅ (mg/l)	364	61	83
DQO (mg/l)	626	186	70

El rendimiento obtenido tras la prueba fue alto, sin embargo los Filtros de Turba pueden llegar a proporcionar una mayor remoción de las diferentes cargas contaminantes presentes en las aguas, siendo éste el motivo por el cual se continuó la experiencia pero esta vez, bajo otras situaciones que permitían estudiar el comportamiento de los lechos.

Para la segunda experiencia se realizaron variaciones en el caudal de entrada, a fin de observar el comportamiento del filtro ante dicha situación; el sistema a diferencia del anterior, trabajó con un menor caudal, permitiendo conocer el modo de operación y los porcentajes de remoción proporcionados por dichas condiciones.

La Tabla 18 recoge los parámetros operativos bajo los cuales funcionó el filtro 2 en el que se llevo a cabo nuevamente la experimentación.

Tabla 18. Características operativas del ensayo 2

Caudal medio de alimentación (m ³ /d)	7
Módulos en operación	1
Superficie de operación (m²)	25
Régimen de operación	Filtro sin saturar
Carga hidráulica superficial (l/m².h)	12,08
Carga orgánica obtenida (g DBO₅/m².d)	13,4
Duración del ciclo operativo (d)	16

En la Tabla 19 se presentan los datos obtenidos referentes a los parámetros In situ determinados en la segunda experiencia; se realizaron las variaciones de caudales para observar el comportamiento de los filtros, además este tipo de actividades permiten conocer nuevos valores de remoción del material contaminante presente en las aguas residuales urbanas a tratar.

Tabla 19. Valores In situ obtenidos durante el ciclo operativo del ensayo 2

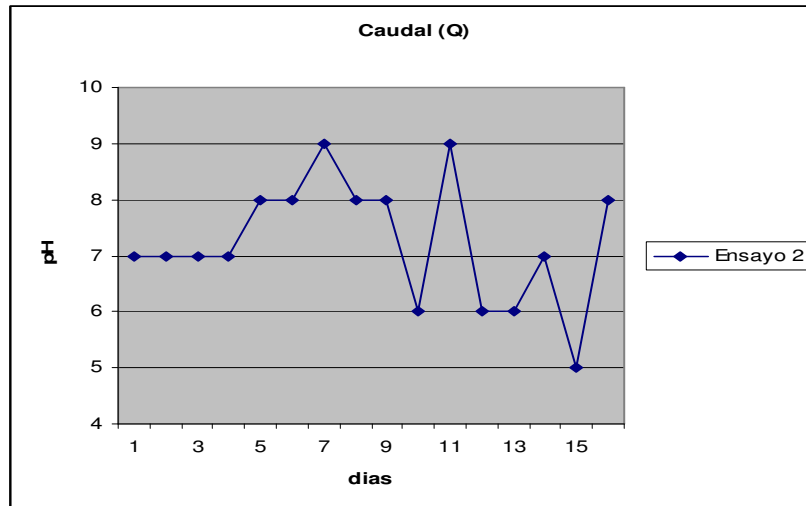
Modulo	Q (m³/d)	pH	Conductividad (μS/cm)	T° (°C)	OD (mg/l)
3	7	6,8	1904	19,6	1,7
3	7	6,8	2032	18,4	2,1
3	7	6,7	1816	20,7	1,9
3	7	6,8	2210	20,3	3,0
3	8	6,5	2730	15,7	
3	8	6,7	1720	18,7	1,2
3	9	6,7	1720	18,7	1,2
3	8	7,0	2110	21,7	1,5
3	8	6,8	1344	22,3	1
3	6				
3	9				
3	6				
3	6	6,8	1308	21,8	1
3	7	6,6	1553	23,8	1,6
3	5	6,9		23	1,4
3	8	6,6		22,1	1,3

NOTA: los valores que no se encuentran son debido a que las muestras fueron tomadas durante el fin de semana. Para el caso del Potencial Redox, para este ensayo no pudo ser determinado por problemas con el instrumento de medida.

Se aprecia en la Gráfica 6 que el comportamiento del caudal durante los primeros días de la experimentación fueron constantes, sin embargo a medida que fue avanzando el ciclo, éstos fueron variando, tendiendo

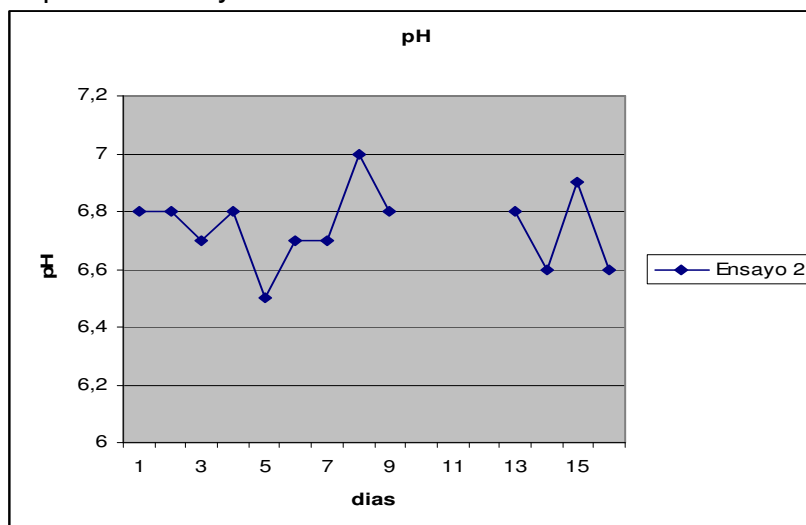
alcanzar valores altos (como en el caso de los días 7 y 11) con caudales de 9 m³/d; además también hubo presencia de caídas de caudal (con valores de hasta 5 m³/d), por lo que se reitera que uno de los inconvenientes mas relevantes fue la bomba que proporciono el caudal de entrada a los filtros.

Gráfica 6. Caudales del Ensayo 2



Para este caso, el pH (Gráfica 7) se comporto por algunos días estable (en los días 1, 2, 6 y 7), pero se siguió presentando una leve tendencia al ascenso en los días 8 y 15 (pH = 6,9 y 7 respectivamente); y también hubo un descenso en el día 5, como consecuencia de un flujo de entrada alterado, prueba de esto son los otros parámetros como la conductividad y el oxígeno disuelto del mismo que alcanzan valores altos con respecto a los demás datos.

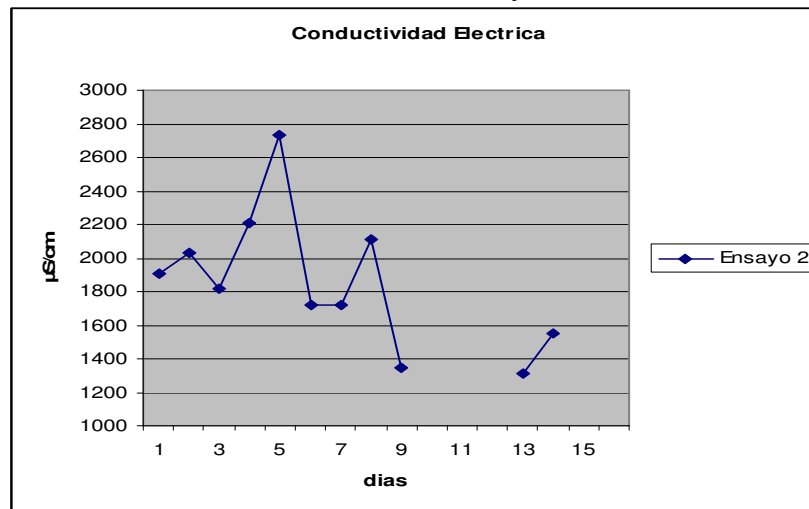
Gráfica 7. pH del Ensayo 2



La conductividad en esta fase del proyecto vario mucho, en la Gráfica 8 se observa como en el día 5 se alcanzo el valor mas alto, resaltando que

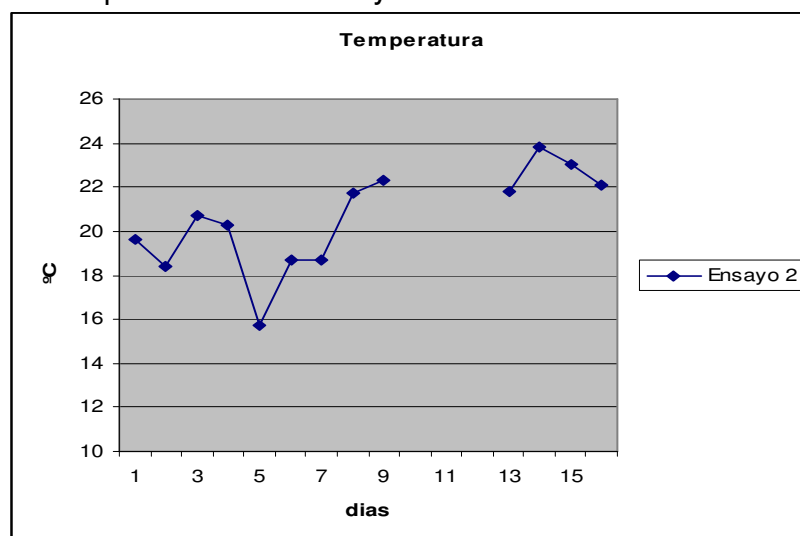
este día el afluente se encontraba alterado; en los días siguientes se alcanzo una estabilidad pero aun así el comportamiento de este parámetro fue muy variado; del día 9 al 13 no se tiene valores por ser fines de semana, ya que en esos días simplemente se toma la muestra por parte de los operarios de la planta y se deja en el laboratorio para el posterior estudio en el laboratorio.

Gráfica 8. Conductividad eléctrica del Ensayo 2



En la Gráfica 9 se presentan las temperaturas bajo las cuales se opero en el ensayo 2; se destaca el aumento progresivo de las mismas debido a la estación durante la que se llevo a cabo el estudio (primavera); sin embargo se aprecia que el día 5 hubo un descenso en la misma, hecho que confirma la alteración del agua residual en el sistema.

