

**TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE POR FILTRACIÓN LENTA Y
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR HUMEDAL CONSTRUIDO
SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL EN LA GRANJA MARÍA
AUXILIADORA**

**DIEGO ALEJANDRO FLOREZ GUERRERO
SANDRA MILENA LOZADA CERÓN**



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
INGENIERÍA AMBIENTA
POPAYÁN
2015**

**TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE POR FILTRACIÓN LENTA Y
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR HUMEDAL CONSTRUIDO
SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL EN LA GRANJA MARÍA
AUXILIADORA**

**DIEGO ALEJANDRO FLOREZ GUERRERO
SANDRA MILENA LOZADA CERÓN**

**Informe final de trabajo de grado, modalidad pasantía, trabajo social e
investigación, presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Ambiental**

**Director
Doctor Juan Carlos Casas
Ingeniero Napoleón Zambrano**



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN
2015**

Nota de Aceptación

Director: _____
PhD. Juan Carlos Casas Zapata

Jurado _____

Jurado _____

Popayán, agosto de 2015

DEDICATORIA

Principalmente a mi madre Argenis Guerrero no solo por darme la vida, sino también la oportunidad la fuerza y el apoyo más que necesario para alcanzar esta meta y aun mucho más.

A mi Madrina Nieves Pérez por su amor, apoyo y comprensión, por haber estado ahí en todo momento en el que necesite su apoyo tanto económico como moral.

A mi padre Osher Florez por nunca olvidarse de mí y ayudarme siempre sin ninguna duda, y confiar en mí.

A las Hermanas Salesianas no solo por confiar en nosotros sino por colaborarnos en todo momento en el desarrollo de este proyecto.

A cada miembro de mi familia que siempre estuvieron con migo en cada momento del desarrollo de toda mi carrera y de su colaboración moral y su fuerza prestada para alcanzar mis metas.

Diego Alejandro Florez

A Dios, por inspirar mi espíritu y brindarme su protección, por darme la oportunidad de vivir, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres Marco Abel Lozada y Gloria Amilvia Cerón (Q.E.P.D), por haber sido un gran ejemplo a seguir, por brindarme su amor y su apoyo siempre que estuvieron a mi lado y por ser el pilar fundamental en toda mi educación, como en la vida.

A mis hermanos José Mauricio Lozada y David Eduardo Lozada, por creer en mí en todo momento y por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

Y finalmente a mis amigos y compañeros, con quienes compartí valiosos momentos a lo largo de mi carrera universitaria.

Sandra Milena Lozada

AGRADECIMIENTOS

La realización de esta tesis solo fue posible gracias a una gran cantidad de personas que nos prestaron su ayuda y a todos ellos gracias por hacer esto posible.

Primero que todo nos gustaría agradecerle al Ingeniero Juan Carlos Casas por compartir todas sus experiencias y conocimientos, al igual que todas sus críticas constructivas que nos permitieron alcanzar este logro tan importante en nuestras vidas.

En segundo lugar, nos gustaría expresar nuestra profunda gratitud al Ingeniero Napoleón Zambrano quien nos colaboró y compartió muchas de sus experiencias en los diferentes campos del trabajo, que nos permitieron alcanzar este logro tan importante.

Nos gustaría expresar nuestra profunda gratitud al Químico Cuervo, quien nos compartió un espacio en su laboratorio de aguas. Nosotros no hubiéramos sido capaces de llevar a cabo nuestra investigación si no fuera por su amabilidad.

También nos gustaría dar las gracias a Yenifer Usuriaga por todo su apoyo académico y moral que siempre estaba dispuesta a proporcionar.

También nos gustaría expresar nuestra gratitud al Ingeniero Fernández quien ha sido de gran ayuda, y nos prestó su ayuda además de mostrar interés en nuestro trabajo cuando lo necesitamos.

Agradecemos especialmente a la Laboratorista Claudia por compartir sus equipos y conocimiento para la elaboración de la prueba de fosfatos, y ayudarnos en todo lo necesario para llevar de forma correcta esta prueba.

Agradecemos profundamente a la institución de la Hermanas Salesianas por financiar este proyecto: Tratamiento de Aguas Residuales por Humedales y Tratamiento de Agua Potable por Filtración Lenta en Múltiples Etapas; y hacer todo esto posible.

Finalmente, nos gustaría expresar nuestra gratitud al Sena por prestarnos y ofrecernos sus instalaciones para realizar las pruebas cuando las instalaciones de la Universidad del Cauca no se encontraban en funcionamiento.

De último pero no menos, Nos gustaría agradecer a nuestra familia, por todo el amor y soporte moral, esperamos muy en lo profundo que se encuentren orgullosos de nosotros y hayamos alcanzado todo lo que ustedes querían para nosotros.

INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

TITULO	TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR HUMEDALES Y TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE POR FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES ETAPAS
ESTUDIANTE	Diego Alejandro Florez G. Sandra Milena Lozada C.
DIRECTOR UNIVERSIDAD DEL CAUCA	PhD. Juan Carlos Casas Zapata
CODIRECTOR UNIVERSIDAD DEL CAUCA	Msc. Napoleón Zambrano
LUGAR DE EJECUCIÓN	Granja María Auxiliadora, Vereda la Honda
DURACIÓN DEL PROYECTO	Ocho (8) meses
FINALIZACIÓN	
TIPO DE PROYECTO	Pasantía, trabajo social y trabajo investigativo
FINANCIAMIENTO	Comunidad Hermanas Salesianas Universidad del Cauca

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	16
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
JUSTIFICACIÓN.....	20
OBJETIVOS.....	21
Objetivo General:	21
Objetivos específicos:	21
MARCO TEÓRICO	22
FILTRACIÓN.....	22
FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES ETAPAS (FIME)	22
FILTRACIÓN GRUESA ASCENDENTE	22
Filtración Gruesa Ascendente en serie (FGAS).....	22
FILTROS LENTOS.....	22
Criterios de diseño.....	23
Criterios de diseño filtro domiciliario	24
EFICIENCIA DE PURIFICACIÓN DE AGUA FILTROS LENTOS	24
MECANISMOS DE PURIFICACIÓN	26
Mecanismos de eliminación biológica.....	26
Mecanismos de eliminación física	27
HUMEDAL CONSTRUIDO.....	28
CARACTERÍSTICAS DE LOS HUMEDALES	28
HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL.....	29
COMPONENTES DE UN HUMEDAL.....	30
Macrófitas	30
Microorganismos	31
Porosidad y conductividad hidráulica.....	31
CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE UN HUMEDAL.....	32
Topografía	32
Suelo	32
Selección de la especie vegetal.....	32
MECANISMOS DE REMOCIÓN	32
Materia en suspensión.....	32

METODOLOGÍA	36
CÁLCULOS Y DIMENSIONAMIENTO DEL LA FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES ETAPAS (FIME)	36
Filtración lenta en múltiples etapas.....	36
Componentes principales y dimensiones del sistema de abastecimiento de agua.....	37
DISEÑO FILTRO LENTO DE ARENA	38
Limpieza y mantenimiento	40
REDISEÑO DEL HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL Y TRATAMIENTO PRIMARIO	41
Rediseño del humedal subsuperficial de flujo horizontal	41
Capacidad del tanque séptico como tratamiento primario	42
CONSTRUCCIÓN	43
CONSTRUCCIÓN DEL FILTRO EN MÚLTIPLES ETAPAS	43
IMPLEMENTACIÓN DEL TANQUE SÉPTICO Y EL HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL.....	44
EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO	46
Descripción del muestreo	46
Recolección y movilización de las muestras.....	46
Metodología utilizada en la determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos	47
Nitratos (NO ₃).....	48
Demanda química de oxígeno (DQO).....	48
Fosfatos (PO ₄)	48
PRESUPUESTO INVERTIDO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	49
EVALUACIÓN DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN Y VIABILIDAD ECONÓMICA (FIME)	49
RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	51
RESULTADOS Y ANÁLISIS PARA HUMEDAL	51
TEMPERATURA.....	51
pH.....	51
TURBIEDAD	52
COLOR.....	53
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)	54

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	56
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO).....	57
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	58
NITRÓGENO	59
FÓSFORO.....	61
COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DQO y DBO EN EL HUMEDAL CONSTRUÍDO EN EL AÑO 2002 Y EL HUMEDAL CONSTRUÍDO EN EL AÑO 2014.....	63
FILTRO LENTO.....	64
TEMPERATURA.....	64
pH.....	64
TURBIEDAD.....	66
CONDUCTIVIDAD.....	66
COLOR.....	68
SST SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES.....	69
DQO	70
NITRATOS.....	71
FOSFATOS	72
COLIFORMES FECALES.....	74
COLIFORMES TOTALES.....	74
FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES ETAPAS A NIVEL DOMICILIARIO COMPARANDO CON DIFERENTES EXPERIENCIAS EN FILTRACIÓN.....	75
CONCLUSIONES	78
RECOMENDACIONES.....	81
BIBLIOGRAFÍA.....	83
ANEXO 1	89
ANEXO 2	99
ANEXO 3	114
ANEXO 4	120
Humedal subsuperficial de flujo horizontal	123
FILTRACIÓN LENTA EN MÚLTIPLES ETAPAS (FIME).....	126
ANEXO 5	129

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 CRITERIOS DE DISEÑO Y OPERACIÓN DE LOS FILTROS LENTOS Y RÁPIDOS	25
TABLA 2 CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DEL MEDIO DE HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL.....	31
TABLA 3 CONSUMO PROMEDIO MENSUAL POR SUScriptor MUNICIPIOS TEMPLADOS.....	37
TABLA 4 CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO PARA FILTROS LENTOS DE ARENA QUE ABASTECERÁN ZONAS RURALES.....	39
TABLA 5 COSTOS TOTALES DEL (FIME) A NIVEL DOMICILIARIO	49
TABLA 6 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA TEMPERATURA FIME.....	64
TABLA 7 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA PH FIME.....	65
TABLA 8 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA TURBIEDAD FIME	66
TABLA 9 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA CONDUCTIVIDAD FIME	67
TABLA 10 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA COLOR FIME	68
TABLA 11 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES FIME	69
TABLA 12 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DQO FIME.....	71
TABLA 13 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA NITRATOS FIME.....	71
TABLA 14 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA FOSFATOS FIME.....	72
TABLA 15 RESULTADO DE COLIFORMES FECALES Y NORMATIVIDAD VIGENTE FIME.....	74
TABLA 16 RESULTADOS DE COLIFORMES TOTALES Y NORMATIVIDAD VIGENTE FIME.....	75
TABLA 17 CONFRONTACIÓN DE TURBIEDAD CON DIFERENTES EXPERIENCIAS	76
TABLA 18 CONFRONTACIÓN EN DIFERENTES SISTEMAS DE FILTRACIÓN DE E.COLI	76
TABLA A1. 1. AFORO DE CAUDAL PARA EL HUMEDAL	90
TABLA A1. 2. TEMPERATURA EN EL HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL	90
TABLA A1. 3. PH EN EL HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL	91
TABLA A1. 4. PORCENTAJE DE REMOCIÓN PARA TURBIEDAD EN EL HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL	91
TABLA A1. 5. PORCENTAJE DE REMOCIÓN PARA COLOR EN EL HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL.....	92
TABLA A1. 6. PORCENTAJE DE REMOCIÓN PARA SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST) EN EL HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL.....	92
TABLA A1. 7. PORCENTAJE DE REMOCIÓN PARA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN EL HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL...	93
TABLA A1. 8. PORCENTAJE DE REMOCIÓN PARA DQO EN EL HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL.....	93

TABLA A1. 9. PORCENTAJE DE REMOCIÓN PARA NITRATOS EN EL HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL	94
TABLA A1. 10. PORCENTAJE DE REMOCIÓN PARA FOSFATOS EN EL HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL	94
TABLA A1. 11. TEMPERATURAS EN LABORATORIO FIME.....	95
TABLA A1. 12 RESULTADOS DE PH FIME	95
TABLA A1. 13 RESULTADOS DE TURBIEDAD Y PORCENTAJE DE REMOCIÓN FIME.....	96
TABLA A1. 14. RESULTADOS DE CONDUCTIVIDAD FIME.....	96
TABLA A1. 15. RESULTADOS OBTENIDOS DE COLOR FIME.....	96
TABLA A1. 16. RESULTADOS PARA SST FIME.....	97
TABLA A1. 17. RESULTADOS DE DQO FIME	97
TABLA A1. 18. RESULTADOS DE NITRATOS FIME	98
TABLA A1. 19 RESULTADOS DE FOSFATOS FIME	98
TABLA A2. 1. REPORTE DE RESULTADOS CRC 12 DE NOVIEMBRE DE 2014.....	100
TABLA A2. 2. REPORTE DE RESULTADOS CRC 27 DE NOVIEMBRE DE 2014	101
TABLA A2. 3. REPORTE DE RESULTADOS CRC 5 DE DICIEMBRE DE 2014	102
TABLA A2. 4. REPORTE DE RESULTADOS CRC 22 DE DICIEMBRE DE 2014.....	103
TABLA A2. 5. REPORTE DE RESULTADOS PAGINA N°1, GEM 30 DE ENERO DE 2015.....	104
TABLA A2. 6. REPORTE DE RESULTADOS PAGINA N°2, GEM 30 DE ENERO DE 2015.....	105
TABLA A2. 7. REPORTE DE RESULTADOS PAGINA N°3, GEM 30 DE ENERO DE 2015.....	106
TABLA A2. 8. REPORTE DE RESULTADOS PAGINA N°4, GEM 30 DE ENERO DE 2015.....	107
TABLA A2. 9. REPORTE DE RESULTADOS PAGINA N°5, GEM 30 DE ENERO DE 2015.....	108
TABLA A2. 10. REPORTE DE RESULTADOS GDCON PAGINA N°1, 18 DE FEBRERO DE 2015.....	109
TABLA A2. 11. REPORTE DE RESULTADOS GDCON PAGINA N°2, 18 DE FEBRERO DE 2015.....	110
TABLA A2. 12. REPORTE DE RESULTADOS INNOVAGEN 20 DE AGOSTO DE 2014.....	111
TABLA A2. 13. REPORTE DE RESULTADOS INNOVAGEN 18 DE FEBRERO DE 2015.....	112
TABLA A2. 14 REPORTE DE RESULTADOS DE DBO EN LA CRC	113
TABLA A3. 1. PORCENTAJES DE REMOCIÓN CON UN 95% DE CONFIABILIDAD ESTADÍSTICA DE LOS PARÁMETROS MEDIDOS EN EL HUMEDAL	115
TABLA A3. 2. ESTADISTICA DESCRIPTIVA PARA TEMPERATURA EN EL HUMEDAL	115
TABLA A3. 3. ESTADISTICA DESCRIPTIVA PARA PH EN EL HUMEDAL	115

TABLA A3. 4. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA PARA TURBIEDAD EN EL HUMEDAL	116
TABLA A3. 5. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA PARA COLOR EN EL HUMEDAL	116
TABLA A3. 6. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA PARA SST EN EL HUMEDAL	116
TABLA A3. 7. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA PARA CONDUCTIVIDAD EN EL HUMEDAL	116
TABLA A3. 8. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA PARA DQO EN EL HUMEDAL	116
TABLA A3. 9. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA PARA FOSFATOS EN EL HUMEDAL	117
TABLA A3. 10. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA PARA NITRATOS EN EL HUMEDAL	117
TABLA A3. 11. DIFERENCIA ENTRE LOS PORCENTAJES DE REMOCIÓN DE DQO EN LOS HUMEDALES	118
TABLA A3. 12. PRUEBA DE NORMALIDAD DE SHAPIRO WILK	118
TABLA A3. 13. PRUEBA T PARA MUESTRAS PAREADAS	118
TABLA A3. 14. PORCENTAJES DE REMOCIÓN DE DBO EN LOS HUMEDALES	119
TABLA A3. 15. PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE DBO CON UN 95% DE CONFIABILIDAD ESTADÍSTICA PARA EL HUMEDAL CONSTRUIDO EN EL AÑO 2002	119

LISTA DE ILUSTRACIONES

GRÁFICA 1 BOX-PLOT PARA PH, HUMEDAL.....	52
GRÁFICA 2 BOX-PLOT PARA TURBIEDAD, HUMEDAL	53
GRÁFICA 3 BOX-PLOT PARA COLOR, HUMEDAL	54
GRÁFICA 4 BOX-PLOT PARA SST, HUMEDAL.....	55
GRÁFICA 5 BOX.PLOT PARA CONDUCTIVIDAD, HUMEDAL	57
GRÁFICA 6 BOX-PLOT PARA DQO, HUMEDAL.....	58
GRÁFICA 7 COMPORTAMIENTO DE NITRATOS, HUMEDAL	60
GRÁFICA 8 COMPORTAMIENTO DE FOSFATOS, HUMEDAL.....	61
GRÁFICA 9 DIAGRAMA BOX-PLOT PARA PH FIME.....	65
GRÁFICA 10 DIAGRAMA BOX-PLOT PARA TURBIEDAD FIME	66
GRÁFICA 11 COMPORTAMIENTO DE LA CONDUCTIVIDAD A TRAVES DEL TIEMPO FIME.....	67
GRÁFICA 12 DIAGRAMA BOX PLOT PARA COLOR VERDADERO FIME	69
GRÁFICA 13 DIAGRAMA DE BOX PLOT PARA SST FIME	70
GRÁFICA 14 BOX PLOT NITRATOS FIME	72
GRÁFICA 15 BOX PLOT FOSFATOS FIME	73

LISTA DE FOTOGRAFÍA

FOTOGRAFÍA A4. 1. LUGAR DE TRABAJO	121
FOTOGRAFÍA A4. 2. VISITAS A LA COMUNIDAD.....	121
FOTOGRAFÍA A4. 3. TRABAJO CON LA COMUNIDAD	122
FOTOGRAFÍA A4. 4. TANQUE SÉPTICO.....	123
FOTOGRAFÍA A4. 5. EXCAVACIÓN DEL HUMEDAL	123
FOTOGRAFÍA A4. 6. IMPERMEABILIZACIÓN Y LLENADO CON GRAVA.....	124
FOTOGRAFÍA A4. 7. SELECCIÓN DE LAS MACRÓFITAS	124
FOTOGRAFÍA A4. 8. PLANTACIÓN CON HELICONIA	125
FOTOGRAFÍA A4. 9. LUGAR SELECCIONADO PARA EL FIME.....	126
FOTOGRAFÍA A4. 10. RECUPERACIÓN DEL TANQUE PARA FILTRACIÓN LENTA	126
FOTOGRAFÍA A4. 11. ADAPTACIÓN DEL TANQUE PARA FILTRACIÓN LENTA.....	127
FOTOGRAFÍA A4. 12. ELABORACIÓN DE LOS TAMICES	127
FOTOGRAFÍA A4. 13. TAMIZADO DE LA GRAVA	128
FOTOGRAFÍA A4. 14. FOTO DE ALTURA DEL SISTEMA FIME	128
FIGURA A.5. 1. FILTRO DINÁMICO 1	130
FIGURA A.5. 2. FILTRO DINÁMICO ASCENDENTE 2.....	130
FIGURA A.5. 3. FILTRO LENTO DE ARENA DE PUERTO TEJADA.....	131
FIGURA A.5. 4. HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL CORTE B-B	131
FIGURA A.5. 5. HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL. CORTE C-C.....	132

LISTA DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1 DEMANDA PROMEDIO PARA POPAYÁN.....	36
ECUACIÓN 2 CAUDAL TEÓRICO PRODUCIDO POR EL FIME.....	36
ECUACIÓN 3 ÁREA DE FILTRACIÓN POR HABITANTE RECOMENDADA	38
ECUACIÓN 4 ÁREA DE UN CIRCULO	39
ECUACIÓN 5. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL PARA EL HUMEDAL	41
ECUACIÓN 6 VOLUMEN ÚTIL DEL TANQUE SÉPTICO	42
ECUACIÓN 7 DETERMINACIÓN DE SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	47

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de agua potable se ha hecho indispensable a partir de las diferentes experiencias que ha tenido la humanidad y de esta misma forma es que gracias a los filtros lentos se observó la necesidad del tratamiento de agua para consumo. La filtración lenta fue desarrollado por primera vez como un sistema de purificación de agua potable; uno de los usos más tempranos grabados de filtración de arena lenta ayudó a evitar un brote de cólera en la ciudad de Altona usando el sistema de un filtro de arena lento para purificar el agua potable Lee y Oki, 2013 citando a (Huisman y Wood, 1974)

Muchas comunidades y países subdesarrollados no han podido adquirir los diferentes tratamientos de agua potable. En el presente siglo 21, se estima que 1,1 mil millones de personas en el mundo todavía no tienen acceso a agua potable segura. Un gran porcentaje de estas personas son de países en desarrollo, especialmente en las zonas rurales y en comunidades de bajos ingresos Mwabi et al., 2011 citando a (OMS / UNICEF, 2006 y de la OMS, 2007). Pero no es debido a la falta de tecnología si no debido al desconocimiento de unos estándares de vida digna en la población rural, «El aprovechamiento y la gestión del agua debe inspirarse en un planteamiento basado en la participación de los usuarios, los planificadores y los responsables de las decisiones a todos los niveles» (UNESCO, 2003)

La Organización Mundial de la Salud recomienda el tratamiento doméstico del agua de punto de uso (POU) como una intervención para abordar la necesidad, a partir de tecnologías apropiadas de bajo costo Jenkins et al., 2011 citando a (Sobsey, 2002 y OMS, 2007). Los nuevos enfoques que se están examinando continuamente necesitan ser durables, más bajos en coste global y más eficaz en la eliminación de los contaminantes. (Mwabi, et al., 2011)

Por otra parte, la investigación sobre las aguas residuales es cada vez más amplia al igual que los estudios con relación a la salud humana y los efectos ambientales que éstas producen. Las aguas residuales de los municipios y comunidades no deben ser vistas como un desecho si no como un recurso reutilizable, debido a que en muchas zonas hay una gran demanda por el agua dulce y la oferta es escasa para suplir esta necesidad, de ahí la importancia de tratar dichas aguas. (Metcalf y Eddy, 1991).

Los humedales artificiales son construidos para obtener muchos de los procesos físicos, químicos y ecológicos que se dan en los humedales naturales, con la diferencia de que estos se hacen en un ambiente más controlado por el hombre con el propósito de obtener una buena eficiencia de remoción de contaminantes en las aguas residuales. Son sistemas ingenieriles que son diseñados con el

propósito de utilizar los procesos naturales que involucran la vegetación de los humedales, los suelos y los microorganismos presentes para ayudar en el tratamiento de las aguas residuales (Vymazal, 2010). Este sistema es utilizado como tratamiento secundario o terciario de las aguas residuales, posterior a un tanque séptico, un sedimentador o una tecnología convencional como etapa primaria. (Peña et al, 2003).

Con el presente trabajo se propone rediseñar, dar inicio y evaluar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de un humedal construido subsuperficial de flujo horizontal ubicado en la granja María Auxiliadora, y al mismo tiempo diseñar un sistema de tratamiento de agua potable conocido como filtración en múltiples etapas (FIME), con el fin de lograr el mayor impacto y reducir las diferentes causas, de posibles enfermedades debido a deficientes condiciones sanitarias.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las pequeñas comunidades se enfrentan a la mayor dificultad en la recepción de agua de una calidad y cantidad adecuada porque carecen de los gestores de agua con experiencia para mantener y mejorar sus instalaciones de suministro de agua (Mwabi et al., 2011). Las interrupciones en los servicios de agua debido a un manejo inadecuado, así como violaciones de las normas de agua potable están obligando a los consumidores a estar en riesgo de enfermedades transmitidas por el agua, incluso de los suministros de agua tratada Mwabi et al., 2011 citando a (Mackintosh y Colvin, 2003 , Momba et al., 2005 y Momba et al ., 2006).

Los patógenos bacterianos en el agua tienden a causar infecciones gastrointestinales como la diarrea, la disentería, la fiebre tifoidea y la shigelosis enteritis humana Mwabi et al., 2011 citando a (Okoh et al., 2007 , Leonard et al., 2003 y Venter, 2000). La causa más común de las enfermedades y muertes en el mundo en desarrollo es una diarrea acuosa llamada cólera Mwabi et al., 2011 citando a (Clasen et al., 2006) causada por un patógeno bacteriano clasificado como *Vibrio Cholerae* Mwabi et al., 2011 citando a (Shultz et al., 2009).

Aunque diversos sistemas y dispositivos se han informado ampliamente en la literatura, poco se sabe a nivel local sobre las opciones existentes y la forma de ayudar a las comunidades locales en la toma de decisiones informadas sobre si un sistema o unidad particular serán adecuados a su situación, o que la unidad debe ser seleccionado. Por lo tanto, existe una necesidad a la fuente e investigar unidades apropiadas y para determinar su eficacia en la eliminación de contaminantes en las condiciones locales, así como su potencial de sostenibilidad, y para proporcionar alguna orientación sobre la selección y uso de estas unidades en las condiciones locales (Mwabi et al., 2011).

Los nitratos se acumulan en la corriente de la sangre y el resultado en la metahemoglobinemia, de los cuales un síntoma visible es un azulado de la piel. Las altas concentraciones de fosfato pueden causar problemas de salud tales como daño renal y osteoporosis Mwabi et al., 2011 citando a (Rose et al., 1996).

En la granja María Auxiliadora ubicada en la vereda La Honda posee suministro de agua no potable por un acueducto conocido como “antiguo acueducto”, pero debido a la falta de tratamiento, el agua no es apta para el consumo humano caso que ya se ha visto reflejado en las diferentes enfermedades generadas en los animales que se tienen en el lugar en cuestión que obligo con anterioridad a realizar un tratamiento mínimo para el adecuado consumo de los animales, ya que es una comunidad sin ánimo de lucro de la cual se encargan las hijas de María Auxiliadora, usado principalmente para realizar retiros espirituales y la cosecha de alimentos para la comunidad en cuestión.

En países en vía de desarrollo que no cuentan en sus zonas rurales, industriales y urbanas con sistemas de depuración de aguas residuales y por consiguiente vierten sus residuos a cuerpos receptores de agua, deben buscar soluciones para resolver el problema de abastecimiento de agua potable. Los humedales artificiales se convierten por tanto en una solución viable cuando de depuración de aguas residuales se trata, dado las grandes ventajas sobre los sistemas convencionales sobre todo en países en vía de desarrollo ya que por ser un sistema natural sus costos de construcción y mantenimiento son bajos (EPA, 2000).

García (2010, pag 13) citando a guerrero (2007) comenta que uno de los principales problemas de salud en los países en desarrollo y particularmente en Colombia son las enfermedades transmitidas por patógenos presentes en el agua, debido a que en la mayoría de los casos no hay un adecuado tratamiento a las aguas residuales. En el caso de Colombia, la remoción de patógenos es obligatoria para los vertimientos que puedan afectar los posibles usos del agua río abajo y así evitar posibles impactos al ambiente.

Los primeros intentos de llevar a cabo estos sistemas naturales de tratamiento fracasaron principalmente a que se utilizaba como material granular el mismo suelo en el que se realizaba la obra y esto ocasionaba la colmatación de los humedales. Posteriormente se comprendió que si no había una conductividad hidráulica adecuada y constante el suelo no funcionaría como sustrato en estos sistemas, por tal razón se comenzó a utilizar grava como material de soporte y esto dio lugar a la construcción de muchos humedales. (Cole, 1998)

La obstrucción de los humedales es un proceso muy complejo, pero poco conocido. La acumulación de la materia orgánica fue descrito como el principal problema que contribuye a la obstrucción del humedal, por tal motivo es importante un buen diseño ingenieril (Tanner et al, 1998).

Cabe señalar que en la granja María Auxiliadora operaba un humedal subsuperficial de flujo horizontal desde el año 2002 diseñado para una población de 30 habitantes, el cual estuvo en funcionamiento aproximadamente diez años. Posteriormente el sistema presentó problemas de colmatación que conllevaron a su cierre, lo que implicó utilizar un tanque séptico como solución temporal, de acuerdo a lo anterior se rediseñó el humedal para garantizar un manejo adecuado de las aguas residuales domesticas provenientes de la granja.

JUSTIFICACIÓN

En el marco de los Objetivos del Milenio, Colombia se comprometió a reducir la mortalidad en los niños menores de cinco años 37-17 muertes por cada 1.000 nacidos vivos. (Granados y Sánchez, 2014)

La Organización Mundial de la Salud estima que 1,8 millones de personas mueren cada año por enfermedades relacionadas con una inadecuada provisión de agua y saneamiento; 90% de ellos son niños menores de cinco Granados y Sánchez, 2014 citando a (OMS, 2004).

El acceso a agua potable e instalaciones de saneamiento básico está fuertemente relacionada con la prevención de enfermedades gastrointestinales en niños y adultos Granados y Sánchez, 2014 citando a (Esrey, potasa, Roberts, y Shiff, 1991).

Si el abastecimiento de agua y el saneamiento básico fueran ampliados a aquéllos que hasta el día de hoy no conocen esos servicios, se estima que la carga de las diarreas infecciosas se reduciría en un 17% anual (UNESCO, 2003).

Los países deben buscar soluciones tecnológicas sencillas para la desinfección del agua en el área rural, compatibles con los recursos económicos y grado de desarrollo de la comunidad (Vargas, n.d.).

La tecnología más apropiada dependerá de la situación, la calidad del agua cruda, la disponibilidad de los materiales y equipos necesarios, el marco temporal en el que se va a utilizar, las costumbres, las preferencias y niveles de educación de la población local y la disponibilidad de personal para proporcionar la formación y el seguimiento necesario para la tecnología que se aplica con éxito (Mwabi et al., 2011).

En la mayoría de los países latinoamericanos, los volúmenes de aguas residuales tratadas apropiadamente son sumamente bajos comparados con el total de aguas residuales domésticas generadas. Esta situación ha provocado que la población enfrente graves problemas ambientales y afecciones de la salud vinculadas con aguas contaminadas, como la ingestión de alimentos contaminados por la irrigación de cultivos agrícolas con aguas residuales sin tratamiento (Platzer et al, 2002)

Para la construcción de los humedales es importante tener en cuenta diferentes aspectos biológicos, químicos e hidráulicos, asegurando con estos parámetros una influencia sobre la calidad del agua a tratar (Arias y Brix, 2003).

OBJETIVOS

Objetivo General:

Evaluar los sistemas de filtro lento como unidad potabilizadora de agua para uso domiciliario y Humedal construido de flujo subsuperficial horizontal para tratar aguas residuales en la granja María Auxiliadora ubicada en la vereda la Honda del Municipio de Timbío, Cauca.

Objetivos específicos:

- I. Determinar las dimensiones para un diseño adecuado y eficiente del filtro lento en la Granja María Auxiliadora.
- II. Rediseñar el humedal construido de flujo subsuperficial para tratamiento de aguas residuales en la Granja María Auxiliadora.
- III. Determinar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos tanto en el filtro lento como en el humedal construido y compararlos con la normatividad ambiental.
- IV. Determinar la incidencia del biofilm en la eficiencia de remoción de materia orgánica en el filtro lento.
- V. Evaluar la eficiencia de la especie *Heliconia* en la remoción de contaminantes presentes en las aguas residuales.
- VI. Evaluar la arena de puerto tejada como medio de filtrante y de soporte del biofilm.

MARCO TEÓRICO

FILTRACIÓN

Se denomina filtración al proceso unitario de separación de sólidos en suspensión en un líquido mediante un medio poroso, que retiene los sólidos y permite el pasaje del líquido.

FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES ETAPAS (FIME)

La filtración en múltiples etapas consta primero de filtros gruesos o también conocidos como filtración dinámica como pretratamiento seguido de un tratamiento por medio de filtración lenta en arena.

FILTRACIÓN GRUESA ASCENDENTE

La filtración gruesa ascendente es un proceso de tratamiento basado principalmente en la sedimentación (Visscher, Paramasivam, Raman y Heijnen, n.d citando a Wegelin, 1986) aunque la actividad biológica también puede desempeñar una función. El lecho filtrante presenta tamaños de grava entre 18 y 3 mm, decreciendo en tamaño en el sentido del flujo. La mayor acumulación de lodo en el lecho se presenta en las capas inferiores cerca del sistema de drenaje. Esto favorece la operación de limpieza, ya que así los sólidos pueden ser arrastrados fácilmente hacia el sistema de drenaje. Adicionalmente se cuenta con mayor volumen de agua para realizar el arrastre. La velocidad de filtración utilizada varía entre 0.3 y 1.0 m/h, siendo la más conveniente recomendada 0.6 m (Visscher, n.d)

Filtración Gruesa Ascendente en serie (FGAS)

Consiste en dos o tres unidades instaladas en serie, cada una de ellas con una longitud de lecho filtrante de 1.5m y con un diámetro predominante de grava. Esta tecnología se recomienda para aguas con concentraciones de sólidos suspendidos de hasta 300mg/l (Visscher, n.d)

FILTROS LENTOS

Los filtros lentos de arena son los tipos más viejos que se usaron para el abastecimiento público de agua potable, siendo construidos por primera vez en el año 1829 por James Simpson para la compañía de agua Chelsea de Londres (Leonardo Ramírez Medina, 2002), gracias a que se desarrolló se lograron evitar

gran cantidad de muertes gracias a su aplicación adecuada en un momento crucial que dejó grandes marcas en la humanidad debido a la gran cantidad de muertes evitables que se tuvieron.

Estos sistemas son de bajo mantenimiento que no requieren equipo especial. En general, un filtro lento consta de dos tanques, una bomba, y el medio de filtro. El agua a ser desinfectada se bombea desde el primer tanque a través del medio de filtro a un caudal bajo (10-20 cm hr⁻¹) en el segundo tanque. Como se logra observar estos sistemas son plantas potabilizadoras muy simples que si se logran entender, se pueden aplicar adecuadamente a gran parte de la población si se entienden los mecanismos de remoción que ocurren al interior este medio poroso. La remoción completa asociada a procesos de filtración se lleva a cabo por la combinación de fenómenos diferentes, de los cuales los más importantes son: la filtración mecánica, sedimentación, adsorción, actividad bioquímica y actividad bacteriológica, además de que gran parte de su diseño se ha sacado de la naturaleza ya que es una forma natural de recuperación del agua contaminada en la naturaleza y lo único que se ha hecho es copiar este mecanismo y llevarlo a la vida cotidiana.

Criterios de diseño

Un filtro lento tradicional consiste en una caja de forma rectangular, de 2.5 a 4 metro de profundidad, que está hecho de piedra, ladrillo u hormigón (Huisman & Wood, 1974; Logsdon, 1991), lo que conlleva limitaciones geológicas debido a su gran profundidad además de su peso, por lo que se deben realizar estudios preliminares de la zona para implementar el sistema adecuadamente.

La parte inferior de la caja es un drenaje inferior de hormigón poroso o un sistema de tuberías porosas (Huisman y Wood, 1974). El drenaje inferior está cubierto con grava que soporta el lecho de arena y evita que los granos finos se escapen en el sistema de desagüe inferior (Huisman & Wood, 1974) evitando así turbiedad o mala calidad del agua resultante.

La profundidad recomendada del material de soporte es 0,3 a 0,5 metros (Visscher et al, 1987). La profundidad recomendada de la cama de arena es 0-8 - 1,2 metros (Huisman y Wood, 1974; Visscher et al, 1987).

La tasa de filtración recomendado para un filtro de arena lento es 0,1 a 0,4 m / h; el tamaño de grano eficaz recomendada es de desde 0,15 hasta 0,35 mm, con una uniformidad preferida, coeficiente de menos de 2 o 3 (Huisman & Wood, 1974; Visscher et al, 1987).

Durante la operación del filtro, las materias en suspensión como detritus se cuelan a cabo cerca de la superficie de la arena. Con el tiempo una capa de limo se desarrolla en la superficie de la arena que se compone de la materia orgánica ,

numerosas formas de vida , tales como algas , plancton , diatomeas , protozoos , rotíferos , bacterias y sus productos (Huisman & Wood, 1974 ; Logsdon , 1991).

Dado que no se utiliza ningún equipo adicional el costo del combustible y la energía es baja. Además, no se necesita agua para el lavado a contracorriente, y el almacenamiento de lodos, desagüe, y la disposición es menos problemático ya que no se utilizan coagulantes químicos (Huisman & Wood, 1974).

Criterios de diseño filtro domiciliario

Se utilizarán criterios probados en la investigación de Leonardo Ramírez Medina, 2002 para la construcción del filtro se utilizó un tanque cilíndrico de 0,58 m de diámetro y 0,86 m de altura con una capacidad de 55 galones, al cual se le colocó en su parte inferior una plancha perforada que sirve como soporte del lecho filtrante. A continuación, y en orden ascendente, se colocó una capa de grava gruesa de 0,05 m de espesor, con un diámetro aproximado de 19 mm, una capa de gravilla de 0,03 m de espesor y una capa de arena de 0,55 m, los cuales se probaron para la calidad de agua de la zona y la condiciones tanto climáticas como sociales del territorio para identificar su viabilidad y posibles usos para las diferentes condiciones climáticas.

EFICIENCIA DE PURIFICACIÓN DE AGUA FILTROS LENTOS

La palabra " Schmutzdecke " viene del alemán y significa " capa sucia" (Logsdon, 1991) .El schmutzdecke es una zona biológicamente activa en, y directamente debajo, de la interfaz de arena / agua. Se desarrolla con el tiempo, como una " biopelícula " al adherirse a la arena y la captura de material en suspensión, ya que entra en el filtro.

Los procesos de purificación que hacen que sea eficiente en la eliminación de contaminantes aún no están entendidos completamente. Se cree que el desarrollo de la capa de limo " La schmutzdecke " es el principal responsable de este beneficio (Huisman & Wood, 1974; Logsdon, 1991, Unger y Collins, 2008; Weber- Shirk y Dick, 1997b).

Esto se convierte en un caldo de cultivo para los niveles tróficos adicionales tanto de microorganismos y macrofauna, en el schmutzdecke o en las capas inferiores (Logsdon, 1991; Huisman & Wood, 1974)

Estudios previos muestran que la filtración de arena lenta puede ser muy eficiente en la eliminación de patógenos (Magdalena Pachocka, 2010).