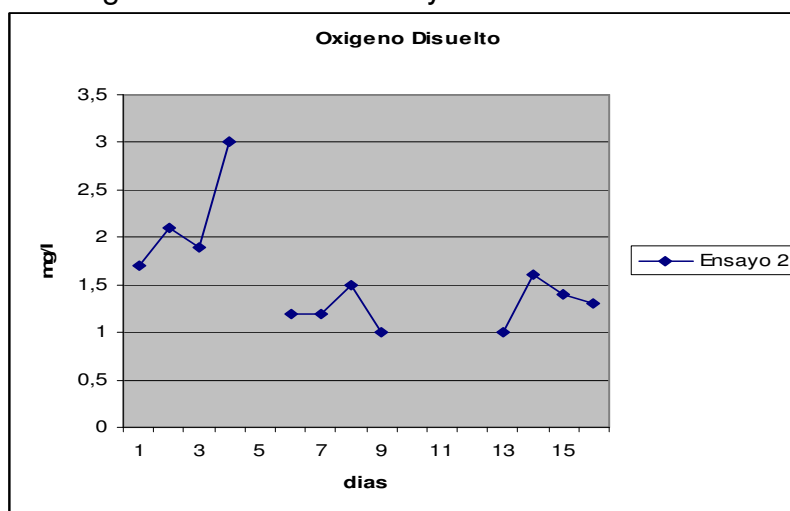
Gráfica 9. Temperaturas del Ensayo 2



A continuación se presenta la Gráfica 10 en la cual se observa el comportamiento del oxígeno disuelto en esta experiencia; en el día 4 se presenta el valor mas alto (3 mg/l) y no fue posible conocer su

comportamiento los días posteriores, pero ya para el día 6 el valor se reduce, lo que indica que el sistema consiguió estabilizarse y comportarse acorde a sus capacidades de remoción. Sin embargo, el valor mínimo obtenido bajo esta condiciones de operación fue de 1 mg/l, hecho que comparado con el anterior ensayo fue alto, ya que en dicha experiencia se alcanzaron valores $< 1\text{mg/l}$, por lo que se puede considerar un mejor rendimiento del ensayo 1 en cuanto a este parámetro.

Gráfica 10. Oxígeno disuelto del Ensayo 2



Los datos obtenidos tras los análisis realizados en cuanto a parámetros físico-químicos (Ver Tabla 20) determinados dentro del laboratorio tuvieron una leve variación, esto debido a algunas situaciones que se presentaron dentro del proceso, ya que la presencia de residuos líquidos provenientes de la industria de olivas alteró la composición de las aguas residuales a tratar.

Tabla 20. Parámetros físico-químicos del ensayo 2

Modulo	Q (m ³ /d)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)
3	7	34	122	36
3	7	62	117	21
3	7	35	133	52
3	7	30	86	20
3	8	33	127	38
3	8	56	164	50
3	9	53	165	60
3	8	82	213	62
3	8	55	215	73
3	6	67	154	52
3	9	86	210	58
3	6		260	55
3	6	67	244	50
3	7	32	129	30
3	5	27	163	28
3	8	31	132	20
PROMEDIO	7	48	164	45

NOTA: El dato que hace falta en la DBO fue omitido ya que se sale de los límites establecidos

Al final del ciclo operativo las condiciones aerobias que imperaron dentro del material filtrante (turba) se redujeron, debido al encharcamiento de la superficie del mismo, pues en ese momento se daba inicio a las condiciones anaerobias del sistema como causa del aumento de sólidos de gran tamaño que saturaron el filtro y que impidieron que el flujo se percolara por el filtro.

Para este ensayo las condiciones meteorológicas fueron las mejores ya que no se presentaron lluvias ni bajas de temperaturas, favoreciendo en parte el rendimiento del sistema. De nuevo se recalca que los datos del influente fueron proporcionados por la planta una vez realizado el muestreo semanal, hecho que no permitió tener una idea más real del comportamiento diario del influente de entrada a los lechos, pero aún así, los valores no estuvieron lejos de la realidad del sistema.

Tabla 21. Rendimientos del filtro 2 obtenido tras el segundo ciclo operativo (ensayo 2)

Parámetros Físico-Químicos	Influente	Efluente	% Rendimiento
Sólidos Suspendidos (mg/l)	262	45	83
DBO ₅ (mg/l)	419	48	88
DQO (mg/l)	859	164	81

Al igual que en el ensayo 1, una vez culminado el ciclo operativo, se pasó a la etapa de regeneración de la turba, siendo necesario esperar aproximadamente unos 3 días (menos que en el anterior) a que la turba estuviera completamente seca y así poder tomar la muestra para determinar el porcentaje de humedad de la misma.

Para la tercera experiencia realizada con los Filtros de Turba, las condiciones de régimen de operación del sistema variaron, ya que se trabajó con un filtro saturado, para poder conocer las reacciones del material filtrante ante estas condiciones de operación; en la Tabla 22 se encuentran resumidas las características bajo las cuales el sistema actuó.

Tabla 22. Características operativas del ensayo 3

Caudal medio de alimentación (m ³ /d)	6
Módulos en operación	1
Superficie de operación (m²)	25
Régimen de operación	Saturado
Carga hidráulica superficial (l/m².h)	12,08
Carga orgánica obtenida (g DBO₅/m².d)	26,2
Duración del ciclo operativo (d)	13

En el apartado donde se presentó la planificación del ensayo, se indicó la forma mediante la cual se obtuvo las condiciones de saturación del medio, pero aún así a continuación se demostrará teóricamente el tiempo que tardó el lecho en llenarse, resaltando que éste depende del caudal de entrada, del volumen del lecho y del porcentaje de porosidad del material filtrante.

Calculo del Tiempo de Retención Hidráulico:

$$TRH = V/Q$$

$$V_{\text{efectivo}} = \text{área} * h * \% \text{ porosidad}$$

$$- V_{\text{efect. turba}} = 25 \text{ m}^2 * 0,40 \text{ m} * 0,3 \longrightarrow V_{\text{efect. turba}} = 3 \text{ m}^3$$

$$- V_{\text{efect. grava}} = 25 \text{ m}^2 * 0,30 \text{ m} * 0,45 \longrightarrow V_{\text{efect. grava}} = 3,38 \text{ m}^3$$

$$- V_{\text{efect. gravilla}} = 25 \text{ m}^2 * 0,30 \text{ m} * 0,40 \longrightarrow V_{\text{efect. gravilla}} = 3 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{efect. total}} = V_{\text{efect. turba}} + V_{\text{efect. grava}} + V_{\text{efect. gravilla}} = 9,38 \text{ m}^3$$

$$TRH = \frac{9,38 \text{ m}^3}{7 \text{ m}^3/\text{d}} = 1,34 \text{ días} \approx 32,2 \text{ horas} \approx 115.776 \text{ seg.}$$

NOTA: el llenado del filtro inició el día 25/06/07 a las 9 a.m. y se tomó la primera muestra del efluente el día 29/06/07 a la misma hora aproximadamente.

Comparando el valor obtenido teóricamente con el tiempo que tardó realmente el filtro en llenarse, se comprueba que no es el mismo, pues la incidencia de ciertos factores sobre el funcionamiento de los Filtros de Turba evitaron que éstos cumplieran con las condiciones de llenado establecidas al inicio del sistema; algunos de los factores que pudieron afectar son quizás la variación en el caudal de entrada (Ver Tabla 23), ya que no se alcanzó un afluente estable, viéndose el sistema sometido a descompensaciones en su alimentación.

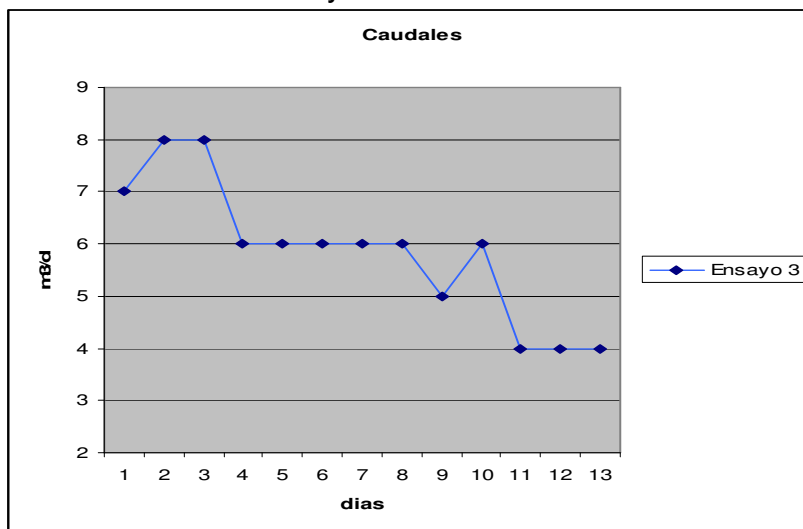
Tabla 23. Valores In situ obtenidos durante el ciclo operativo del ensayo 3

Modulo	Q (m ³ /d)	pH	Conductividad (μS/cm)	Tº (°C)	OD (mg/l)	Potencial Redox (mV)
1	7	6,34	3570	24,1	1,69	238
1	8					
1	8					
1	6	6,69	1444	21,8	0,71	-258
1	6	6,73	1641	24,6	0,84	22,25
1	6	6,49	2010	24,9	1,88	9,58
1	6	6,6	1938	25,1	1,94	-49,6
1	6	7,8	1666	24,1	1,94	-49,6
1	5	7,8	1666	24,1	1,94	-49,6
1	6	7,8	1666	24,1	1,94	-49,6
1	4	7,8	1666	24,1	1,94	-49,6
1	4	7,8	1666	24,1	1,94	-49,6
1	4	7,8	1666	24,1	1,94	-49,6

NOTA: los valores que no se encuentran consignados corresponden al fin de semana, recordando que para dichas fechas fueron los operarios quienes se encargaron de la toma de la muestra.