TABLA 1 CRITERIOS DE DISEÑO Y OPERACIÓN DE LOS FILTROS LENTOS Y RÁPIDOS

Tabla 1 Criterios de diseño y operación de los filtros lentos y rápidos de arena ⁷		
Aspectos	Filtros lentos	Filtros rápidos
Velocidad de filtración	0,1 a 0,2 a 0,4 m/h	4 a 5 a 21 m/h
Tamaño del filtro	Grande, 2 000 m ²	Pequeño, 40 a 400 m ²
Profundidad del lecho	30 cm de grava, 90 a 110 cm de arena normalmente reducida a no menos de 50 cm a 80 cm por el raspado	30 a 45 cm de grava, 60 a 70 cm de arena, no reducida por el lavado.
Tamaño de la arena	Diámetro efectivo de 0,25 a 0,30 mm y coeficiente de uniformidad de 2 a 2,5 a 3	Diámetros efectivos de 0,55 mm y superiores, coeficiente de uniformidad de 1,5 y menores, dependiendo del sistema de drenaje.
Distribución del tamaño del grano de la arena en el filtro	No estratificado.	Estratificado con los granos más pequeños y menos pesados en la cima y los más gruesos y pesados en el fondo
Pérdidas de carga	6 cm al inicio a 120 cm al final	30 cm al inicio a 240 ó 275 cm al final
Duración de la corrida entre limpiezas	20 a 30 a 60 d	12 a 24 a 72 h
Penetración de la materia orgánica	Superficial	Profunda especialmente en medios filtrantes mixtos
Método de limpieza	Quitando la capa superficial de arena mediante raspado y lavado y almacenando la arena limpia para restablecerla nuevamente	Desalojando y removiendo la materia suspendida mediante flujo ascendente o retrolavado, lo cual fluidiza el lecho. Posible uso de un sistema auxiliar de limpieza.
Cantidad de agua usada en la limpieza de la arena	0,2 a 0,6 % del agua filtrada	0,1 a 4 a 6 % del agua filtrada
Tratamiento preparatorio del agua	Generalmente ninguno cuando la turbiedad del agua cruda es menor de 50 NTU	Coagulación-floculación y sedimentación
Tratamiento adicional.	Cloración.	Cloración.
Costo de construcción.	Relativamente bajo.	Relativamente alto.
Costo de operación	Relativamente bajo cuando se limpia la arena en el lugar.	Relativamente alto.
Costo de depreciación.	Relativamente bajo.	Relativamente alto.

Fuente: Leonardo Ramírez Medina, 2002 citando a SCHULZ, CH.R. AND D. A. OKUN

La eliminación schmutzdecke (limpieza) se traduce en una disminución de la eficiencia de remoción de coliformes (Bellamy et al 1985c; Dullemont et al, 2006; Bellamy et al, 1985b)

En la investigación realizada por Bellamy et al. (1985b) la perturbación del lecho filtrante adicional creado por la mezcla de los 10 cm superiores de la arena, y golpes en la superficie de la arena, provocó una disminución en la eficiencia de remoción de coliformes por 0,5-1 log. Los quistes de Giardia pueden reducirse por prácticamente el 100 % para la cama de arena madura (Bellamy et al, 1985b; Dullemont et al, 2006). Incluso para un nuevo filtro, los quistes pueden ser reducidos en un 99 % (Bellamy et al. 1985c). La eficiencia de eliminación de virus en lenta filtración de arena parece ser algo menor.

En el estudio realizado por Poynter y Slade (1977), la eficiencia de eliminación de virus para un filtro maduro en condiciones del lecho filtrante varió aproximadamente 2.3 -log de 4 -log.

Bellamy et al. (1985a) informaron que después de una caída de temperatura desde 17 ° C a 5 ° C la eliminación Giardia todavía era 100 % pero la eliminación bacteriana disminuyó de 97% a 87 %.

Se determinó que la eficacia de eliminación bacteriana es también sensibles al tamaño de arena (Bellamy et al. 1985a). Bellamy et al. (1985a) informaron de 99,4 % y el 96 % de reducción total de bacterias coliformes de 0.128 mm y 0.615 mm de arena, respectivamente.

Varios estudios han reportado de 75 % a 10 % de reducción de la DQO (Amy et al, 2006; CAWST, 2008; Logsdon, 1991; Logsdon et al, 2002). Estos resultados variables son causados probablemente por las diferencias en la composición de compuestos orgánicos (Logsdon, 1991).

MECANISMOS DE PURIFICACIÓN

Un número de diferentes procesos de eliminación físicos y biológicos que operan en conjunto han sugerido que tendrá lugar en la filtración lenta en arena. (Magdalena Pachocka, 2010)

Mecanismos de eliminación biológica

Depredación

Los resultados de muchos estudios sugieren que la depredación de las bacterias es un mecanismo altamente probable de remoción de patógenos en la filtración lenta en arena. Magdalena Pachocka (2010) citando a Lloyd (1973) demostró que la arena limpia en un filtro lento de arena fue rápidamente colonizado por una

población de *Vorticella* sp y que el número de bacterias en el efluente era inversamente proporcional al número de *Vorticella* sp. Unger y Collins (2008) encontraron una fuerte correlación entre la eliminación de *E. coli* y la abundancia protista, tanto con la eliminación de *E. coli* y la abundancia protista aumentando con el tiempo de maduración. Las plantas de filtración de arena lenta con más poblaciones de protozoos y algas tienen una mayor turbidez y el traslado de coliformes fecales (Sánchez et al., 2006).

En el experimento de Lloyd (1996) los mecanismos de remoción no depredadoras en el las células de control no excedieron 96 %, sin embargo, la presencia de *Vorticella* en las células inoculadas mejoran la eliminación de casi 1000 veces (99,9 %)

La muerte natural y la inactivación

Los patógenos morirán al entrar en un ambiente hostil. Como los filtros de agua más en el lecho de arena, la comida en la forma de la materia orgánica se convierte en limitado y la competencia entre los organismos feroces (Huisman & Wood, 1974).

Por otra parte, se encontró que *E. coli* se reduce poco después de la introducción en el agua sobrenadante del filtro (Logsdon et al., 1991).

En el Estudio de reducción de *E.coli* Burman y Lewin (1962) fueron notables 30 cm por encima de la superficie de la arena.

Efecto bactericida de algas

Se ha demostrado que los productos de las algas extracelulares aumentaron la tasa de mortalidad de las bacterias durante largos períodos de tiempo (Logsdon et al., 1991).

El aumento de la pegajosidad de la superficie de la arena

Los primeros investigadores han sugerido que el desarrollo de la zoogloea capa en la superficie de la arena aumenta la " pegajosidad de los granos de arena " causando así una mejor adhesión de las partículas que entran en contacto con ellos (Bellamy et al, 1985a.; Huisman & Wood, 1974; Rideal, 1997). Esto explicaría por qué la turbidez se reduce de manera más eficiente después de que madura el filtro (Logsdon et al., 1991).

Mecanismos de eliminación física

Esfuerzo

Las partículas que se pueden quitar por el esfuerzo tendrán un diámetro no menor del 15% del diámetro de grano de arena (Logsdon et al., 1991). Por lo tanto, se puede esperar que en la filtración lenta en arena, partículas, como las algas y

restos vegetales se eliminan por el esfuerzo, mientras que las bacterias y los virus se eliminan mediante otros procesos físicos o biológicos (Logsdon et al., 1991).

Adsorción

El área de la superficie disponible para la adsorción en un filtro de arena lento es extremadamente alta. Huisman y Wood (1974) estimó que un metro cúbico de arena del filtro tiene unas 17 hectáreas y media de superficie. Se encontró que la eliminación de virus a seguir una isoterma de adsorción (Logsdon et al., 1991). Resultados de un estudio sugieren que el proceso de adsorción era responsable de la eliminación de oocistos de *Cryptosporidium* en filtros de arena intermitentes (Logan et al., 2001).

Intercepción, sedimentación, y la difusión

Las partículas que se escapan de los esfuerzos aún pueden ser retirados dentro del lecho de filtro por procesos de eliminación físicas que involucran mecanismos de transporte con lo que las partículas en contacto con las superficies de los granos de arena y los mecanismos de fijación posteriores que tienen las partículas en su lugar (Logsdon et al., 1991). Los mecanismos de transporte incluyen la intercepción, sedimentación y difusión. Con una tasa de filtración baja, un tiempo de retención largo y un medio de filtración fina se espera que los mecanismos a ser mucho más eficiente en la filtración lenta que en la filtración rápida en arena (Logsdon et al., 1991).

HUMEDAL CONSTRUIDO

CARACTERÍSTICAS DE LOS HUMEDALES

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales basados en macrófitas pueden ser definidos como sistemas naturales en donde las plantas crecen en un medio saturado de agua, por lo tanto permiten que se presente un enlace entre los sistemas acuáticos y los terrestres, las cuales cumplen como función depurar las aguas residuales.(Peña et al, 2003).

Atendiendo el tipo de circulación del agua, los humedales construidos se clasifican en flujo superficial o en flujo subsuperficial.

En los sistemas de flujo superficial el agua está expuesta directamente a la atmósfera y circula preferentemente a través de los tallos y hojas de las plantas. Estos tipos de humedales se pueden entender como una modificación del lagunaje natural con una profundidad de la lámina de agua entre 0,3 y 0,4 m, y con plantas. En los humedales de flujo subsuperficial la circulación del agua es de tipo subterráneo a través de un medio granular y en contacto con las raíces y rizomas

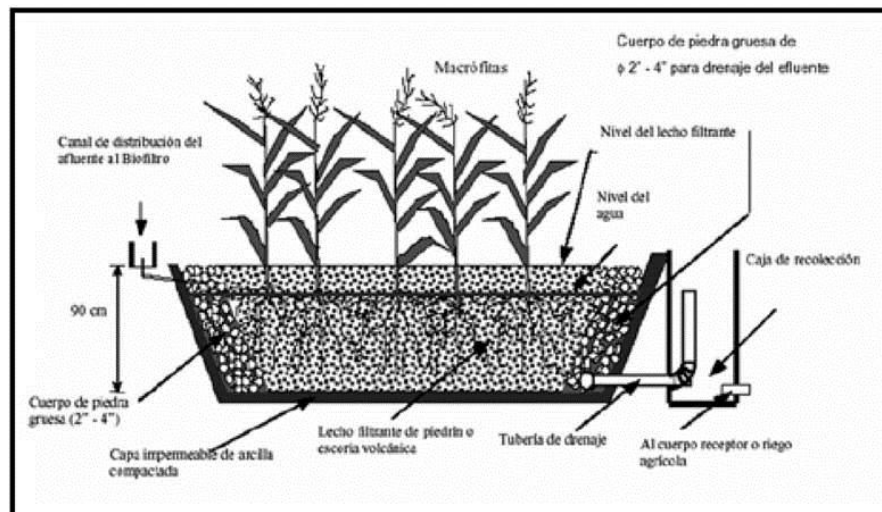
de las plantas. La profundidad de la lámina de agua suele ser de entre 0,3 y 0,9 m. La biopelícula que crece adherida al medio granular y a las raíces y rizomas de las plantas tiene un papel fundamental en los procesos de descontaminación del agua.

Las principales diferencias de los sistemas de flujo subsuperficial respecto a los superficiales son: mayor capacidad de tratamiento (admiten mayor carga orgánica), bajo riesgo de contacto del agua con las personas y de aparición de insectos, y menor utilidad para proyectos de restauración ambiental debido a la falta de lámina de agua accesible. (García y Corzo, 2008)

HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL

El sistema de flujo subsuperficial está construido típicamente en forma de un lecho o canal que contiene un medio apropiado con vegetación emergente. El nivel del agua está por debajo de la superficie del soporte, el agua fluye únicamente a través del lecho de grava que sirve para el crecimiento de la película microbiana, que es la responsable en gran parte del tratamiento que ocurre, las raíces penetran hasta el fondo del lecho (Borrero, 1999).

FIGURA 1 HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL



Fuente: Silva, 2009

El humedal horizontal consiste en áreas generalmente rectangulares con profundidades que van entre 60 y 100 cm, rellenos con material granular y sembrados con plantas macrófitas, donde el agua fluye lentamente en trayectoria horizontal desde la zona de distribución a la entrada del humedal a través del

lecho filtrante hasta la zona de recolección, es un proceso que dura aproximadamente de 3-7 días donde el agua es depurada por la degradación microbiológica proporcionada por la biocapa que se forma en la superficie del lecho filtrante y por procesos fisicoquímicos.

Dentro de las características principales de los humedales horizontales se encuentran:

- La cantidad de oxígeno transportado por medio de las hojas y tallos hacia las raíces de las macrófitas, es un factor limitante para la descomposición aeróbica en la rizósfera, dándose la nitrificación a niveles bajos.
- Las raíces de las macrófitas crecen vertical y horizontalmente, abriendo así una vía o ruta hidráulica a través de la cual fluye el agua.
- Tiene un alto tiempo de retención, normalmente en un rango de 3-7 días.
- Poca posibilidad de cortocircuitos en el régimen hidráulico, por la homogeneidad del lecho filtrante. (Borrero, 1999).

La grava en estos sistemas debe ser suficientemente grande para permitir un flujo subterráneo a largo plazo sin obstrucciones. Las raíces y tubérculos (rizomas) de las plantas crecen en los espacios de poros en la grava (Navarro et al, 2007)

COMPONENTES DE UN HUMEDAL

Macrófitas

La vegetación cumple en este tipo de tratamiento un papel fundamental, tanto en la eliminación de contaminantes como en la creación de las condiciones y ambiente idóneo para su desarrollo y regulación. Las plantas tolerantes al flujo del agua son denominadas hidrófilas, y han desarrollado una serie de adaptaciones que le permiten tolerar un rango de stress que provocarían la muerte a la mayoría de plantas de tierra emergida (Sánchez, 2011).

Las plantas del género *Heliconia* (Heliconaceae), pertenecientes al orden Zingiberales (platanillos), son nativas de las zonas del Caribe y América central y del sur (Berry y Kress, 1991). Originarias de zonas de altitud media y baja, de 0 a 1200 metros sobre el nivel del mar; en el caso de Colombia se cuenta con especies hasta los 2400 metros de altitud (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2007). Al ser plantas nativas del trópico, proveen hábitat para muchas especies de organismos que dependen de ella como alimento (Arango, 2007). Recientemente, estudios han revelado el papel de esta especie en la remediación de aguas residuales encontrando efectos positivos en la biorremediación. Éstas evidencias muestran una cierta tolerancia de esta planta a un amplio espectro de condiciones ambientales, por lo que la hace una especie

atractiva para su uso en sistemas naturales como los humedales construidos subsuperficiales, para el tratamiento de aguas residuales (Peña, 2005)

Microorganismos

Una característica fundamental de los humedales es que sus funciones son principalmente reguladas por los microorganismos y su metabolismo. Además de que la biomasa microbiana consume gran parte del carbono orgánico y muchos nutrientes. (Albalos y Agostini, 2010)

Los humedales de flujo subsuperficial favorecen la tendencia natural de las poblaciones microbianas mixtas al adherirse y acumularse formando las biopelículas o biofilms. En los humedales artificiales, el papel principal en la transformación y la mineralización de nutrientes y contaminantes orgánicos se juega no por las plantas sino por microorganismos. (Stottmeister et al, 2003).

Porosidad y conductividad hidráulica

La obstrucción en los humedales puede estar acompañada por una disminución en el rendimiento del tratamiento o el mal funcionamiento hidráulico presentándose unas especies de charcos de agua residual en la superficie del sistema las cuales no son tratadas. La Obstrucción avanzada puede llegar a interrumpir los medios de comunicación para que se lleven a cabo los procesos adecuados en la depuración de las aguas residuales, lo que limita la vida útil del sistema (Caselles-Osorio y García, 2007)

Para el diseño del humedal se recomienda usar grava con menos de 30 mm que al parecer funciona mejor. Si se utiliza diámetro de sustrato demasiado grande hace que la velocidad del paso del agua sea mayor ocasionando flujo turbulento y por ende no se cumplirá la ley de Darcy (Pérez et al, 20010).

TABLA 2 CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DEL MEDIO DE HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL

Tipo de medio	Tamaño efectivo	Porosidad, n (%)	Conductividad hidráulica, Ks (pie ³ /pie ³ /d)
Arena gruesa	2	28 a 32	300 a 3,000
Arena con grava	8	30 a 35	1,600 a 16,000
Grava fina	16	35 a 38	3,000 a 32,000
Grava mediana	32	36 a 40	32,000 a 160,000
Roca triturada	128	38 a 45	16 * 10 ⁴ a 82 * 10 ⁴

Fuente: EPA, 2000

CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE UN HUMEDAL

Las principales características que se debe tener en cuenta para la localización y diseño preliminar del proyecto de sistemas de humedales artificiales incluyen la topografía, el suelo, el uso actual de los terrenos y la selección de la especie. (Metcalf y Eddy, 1996)

Topografía

Se debe tratar de que la topografía para la instalación de un sistema de humedales artificiales sea uniforme horizontal o en ligera pendiente. Ello se debe a que los sistemas flujo subsuperficial se suelen diseñar y construir con pendientes del 1% e inferiores al 5%. (Metcalf y Eddy, 1996)

Suelo

Un aspecto importante de los procesos que tienen lugar en la rizósfera es la interacción entre las raíces y la matriz del suelo. El suelo es el principal material de apoyo para el crecimiento de las plantas y las películas microbianas. Además es importante destacar que la matriz del suelo tiene una influencia decisiva en los procesos hidráulicos (Stottmeister et al, 2003)

Selección de la especie vegetal

Es de vital importancia establecer la vegetación con la densidad apropiada. Lo ideal es utilizar plantas locales que estén adaptadas a las condiciones del sitio. Aunque la siembra se puede hacer a partir de semillas, este método requiere bastante tiempo y control estricto del agua (Borrero, 1999).

MECANISMOS DE REMOCIÓN

Materia en suspensión

La materia en suspensión queda retenida en los humedales mediante la combinación de diferentes fenómenos de tipo físico que en su conjunto se denominan como filtración del medio granular. Entre estos fenómenos cabe destacar la sedimentación debida a la baja velocidad de circulación del agua y el tamizado que sucede a nivel de los espacios intersticiales del medio granular. Estos fenómenos se ven potenciados por las fuerzas de adhesión que ocurren entre los sólidos y que tienden a promover la formación de partículas de mayor tamaño. En la actualidad se desconoce cuál es la importancia relativa de cada uno de estos fenómenos. En los humedales horizontales la mayor parte de la eliminación de la materia en suspensión sucede cerca de la zona de entrada y su concentración va disminuyendo de forma aproximadamente exponencial a lo largo del lecho. (Píriz, 2000)

Materia orgánica

La materia orgánica particulada es retenida por filtración cerca de la entrada en sistemas horizontales y cerca de la superficie en verticales (tal y como se ha descrito para la materia en suspensión, ya que gran parte de esta materia orgánica es básicamente la materia en suspensión). Esta fracción particulada, por fragmentación abiótica, se convierte en partículas más pequeñas que pueden ser hidrolizadas por enzimas extracelulares. Las enzimas son excretados por bacterias heterótrofas aeróbicas y fermentativas facultativas. El resultado de la hidrólisis es la formación de sustratos sencillos (por ejemplo glucosa o aminoácidos) que pueden ser asimilados por las bacterias heterótrofas aeróbicas o fermentativas facultativas. Los ácidos a su vez pueden ser asimilados por bacterias sulfato- reductoras, metanogénicas y también, por supuesto, por las heterótrofas aeróbicas. Los sustratos sencillos presentes en el agua residual son asimilados directamente sin necesidad de hidrólisis previa.