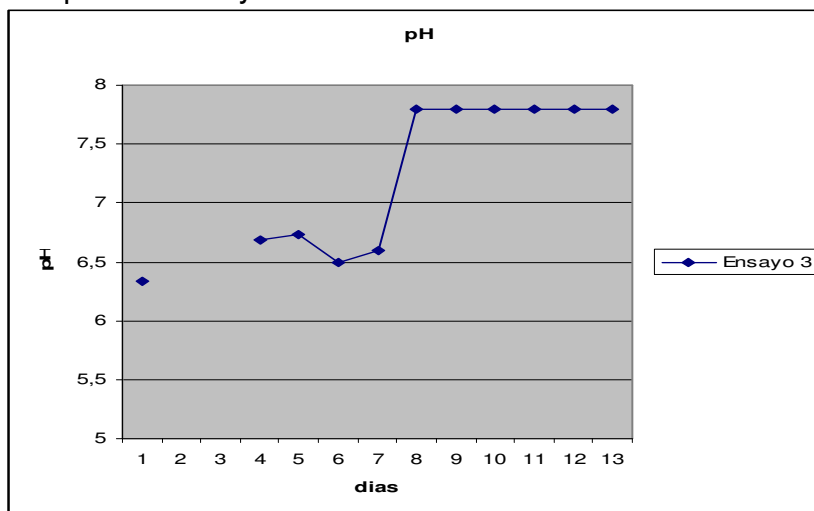
Para esta experiencia el control del caudal de entrada (ver Gráfica 11) se vio dificultado debido a que la bomba de suministro no aportó el caudal esperado, pues únicamente el primer día se obtuvo el caudal de 7 m³/l bajo el cual se pretendía realizar el estudio; no obstante en los siguientes días se trabajó con menores caudales, repercutiendo este hecho en la saturación del sistema, por lo que fue necesario esperar mas tiempo a que los filtros se encharcaran completamente.

Gráfica 11. Caudales del Ensayo 3



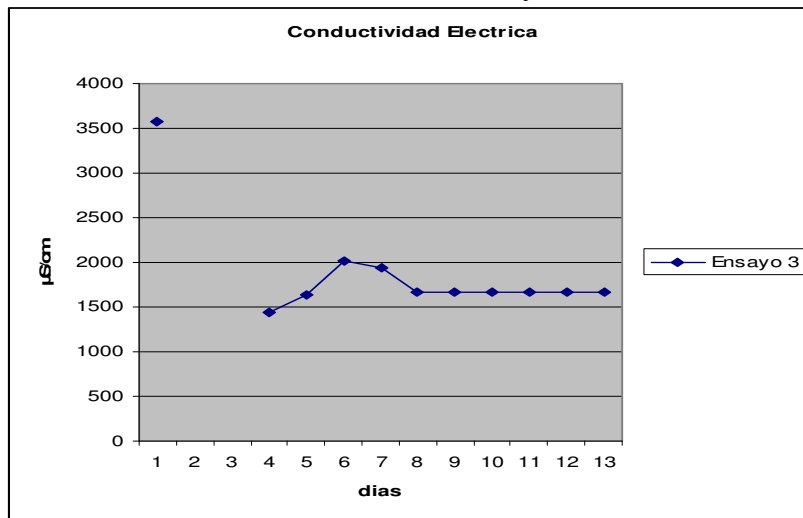
En la Gráfica 12 se presenta como fue el comportamiento del pH durante la experiencia 3; es importante dejar claro que los valores constantes obtenidos son debido a que se asumió como valor referencia el ultimo medido (para el caso pH=7,8), ya que no fue posible tomar muestras después del día 8 del muestreo, así que se decidió realizar el análisis hasta el final del ensayo con dicho valor.

Gráfica 12. pH del Ensayo 3



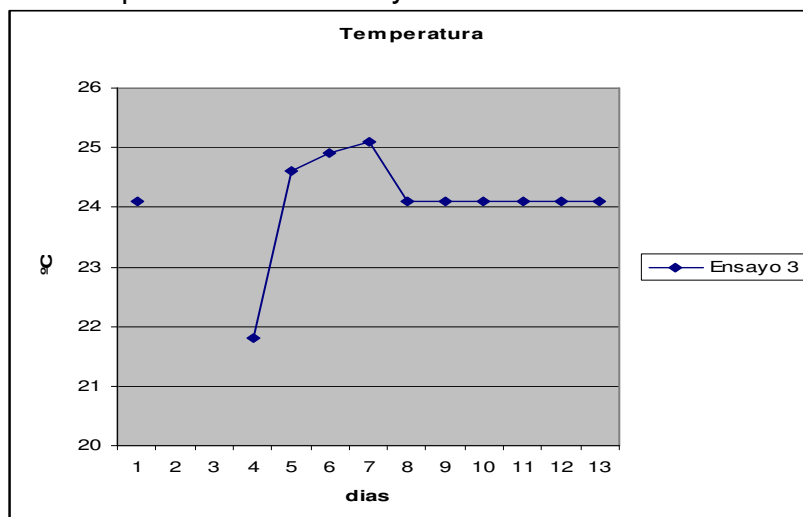
Para el caso de la conductividad, en la Gráfica 13 se presenta un comportamiento de dicho parámetro poco variable, con un valor máximo en el primer día (3570 $\mu\text{S}/\text{cm}$) bastante alto pero que a medida que avanza el proceso descendió, llegándose a conseguir un valor mínimo de 1444 $\mu\text{S}/\text{cm}$ producto quizás del encharcamiento que sufre el material filtrante.

Gráfica 13. Conductividad eléctrica del Ensayo 3



En cuanto a la temperatura se puede apreciar en la Gráfica 14 como al inicio se presenta una temperatura de 24,1°C y los siguientes días no fue posible determinarlo por ser fin de semana pero se observa que éstas fueron bajas, ya que al cuarto día se presentó una la menor temperatura del ensayo (21,8°C); con el paso del estudio se entra al cambio de estación, pasando de la primavera a verano, por tanto las temperaturas van aumentando, además se recuerda que el sistema se opera bajo saturación de la turba, estando la lamina de agua expuesta por mucho mas tiempo a la radiación solar.

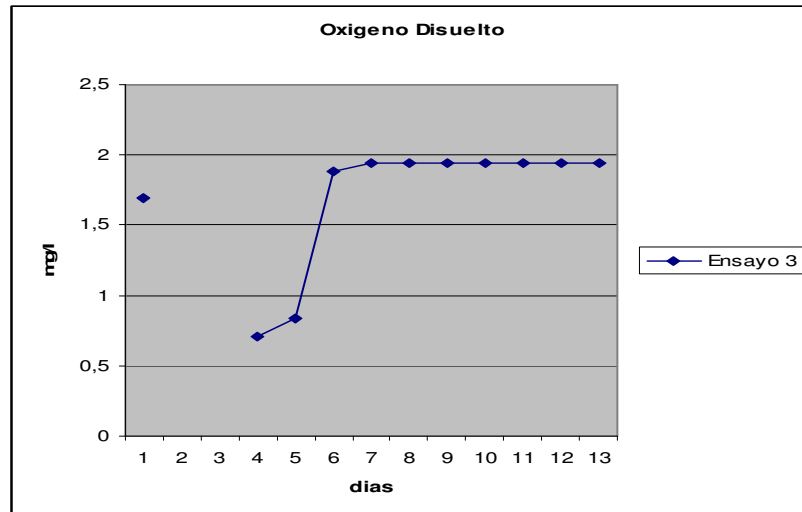
Gráfica 14. Temperaturas del Ensayo 3



Para este parámetro, la Gráfica 15 representa el comportamiento del oxígeno disuelto, uno de los parámetros mas importantes a la hora de conocer el comportamiento de un sistema de depuración; para el presente ensayo, se observa que al inicio del sistema la concentración estaba del orden de 1,69 mg/l pero en los siguientes días disminuyó, alcanzando su

valor mínimo (0,71 mg/l) pero vuelve a incrementarse la concentración, indicando una baja remoción del oxígeno, ya que las condiciones del medio saturado evitan un trabajo adecuado por parte del materia filtrante.

Gráfica 15. Oxígeno disuelto del Ensayo 3



Las altas temperaturas registradas durante la realización del ensayo 3 (durante los meses de Junio y Julio), influyeron en el flujo tratado, además se recuerda que la experimentación se llevo a cabo bajo condiciones de saturación, proporcionando condiciones de anaerobiosis dentro del sistema que contribuyeron a su vez con dicho incremento.

Para poder conseguir la muestra, fue necesario esperar a que la arqueta de salida del filtro se llenara (Imagen 18), para ello fue necesario que la altura de la lámina de agua dentro de la arqueta, fuese la misma que la longitud que tiene el tubo ubicado en la tubería de salida del flujo.

Imagen 18. Arqueta de salida del Filtro de Turba (modulo 1)



En la imagen se puede apreciar además la formación de una ligera capa de algas en la parte superior de la lámina de agua, producto de la gran cantidad de nutrientes presentes en el agua estancada; este fenómeno es muy habitual de la eutrofización de las aguas. Este tipo de microorganismos, fotótrofos y aerobios, imperan en las aguas contaminadas, indicando la presencia de gran cantidad de materia orgánica aun por degradar.

En la Tabla 24 se presentan los datos obtenidos tras los análisis físico-químicos realizados en esta fase del proyecto.

Tabla 24. Parámetros físico-químicos del ensayo 3

Modulo	Q (m³/d)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)
1	7	36	221	58
1	7	55	213	48
1	8	83	251,5	56
1	8	108	307	57,5
1	6	118	270,5	80
1	6	127	312,5	102
1	6	134	295	89
1	6	134	295	89
1	6	134	295	89
1	5	134	295	89
1	6	134	295	89
1	4	134	295	89
1	4	134	295	89
PROMEDIO	6	109	278	76

Nota: el promedio se obtuvo de la sumatoria de las cargas orgánicas obtenidas en relación al caudal de entrada al sistema

Este ensayo se llevo a cabo durante la estación de verano, época propicia para desarrollar este tipo de tecnologías, ya que gracias a la capacidad de aprovechamiento de la radiación solar, pues en este tipo de tecnologías es posible contar con otro mecanismo natural de acción como lo es la evaporación.