Por otra parte, se debe tener en cuenta que muchas sustancias disueltas se retienen por adsorción, bien en la propia materia orgánica o en el medio granular. Estas sustancias pueden simplemente quedar allí, o bien desplazarse y ser reabsorbidas, o ser degradadas por microorganismos. La degradación de la materia orgánica por vía aeróbica en los humedales de flujo horizontal sucede cerca de la superficie del agua (en los primeros 0,05 m de profundidad) y en las zonas cercanas a las raíces. El oxígeno liberado por las raíces no es suficiente para degradar completamente de forma aeróbica la materia orgánica de un agua residual de tipo medio. (Bécares, 2004).

Las bacterias heterótrofas aeróbicas en ausencia de oxígeno pueden degradar la materia orgánica por vía anóxica utilizando el nitrato como aceptor de electrones (desnitrificación).

En los sistemas horizontales hay supuestamente pocos lugares con condiciones aeróbicas, y por tanto en una parte muy importante del lecho las bacterias fermentativas facultativas crecen originando ácidos grasos como el acético y el láctico, alcoholes como el etanol y gases como el H_2 . Estos compuestos representan sustratos para las bacterias sulfato- reductoras y metanogénicas, todas ellas anaeróbicas. También para heterótrofas aeróbicas si es que estos sustratos están disponibles en las zonas aeróbicas. En los sistemas verticales la presencia de oxígeno en todo el lecho inhibe las reacciones de tipo anaeróbico.

Nitrógeno

En las aguas residuales urbanas el nitrógeno se encuentra fundamentalmente en forma de amonio y también como nitrógeno orgánico. No suele ser habitual encontrar concentraciones significativas de nitratos y nitritos. En los humedales el principal mecanismo de eliminación de nitrógeno es de tipo microbiano y consiste en la nitrificación seguida de desnitrificación. Sin embargo, también hay otros

procesos que contribuyen a la eliminación como la adsorción del amonio y la asimilación realizada por las plantas.

En los humedales el ciclo del nitrógeno está acoplado al del carbono (materia orgánica) fundamentalmente a través de la desnitrificación. La nitrificación es realizada por bacterias autótrofas aeróbicas que aprovechan el poder reductor del amonio y éste se convierte en nitrato. La nitrificación requiere de 4,6 mg de oxígeno por cada miligramo de amonio (expresado como nitrógeno). En los humedales horizontales puesto que la transferencia de oxígeno es baja y hay pocas zonas aeróbicas, la nitrificación no es destacable y el rendimiento de eliminación del amonio no supera generalmente el 30%. (Kadlec, et al. 2000). La reacción de la desnitrificación permite eliminar el nitrato formado previamente por la nitrificación y convertirlo en nitrógeno gas. Esta reacción sólo ocurre en condiciones de anoxia y en presencia de materia orgánica, ya que es realizada por bacterias heterotróficas. Se ha observado que en los humedales horizontales los procesos de nitrificación y desnitrificación suceden de forma acoplada, de manera que el nitrato formado rápidamente es aprovechado, generándose nitrógeno gas.

Las plantas pueden eliminar nitrógeno mediante la asimilación de amonio o nitrato. En los humedales generalmente utilizarán preferentemente amonio ya que es más abundante. El nitrógeno asimilado es incorporado a la biomasa y por tanto eliminado del agua. Al morir las partes aéreas de las plantas, durante su senescencia anual, el nitrógeno puede retornar al humedal, por ello se recomienda podar la vegetación. Otras vías de eliminación del nitrógeno de poca importancia en los humedales son la volatilización del amonio y la asimilación microbiana.

Fósforo

Los mecanismos de eliminación del fósforo pueden ser de tipo biótico y abiótico. Los bióticos incluyen la asimilación por parte de las plantas y los microorganismos. Los abióticos abarcan fundamentalmente la adsorción por el medio granular. En muchos estudios se ha observado que después de la puesta en marcha de humedales se obtiene una buena eficiencia de eliminación del fósforo para después reducirse rápidamente en poco tiempo. Esto es debido a que el medio granular limpio tiene capacidad de adsorción, pero esta se va perdiendo rápidamente.

Se han realizado grandes esfuerzos para desarrollar medios granulares con alta capacidad para retener fósforo. No obstante, ésta se acaba perdiendo y el medio se debe reemplazar. En la actualidad parece que la mejor manera de eliminar el fósforo es incorporando en los sistemas de humedales procesos de precipitación, por ejemplo por adición de sales de aluminio. (Arias y Brix, 2005). En los humedales la utilización de sales de hierro para la precipitación puede dar lugar a sulfuro de hierro que da color negro al agua.

Patógenos

La eliminación de microorganismos es un proceso de gran complejidad ya que depende de factores como la filtración, la adsorción y la depredación. (Kadlec, et al. 2000). Para evaluar la eficiencia de eliminación de los patógenos se suele estudiar la eliminación de microorganismos indicadores de la contaminación fecal, como son por ejemplo los coliformes fecales. No obstante, la mejora de las técnicas microbiológicas induce a pensar que en poco tiempo se dispondrá de datos de patógenos propiamente.

METODOLOGÍA

CÁLCULOS Y DIMENSIONAMIENTO DEL LA FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES ETAPAS (FIME)

Filtración lenta en múltiples etapas

Demanda de agua diaria de diseño:

Debido a la falta de datos en la zona de investigación, se tomaron datos encontrados en la bibliografía consultada para calcular la demanda por suscriptor:

ECUACIÓN 1 DEMANDA PROMEDIO PARA POPAYÁN

$$Demanda\ media\ promedio = 15.79m^3 / 365\ dias * 1000 = 43.26 \frac{L}{dia * suscriptor}$$

$$Demanda\ para\ 30\ suscriptores = 43.26 \frac{L}{dia * suscriptor} * 30 = 1297 \frac{L}{d}$$

Fuente: Elaboración propia

Caudal de agua potable producido:

Teniendo en cuenta los criterios para construcción en la tabla 1 se pueden estimar aproximadamente el caudal mínimo producido por el FIME para corroborar que cumpla con la demanda media promedio con la siguiente ecuación por unidad de área:

ECUACIÓN 2 CAUDAL TEÓRICO PRODUCIDO POR EL FIME

$$Q \left(\frac{L}{d} \right) = v_f \left(\frac{m}{h} \right) * A_s(m^2) * 12 \frac{h}{d} * 1000 \frac{L}{m^3}$$

Fuente: Elaboración propia

Siendo:

Q= Caudal mínimo diario producido (L/d)

Vf= Velocidad de filtración dado por los criterios de diseño ver tabla 1(m/h)

As= Área superficial para filtración lenta (m²)

$$Q = 0.1 \frac{m}{h} * 1.07m^2 * 12 * 1000 = 1284 \frac{L}{d}$$

Como se puede ver la demanda media promedio puede ser abastecida con el caudal mínimo de producción.

Para el caudal máximo producido se tendría:

$$Q = 0.4 \frac{m}{h} * 1.07m^2 * 12 * 1000 = 5136 \frac{L}{d}$$

La demanda de agua diaria puede ser suplida por medio del área que tiene el tanque proyectado para la filtración lenta.

TABLA 3 CONSUMO PROMEDIO MENSUAL POR SUSCRIPTOR MUNICIPIOS TEMPLADOS

CONSUMO PROMEDIO MENSUAL POR SUSCRIPTOR Y POR MUNICIPIO					
Municipios Templados				Disminución consumo de agua	
Municipios	2008	2009	2010	m3	Variación %
Cali	20,70	19,55	18,21	-2,49	-12,02
Fusagasugá	11,78	14,40	14,48	2,71	22,99
Ibagué	16,06	18,74	17,41	1,35	8,42
Medellín	ND	15,70	14,87	ND	ND
Ocaña	17,34	17,33	16,80	-0,54	-3,11
Palmira	19,51	18,85	17,52	-1,99	-10,18
Popayán	16,41	16,41	15,79	-0,63	-3,81
Total promedio del consumo	16,97	17,28	16,44	-0,53	-3,10

Fuente: (Chacon, Lizcano y Lara, 2012)

Componentes principales y dimensiones del sistema de abastecimiento de agua.

A continuación se darán las dimensiones del sistema de acuerdo a la literatura consultada, y a criterios propios.

Captación de agua cruda

La captación de agua cruda fue uno de los principales problemas que se generaron en el proyecto, debido que se tenía proyectada una captación continua de agua para el sistema por medio de una hidro-bomba que pertenecía a la comunidad la cual permitía una continuidad en el servicio de captación del agua pero debido a problemas de seguridad, la hidro-bomba fue completamente destruida lo que se convirtió en un problema para el correcto funcionamiento del (FIME) ya que la cantidad de agua otorgada por el acueducto conocido como antiguo acueducto no era continua, interrumpiendo continuamente el sistema de (FIME), por lo que se recurrió a la literatura para encontrar una solución al

problema, concluyendo en un sistema conocido como filtro de bioarena de forma intermitente (BSF), como una solución temporal.

Unidad de pre tratamiento

Se escogió como unidad de pre tratamiento la filtración en grava o filtración dinámica ascendente en serie, compuesta por dos tanques de uso comercial y de fácil acceso, se repartieron en diferentes capas como se observa en la figura a.5. 1 y a.52 con el fin de evitar colmataciones y mejorar la carrera de filtración, empezando por el mayor diámetro y finalizando con el menor diámetro de grava.

El caudal de lavado por medio de asesoría del profesor Juan Fernandez de la universidad del cauca, se debe encontrar entre 15-20m/h, al realizar la prueba por medio de un balde en el sistema de drenaje y temporizando su llenado con la válvula completamente abierta se obtuvo un valor de 30m/h que se encuentra fuera del rango pero se puede controlar con la apertura de la válvula si se desea estar en el rango.

DISEÑO FILTRO LENTO DE ARENA

Por medio de la biografía consultada se utilizaron criterios combinados de diseño por (Ramírez y Pérez, 2000) que se enuncian en el marco metodológico y los criterios de diseño dados por Cinara como se observa en la tabla 3

Características del tanque usado para filtración

Se optaron por los valores mínimos de diseño ya que es un filtro domiciliario como se puede observar en la imagen 5, se reutilizo un tanque de eternit que se encontraba abandonado en la comunidad y se restauró para su uso, que gracias a sus superficies corrugadas permiten un mejor funcionamiento y eficiencia de remoción.

También se utilizaron diferentes criterios dados por Cinara para el diseño de filtros lentos como se muestra a continuación para comprobar que el tanque pueda servir a la población proyectada:

a

ECUACIÓN 3 ÁREA DE FILTRACIÓN POR HABITANTE RECOMENDADA

$$\text{rea de filtración} = \left(\frac{0.02m^2}{\text{habitante}} \right) * 30 \text{ habitantes} = 0.6m^2 \text{ de filtración}$$

Fuente: CINARA

Como se puede observar el área requerida para filtración según los habitantes servidos es de 0.6m² que es menor al área del filtro como se muestra en la

siguiente imagen, por lo que se llega a la conclusión que el filtro puede abastecer a la comunidad de forma adecuada:

ECUACIÓN 4 ÁREA DE UN CIRCULO

$$\text{Area del filtro} = \frac{(1.07m)^2 * \pi}{4} = 0.9m^2$$

Fuente: Matemática general

TABLA 4 CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO PARA FILTROS LENTOS DE ARENA QUE ABASTECERÁN ZONAS RURALES

Criterios de diseño	Valores recomendados
Periodo de diseño	10 - 15 años
Periodo de operación	24 h/d
Velocidad de filtración	0,1 - 0,2 m/h
Area superficial del filtro	5 - 20 m ² por filtro, mínimo 2 unidades
Altura del lecho filtrante:	
Inicial	0,8 - 0,9 m
Mínima	0,5 - 0,6 m
Especificación de la arena:	
Tamaño efectivo	0,15 - 0,30
Coeficiente de uniformidad	< 5 preferiblemente
Altura de drenaje incluyendo capa de grava	0,3 - 0,5 m
Altura de agua sobrenadante	0,8 - 1,0 m

Fuente:Cinara

Especificación de la arena

Se utilizó la arena conocida comúnmente como arena de puerto tejada que es de fácil acceso y es comercialmente conocida en la zona.

Distribución en el tanque de filtración

Se distribuyeron 2 capas de materia, el primero de grava de 1" a ¾" en los primeros 30 cm para impedir la perdida de arena por el drenaje y el segundo de 50cm en el que se encuentra la arena de puerto tejada que funciona como lecho filtrante y purificador del agua como se puede ver en la figura a5 3.

Pérdidas de carga

Se consideraron pérdidas de carga en todo el sistema no mayores a 15 cm por lo que se repartieron entre filtro y filtro de 5 cm, permitiendo que el sistema funcione de forma continua sin problemas debido a pérdidas de carga, el sistema final se puede observar en los anexos.

Limpieza y mantenimiento

Con el tiempo, los intersticios de la capa superficial de la arena se van obstruyendo, y se hace necesaria su renovación para limpieza mediante el raspado de la capa de arena sucia que está encima hasta una profundidad que varía de uno a varios centímetros.

Las limpiezas se programaran de acuerdo al comportamiento del sistema, por lo que se tienen dos tipos de limpieza:

- Filtros en grava: Los filtros en grava se limpiaran periódicamente de material sobrenadante, con herramientas de acceso comercial, y se realizara la limpieza por medio del drenaje con ayuda de cierres continuos re suspendiendo los sedimentos y contaminantes en su interior.
- Filtros lentos: Estos se limpiaran de acuerdo al comportamiento del nivel de agua, se dejó un borde libre de 30 cm de tal forma que cuando alcance este nivel el agua sobrenadante salda por una tubería que indicara el momento de limpieza.

Las limpiezas se desarrollaran por el operario designado, que será el encargado de llevar un registro histórico y de esta manera facilitar futuras limpiezas.

Ubicación de la planta de tratamiento

La planta de tratamiento se ubicó de acuerdo a los siguientes criterios:

- Localización de la captación
- Disponibilidad de área apropiada.
- Características geo mecánicas del sitio
- Accesibilidad
- Localización de almacenamiento de agua tratada, longitud de conducción y garantía de presiones mínimas.

En la comunidad se logró encontrar un lugar que cumplía con la mayoría de los criterios propuestos que fue cerca al tanque de almacenamiento principal, y aunque se busca siempre entregar unas presiones mínimas de agua, debido a la altitud de la zonas, se recomendó el uso de bomba eléctrica y de un tanque de altura para la disposición final de agua tratada, que ya se encontraban en la Granja María Auxiliadora, lo que no sometía un gasto mayor.

REDISEÑO DEL HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL Y TRATAMIENTO PRIMARIO

Rediseño del humedal subsuperficial de flujo horizontal

Para el rediseño del humedal se tuvo presente la siguiente fórmula citada por Velasco y Vivas (2006):

ECUACIÓN 5. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL PARA EL HUMEDAL

$$Q = \frac{n * V_{total}}{t}$$

Dónde:

Q = Caudal

n = Porosidad

V_{total} = Volumen

t = Tiempo de retención

El caudal del afluente de las aguas residuales a tratar no pudo ser determinado debido a que la estructura no lo permitía ya que el sistema no se encontraba en funcionamiento, por tal motivo se decidió tener en cuenta el caudal determinado en el proyecto realizado en el año 2002 el cual fue de 0,06972 L/s.

Se consideró un tiempo de residencia de 3 días según la literatura (3-7 días) el cual es necesario para degradar la materia orgánica y nutrientes (Tchobanoglous, 2000) y una profundidad del humedal de 0,75, estos valores también fueron tenidos en cuenta para el anterior diseño.

Según la tabla 2, se optó por utilizar un % de porosidad correspondiente a 40 para grava mediana.

Despejando de la ecuación 5, se procedió a calcular el volumen:

$$V = \frac{0,06972 \text{ L/s} * 3d * 86400 \text{ s/1d} * 1m^3/1000L}{0,4} = 45,17m^3$$

Para una profundidad de 0,75m el área superficial equivale a $60m^2$. A pesar de que se rediseñó con los mismos parámetros, el área es diferente a la presentada por el diseñador en el año 2002 la cual fue de $14,57m^2$ y con un volumen correspondiente a $10,93m^3$, según lo reportado por Velasco y Vivas en el 2006.

La granja no contaba con un espacio adecuado para la implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales, pero como se expuso anteriormente, el humedal funcionó adecuadamente durante un periodo de diez años con las dimensiones establecidas en ese tiempo, por tal razón sólo se le realizó una mejora en el tratamiento primario, para lo cual se diseñó un tanque séptico ya que el sistema sólo contaba con un tanque hidrodinámico el cual no permitía un tratamiento adecuado a los sólidos provenientes de las aguas residuales domésticas. Además se renovó el material de soporte reemplazando la tierra por grava de ¾" a 1" (ver fotografías A4.5 y A4.6) para garantizar una mejor conductividad hidráulica y evitar una obstrucción en el sistema.

Capacidad del tanque séptico como tratamiento primario

Para la implementación del tratamiento primario se decidió utilizar tanques plásticos de agua potable, por consiguiente se determinó el volumen útil del tanque séptico empleando el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS, 2000. Título E, Tratamiento de Aguas Residuales) descrito a continuación:

ECUACIÓN 6 VOLUMEN ÚTIL DEL TANQUE SÉPTICO

$$V_u = 1000 + N_c(CT + KL_f)$$

L_f : Lodo fresco (L/persona)

C : Contribución de aguas residuales por persona (L/dia/hab)

K : Tasa de acumulación de lodos digeridos

N_c : Número de contribuyentes

T : Tiempo de retención

La población de la zona de estudio se caracteriza como flotante, debido a que por lo general en fechas especiales se realizan actividades por colegios o grupos de personas que disponen del lugar. La granja está habitada por el mayordomo y su familia, quienes permanecen constantemente.

Para determinar la contribución de aguas residuales por persona y lodo fresco, se tuvo en cuenta la tabla E.7.1 del RAS 2000, en donde:

$$L_f = 0.2 \text{ L/persona}$$

$$C = 50$$

Según la tabla E.7.2 del RAS 2000, el tiempo de retención utilizado para el diseño fue de 24 horas. Además para el valor de tasa de acumulación de lodos digeridos

(K) se hizo referencia a la tabla E.7.3 del mismo reglamento; para lo cual se escogió un intervalo de limpieza de 2 años y una temperatura entre $10 \leq T \leq 20^{\circ}\text{C}$, en donde $K=105$.

Por lo tanto de la ecuación 6 se obtuvo:

$$V_u = 1000 + 30(50 * 1 + 105 * 0.2) = 3130 \text{ L}$$

CONSTRUCCIÓN

CONSTRUCCIÓN DEL FILTRO EN MÚLTIPLES ETAPAS

La construcción del sistema de tratamiento se subdividió en varios periodos en los que se trabajó con la comunidad y asesoramiento de un maestro de obra con experiencia:

Adaptación de tanques

En el primer día se realizó todo lo relacionado con la adaptación de los tanques, lo que incluía la adaptación de la tubería de desagüe, además de la adaptación de los adaptadores y válvulas de tal forma que los tanques quedaran sellados y no presentaran fuga alguna; a través de las perforaciones hechas para incluir la tubería en su interior, se utilizó sika-flex como material impermeabilizante, se apoyó en la ayuda de un experimentado maestro de obra para el manejo de equipo peligroso.

Separado del material

En el segundo día se realizó el separado de la materia en los diferentes diámetros dados en el diseño, para esto se realizó un tamizado por diferentes mallas las cuales separaban en los diferentes diámetros requeridos de grava.

Montaje del sistema

En el tercer día se procedió a montar el sistema con las diferentes alturas proyectadas en el diseño además de colocar las diferentes válvulas necesarias para el desagüe, y adaptar una llave de control de caudal para trabajar en el caudal recomendado por los parámetros de diseño para filtración lenta.

Lavado de la arena

Debido a que la arena de puerto tejada comúnmente conocida se encuentra con diferentes contaminantes, se procedió a realizar el lavado por medio de costales, que se encontraban en la comunidad realizando filtración y movimiento de estos con arena en su interior retirando todas las impurezas presentes en estos.

Llenado de los tanques

Con ayuda de un metro se realizó el llenado estratificado de cada tanque con el material recomendado y con las diferentes alturas para cada diámetro de grava, se llenaron en el sitio y se desarrolló el arranque del sistema abriendo la llave de paso para su llenado inicial, el primer llenado fue desechado y se dejó el sistema de forma continua por 2 semanas con el fin de eliminar cualquier impureza presente en el materia y de desarrollar una capa de biofilm mínima para la correcta remoción de coliformes.

IMPLEMENTACIÓN DEL TANQUE SÉPTICO Y EL HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL

Tanque séptico

Según los cálculos planteados en el diseño del tanque séptico, el volumen adecuado para permitir un buen tratamiento preliminar corresponde a un valor de 3130 L; al presentarse problemas financieros en cuanto a la implementación de dicho tanque se propuso utilizar un tanque con una capacidad de 2000 L durante un tiempo y en un futuro emplear otro tanque con una capacidad de 1000 L conectados en serie para suplir la demanda de la población. Los datos de diseño fueron manifestados a la administradora de la granja María Auxiliadora en donde se llevó a cabo el presente proyecto de investigación, pero esta recomendación no fue tenida en cuenta puesto que los responsables de financiar el proyecto limitaron la compra de dicho elemento adquiriendo un tanque con una capacidad de 1000 L lo cual restringe un correcto funcionamiento del sistema.

Este tanque fue enterrado a una profundidad de 1,50 m. Posteriormente se revistió con guadua para darle estética al lugar (ver fotografía A4.4).

Humedal:

Para la construcción del humedal se decidió utilizar el espacio ya existente en donde fue construido el anterior humedal. Así mismo, el diseño fue entregado al maestro de obra encargado de realizar la construcción del sistema de tratamiento, pero en este proceso se presentaron inconvenientes ya que a medida de que avanzaba la construcción no se tuvieron en cuenta las dimensiones especificadas debido a que no se contaba con el material suficiente para un buen diseño del humedal, por tal motivo el área superficial mencionada en el proyecto del año 2002 fue modificada.

En relación a las dimensiones del humedal se contó con un largo de 3,4 m, un ancho de 3,8 m y una profundidad de 0,80 m. En la entrada y la salida del humedal se colocó una cama de piedra de 0,7 m de ancho (ver figuras A5.4 y A5.5) para que permitiera una distribución uniforme del agua en el sistema de tratamiento, además de que a 0,30 m de las estructuras de entrada y salida se instalaron tubos de inspección. Por lo tanto el área superficial efectiva del humedal

que se obtuvo fue igual a $12,92m^2$. Teniendo en cuenta que el flujo de agua del humedal quedó 10cm por debajo de la grava, se obtuvo un volumen aparente de:

$$V_a = 12,92m^2 * 0,7m = 9m^3$$

El caudal fue medido con el método volumétrico, se consideró un caudal en donde había una población aproximada de 20 personas el cual fue medido el día 2 de diciembre, ya que en los otros días de muestreo se obtuvieron caudales mucho menores y se decidió trabajar con el más alto. En la tabla A1.1 se observa que el caudal promedio se fue de 17,94 ml/s, por lo tanto el tiempo de retención que se obtuvo según la ecuación 5 fue de:

$$t = \frac{0,4 * 9m^3}{1,55 m^3/d} = 2,3d$$

Por otra parte el humedal subsuperficial de flujo horizontal fue impermeabilizado con plástico negro calibre 8, para evitar contaminación en las aguas subterráneas (ver fotografía A4.5).

Posteriormente se seleccionaron plantas de especie *Heliconia* debido a que estas crecen en la zona de estudio. Para la plantación se recibió ayuda del mayordomo y se eligieron 34 plantas pequeñas que fueron colocadas en bolsas las cuales contenían grava y tierra que servían de soporte para su crecimiento (ver fotografía A4.7). Finalmente las macrófitas fueron plantadas en el humedal subsuperficial de flujo horizontal para que cumplieran su función dentro del sistema de tratamiento. (Ver fotografía A4.8)

Descripción del sistema de tratamiento

El agua tratada es de tipo residual doméstica, la cual es transportada por una tubería de 4" hacia las cajas de recolección, después es conducida al tanque séptico. Posteriormente el agua es conducida a una estructura de entrada al humedal subsuperficial de flujo horizontal sembrado con *Heliconia* por una tubería de 3", seguidamente el agua es distribuida al humedal por medio de una tubería tipo flauta de 4" con perforaciones de $\frac{3}{8}$ " realizadas con una broca para permitir que dicha distribución del agua fuera uniforme y evitar cortos circuitos en el sistema de tratamiento y finalmente el agua es dirigida por una tubería de 2" hacia un humedal de flujo superficial que cuenta con Buchón de Agua. Es importante señalar que al sistema de tubería que cuenta el humedal no se le hizo modificación alguna puesto que éstas se encontraban en óptimas condiciones de uso y cumplían según los parámetros establecidos en el Reglamento del Sector de Agua potable y Saneamiento Básico (Ras 2000, Título E, Tratamiento de aguas residuales)

EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO

Se realizaron muestreos para evaluar la eficiencia del tratamiento de agua potable y se compararon con los datos recomendados por el decreto 1575 de 2007, para determinar si el filtro cumple con los estándares de calidad de agua potable, al igual que se compararon los datos especificados en el decreto 1594/84 en relación a las aguas residuales.

Descripción del muestreo

Los muestreos se realizaron entre los meses de Noviembre del año 2014 y Febrero del año 2015, periodo en el cual se llevaron a cabo los respectivos análisis del agua potable provenientes del tratamiento FIME y el agua residual doméstica provenientes del humedal, analizando el afluente y efluente de los dos sistemas. Estos análisis fueron desarrollados en: laboratorio de química Ambiental de la Universidad del Cauca, laboratorio de calidad de aguas del grupo de investigación Diagnostico y control de la Contaminación (GDCON) ubicado en la Universidad de Antioquia (Medellín), laboratorio de la Corporación Autónoma Regional de Cauca (CRC) y laboratorio de la fundación InnovaGen ubicados en la ciudad de Popayán.

Recolección y movilización de las muestras

Las muestras fueron recolectadas en envases plásticos previamente lavados y esterilizados, realizando varias purgas antes de la recolección de las muestras, estos mismos fueron cerrados y preservados en neveras de icopor con gel refrigerante para conservar la cadena de frio y la temperatura de las muestras con el fin de evitar errores debido a la temperatura.

La movilización y entrega de las muestras, se procuró realizar en el lapso de 12 horas en lo posible y como máximo 24 horas, en caso de ser mayor el tiempo se realizó la adición a de ácido sulfúrico a las respectivas muestras para mejorar su preservación.

Se procuró evitar el contacto directo de las muestras con la luz hasta la hora de la determinación de los parámetros en laboratorio.

Las muestras que propasaron el tiempo o que se recolectaron con técnicas inadecuadas fueron desechadas, y se procuró conservar las que se realizaron con la mayor precisión.

Metodología utilizada en la determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Los parámetros fueron determinados en laboratorio. A continuación se describe la metodología utilizada en el análisis de las muestras:

Temperatura

Para determinar la temperatura de cada muestra se empleó un termómetro de mercurio.

pH

En la medición de pH se utilizó un pH-metro Mettler- 827 en donde el electrodo era lavado con agua destilada previamente para realizar la lectura de muestra.

Sólidos suspendidos totales

Para el cálculo de sólidos suspendidos totales se empleó papel filtro circular, secado y pesado previamente en una balanza analítica. Luego el papel filtro se colocó en el dispositivo de filtración en donde la muestra a analizar fue filtrada. Después se trasladó el papel filtro a una caja de Petri para ser secada en la estufa a una temperatura de 105°C durante una hora, seguidamente la muestra se enfrió en el desecador y fue pesada nuevamente en la balanza analítica.

Se empleó la siguiente ecuación para la determinación de sólidos suspendidos totales:

ECUACIÓN 7 DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

$$SST \left(\frac{mg}{L} \right) = \left(\frac{\text{filtro con muestra} - \text{filtro sin muestras}}{\text{volumen muestra (mL)}} \right) g * 1 * 10^6$$

Conductividad

Para realizar la medición de este parámetro se utilizó un conductímetro marca Hanna HI-8733, el cual posee un electrodo que fue introducido en los recipientes que contenían las respectivas muestras y posteriormente se realizaba la lectura correspondiente. El electrodo fue lavado con agua destilada después de cada lectura.

Turbiedad

Para evaluar este parámetro en cada muestra se realizó la lectura mediante el uso del turbidímetro marca HACH- 2100P, en donde las muestras a analizar eran colocadas en las celdas correspondientes para su posterior medición.

Color verdadero

Para la determinación de color verdadero se filtraron 500ml de cada muestra, luego se tomaron 8ml de las muestras filtradas y se depositaron en las celdas del espectrofotómetro HACH DR 2010 realizándose la lectura correspondiente.

Nitratos (NO₃)

De acuerdo con los reportes de resultados en anexo 2 dados por los laboratorios se realizaron las mediciones de nitratos utilizando las siguientes técnicas de acuerdo a cada laboratorio:

Laboratorio de la CRC: SM 4500-NO₃-N/L

Laboratorio GEM: SM 4500-NO₃-B

Laboratorio GDCON: SM 4110-B

Demanda química de oxígeno (DQO)

De acuerdo con los reportes de resultados en anexo 2 dados por los laboratorios se realizaron las mediciones de DQO utilizando las siguientes técnicas de acuerdo a cada laboratorio:

Laboratorio de la CRC: SM5220D, modificado

Laboratorio GEM: SM5220D

Laboratorio GDCON: SM5220D

Fosfatos (PO₄)

De acuerdo con los reportes de resultados en anexo 2 dados por los laboratorios se realizaron las mediciones de fosfatos utilizando las siguientes técnicas de acuerdo a cada laboratorio:

Laboratorio de la CRC: SM4500 P E, modificada

Laboratorio GDCON: SM4500-P E.

PRESUPUESTO INVERTIDO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

EVALUACIÓN DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN Y VIABILIDAD ECONÓMICA (FIME)

TABLA 5 COSTOS TOTALES DEL (FIME) A NIVEL DOMICILIARIO

Costos			
Material	Und de venta	Costo*(und)	Costo total
Valvulas de 2"	Valvula	18000*5	90000
Tubo de 2"	C/d 6mt	60000*3	180000
Tanques de filtracion rápida	Unidad	45000*2	135000
Tanque de filtracion lenta	Unidad	En la comunidad	0
Llave de lavadero	Unidad	10000*1	10000
Tubo de 1"	Cada 6 metros	En la comunidad	0
Arena de puerto tejada	por m3	55000	40000
Grava mixta	por m3	60000	70000
Servicios y Mano de obra			
Transporte de material	por viaje	60000	60000
Maestro de obra	Por dia	60000	120000
Mano de obra	Por dia	Dada por la comunidad	0
Asesoría de diseño	Por plano	0	0
Costo total			705000

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta la población servida:

$$\text{Costo por consumidor} = \frac{\$705000.00}{30 \text{ Consumidores}} = \$23500.00 \text{ por consumidor}$$

Teniendo en cuenta que el sueldo mensual para el año 2015, en el país de Colombia es de \$644.350 se tiene entonces que:

$$\text{Dias de trabajo para costear el (FIME)} = \frac{30 * \$23.500}{\$644.350} = 1.2 \text{ dias de trabajo}$$

Son necesarios 1,2 días para poder acceder a este sistema de tratamiento que si se engloba, y se tiene en cuenta que el tratamiento, representa no solo una mejor calidad de vida si no que también sirve como una barrera de seguridad contra enfermedades como ya se han nombrado, por un costo que es asequible por la mayor parte de la región.

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

RESULTADOS Y ANÁLISIS PARA HUMEDAL

TEMPERATURA

De acuerdo con la tabla A3.2, el promedio en el afluente y efluente fueron de 19,97°C y 20,22°C respectivamente; las temperaturas obtenidas en este estudio son adecuadas para la remoción de nitrógeno y fósforo debido a que los microorganismos responsables de ello funcionan óptimamente con temperatura superiores de 15°C, ya que bajas temperaturas descomponen la biomasa microbiana y el fosforo es liberado de los precipitados, lo que da paso a la solubilización de fósforo en el agua (Akratos y Tsihrintzis, 2007). Además de que cumple por lo establecido según el decreto 1594/84 que especifica que debe ser $\leq 40^{\circ}\text{C}$.

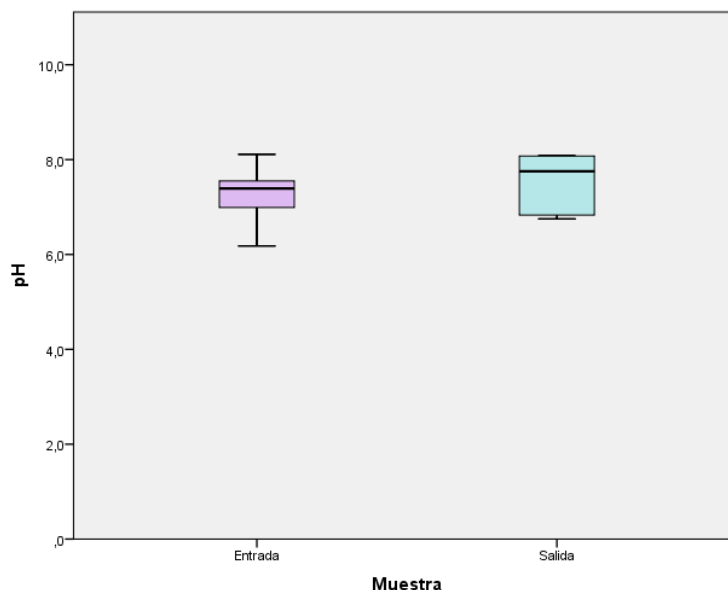
pH

Según la tabla A3.3 para el afluente se obtuvo una media de 7,27 unidades de pH, un valor mínimo de 6,2 y un máximo de 8,1 unidades de pH; el afluente presentó una media de 7,54, un mínimo de 6,8 y un máximo de 8,1 unidades de pH. La media tanto para el afluente como para el efluente estuvieron cercanas a la neutralidad, y se obtuvo un valor de pH igual en los valores máximos, los cuales fueron tuvieron tendencia a la alcalinidad. Por otra parte la desviación estándar para las estructuras de entrada y salida indican que los datos no se encuentran dispersos entre ellos. Los valores de pH se encuentran en el valor estipulado por el decreto 1594/84 para vertimientos el cual debe estar entre 5 y 9 unidades de pH. Igualmente es un rango adecuado para procesos biológicos de nitrificación, en los cuales se recomienda valores de pH de 7,2 a 9,0 al igual que se puede llevar a cabo la desnitrificación, en donde el pH debe de estar entre 6,5 y 7,5 unidades de pH (Romero, 1994).

En la gráfica 1 podemos observar que el pH de la entrada presenta menor dispersión de los datos en relación con los de la salida.

El pH del efluente en relación con el afluente tuvo más datos cercanos a la neutralidad, esto se debe al medio de soporte utilizado ya que la grava o piedra caliza aporta alcalinidad al agua en forma de iones carbonato y/o bicarbonato, afectando el valor de pH (Bernal, 2003).

GRÁFICA 1 BOX-PLOT PARA PH, HUMEDAL



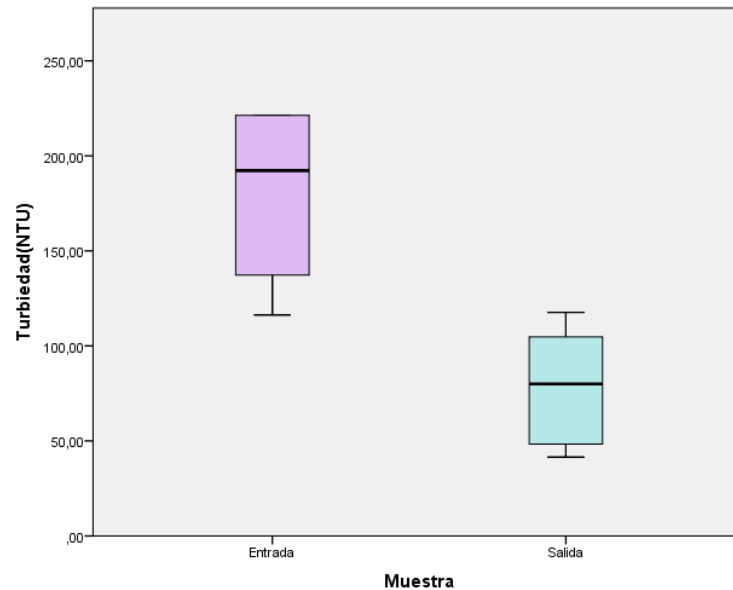
Fuente: Elaboración propia

TURBIEDAD

Como se puede apreciar en la tabla A3.4, el coeficiente de variación es más alto en la salida con un valor de 42,98 NTU, esto pudo presentarse debido a los cambios de velocidad de flujo en el sistema, ya que la población flotante en ocasiones sobrepasaba la capacidad del sistema y muchas partículas podrían desprenderse de la grava provocando las diferencias de turbiedad en el efluente de la planta de tratamiento. La media para el afluente es de 180,12 NTU, mientras que en el efluente fue de 78,69 NTU. Los valores para el mínimo y máximo en el afluente fueron de 116,30 NTU y 221,30 NTU respectivamente y para el efluente se obtuvieron valores de 41,53 NTU y 117,60 NTU.