El hecho de exaltar las ventajas que se tiene al trabajar con los Filtros de Turba durante épocas del año como estas, no pretende desmeritar el adecuado funcionamiento de los filtros durante otras épocas del año. Sin embargo de acuerdo a las características de operación del sistema en esta fase (al trabajar en saturación del medio filtrante), denota en el aspecto que presenta el efluente, pues debido a las reacciones anaerobias que se presentaban dentro del reactor (turba+agua residual) y a la rápida saturación de la superficie de contacto, se observó un agua de color turbio y de aspecto poco agradable, eso si, sin versen afectados considerablemente los rendimientos en cuanto a remoción del material contaminante.

Tabla 25. Rendimientos del filtro 1 obtenidos tras el tercer ciclo operativo (ensayo 3)

Parámetros Físico-Químicos	Influente	Efluente	% Rendimiento
Sólidos Suspendidos (mg/l)	354	76	78
DBO ₅ (mg/l)	438	109	75
DQO (mg/l)	898	278	69

A continuación se presenta la Tabla 26 en la cual se resumen los datos obtenidos tras las experiencias realizadas.

Tabla 26. Resumen de las concentraciones obtenidas con los Filtros de Turba

Parámetro (mg/l)	Filtros de Turba		
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Sólidos Suspendidos	12-127	20-73	48-102
DBO	19-129	27-86	36-134
DQO	69-299	86-260	213-312,5

En el apartado de Anexos, se podrán encontrar las tablas con los datos obtenidos tras los análisis realizados para la determinación de nutrientes (N todas sus formas y P en todas sus formas), ya que este tipo de sistemas presenta bajas remociones en cuanto a dichos parámetros.

En el siguiente apartado se podrá apreciar la evolución de los parámetros físico-químicos más relevantes a la hora de estudiar el comportamiento de un sistema de depuración de aguas residuales.

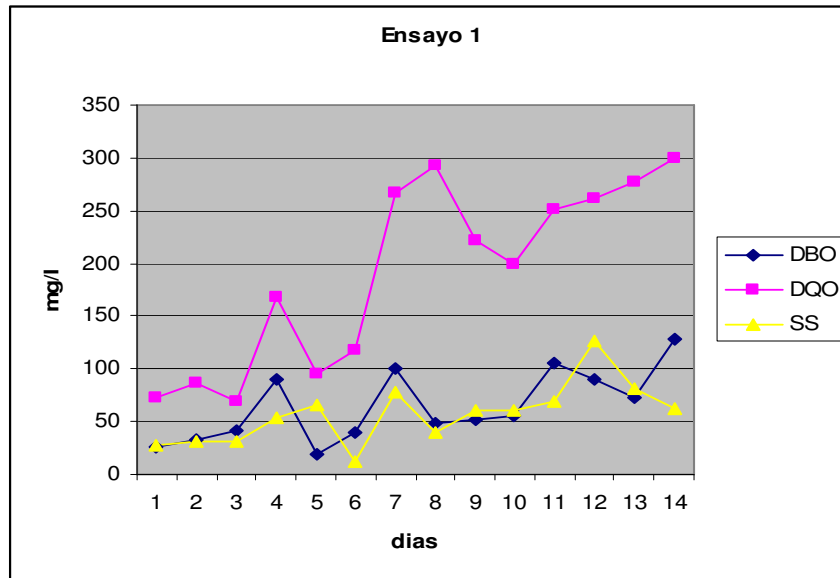
6.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para comprender de mejor forma como se comportaron los lechos de turba en función del tiempo de duración de cada experiencia, se presentan a continuación las gráficas que permiten estudiar la evolución de los parámetros más importantes tenidos en cuenta a la hora de determinar la eficiencia de un sistema depurador de aguas (Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y los Sólidos Suspendidos).

En la Gráfica 16 se representan las concentraciones obtenidas en la primera experiencia, y en la cual se observó que la concentración de DQO al final del ciclo se incrementaba cada vez más, esto como consecuencia del encharcamiento que empieza a sufrir el filtro una vez se va colmatando, impidiendo que la turba continúe su trabajo como filtro depurador. En cuanto a los otros dos parámetros representados (Sólidos

Suspendidos y DBO), el comportamiento fue más similar, dejando ver que la concentración de la entrada no tuvo mucha variación comparada con la del final del ciclo.

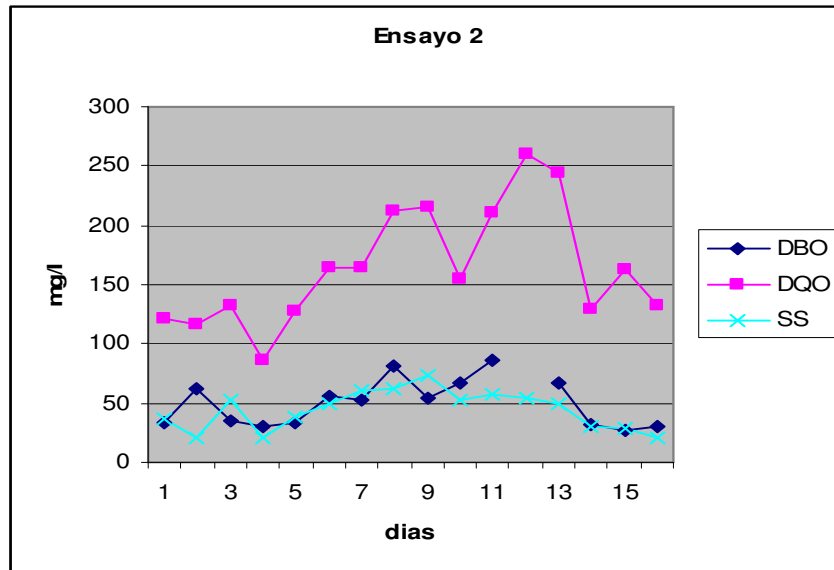
Gráfica 16. Concentraciones obtenidas en el ensayo 1



Para la segunda experiencia, la tendencia de las gráficas en cuanto a los tres parámetros es muy similar comparada con la de la primera experiencia, recordando que el caudal trabajado para esta experiencia fue el menor; se destaca de la Gráfica 17 las concentraciones de Sólidos Suspendidos al finalizar el ciclo, pues siguen siendo bajas, esto como consecuencia de la reducida carga orgánica que le ha entrado al sistema, permitiendo que la duración de los ciclos bajo estas condiciones aumente, ya que tarda más el filtro en saturarse.

Nótese que en función del tiempo, la concentración de los tres parámetros tendió a ser menor, ya que éste tipo de sistemas proporcionan mejores rendimientos en presencia de caudales pequeños; pero en algunos casos como en los días 11 y 13 los valores del efluente aumentaron producto quizás de alteraciones del afluente de entrada.

Gráfica 17. Concentraciones obtenidas en el ensayo 2

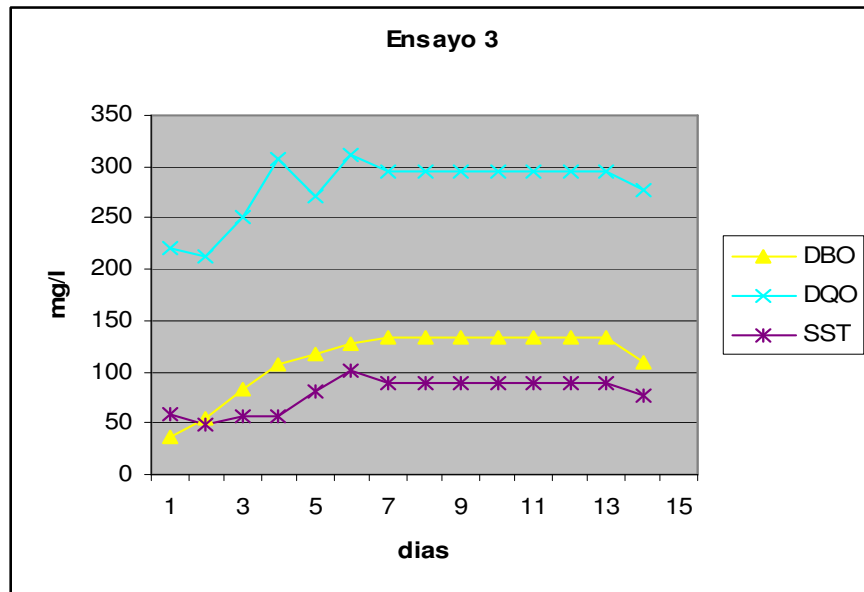


Para la tercera experiencia una de las condiciones de mayor importancia (régimen de saturación) varió, con el objeto de conocer como actuaba este tipo de sistemas bajo dichas condiciones, a fin de aprovechar las condiciones de anaerobiosis que se instauran en el filtro una vez éste se ha llenado completamente.

En la Gráfica 18 se aprecia que el comportamiento en la concentración se mantiene constante, esto debido a que por motivos ajenos a la investigación no fue posible tomarlos, tomando como base el valor obtenido tras el análisis semanal realizado por la planta.

Comparando esta gráfica con las dos anteriores, se observa que las concentraciones en este caso no tuvieron una variación considerable, tendiendo a aumentar con el tiempo; una explicación a esta situación, es que como consecuencia de la saturación del filtro desde el inicio, se impide que la turba actúe como medio filtrante, evitando que éste desarrolle sus actividades de depuración.

Gráfica 18. Concentraciones obtenidas en el ensayo 3

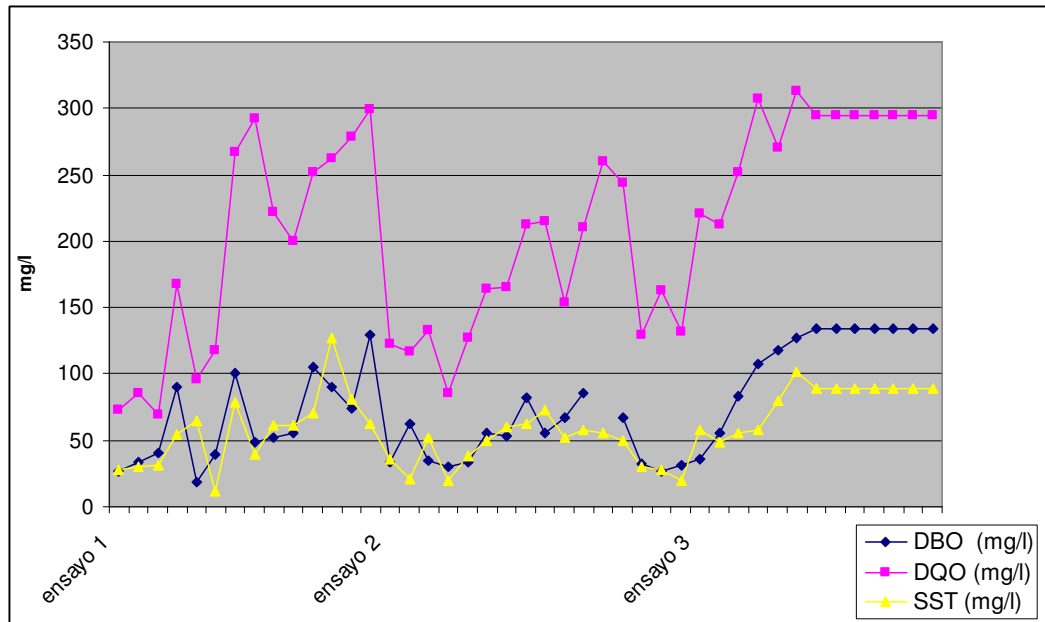


Una vez expuestos los resultados obtenidos tras los estudios realizados, se presenta a continuación la Gráfica 19 en la cual se resumen todas las concentraciones obtenidas; se puede apreciar que para el parámetro de la DQO, las concentraciones obtenidas fueron altas, comparadas con las obtenidas tras las otras dos mediciones, sin embargo se destaca que para los inicios de cada ensayo, las concentraciones fueron menores, lo que nos permite reconocer que al inicio del sistema el efecto depurador de la turba es mejor, pues no hay colmatación del medio, sin embargo, para el caso del ensayo 3 para el cual las condiciones de operación variaron en referencia con los otros dos ensayos (condiciones de saturación del medio), las concentraciones registradas fueron las mayores de la experimentación.

En cuanto a la DBO, se presentaron varios picos durante el ensayo 1, quizás por variaciones en la composición de las aguas tratadas, ya que en ocasiones en la planta hubo presencia de restos líquidos provenientes de la industria aceitunera; según esta gráfica, el mejor comportamiento de dicho parámetro lo presentó el ensayo 2, el cual operó con el menor caudal ($7\text{m}^3/\text{d}$) y bajo las condiciones de instauración del sistema.

Para los Sólidos Suspendidos Totales, queda demostrado que los filtros de este tipo logran eliminar considerablemente dichos materiales, ya que éstos van quedando retenidos en la superficie de la turba o en los estratos inferiores a ésta. Para el caso del ensayo 3, el cual operó en saturación, se aprecia que el filtro no presenta el mejor comportamiento, ya que como se ha mencionado antes, el material encharcado no permite un trabajo adecuado por parte de la turba.

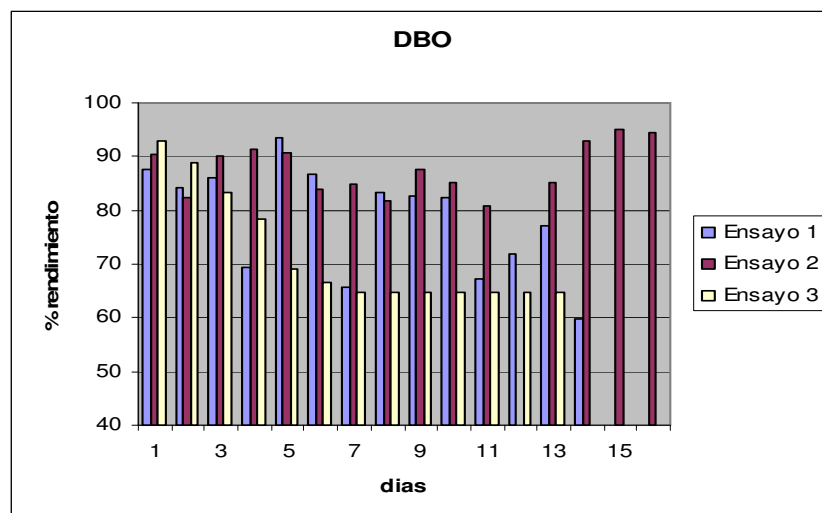
Gráfica 19. Concertación de los Ensayos realizados en la experimentación con Filtros de Turba



Las siguientes gráficas representan los rendimientos obtenidos tras los estudios realizados; por medio de ellas, es posible reconocer y determinar de forma adecuada, cuales de las condiciones de operación que las tres experiencias proporcionaron, son las mejores para obtener remociones considerables, a fin de estimar cual de ellas es la que mejor conviene utilizar y trabajar para depurar las aguas residuales de pequeñas aglomeraciones.

La Gráfica 20 presenta los porcentajes de remoción para el parámetro de la DBO, resaltando que éste es uno de los más relevantes a la hora de establecer el comportamiento de un sistema instaurado.

Gráfica 20. Comportamiento de la Demanda Biológica de Oxígeno en la experimentación con los Filtros de Turba



Como se aprecia en la gráfica, se tuvieron mayores eficiencias al final del ensayo 2, esto puede ser consecuencia de la reducida colmatación del filtro una vez se encuentra en funcionamiento, ya que el material filtrante no llegó a saturarse completamente; otro hecho que influyó, fue la Carga Hidráulica, ya que para ésta situación, el valor es menor, por tal motivo se obtuvieron mejores resultados que en la primera experiencia, ya que la cantidad de flujo que entra al sistema es mas reducida, es decir, el filtro tiene menor cantidad de agua a tratar, lo cual supone un mejor tratamiento de las aguas por parte de la turba, además la saturación del medio tardará más, permitiendo que el sistema pueda funcionar por mas tiempo.

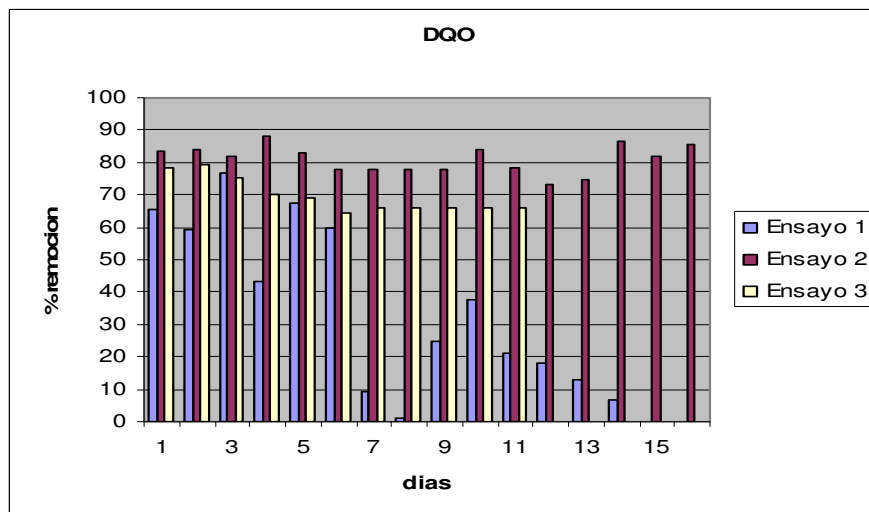
Otro factor que pudo influir en este hecho, fue el hecho de haber trabajado estos dos módulos, puesto que éstos funcionaron bajo otras condiciones, permitiendo que la turba se adaptara un poco más a su entorno.

Para la tercera experiencia, los valores se mantuvieron constantes, debido a que el muestreo realizado fue de tipo semanal, para lo cual se obtuvo simplemente un valor, tomado éste como referencia para determinar el rendimiento semanal ($DBO=135\text{mg/l}$; $DQO=295\text{mg/l}$; $SST=89\text{mg/l}$).

Durante la realización del ensayo 2 (menor carga hidráulica y condiciones de instauración del sistema), se presentaron varias situaciones anormales dentro de la planta, tales como la presencia de aguas propias de la industria aceitunera, que implicaron al influente; debido a esto y como se veía que el sistema de tratamiento se podía ver afectado considerablemente por este tipo de aguas, se recurrió al bay-pass de la planta, puesto que la composición de este tipo de residuos líquidos posee un alto contenido de materia orgánica poco biodegradable que incide en el proceso de depuración de los lechos como tal.

En la Gráfica 21, se presenta la evolución de la Demanda Química de Oxígeno; se destaca el decrecimiento progresivo experimentado en el Ensayo 1 (alta carga orgánica y saturado), ya que la colmatación del sistema se fue presentando de forma más rápida, impidiendo que las aguas pasaran a través del filtro y éste lograra asimilar los diferentes componentes.

Gráfica 21. Comportamiento de la Demanda Química de Oxígeno en la experimentación con los Filtros de Turba



Otro hecho que pudo repercutir en esta situación, fue que apenas era el inicio de la experimentación y los filtros tenidos es cuenta para el ensayo habían estado sin uso durante varios años; esto hace referencia a que el sistema aun no se encontraba acondicionado para tratar el afluente.