En la tabla A3.1 se presenta un porcentaje promedio de remoción igual a 57,10% para el parámetro de turbiedad en el sistema, esto indica que hay remoción de sólidos suspendidos al igual que la materia orgánica presente por medio de los diferentes procesos físicos y biológicos en el agua que permite disminución de la turbidez. El día 6 de noviembre se obtuvo el menor porcentaje el cual fue de 33,37% como se puede observar en la tabla A1.4, esto pudo deberse a que en ese día la población presente en la granja de estudio fue elevada lo cual aumento el flujo del agua evitando que se llevaran adecuadamente los procesos de filtración de los sólidos.

GRÁFICA 2 BOX-PLOT PARA TURBIEDAD, HUMEDAL



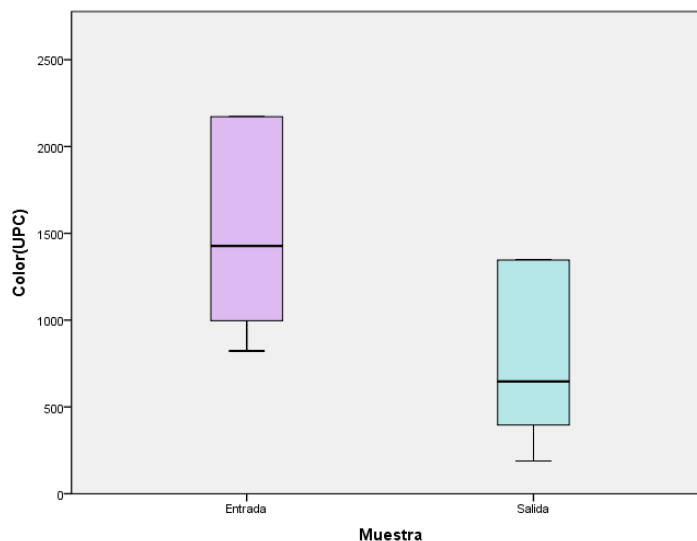
Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 2 se observa que los datos en la entrada del sistema se encuentran más dispersos en comparación a los datos de la salida y la turbiedad disminuye durante todo el proceso de tratamiento debido a los procesos constantes presentes en el humedal subsuperficial de flujo horizontal.

COLOR

En la tabla A3.5 se observa que la media de la estructura de entrada del sistema fue de 1502,96 UPC y para la salida se alcanzó un valor de 761,67 UPC. Los días 17 y 29 de diciembre se presentaron los valores menores de color correspondientes a 823 UPC y 997 UPC en el afluente (ver tabla A1.5) esto pudo deberse a que el agua a tratar estaba más diluida en comparación al resto de muestras en donde hubo más concentración de la población en la granja de estudio. Las diferencias de los valores también pudieron deberse a una mala medición de este parámetro en el laboratorio.

GRÁFICA 3 BOX-PLOT PARA COLOR, HUMEDAL



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3 se puede observar que los datos de la salida estuvieron por debajo en comparación a los de entrada, por lo cual hubo remoción de color. Además los datos de la entrada están un poco más dispersos que los de la salida, aunque para ambos grupos de datos la dispersión es evidente debido a los valores tan altos en el coeficiente de variación como se muestra en la tabla A2.5 esto pudo darse porque algunas muestras fueron tomadas en épocas de invierno ocasionando aumento en el color del agua debido a las diferentes sustancias arrastradas por el flujo del sistema.

Debido a que en el sistema hubo remoción de sólidos suspendidos por efectos de filtración y sedimentación, al igual que también la hubo para la materia orgánica gracias a la actividad microbiana, el color también es un parámetro que disminuye en el tratamiento de las aguas residuales utilizando el humedal. En la A3.1 se puede observar un porcentaje promedio de 54,21%.

Al momento de la toma de muestras se observó a simple vista un cambio de color en el efluente ya que era un poco más claro en relación con el color del agua del afluente.

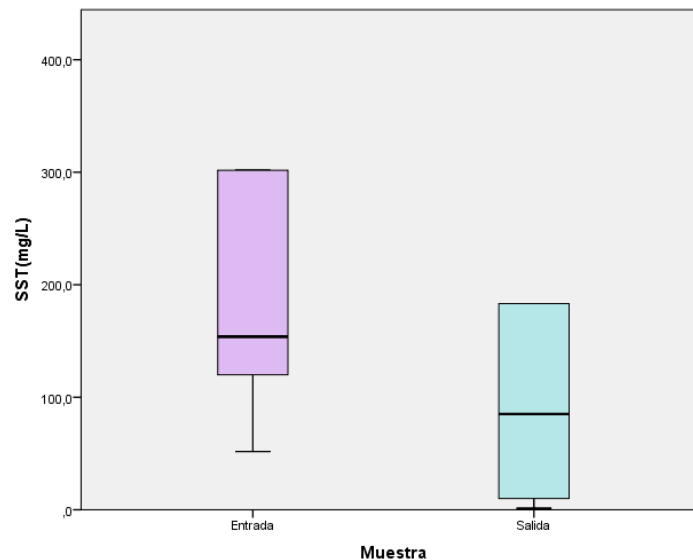
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)

Según lo representado en la tabla A1.6 tanto para los datos de la entrada como para los de la salida el coeficiente de variación es elevado lo que indica que hay dispersión de los datos. Esto es porque la concentración de sólidos en la entrada puede variar dependiendo de la cantidad de personas concentradas en la granja de estudio, cuando se presentan pocas personas gran parte de los sólidos pueden

ser removidos en el tanque séptico; en la salida el coeficiente de variación que se obtuvo fue de 87,4 ese incremento pudo ser ocasionado dentro del humedal al no tener un control sobre la velocidad de flujo en donde los sólidos puedan ser sedimentados debidamente.

Los porcentajes de remoción de sólidos suspendidos totales en el sistema en general estuvieron bajos según lo mostrado en la tabla A1.6, esto pudo deberse también a que nos encontrábamos en épocas de lluvia lo que puede presentar arrastre de sólidos por escorrentía al sistema. Además es importante tener en cuenta que se pudo presentar resuspensión de sedimento provocando baja eficiencia de remoción. Algo de resuspensión podría ocurrir durante periodos de velocidad de flujo alta en el humedal al aumentar la población en la granja de estudio. Más comúnmente la resuspensión es el resultado de la turbulencia de la dirección del viento, bioturbación (perturbación por animales y humanos) y desprendimiento de gas. El desprendimiento de gas resulta a partir de gases como el oxígeno, a partir de la fotosíntesis de las plantas, metano y dióxido de carbono, producto de los microorganismos en el sedimento durante la descomposición de la materia orgánica. (Benefield, L.D. and C.W. Randall, 1980).

GRÁFICA 4 BOX-PLOT PARA SST, HUMEDAL



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 4 podemos observar que el comportamiento de los datos en las estructuras de entrada como en los de salida se encuentran dispersos debido al tamaño de las cajas. Cabe anotar que la mayor parte de los sólidos suspendidos y sedimentables deben ser removidos en el tratamiento primario, pero la granja María Auxiliadora carece de un buen tratamiento primario lo que conlleva a una

baja remoción de sólidos y lo más seguro es que en un futuro el sistema de tratamiento se colmate.

Según la tabla A1.6, el día 21 de noviembre se presentó el porcentaje mínimo de remoción para sólidos suspendidos totales el cual fue de 21,67 y para el 18 de noviembre el mayor porcentaje de remoción porcentaje correspondiente a 97,49 (ver tabla). El porcentaje promedio de remoción que se obtuvo fue de 60,03% (ver tabla A2.1) el cual se encuentra por debajo de lo permisible según el decreto 1594/84 el cual contempla un valor $\geq 80\%$; al igual que lo reportado por otros autores, en donde el porcentaje de remoción esta entre 65% y 85% (Vymazal y Kropfelová 2008)

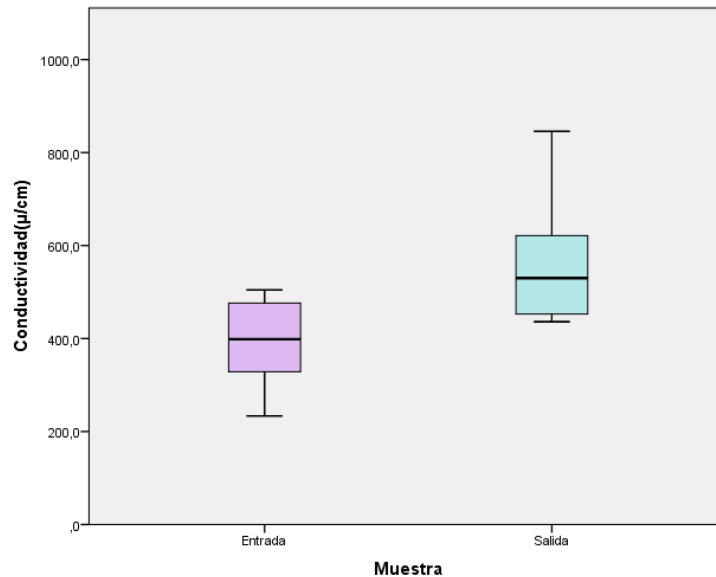
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Según la tabla A3.7 el coeficiente de desviación tanto para la entrada como para la salida estuvieron cercanos a un valor de 26 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que indica la dispersión en los datos es similar. Los valores mínimos fueron de 233,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para la estructura de entrada y de 436,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para la estructura de salida; los valores máximos fueron de 504,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 845,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente.

En la tabla A1.7 se observa que la conductividad eléctrica aumenta en la estructura de salida para todas las muestras obtenidas en las diferentes fechas. El 17 de Febrero se presentó una conductividad baja en la estructura de entrada, esto pudo deberse a que en la entrada, el agua pudo estar más diluida y con menos concentraciones de sales en el agua debido al bajo flujo de personas en la granja.

Guerra citando a Mujeriego (1990) presenta que el límite de conductividad eléctrica para aguas de riego como 3 milimhos/cm, los resultados obtenidos en la presente investigación se presentan en $\mu\text{S}/\text{cm}$, la relación o transformación es $1000 \mu\text{S}/\text{cm} = 1 \text{ milimhos}/\text{cm}$, por lo tanto el límite es 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$; indicando que según los datos obtenidos de conductividad en la investigación el agua es apta para riego.

GRÁFICA 5 BOX.PLOT PARA CONDUCTIVIDAD, HUMEDAL



Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la gráfica 5 La dispersión de los datos de entrada es un poco menor en comparación a los datos de la estructura de salida. El desplazamiento de la caja de los datos de salida esta desplazada hacia la parte inferior, lo que indica que hay un valor lejano en la muestra pero que no es un valor extremo.

Por otra parte, se puede observar que los datos de salida están por encima de los de entrada, es decir que hay un aumento de la conductividad eléctrica durante el tratamiento de las aguas residuales por lo cual no se están removiendo las sales provenientes del agua residual.

El incremento de la conductividad en el efluente puede deberse a que la grava libera sales por fricción con el agua, a medida de que esta fluye por el sistema (Bernal et al, 2003).

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)

El día 6 de mayo del 2015, se realizó un análisis de demanda biológica de oxígeno (DBO) al afluente y efluente del humedal subsuperficial de flujo horizontal, en el cual se obtuvieron concentraciones de 412 mg/L de DBO y 74,2 mg/L de DBO respectivamente según se observa en la tabla A2. 14, con lo que se alcanzó un porcentaje de remoción del 82%.

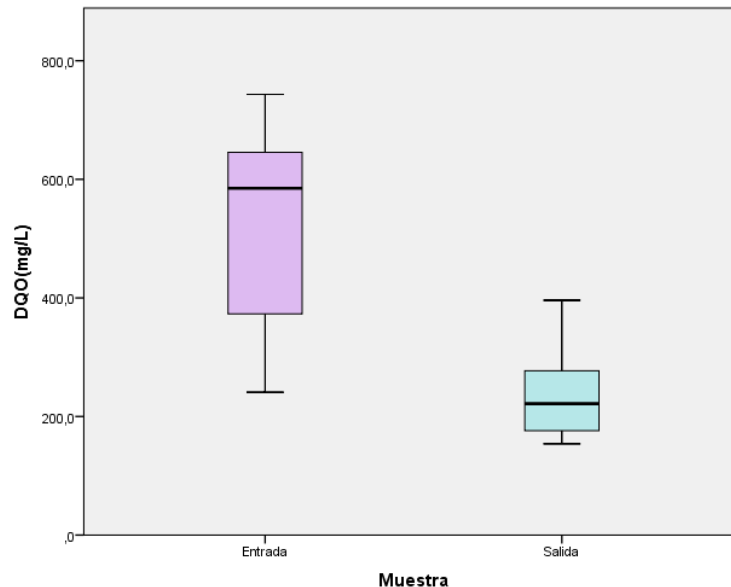
Es necesario destacar que en aguas residuales domésticas, el valor de DBO representada en promedio un 65% a 75% del total de la materia orgánica oxidable. (Romero, 2005).

Por otra parte, los sistemas sembrados con *Heliconia* presentan remociones entre el 60 y el 80% según Peña, et al (2013) citando a Reed et al, 1995; Kadlec y Knight, 1996; Karathanasis et al, (2003), por lo que el dato fue consistente con lo reportado por los autores.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

Las remociones de DQO en el sistema de tratamiento de aguas residuales mediante un humedal artificial de flujo horizontal en esta investigación no fueron tan elevadas, según lo observado en la tabla A1.8. En los humedales artificiales, la capacidad de remoción se debe a los efectos combinados entre el tiempo de retención hidráulica, la acción filtrante del sustrato para retener sólidos suspendidos del agua y la actividad biológica del sistema (Rodríguez y Durán 2006). Es por esta razón que el diseño del humedal no es el correcto debido a que el Área del humedal es muy pequeña en comparación a la carga orgánica a tratar, especialmente cuando la población llega a capacidades superiores a las 30 personas para las cuales fue diseñado el sistema de tratamiento; además el tiempo de retención, el cual fue de 2,3 días, está por debajo de lo recomendado (3 a 7 días) según Tchobanoglous (2000), evitando de esta forma que se lleven adecuadamente los procesos necesarios para mejorar la calidad del agua.

GRÁFICA 6 BOX-PLOT PARA DQO, HUMEDAL



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 6 nos muestra que la dispersión de los datos es mayor en la estructura de entrada que en la salida, y las concentraciones de DQO disminuyen lo que puede indicar que las bacterias están degradando la materia orgánica dentro del sistema de tratamiento.

Según la tabla A3.1 en relación a la demanda química de oxígeno, se obtuvo una remoción global de 43,13%, pero el decreto 1594/84 sugiere que la demanda bioquímica para desechos domésticos debe tener una remoción $\geq 80\%$, por lo tanto no se está cumpliendo con la normatividad. Es por esto que deben realizarse cambios en la estructura del humedal que asegure una eficiente remoción de DQO.

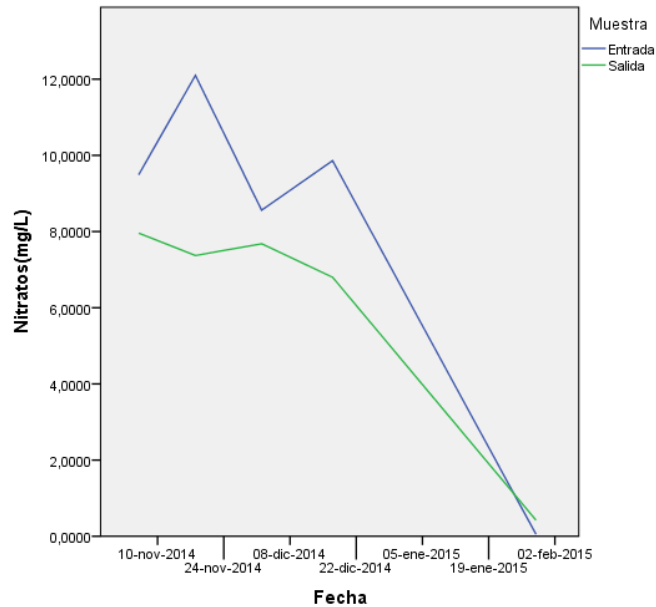
Las concentraciones resultantes de DQO en este trabajo son similares a las reportadas por Steinmann et al. (2003) y Jawarkar (1995) citados por Ramos (2007), quienes lograron remociones de 37.6 % y de 28 a 41 %, respectivamente, empleando un sistema de humedal. Pero estuvo por debajo de lo citado por Silva (2011), quien obtuvo una remoción del 80,3% utilizando Heliconia en humedales de flujo subsuperficial.

NITRÓGENO

Según la tabla A1.9 se observa que a través del humedal se presentó variación de las eficiencias de remoción para nitrógeno, en los meses en donde se presentó una buena remoción es posible que la traslocación de oxígeno mediante las raíces de las plantas haya sido suficiente para favorecer los procesos de nitrificación y desnitrificación (Gutiérrez, 2010). Por otra parte, no se pudieron analizar las 6 muestras de nitratos propuestas para el desarrollo del trabajo, debido a que el día 17 de Febrero del 2015 se realizó el respectivo análisis de nitrato en la ciudad de Medellín, y al parecer el método utilizado presentó una baja sensibilidad en el análisis, es por esto que se reporta una entrada de 2 mg/L y una salida de <2mg/L. En la tabla A2.1 se observa que el coeficiente de variación para las estructuras de entrada y salida es elevado, esto pudo haber ocurrido porque no hay un control de flujo adecuado en el sistema de tratamiento.

En la gráfica 7 se observa que el día 29 de Enero del 2015, hay una concentración baja en la entrada del humedal correspondiente a 0,054mg/L aportando niveles bajos de nutrientes, esto pudo presentarse porque había pocas personas en la granja de estudio y el tratamiento primario pudo remover gran parte del nitrógeno presente, asociado a fenómenos de sedimentación y a una probable amonificación por la hidrólisis de proteínas y posterior degradación de aminoácidos (Madera, et al).

GRÁFICA 7 COMPORTAMIENTO DE NITRATOS, HUMEDAL



Fuente: Elaboración propia

En los humedales el nitrógeno asimilado es incorporado a la biomasa y por tanto eliminado del agua. Al morir las partes aéreas de las plantas, durante su senescencia anual, el nitrógeno puede retornar al humedal, por ello se recomienda podar la vegetación justo antes de la senescencia. En general las plantas de los humedales eliminan entre un 10 y un 20% del nitrógeno (García y Corzo, 2008). En el caso en donde la concentración de nitratos aumento, pudo deberse a que algunas hojas cayeran al sistema, incorporando de esta forma algo de nitratos en la muestras del efluente.