Se aprecia también, que sigue siendo el Ensayo 2 el que presenta mejores rendimientos de depuración, como consecuencia de sus condiciones de operación (baja carga hidráulica e instauración); además el ciclo operativo se extendió, ya que el encharcamiento del lecho tardando más, producto de la poca cantidad de caudal a tratar. Estas condiciones de operación permitieron que la turba trabajara de mejor manera, ya que el flujo logró dispersarse por el lecho, y las turbas lograron asimilar los compuestos presentes en el agua.

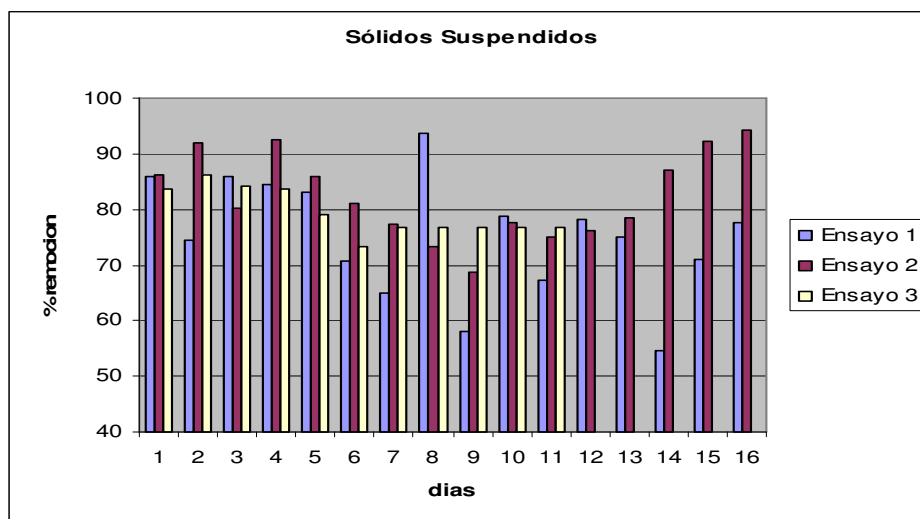
El ensayo 3 a pesar de operar con una baja Carga Hidráulica y condiciones de saturación, no presentó un comportamiento tan variado comparado con el presentado en la primera experiencia, ya que la cantidad de agua a la entrada del sistema fue mucho mas fácil de asimilar por parte del filtro, pero debido a las condiciones anaerobias que se dieron en el sistema, no se logró conseguir rendimientos representativos que permitieran determinar estas condiciones como las más adecuadas para la operación de este tipo de tecnologías, motivo por el cual no se aconseja trabajar con sistemas de lecho de turba saturados, ya que las condiciones anaerobias presentes, sí suponen una reducción considerable de materiales contaminantes pero no la cantidad establecida para cumplir con la normativa de vertidos; además la apariencia del agua una vez ha sido depurada no es buena, lo cual puede repercutir en la aplicación de este tecnología.

Otro hecho de gran importancia es que a medida que se fue dando el encharcamiento del filtro, se fueron desprendiendo malos olores (gases

como H_2S) a raíz de las reacciones anaerobias que se llevan a cabo dentro del sistema, afectando el hecho de trabajar con este tipo de tecnologías bajo dichas condiciones de operación.

Otro parámetro importante, fueron los Sólidos Suspendidos; en la Gráfica 22 se observa como fueron las remociones en los tres ensayos, destacando que este tipo de tecnologías al trabajar con un material como medio filtrante (en este caso es la turba), permitió conseguir rendimientos altos, gracias a las características físicas, químicas y biológicas propias de este tipo de material filtrante.

Gráfica 22. Comportamiento de los Sólidos Suspendidos en la experimentación con los Filtros de Turba



Debido a la acción de depuración ejercida por el filtro de turba sobre las partículas de tamaño considerable que no quedaron retenidas en el tamiz, y que ocurre en los primeros centímetros de espesor de la turba, se logró obtener considerables remociones en el ensayo 2.

De igual forma, para la primera experiencia se presentó un comportamiento muy variado, que evita que se pueda estimar una conducta estable.

Se aprecia además que en los últimos días del ensayo 2, fue donde se obtuvo los mejores rendimientos, por encima del 85 %, hecho que permite establecer estas condiciones de operación como mas aceptables y por lo tanto las que se pretenden alcanzar con este tipo de tecnologías.

Para el caso del ensayo 3 (llevado a cabo bajo condiciones de saturación del sistema), las remociones fueron bajas, debido a la colmatación del lecho, evitando que el flujo atravesara el filtro. A su vez, las condiciones de funcionamiento del sistema, son las que influyen en el aumento de la anaerobiosis, impidiendo que la actividad bacteriana aerobia actué en la reducción y eliminación de la materia orgánica presente en las aguas.

A continuación se mencionan algunas situaciones analizadas durante la experimentación, y las cuales influyeron en el comportamiento de los Filtros de Turba evaluados:

- La duración de los ciclos para las experiencias llevadas a cabo, no se encontraba entre el rango bajo el cual los filtros trabajan adecuadamente, esto como consecuencia de la carencia de personas auxiliares que pudieran haber colaborar en el seguimiento del sistema en los momentos en que los responsables del proyecto no pudieron estar a cargo del mismo.
- A lo largo del estudio se presentaron una serie de inconvenientes que perjudicaron los resultados obtenidos, entre los que se encuentra la toma de la muestra en el filtro 2, ya que al no tener un mecanismo de control a la salida de la tubería, se hizo difícil introducir el recipiente en el cual se tomó la muestra.
- Otro inconveniente fue el presentado con la bomba que regula el caudal, pues ésta al final de los primeros ensayo ensayos (filtro2) no proporcionó el caudal estimado ($7\text{m}^3/\text{d}$ aproximadamente), afectando la capacidad de remoción del material, pues para este tipo de tecnologías se recomienda trabajar con un valor de caudal estable, aunque esto no supone un gran problema para los Filtros de Turba, sino que en aras de poder establecer los comportamientos adecuados bajo las condiciones establecidas al inicio del proyecto, se esperaba trabajar de la mejor forma posible, cumpliendo con los parámetros operativos estimados.

7. CONCLUSIONES

- En los regímenes trabajados sin saturación del medio, se alcanzaron buenas remociones en cuanto a la DBO, por encima del 80%, que comparado con los porcentajes de remoción en condiciones de saturación del medio, éstos estuvieron por debajo del 70% en gran parte del siglo operativo; sin embargo se demuestra que en actuaciones donde la carga hidráulica es baja, se puede llegar a favorecer el sistema siempre y cuando se tenga en cuenta otros parámetros como la duración del ciclo, la carga orgánica, etc.
- Se estima que a medida en que se trabaje con cargas hidráulicas menores, mayor será la cantidad de materia orgánica eliminada del sistema, por tanto las condiciones más aptas para un buen funcionamiento del sistema son las que estén del orden de los 12,08 l/m².h de Carga Hidráulica, teniendo en cuenta además el régimen a trabajar, pues con filtros sin saturar (como el caso del ensayo 2) se lograron las mejores remociones de material contaminante.
- Para los Filtros de Turba que trabajen sin saturación del sistema se sugiere que éstos funcionen con una duración del ciclo menor que los anteriores, ya que una vez se inicia la fase de encharcamiento del sistema, el material filtrante pierde sus propiedades depurativas como consecuencia de la saturación del mismo.
- Los Filtros de Turba demuestran una vez más que suponen un mejor comportamiento cuando trabajan de forma semi-continua, ya que el sistema logra asimilar de mejor manera el agua proveniente del pretratamiento. Se menciona además que parte de la experimentación llevada a cabo con esta tecnología fue determinada y estudiada por otra parte, evitando que se pudiera conocer el comportamiento de los lechos trabajados de forma intermitente (Proyecto Estudio del diseño de los Filtros de Turba para la mejora del rendimiento en la depuración de las ARU).
- De acuerdo a la experiencia trabajada bajo diferentes condiciones de operación del sistema, se plantea como solución a las deficiencias presentadas por los Filtros de Turba en cuanto al funcionamiento, el corregir las Carga Hidráulicas con las que se opera actualmente en la mayoría de depuradoras de la Comunidad de Andalucía, ya que si se trabajan con menores cantidades, se alcanzarán los mejores porcentajes de remoción del material contaminante presente en las aguas residuales a tratar.

- Se demostró por medio de este tipo de experiencias a escala piloto la capacidad de remoción de un sistema de filtración (Filtros de Turba), erradicando el rechazo actual en la implementación de este tipo de tecnologías en el tratamiento de aguas residuales urbanas, y además se destacar el posible aprovechamiento al máximo de las instalaciones ya existentes dentro de la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes.
- De acuerdo al mecanismo de funcionamiento de los filtros en general, destacar aquellos que funcionan sobre un medio granular, ya que combinan una serie de mecanismos (físicos, químicos y biológicos) que influyen directamente en la remoción del material contaminante presente en el agua a tratar, demostrando a su vez que este tipo de componentes además de operar bajo condiciones proporcionadas por el medio natural suponen un ahorro de energía y la utilización de una herramienta de trabajo de fácil manejo.
- Según la evolución del sistema y la experiencia llevada a cabo con este tipo de tecnología se puede deducir que con la aplicación de un sistema de depuración no Convencional se llega a obtener porcentajes de remoción de contaminantes similares a los alcanzados con sistemas de depuración Convencionales por ello este tipo de tecnologías resultan ser uno de los mas económicos y eficientes para tratar aguas residuales de pequeñas poblaciones.
- Destacar la importancia de los Filtros de Turba, por su simplicidad y bajo coste de operación y funcionamiento, además no presenta problemas olores ni de vectores, demostrando así que es una buena alternativa para el tratamiento de las aguas residuales urbanas gracias a la calidad de depuración que ofrece.
- La experimentación con este tipo de sistemas permite estudiar y analizar el desempeño de éste bajo diferentes situaciones que puedan influir en su adecuado funcionamiento.
- El trabajo de campo brinda la posibilidad de conocer más de cerca la realidad referente a los inconvenientes surgidos durante un muestreo, el análisis en laboratorio y demás actividades llevadas a cabo a diario, que para el caso, complementan el estudio de seguimiento y control de los Filtros de Turba.
- La Planta Experimental gracias a la variedad de sistemas de tratamiento que posee brinda la oportunidad de instruirse no solo del sistema estudiado sino que permite aprender otros tipos de tratamientos actuales y que en hoy día son en su mayoría los mas

utilizados en España para la depuración de aguas residuales domésticas.

- Este tipo de proyectos permiten un intercambio cultural, social y académico ya que la mayoría de conceptos estudiados durante el ciclo formativo son de tipo teórico y es en la práctica donde se logra conjugar las diferentes actividades propuestas a la hora de llevar a cabo labores como futuros ingenieros.

8. RECOMENDACIONES

- Se hace necesario continuar con estudios experimentales trabajando con Cargas hidráulicas menores con el fin de establecer los parámetros de funcionamiento idóneos para operar con los Filtros de Turba como sistema de depuración.
- Establecer un protocolo de seguimiento para los diferentes sistemas ubicados dentro de la Planta Experimental con el fin de actuar de forma adecuada en el momento de situaciones poco usuales presentadas en los sistemas operados, y además este documento le permite al estudiante conocer las actividades concretas a realizar dentro del estudio experimental.
- Realizar actividades de limpieza y adecuación de los sistemas que no se encuentren en operación y estén previstos para estudios, ya que en el caso de la experimentación, se presentaron inconvenientes con la bomba de activación que alimentaba el lecho bacteriano, teniendo que recurrir muchas veces a la activación de la misma de forma manual, incidiendo este hecho en los resultados obtenidos tras los análisis realizados respectivamente.
- En el caso de la experiencia llevada a cabo con los Filtros de Turba, habría sido muy bueno y ventajoso contar con los datos del influente (para el caso sería el aportados por el tamiz), ya que así se podría conocer realmente el comportamiento del filtro.
- Para llevar a cabo una mejor realización de ensayos de tipo investigativo, es necesario adecuar los sistemas a estudiar de forma tal que se puedan alcanzar los objetivos propuestos en cada estudio; para el caso, se recomienda instalar otro tipo de bomba que suministre el caudal estimado para la ejecución del estudio.

Tabla 27. Recomendaciones en el diseño de Filtros de Turba

PARÁMETRO	VALOR	DESCRIPCIÓN
Carga Hidráulica	$< 600 \text{ lt/m}^2.\text{d}$	Bajo estas condiciones los filtros presentan un mayor rendimiento en cuanto a remoción de contaminantes
Carga Orgánica	$\leq 0,3 \text{ Kg. DBO}_5/\text{m}^2.\text{d}$	Los filtros operan mucho mejor cuando las cargas son menores, alcanzando buenos resultados
Duración de los ciclos operativos	10-12 días	En el caso de trabajar con cargas menores, este rango es bueno ampliarlo, pero solo hasta el momento en que el filtro se encuentre encharcado
Régimen de operación del sistema	Sin saturación del material	El filtro actúa de mejor manera cuando la capa de la turba se oxigena, además se logra combinar con las acciones depurativas propias del material, haciendo que el sistema sea mas eficiente
Forma de funcionamiento del filtro	Semi-continuo	El aprovechamiento de los tiempos de receso permiten accionar los mecanismos depurativos del filtro

9. BIBLIOGRAFÍA

- CENTA, ITC. Guía sobre Tratamientos de Aguas Residuales Urbanas para Pequeños Núcleos de Población (2006). 1ª edición. 84-87.
- METCALF & EDDY. Ingeniería de las Aguas Residuales, tratamiento, vertido y reutilización. 3ª edición., 1995.
- SEOANEZ CALVO, Mariano. Aguas residuales urbanas. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1995.
- CENTA. Planta Experimental de Carrión de los Céspedes. Informe 1999-2002. Egondi Artes Gráficas.
- SALAS, Juan José. Manual de Tecnologías no Convencionales para la depuración de aguas residuales. Capítulo V: Filtros de Turba. 2007.
- APHA-AWWA-WPCF. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. Ediciones Díaz de Santos, S.A. Madrid 1992.
- SALAS, Juan José; PIDRE, Juan Ramón y TERNERO, Maríta. Mejoras en el proceso de depuración de aguas residuales urbanas mediante filtros de turba. IV Simposio del Agua en Andalucía. IGME. 2005
- PROYECTO DEPURANAT. Gestión Sostenible del Agua Residual en entornos rurales Proyecto. DEPURANAT. 1ª edición. 2006. Capítulo 1.
- COLLADO LARA, Ramón. La depuración de las aguas residuales en pequeños núcleos. Situación actual, compromisos y alternativas. Dr. Ingeniero de Caminos de la Universidad de Cantabria (artículo en Internet).
- Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA). Manual de Procedimientos. Análisis de aguas
- Folletos de la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes.

- JUNTA DE ANDALUCÍA. Consejería de Obras Públicas y Transportes. Planta experimental de depuración de aguas residuales. Evolución y Experiencias. Edición II. Sevilla. 1997
- JUNTA DE ANDALUCÍA. Consejería de Obras Públicas y Transportes. Planta experimental de Carrión de los Céspedes. Nuevas experiencias. Sevilla. 1997
- SALAS, Juan José. Depuración de aguas residuales mediante Tecnologías no Convencionales. Artículo de Retema (revista técnica de medio ambiente). Año 2000.
- UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA. Facultad de Ingeniería Ambiental, Guía para la presentación de Informes finales de prácticas empresariales y sociales, Bucaramanga.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. NTC 1486 Documentación, Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación (2002, 5 Act. Rev.).
- Escuela Universitaria Politécnica de Sevilla.
<http://alojamientos.us.es/grupotar/master/indice.htm>
- SALAS, Juan José. Los sistemas naturales para la depuración de las aguas residuales urbanas: experiencias en Andalucía.
<http://tecspar.org/Documentos/workshop%20%20Terrassa/03-07-01/05-JJSalas.pdf>
- Planta Experimental de Carrión de los Céspedes.
<http://www.plantacarrion-pecc.com/>

10. ANEXOS

A. PROCEDIMIENTOS PARA EL ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DENTRO DEL LABORATORIO DE PECC

- **Sólidos Suspendidos:** El método consiste en determinar los sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio, para ello se debe pesar el filtro al inicio, previamente el filtro a de ser desecado en la estufa a 105°C durante una hora y se conserva en el desecador para proteger de la humedad, después se filtra determinado volumen en el equipo de filtración al vacío, luego se deja secar a 105°C durante 1 hora y pasado este tiempo el filtro es pesado nuevamente para así poder conocer la cantidad de material retenido por el filtro.

- **Nitrógeno Amoniacal:** Determinado por el Método del Electrodo Selectivo de Amonio, el cual usa una membrana hidrófoba permeable al gas para separar la solución de una muestra de una solución interna del electrodo de cloruro de amonio y es llevado a cabo en el laboratorio de la siguiente manera:

- 1) tomar 50 ml de muestra en un matraz de 100 ml
- 2) medir la temperatura con la misma sonda
- 3) añadir el imán y colocar el agitador magnético suavemente
- 4) añadir 2 gotas de fenolftaleina (para verificar pH 11)
- 5) introducir el electrodo en la muestra (no dejar formar burbujas)
- 6) añadir con la micropipeta 0,5 ml de NaOH 5N
- 7) cuando se estabilice la medida el aparece el valor del amonio en mg/l

- **Nitratos:** Determinados por el Método de la Brucina y para el cual se hace necesario tomar la muestra filtrada; este método se lleva a cabo por espectrofotometría de absorción molecular (técnica colorimétrica) empleando brucina como reactivo espectro-fotométrico, llevado a cabo de la siguiente manera:

- 1) en una matraz aforado de 25 ml se toman 2 ml de la muestra (NOTA: es necesario tener en cuenta que dependiendo del tipo de muestra se toma este volumen o si es necesario un menor volumen o haya que recurrir a la realización de una dilución de la misma)
- 2) prepara el blanco con agua destilada y los mismos reactivos
- 3) añadir 0,5 ml de brucina
- 4) añadir 5 ml de H₂SO₄
- 5) se mezclan y se ponen durante 10 minutos en la oscuridad
- 6) se añade agua destilada hasta el cuello del matraz
- 7) se introducen en un baño de agua en la oscuridad por 15 minutos

- 8) enrasar el matraz
- 9) medir la absorbancia a 405 nm en el espectrofotómetro

- Nitrógeno kjeldahl (NTK): Es el mismo nitrógeno orgánico pero mas el amonio; determinado por el Método Kjeldahl el cual determina el nitrógeno en estado de oxidación trivalente negativo; esta técnica es aplicada solo para Agua Residual Urbana; es necesario tomar la muestra acidificada, y consiste en:

- 1) tomar un volumen de muestra= 100ml y colocarlos en los tubos de digestión
- 2) añadir 50ml de reactivo de digestión y media cucharadilla de piedra pómez
- 3) programar el digestor a 200°C por 2:30 hrs
- 4) conectar el sistema de extracción de gases humos
- 5) aumentar la temperatura a 375°C y digerir durante 1:30 hrs
- 6) añadir a cada tubo 50 ml de agua destilada hasta diluir
- 7) dosificar 50 ml de ácido bórico en una matraz erlenmeyer y adicionar 2 o 3 gotas de indicador mixto
- 8) preparar el equipo de destilación verificando el NaOH y el agua destilada
- 9) se procede a la destilación del amonio, abrir el refrigerante y dejar que funcione durante 5 minutos
- 10) destilar el blanco digerido, colocar el tubo correspondiente, dosificar sosa, recoger el destilado sobre 50 ml de solución receptora de ácido bórico; recoger 200 ml de agua destilada aproximadamente
- 11) titular con H_2SO_4 de 0,05N hasta viraje indicador de verde a rosa