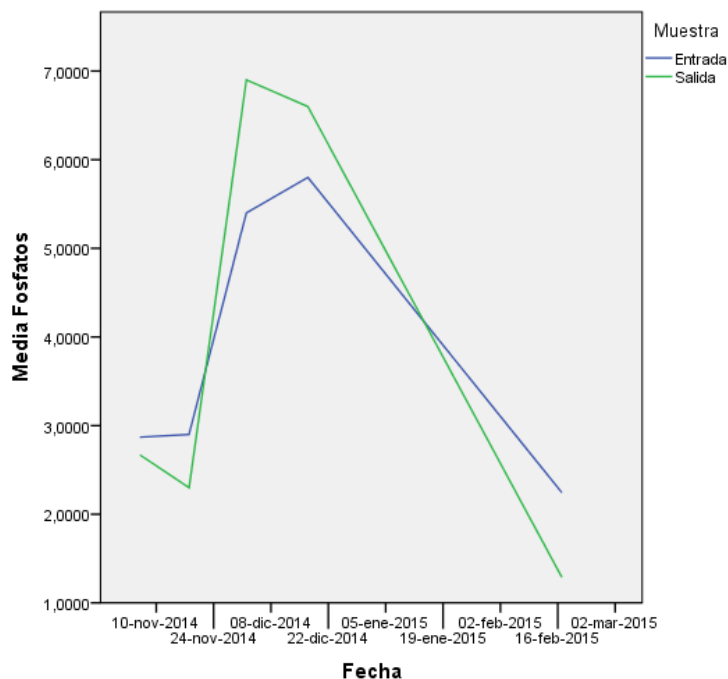
Numerosos estudios han demostrado que mediante la asimilación y cosecha de los macrófitos, como mucho se elimina entre un 15 y un 20% del nitrógeno, Stottmeister (2003) citado por García (2004). Esto hace que la nitrificación combinada con la desnitrificación sea en realidad el principal mecanismo de eliminación de nitrógeno (teniendo en cuenta que la principal especie de nitrógeno en el agua residual es habitualmente el amoníaco).

García (2004) reportó porcentajes de remoción de nitrógeno en un rango de 9,3% a 88% con un promedio de 37,8%; Valores que se encuentran por debajo de lo analizado en este estudio.

FÓSFORO

El fósforo fue analizado para cinco muestras ya que la muestra faltante para el día 29 de enero del presente año no pudo ser determinada en el laboratorio correspondiente, debido a problemas en el equipo utilizado.

GRÁFICA 8 COMPORTAMIENTO DE FOSFATOS, HUMEDAL



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 8 se observa que en los días de noviembre hay remoción de fosfatos, esto pudo darse por la absorción de las plantas y microorganismos. La absorción de nutrientes por parte de las plantas es principalmente por la raíz, siendo esto altamente variable estacionalmente, aumentando considerablemente en época de crecimiento, aunque el fósforo removido por las plantas es insignificante en comparación a la precipitación (Reyes, 2011). Al realizar la toma de muestras las plantas llevaban aproximadamente 6 meses de ser plantadas, por lo cual se encontraban en crecimiento lo que permite que el fósforo fuera asimilado por ellas en cierta proporción.

En muchos estudios se ha observado que después de la puesta en marcha de los humedales se obtiene una buena eficiencia de eliminación del fósforo, sin embargo trascurrido el tiempo de operación del sistema se evidencia disminución de la capacidad de eliminación de este. Esto es debido a que el medio granular limpio tiene capacidad de adsorción, pero esta se va perdiendo rápidamente (García y Corzo, 2008)

En el caso de los microorganismos que están presentes en el material de soporte como biopelícula, este nutriente es esencial ya que lo asimilan para así poder llevar a cabo los procesos metabólicos para su desarrollo y su reproducción incorporándolo a sus tejidos y como la tasa de crecimiento de los mismos se lleva a cabo muy rápido los microorganismos juegan un papel muy importante en la remoción de este elemento (Reyes, 2011).

Según la tabla A3.9 el coeficiente de variación tanto para la estructura de entrada como para la de salida es alto, esta dispersión de datos pudo darse debido a que los detergentes, los cuales son la fuente principal de fósforo como se mencionó anteriormente, no son utilizados con mucha frecuencia por la familia que habita en la granja y habrán días en que la concentración de fósforo sea menor.

En la tabla A1.10 se puede apreciar que las concentraciones de ortofosfato fueron mayores en la estructura de salida para los días 2 y 17 de Diciembre del 2015 obteniéndose concentraciones de 6,9mg/L y 6,6mg/L, en la entrada las concentraciones de ortofosfato fueron de 5,4mg/L y 5,8mg/L para los mismos meses. Esto pudo ocurrir a que el sustrato de suelo (grava) que se agregó sobre el plástico negro, el cual cumple con la función de impermeabilizar, pudo haber estado liberando ortofosfato al no realizarse un tratamiento previo (Pardo, 2007).

En consecuencia, la cantidad de fósforo asimilado o fijado en el sustrato es pequeña en relación a la aportada por el agua residual. Estos resultados sugieren que el humedal diseñado, bajo las condiciones experimentales de este trabajo, no constituye un método efectivo para la eliminación de fósforo. De acuerdo a Cenagua (1999) citando a Kickuth, (1990) y Geller (1990), la incorporación de arcilla en el medio filtrante puede favorecer la absorción de fósforo, pero la presencia de arcilla debe dosificarse muy bien para evitar que no disminuya de manera muy importante la conductividad hidráulica del medio filtrante.

Se han realizado grandes esfuerzos para desarrollar medios granulares con alta capacidad para retener fósforo. No obstante, ésta se acaba perdiendo y el medio se debe reemplazar. En la actualidad parece que la mejor manera de eliminar el fósforo es incorporando en los sistemas de humedales procesos de precipitación, por ejemplo por adición de sales de aluminio. (Arias y Brix, 2005)

Según lo mencionado por Coleman et al (2000) la remoción de fosforo en sistemas de humedales costruidos es de un 55%. Dependiendo de las tasas de carga, el tiempo de retención y las características del medio las remociones pueden variar de entre 10 y 40% (Tchobanoglous, 2000) pero en este estudio la remoción estuvo por debajo de los rangos citados, por lo cual es necesario aumentar el área superficial y el tiempo de retención en el sistema de tratamiento para una mayor remoción.

COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DQO y DBO EN EL HUMEDAL CONSTRUÍDO EN EL AÑO 2002 Y EL HUMEDAL CONSTRUÍDO EN EL AÑO 2014

Se compararon las remociones para DQO y DBO en los dos humedales, con el fin de analizar si son significativamente diferentes o no en su tratamiento a las aguas residuales domésticas presentes en la granja María Auxiliadora, para ello se utilizó las herramientas del programa estadístico SPSS.

Comparación del parámetro DQO

Debido a que se tienen menos de 50 datos, se utilizó la prueba de Shapiro- Wilk para determinar la normalidad de estos (ver tabla A3.12).y se plantearon las siguientes hipótesis:

H_0 = La distribución de los datos es normal.

H_1 = La distribución de los datos no es normal.

El P calculado es mayor a 0,05, por lo tanto se acepta la hipótesis nula y se concluye que la distribución de los datos es normal.

Posterior a este análisis se utilizó la prueba T para muestras pareadas en donde se compararon las medias de los porcentajes de remoción de DQO en los dos humedales, por lo tanto:

H_0 = La remoción de DQO en los humedales es similar.

H_1 = La remoción de DQO en los humedales no es similar.

Como el valor de P es mayor que 0,05 según la tabla A3.13, se llegó a la conclusión de que la remoción de DQO en los humedales construidos es similar; al ser población flotante se presentaron días en donde la carga orgánica a tratar era baja presentándose una buena remoción de DQO. En el año 2002 y 2014 se utilizaron macrófitas diferentes en los humedales, *phragmites australis* y *Heliconia* respectivamente, lo que indica que las remociones entre estas plantas no son significativamente diferentes, aunque es necesario mejorar la remoción utilizando un adecuado tratamiento primario y aumentando el área del humedal ya que en ocasiones la población flotante aumenta considerablemente.

Comparación del parámetro DBO

En ésta investigación se obtuvo una remoción de demanda bioquímica de oxígeno igual a 82% la cual fue realizada el día 6 de mayo del presente año, con el fin de comprobar si dicha remoción es similar a las obtenidas en el humedal subsuperficial de flujo horizontal construido en el año 2014 se procedió a calcular el rango de las remociones en dicho humedal con un 95% de confiabilidad estadística.

En la tabla A3.15 se observa que el límite inferior fue igual a 65,91 y el límite superior tuvo un valor de 82,28; por lo tanto el porcentaje obtenido en el presente trabajo se encuentra dentro del rango de remoción de DBO obtenido en el humedal construido del año 2002, es decir que la remoción de DBO en los humedales utilizando plantas como *phragmites australis* y *Heliconia* son similares en el tratamiento de aguas residuales.

FILTRO LENTO

TEMPERATURA

Se realizaron mediciones de temperatura en campo y en laboratorio:

Temperatura en campo.

Se realizaron diferentes medidas de temperatura obteniendo una Temperatura media= $22^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$, ya que con ayuda de la literatura estudiada, es de gran importancia que los gradientes de temperatura no sean bruscos, como dice Pachocka, 2010 citando a Bellamy et al. (1985a), pues los gradientes altos de temperatura generan disminución en la remoción de coliformes en la filtración lenta, debido a que se somete al biofilm a un fuerte estrés con los gradientes de temperatura.

Temperatura en laboratorio.

Se obtuvieron valores máximos que sobrepasan los valores recomendados de temperatura para conservación ver tabla 6, debido a esto se pueden generar una serie de errores en la preservación de la muestra que se deben tener en cuenta en caso de valores atípicos en los resultados obtenidos en los laboratorios, a pesar de tomar todas las medidas para la preservación en frío se pudieron generar escapes aumentando así la temperatura de las muestras recolectadas

TABLA 6 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA TEMPERATURA FIME

Temperatura C°	Media	Mediana	cv%	Mínimo	Máximo
Afluente	9,638	9,735	37,8	5,2	14,3
Efluente	10,440	11,085	41,7	5,0	16,0

Fuente: Elaboración propia

pH

La tabla 7 se obtuvo a partir de los diferentes muestreos realizados para el sistema de (FIME), con el fin de identificar el comportamiento del sistema, y el cumplimiento adecuado de la normatividad vigente para agua potable.

TABLA 7 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA PH FIME

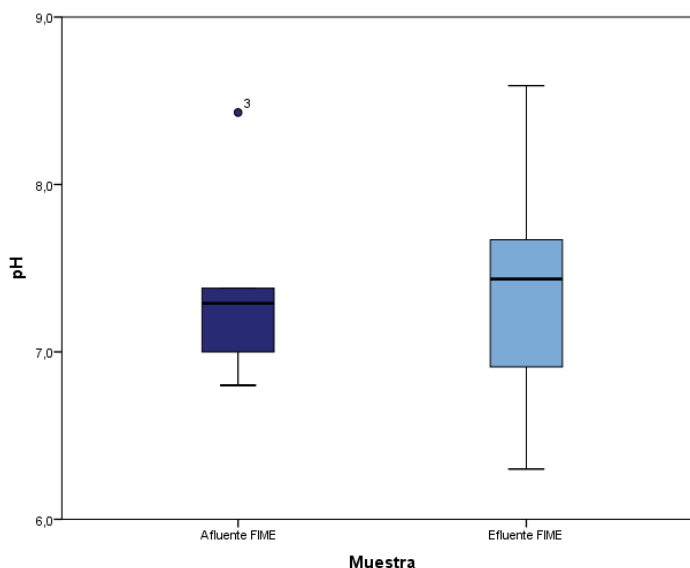
pH	Media	Mediana	cv%	Mínimo	Máximo
Afluente	7,365	7,290	7,7	6,8	8,4
Efluente	7,398	7,435	1,3	6,3	8,6
Decreto 1575 de 2007-----				6,5	9,0

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 7 se puede observar que existe un valor que se encuentra por debajo de lo recomendado, aun así los demás parámetros mantienen un comportamiento dentro de lo obligado por la normatividad vigente para agua potable, y este valor no se encuentra tan alejado de lo mencionado por la normatividad, este valor es aceptable para fuentes de agua potable, y se puede aceptar, también hay que tener en cuenta que la disminución del pH, se puede haber generado por un proceso de eutrofización debido a las algas presentes, que generan dióxido de carbono en las noches, aun así el agua generada es de condiciones aptas para el consumo humano.

En la gráfica 9 para pH se observa según la gráfica de box-plot, que los datos de pH del afluente se encuentran menos dispersos a los valores del efluente, por lo que se puede suponer, que debido a sedimentos contaminantes presentes en la tierra y grava generan un aumento o disminución de pH ampliando la dispersión del pH en el efluente

GRÁFICA 9 DIAGRAMA BOX-PLOT PARA PH FIME



Fuente: Elaboración propia

TURBIEDAD

En la tabla 8 se puede observar el cumplimiento del decreto para agua potable en el efluente del FIME, se observan valores altos de remoción que permitieron alcanzar la meta de un efluente de buena calidad para el consumo humano, lo que demuestra que el FIME está realizando un buen trabajo en el tratamiento del afluente recibido del acueducto

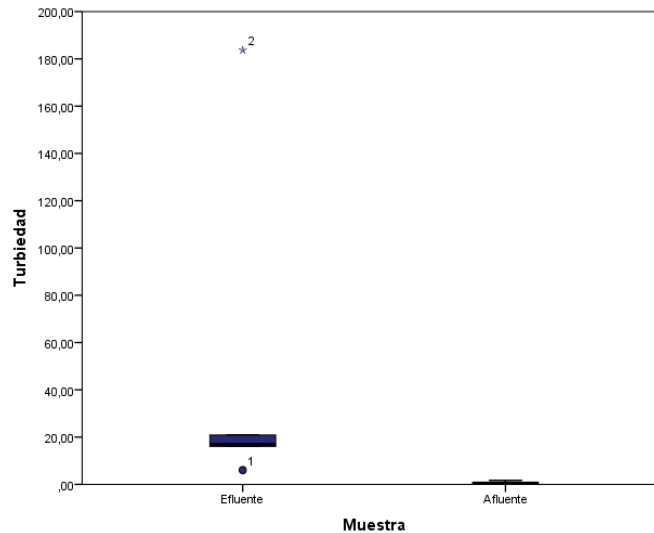
TABLA 8 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA TURBIEDAD FIME

Turbiedad (NTU)	Media	Mediana	Cv%	Mínimo	Máximo
Afluente	43,423	16,915	68,9	6,05	183,70
Efluente	0,754	0,605	0,5	0,30	1,70
Remoción%	94,873	95,923	4,5	87,60	99,79
Decreto 1575 de 2007-----					<5

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 10 referente al grafico de box-plots se puede ver claramente una dispersión menor para los datos del efluente, referente a que se encuentran en un menor rango, al mismo tiempo se observa una mayor asimetría en el afluente que en el efluente, que era lo que se esperaba, y se puede ver la remoción en relación del afluente y efluente.

GRÁFICA 10 DIAGRAMA BOX-PLOT PARA TURBIEDAD FIME



Fuente: Elaboración propia

CONDUCTIVIDAD

En la tabla 9 se puede observar un ligero aumento en la conductividad después de pasar por el tratamiento lo que se puede traducir en una liberación de sales o

como por ejemplo aniones de cloruro, nitrato, sulfato y fosfato, que como se sabe pueden encontrarse en la grava o en la arena de puerto tejada, además de otras sales, por lo que se puede concluir que existe un aumento pero es mínimo

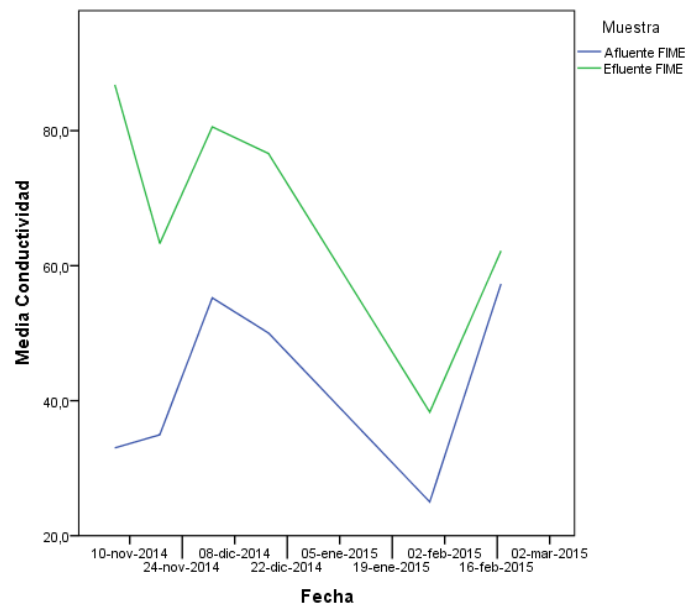
TABLA 9 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA CONDUCTIVIDAD FIME

Conductividad (uS/cm)	Media	Mediana	Cv%	Mínimo	Máximo
Afluente	42,587	42,495	31,3	25,0	57,3
Efluente	67,962	69,950	25,6	38,3	86,8
Decreto 1575 de 2007-----				50	1000

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar los valores de conductividad a la hora de entrar se encuentran por debajo del límite permisible y en el efluente tienen un incremento permitiendo que se encuentren en el límite permisible para conductividad dado por el decreto 1575 de 2007, esto como se enuncio anteriormente se debe a la cantidad de sales y iones en el agua, bajas cantidades de iones en el agua pueden generar problemas de salud en las personas debido a la necesidad de estos en la dieta diaria de los seres humanos.

GRÁFICA 11 COMPORTAMIENTO DE LA CONDUCTIVIDAD ATRAVÉS DEL TIEMPO FIME



Fuente: Elaboración propia

Como se logra observar en la gráfica 11 la conductividad a través del tiempo va disminuyendo la diferencia entre el afluente y el efluente, en el primer dato se

observa una diferencia bastante grande pero a través del tiempo va disminuyendo lo que puede implicar que con el uso el agua va limpiado las impurezas en cierto sentido, el filtro va madurando indicando una mejora en la calidad del agua final.

COLOR

El color en el agua puede deberse a la presencia del contenido natural de metales o iones metálicos en disolución, humus o residuos orgánicos, plancton o desechos industriales. Como se observa en la tabla 10 existe una remoción pero muy baja de color verdadero debido a que el funcionamiento del (FIME) como tal no está destinado para remociones de color verdadero, se debe realizar un análisis más a fondo para determinar si son errores con el equipo de laboratorio, o se deba a una calidad de agua muy mala.

TABLA 10 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA COLOR FIME

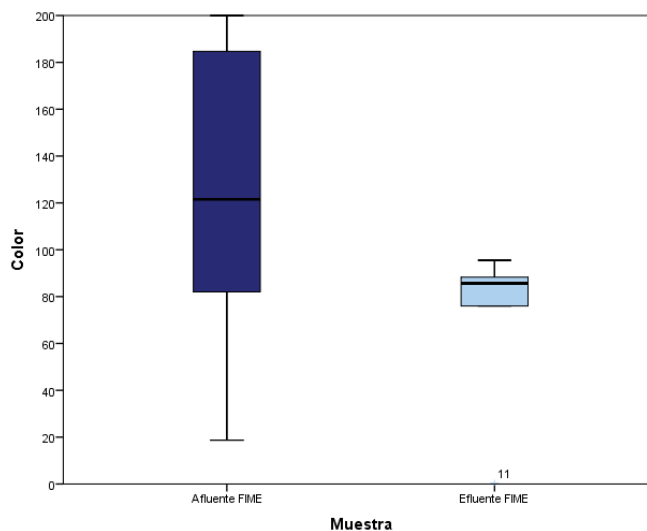
Color(UPC)	Media	Mediana	Cv %	Mínimo	Máximo
Afluente	121,40	121,50	57,10	19	200
Efluente	71,80	85,50	49,78	0	96
Remoción%	43,57	44,47	79,51	7,32	100,00
Decreto 1575 de 2007-----					15

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 10 el valor de color promedio a pesar de que disminuyo al pasar por el sistema no alcanza a cumplir con la normatividad vigente estos se puede deber, a diferentes contaminantes, en los que se debe tener en cuenta las algas generadas en el sistema (FIME) que podrían ser las principales causantes de un color verdadero, también se debe realizar más mediciones en diferentes laboratorios para determinar que los valores propuestos sean correctos y no un problema con los equipos de medición.