- Fósforo Total: Determinado por el Método del Ácido Ascórbico; este tipo de componente se presenta en aguas residuales en forma de fosfatos los cuales proceden de componentes para la limpieza además el fósforo es un componente esencial para el crecimiento de los organismos y en algunos casos puede convertirse en el nutriente limitador del crecimiento. El análisis incluye dos partes: a) conversión de forma fosforada en ortofosfato y b) determinación colorimétrica del ortofosfato disuelto; es necesario toma la muestra filtrada y actualmente en el laboratorio de la planta se determina por digestión con ácido sulfúrico- ácido nítrico previa a una determinación de ortofosfatos (los solubles y los generados por el tratamiento de la muestra) por el método antes mencionado; el procedimiento a seguir es el siguiente:

Conversión de la forma fosforada en ortofosfato

- 1) tomar 10 ml de la muestra en un tubo pirex
- 2) añadir 2 ml del reactivo de digestión, cerrar con un tapón el tubo
- 3) poner en la estufa a 150°C durante 2 hrs para que se produzca la digestión

4) sacar y dejar enfriar

Determinación colorimétrica del ortofosfato disuelto

5) tomar 1 ml de la muestra digerida y aforar a 100 ml

6) de la anterior dilución tomar 25 ml y determinar el contenido de Fósforo total por el método colorimétrico del ácido ascórbico en el espectrofotómetro a 890nm.

- Ortofosfatos: Determinado por el Método colorimétrico del Ácido Ascórbico en el espectrofotómetro de absorción a 890nm; esta basado en el complejo de color azul que permite la cuantificación de los fosfatos, y para ello es necesario tomar la muestra filtrada. El procedimiento a seguir es el siguiente:

1) tomar 25 ml de la muestra filtrada y verterlo en un vaso de precipitado limpio de 50 ml

2) añadir una gota de indicador de fenoltaleína (si aparece color rojo añadir H_2SO_4 5N gota a gota hasta que desaparezca)

3) añadir 4 ml de reactivo combinado (es necesario ver el manual de procedimientos de laboratorio para saber la cantidad de componente que lleva, ya que éste dependiendo de la cantidad a añadir es elaborado)

4) esperar 15 minutos a que tenga lugar la reacción (debe tomar un color azul la solución)

5) medir la absorbancia por espectrofotómetro a 890 nm

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): Se refiere al contenido de oxígeno en mg/l consumida por los microorganismos aerobios presentes en el agua, necesario para realizar la oxidación biológica de las materias orgánicas biodegradables presentes en el agua a analizar. Se aplica para determinar las cargas de las aguas en las instalaciones de tratamiento y a su vez para evaluar la eficacia de la extracción de la DBO. Esta prueba suele medir el oxígeno utilizado durante un periodo de incubación específico, en este caso de 5 días ya que es en este tiempo cuando se valora el 70% de materia consumida, además para esta prueba es necesario diluir las muestras para equilibrar la demanda y suministro de oxígeno.

El método consiste en llenar con la muestra el winkler hasta rebosar y se pasa a incubarlo a 20°C por cinco días, midiendo el oxígeno disuelto antes y después de la incubación, eso sí, teniendo en cuenta las condiciones iniciales y finales de temperatura y presión atmosférica.

- Demanda Química de Oxígeno (DQO): Hace referencia a la medida de oxígeno equivalente del contenido de materia orgánica de una muestra susceptible de oxidación por un oxidante químico fuerte, que en este caso es el dicromato de potasio en ácido sulfúrico y tomando el sulfato de plata como catalizador. El Método se realiza mediante digestión de la muestra en tubo cerrado.

El procedimiento es el siguiente:

- 1) tomar 5 ml de la muestra (depende también de los dato obtenidos), verter en un tubo pirex (tubo de digestión)
- 2) añadir 3 ml de solución de dicromato
- 3) añadir 7 ml de reactivo de ácido sulfúrico, cerrar con tapón
- 4) colocar los tubos en el digestor precalentado a 150°C y someterlos a esta temperatura durante 2 horas
- 5) dejar enfriar a temperatura ambiente
- 6) quitar el tapón y añadir un ratón y dos gotas de indicador de ferroina
- 7) valorar con una disolución SAF previamente titulada y sobre un agitador
- 8) para dar por finalizada la valoración ocurre un cambio de color azul verdoso a marrón rojizo

- Humedad: El procedimiento consiste en:

- 1) dejar secar 24 horas la capsula en la estufa a 105°
- 2) pesar la capsula
- 3) agregar aproximadamente 5 gramos de costra retirada de la turba
- 4) tomar el valor del peso y registrarlo
- 5) poner durante la capsula con la costra durante 1 hora en la mufla a 500°
- 6) dejar enfriar y pesar

B. DATOS OBTENIDOS EN EL ANÁLISIS DE NUTRIENTES DEL ENSAYO 1

Tabla 28. Datos obtenidos en el análisis de nutrientes del ensayo 1

Nº de turba	Amonio	Fosfatos	Fósforo Total	Nitratos	NTK
4	12,1	3,65	5,8	13,78	13
4	13,2	3,9	4,4	12,3	15
4	12,4	3,52	4,3	10,57	17
4	14	4,14	5,2	3,11	27
4	18,6	3,76	4	<1,13	20
4	14,5	5,16	6,6	<1,13	31
4	21,2	7,83	8,1	<1,13	41
4	30,1	5,53	8	<1,13	39
4	22,4	6,47	8,1	2,52	37
4	20,75	5,58	6,7	1,91	32
4	22,5	7,08	8,92	<1,13	27,5
4	15,6	8,06	10,24	<1,13	38
4	13,7	8,35	10,11	<1,13	29
4	23,4	9,43	11,2	<1,13	39

NOTA: los valores se encuentran dados en mg/l.

C. DATOS OBTENIDOS EN EL ANÁLISIS DE NUTRIENTES DEL ENSAYO 2

Tabla 29. Datos obtenidos en el análisis de nutrientes del ensayo 2

Nº de turba	Amonio	Fosfatos	Fósforo Total	Nitratos	NTK
3	10	4,3	5,7	23,3	15
3	14,1	5,51	6,7	14,4	20
3	14,9	6,52	7,3	19,5	20
3	16,5	8,28	8,5	10,3	20
3	15,5	7,46	8,2	11,7	20,5
3	22	10,2	12,1	0	27
3	23,4	11,54	13	1,4	32
3	24,1	12,2	12,9	0	
3	23,1	13,6	15,6	0	32,9
3	23,9	15,6	17,6	0	32,2
3	25,6	16,3	18,6	0	35
3	26,1	16,4	18	0	35
3	26,2	15,7	17,9	0	33,6
3	19,9	9	9,8	15,3	27,3
3	17,5	10,1	10,7	1,3	25,9
3	14,4	8,3	9	23,6	21,7

NOTA: los valores se encuentran dados en mg/l.

D. DATOS OBTENIDOS EN EL ANÁLISIS DE NUTRIENTES DEL ENSAYO 3

Tabla 30. Datos obtenidos en el análisis de nutrientes del ensayo 3

Nº de turba	Amonio	Fosfatos	Fósforo Total	Nitratos	NTK
1	9,65	4,7	6,01	46,05	13,3
1	25,4	10	10,84	0	34
1	30,3	15,28	16,55	0	38
1	34,2	18,145	22,34	0	40
1	35		26,89	0	41
1	29,3	23,55	31,02	0	39,9
1	28,3	25,12	33,19	0	42
1	28,3	25,12	33,19	0	42
1	28,3	25,12	33,19	0	42
1	28,3	25,12	33,19	0	42
1	28,3	25,12	33,19	0	42
1	28,3	25,12	33,19	0	42
1	28,3	25,12	33,19	0	42

NOTA: los valores se encuentran dados en mg/l.

E. CERTIFICACIÓN DEL LABORATORIO PECC



CENIA
CENTRO DE
LAS NUEVAS
TECNOLOGÍAS
DEL AGUA



planta experimental de
carrión de los céspedes

Dña. Luciana Sánchez Fernández, con D.N.I.52.251.301Q, como Responsable Técnico de Laboratorio de la entidad **CENTRO DE INVESTIGACIÓN FOMENTO Y APLICACIÓN DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS DEL AGUA (CENIA)**, dedicada a la actividad de "Investigación, Fomento y Aplicación de las Nuevas Tecnologías del Agua", con domicilio en Av. Américo Vespucio, 5 Edif. Cartuja, Bl. A Pl. 2 Mod. 10, Isla de la Cartuja de Sevilla,

CERTIFICA:

Que Dña. **Martha Liliana Porras Marín** ha realizado la toma y análisis de las muestras recogidas en los Filtros de Turba, durante el periodo de prácticas realizado en la **PLANTA EXPERIMENTAL DE CARRIÓN DE LOS CÉSPEDES (SEVILLA)**, para el Proyecto "**Mejoras en el comportamiento de los Filtros de Turba de la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes**" desde el 12 de marzo de 2007 hasta el 30 de septiembre de 2007. Dichas actividades se enmarcan dentro del Convenio Específico de Cooperación Educativa entre el CENIA y la Universidad de Politécnica de Valencia para la realización de prácticas formativas, en cumplimiento del protocolo de seguimiento del proyecto.

Y para que así conste y surta los efectos oportunos ante quien corresponda, se extiende el presente certificado en Sevilla, a 30 de septiembre de 2007.



Fdo.: Luciana Sánchez Fernández

CENTRO DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS DEL AGUA (CENIA)
Av. Américo Vespucio, 5 Edif. Cartuja, Bl. A Pl. 2 Mod. 10, Isla de la Cartuja de Sevilla 41092 - Sevilla
Tlf.: 95.446.02.51 Fax: 95.446.12.52 E-mail: cenia@cenia.org.es
Web: www.plantacarrior-pecc.com