En el diagrama box-plot grafica 12 se puede observar la distribución de datos de color del afluente y efluente no son similares, también se observa una mayor distribución en los datos del afluente, esto se debe a que es el comportamiento natural de un agua de origen natural pues sus condiciones varían según la estación climática además de otros factores que se pueden generar aguas arriba, en comparación con los datos del efluente, también se observa que el grupo de datos en la caja del afluente son valores mayores a diferencia de los del efluente, esto gracias a la remoción generada en el sistema.

GRÁFICA 12 DIAGRAMA BOX PLOT PARA COLOR VERDADERO FIME



Fuente: Elaboración propia

SST SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

En la tabla 11 se pueden observar los valores de remoción para las diferentes muestras tomadas se puede observar que cuando la muestra del afluente tiene bajas concentraciones de SST la remoción es baja esto debido a que el agua esta entrando con una buena calidad, pero al existir incrementos ya sean debido por lluvias o mal funcionamiento de los desarenadores aguas arriba, el filtro remueve la mayor parte de los sólidos presentes en esta, permitiendo una mejor calidad de agua en el efluente.

TABLA 11 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES FIME

Solidos Suspendidos Totales (mg/Lt)	Media	Mediana	Cv %	Mínimo	Máximo
Afluente	57,64	34,00	128,28	10	207
Efluente	11,37	12,77	61,67	0,00	19
Remoción %	67,48	68,89	45,72	15,56	100
Decreto 1575 de 2007-----					<500

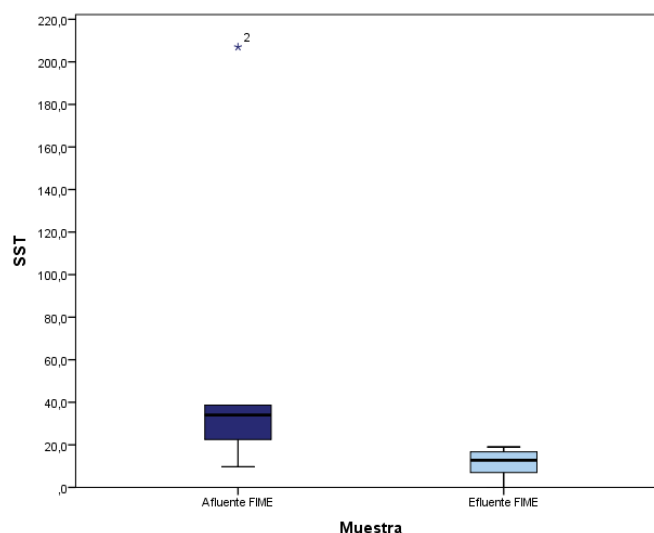
Fuente: Elaboración propia

En comparación con la normatividad referente a sólidos totales, la cantidad de sólidos suspendidos se encuentra muy por debajo de esta, debido a que no existe un límite normativo para comparar con sólidos suspendidos se compara con la normatividad de sólidos totales sabiendo que los sólidos suspendidos hacen parte

de los sólidos totales y son generalmente la mayor parte, también se refleja una clara remoción del 80% como se enunció anteriormente el filtro funciona mejor para remover grandes cantidades de sólidos suspendidos pero cuando esta es muy baja, se mantiene baja la remoción, igualmente se observa una variabilidad más baja en los datos del efluente, lo que genera un efluente con una condición uniforme, y de buena calidad.

En el diagrama de boxs plot se puede ilustrar lo dicho anteriormente, las concentraciones del efluente para el sistema mantienen una mayor uniformidad en los datos y se encuentran menos dispersos, lo que indica que el tratamiento mantiene una concentración estándar de SST en el agua tratada que se encuentra por debajo de la normatividad, es más asimétrica el agua del afluente esto es lógico ya que no se puede tener un control en la calidad del agua entrante, pero el agua del efluente se encuentra más simétrica y menos dispersa, de acuerdo a los SST.

GRÁFICA 13 DIAGRAMA DE BOX PLOT PARA SST FIME



Fuente: Elaboración propia

DQO

Las medidas de DQO se encuentran por debajo del rango de sensibilidad de la metodología utilizada, el agua se encuentra con concentraciones muy bajas de DQO, y se obtuvo un resultado que se encuentra por fuera del rango esto se puede deber, a que la muestra se analizó en Medellín en un laboratorio más alejado y se pudieron generar problemas de conservación en la muestra, además que valores mayores a 10 representan aguas muy contaminadas que no aplica para el presente caso.

TABLA 12 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DQO FIME

DQO (mg/Lt)	Media	Mediana	Cv %	Mínimo	Máximo
Afluyente	28,350	4,200	175,89	4,0	128,7
Efluyente	25,483	4,000	169,37	4,0	111,9

Fuente: Elaboración propia

Además de que existe un gran variabilidad de datos como se puede observar en el coeficiente de variación, también se observa que en la mayor parte de los casos las concentraciones se encontraban por debajo de la sensibilidad del método utilizado por lo que no se puede apreciar correctamente el porcentaje de remoción y no es tomado en cuenta ya que podría ser un dato erróneo por los problemas tenidos tanto en la toma de muestras, con en el manejo y evaluación de las mismas, ya que algunas sobrepasaron el tiempo recomendado entre la recolección y la medición.

La calidad del agua del afluyente es de muy buena calidad con una desinfección con cloro puede alcanzar los estándares mínimos de calidad de agua potable, no existe normatividad relacionada con los valores de DQO.

NITRATOS

Las altas concentraciones, pueden generar problemas en la salud, es por esto que es de gran importancia que los tratamientos de agua potable mantengan la medida de nitratos por debajo de la concentración recomendada, según la tabla 13 los datos del afluyente son mayores que los del efluyente a pesar de que en algunos se presenta un aumento de nitratos, esto se puede deber a sedimentos presentes o a algún contaminantes en el momento de la recolección de la muestra, pero en la generalidad de los datos se presenta una disminución al pasar por el tratamiento.

TABLA 13 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA NITRATOS FIME

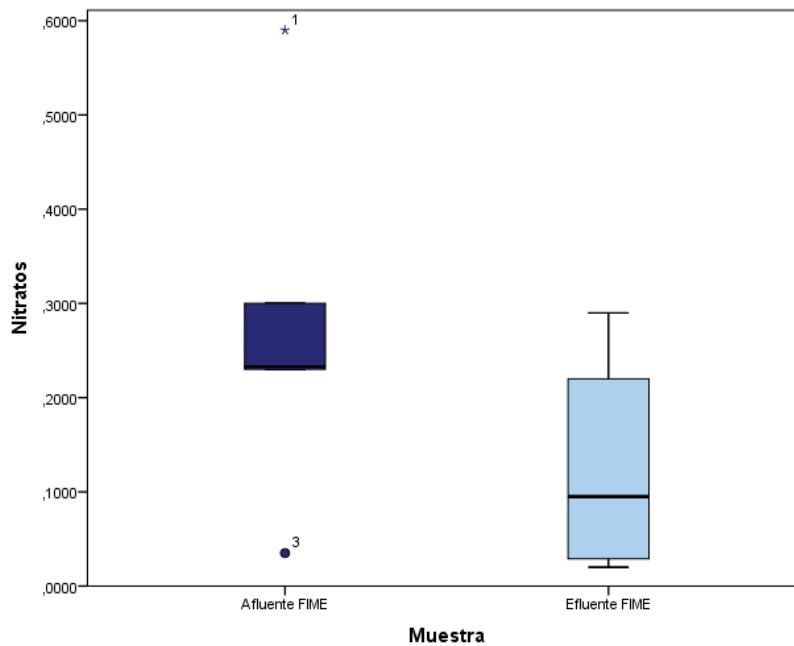
Nitratos (mg NO ₃ -/Lt)	Media	Mediana	Cv %	Mínimo	Máximo
Afluyente	0,264	0,231	68,9	0,03	0,5900
Efluyente	0,190	0,157	95,0	0,02	0,4880
Remoción%	-100,048	42,947	320,1	-728,57	95,08
Decreto 1575 de 2007-----					10

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 13 se puede ver el cumplimiento con los parámetros recomendados para agua potable, se observan valores de remoción negativos, su bajo valor se debe a que el afluyente tiene concentraciones muy baja en aguas con altas concentraciones de nitratos la remoción podría ser mayor.

En la gráfica 14 se observa una mayor variabilidad en los datos del afluente debido a dos datos extremos, que son normales debido a las múltiples variables a las que se puede someter las dinámicas del agua afluente, en el efluente del filtro se observa una distribución más normal esto debido a que el filtro mantiene los datos en un rango más bajo en comparación al afluente.

GRÁFICA 14 BOX PLOT NITRATOS FIME



Fuente: Elaboración propia

FOSFATOS

Debido a la complejidad para realizar fosfatos y a la falta de laboratorios recomendados para realizar las pruebas, solo se realizaron 5 muestras ya que se sufrió un daño en un equipo de importancia para la metodología de fosfatos en el laboratorio contratado.

TABLA 14 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA FOSFATOS FIME

Fosfatos (mgPo4/L)	Media	Mediana	Cv %	Mínimo	Máximo
Afluente	0,41532	0,02	176,73	0,02	1,71
Efluente	0,14132	0,04	101,20	0,03	0,3066
Remoción %	-33,3918	-50	231,10	-100	83,04
1575 de 2007					0,4

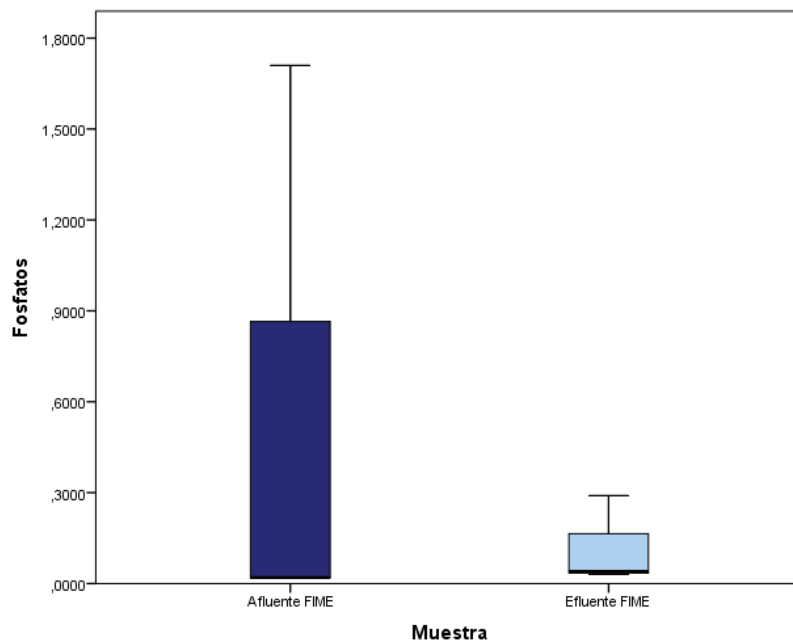
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 14 se pueden observar los datos de fosfatos, debido a que el agua del afluente es de muy buena calidad las remociones son muy bajas con excepción de un resultado en la fecha del 18 de noviembre que como se ha dicho anteriormente se presentaron problemas en el acueducto debido a una fuerte y prolongada lluvia, malogrando la calidad del agua afluente, pero como se puede ver presenta una remoción alta manteniendo la concentración de fosfatos por debajo de lo recomendado por la normatividad.

En la tabla 14 se observa los diferentes parámetros para la estadística descriptiva en la cual se muestra una remoción de fosfatos negativa debido a la baja concentración de fosfatos en el afluente, se puede ver que el afluente, tiene valores máximos que sobrepasan lo establecido en el decreto 1575 de 2007 que al pasar por el FIME permite una remoción y una calidad por debajo de lo establecido en el efluente.

En la figura del blogs plot se puede observar una menor distribución en los datos del efluente esto se debe a una estandarización y mejora en la calidad del agua gracias al tratamiento realizado, también se cumple el objetivo de la normatividad, y se mantienen las concentraciones del efluente por debajo de lo establecido por la normatividad colombiana.

GRÁFICA 15 BOX PLOT FOSFATOS FIME



Fuente: Elaboración propia

COLIFORMES FECALES

Para el agua potable uno de los parámetros más importantes al momento de evaluar un sistema de tratamiento son los coliformes fecales ya que estos a través de la historia han generad grandes problemáticas sanitaria, y no han enseñado la necesidad de un agua con excelente calidad microbiología, por esto siempre se deben realizar una evaluación en los parámetros microbiológicos, a pesar de esto debido a los altos costos de la prueba y la gran dificultad para realizarla solo se realizaron dos medidas, la primera a una semana del arranque del sistema y la segunda al final del proyecto.

TABLA 15 RESULTADO DE COLIFORMES FECALES Y NORMATIVIDAD VIGENTE FIME

Coliformes fecales (NMP/100ml)	20-ago-14	18-feb-15	Máximo
Afluente	51,2	93,3	93,3
Efluente	23,8	<1	<1
Remoción %	53,5	99,14	99,14
1575 de 2007			0

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 15 se observan los resultados para la remoción de coliformes, según la bibliografía consultada el principal mecanismo de remoción se por el schmutzdecke o comúnmente conocido como biofilm, se observan remociones de hasta 2 log, que para un filtro de forma intermitente como estaba funcionando es una remoción adecuada que se puede comparar con otras experiencias, como se logra observar debido a la sensibilidad de la metodología utilizada, no se pueden obtener valores menores a 0, pero al comparar con la normatividad vigente, cuando el filtro aún no se encuentra maduro no cumple con los valores definidos por la normatividad, pero al paso del tiempo y como se sabe con el aumento del biofilm y la maduración de este, se genera un agua con excelente calidad microbiológica, que con una ligera cloración puede alcanzar los valores exigidos por la normatividad.

COLIFORMES TOTALES

En la tabla 16 se puede observar los resultados obtenidos para los análisis de coliformes totales, como se logra observar la remoción inicial es mucho menor a la remoción final, esto como se dijo anteriormente debido a la maduración del biofilm, se obtiene una mejor calidad de agua cuando el filtro a madurado, a pesar de que no se alcanzan los valores exigidos por la normatividad vigente, se puede realizar una desinfección final del agua, con el fin de dotar a la comunidad de agua de

excelente calidad microbiológica que cumpla con los parámetros establecidos por la normatividad.

TABLA 16 RESULTADOS DE COLIFORMES TOTALES Y NORMATIVIDAD VIGENTE FIME

Coliformes fecales (NMP/100ml)	20-ago-14	18-feb-15	Máximo
Afluente	1299,7	579,4	1299,7
Efluente	517,2	92,8	517,2
Remoción %	60,2	83,9	83,9
1575 de 2007			0

Fuente: Elaboración propia

Debido a problemas con el abastecimiento de agua afluente al sistema, no se generan una mejor remoción de la calidad microbiológica ya que el biofilm es sometido a estrés, debido a la falta de agua continua la cual contiene alimento necesario para su sustento, lo que ocasiona que la remoción no se encuentre en el rango generado para este tipo de sistemas.

FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES ETAPAS A NIVEL DOMICILIARIO COMPARANDO CON DIFERENTES EXPERIENCIAS EN FILTRACIÓN.

En el mundo se han realizado de forma empírica una gran cantidad de filtros a nivel domiciliario con el fin de mejorar la calidad del agua para evitar revivir experiencias pasadas, en las siguientes tablas se confrontaran diferentes tipos de filtros que han sido evaluados para diferentes condiciones tanto económicas, sociales y climáticas, con el fin de otorgar a las comunidades sin acceso a una calidad adecuada de agua potable un sistema con un mínimo de estándares de calidad para la potabilización de agua de forma adecuada.

Como se logra observar en la tabla 17, los resultados obtenidos para diferentes trabajos de evaluación de los diferentes tipos de filtros existentes se puede observar una remoción similar en todos los sistemas de filtración, se puede concluir estadísticamente que con un rango generado del 95% no existe una diferencia significativa de remoción entre el FIMEH y los tratamientos por filtración consultado, por lo que es relevante decir que la arena de puerto tejada puede ser empleada localmente como material filtrante, al mismo tiempo se puede observar su similitud de comportamiento a nivel de remoción con los datos obtenidos por el (HSF2) Y (HSF1), a pesar de esto los filtros tienen comportamientos similares y mantienen agua afluente de buena calidad, aunque algunos no cumple con la normatividad no se alejan demasiado de esta y se podrían aceptar como un tratamiento eficiente para la remoción de turbidez.

TABLA 17 CONFRONTACIÓN DE TURBIEDAD CON DIFERENTES EXPERIENCIAS

Filtros	La turbidez antes de la filtración (NTU)	Después de la filtración Turbidez (NTU)	Eliminación Porcentaje (%)	
BSF	89,19	5,75	93,6	
BF	89,19	8,89	90	
CCF	89,19	4,45	95	
SIPP	89,19	5,26	94	
ISSFs	22,4	1,03	95,4	
HSF1	44	1,5	96,6	
HSF2	16	0,6	96,2	
Intervalo de confianza para la media de 95%			Límite inferior	Límite superior
FIMEH	43,42	0,75	90,13	99,61

Fuente: Tabla de elaboración propia resultados tomados de, (Mwabi et al., 2011, Jenkins et al., 2011, y Mahmood el al, 2011)

El filtro bioarena (BSF), filtro de cubo (BF), filtros de velas de cerámica (CCF), filtro pote poroso impregnado con plata (SIPP), filtración intermitente lenta de arena para uso doméstico (ISSFs), filtro de arena de los hogares de bajo costo villa Kuz Narsook (HSF1) 1, filtro de arena de los hogares de bajo costo villa Dhonga Sar (HSF2), Filtro en múltiples etapas vereda honda (FIMEH).

El parámetro con más importancia para la evaluación de calidad de agua potable, es el e.coli, este factor es determinante a la hora de elegir un sistema adecuado de tratamiento de agua para la comunidad, en la bibliografía consultada, las diferentes experiencias obtenidas se enuncian en la tabla 18 con el fin de confrontar estas experiencias con el (FIMEH), y llegar a la conclusión de su adecuado funcionamiento de acuerdo a otros sistemas.

TABLA 18 CONFRONTACIÓN EN DIFERENTES SISTEMAS DE FILTRACIÓN DE E.COLI

Filtros	E.coli afluente	E.coli efluente	Eliminación Log
BSF	960	440	0,34
BF	960	550	0,24
CCF	960	136	0,85
SIPP	960	3	2,5
ISSFs			1,65
HSF1	108	4	1,43
HSF2	94	2	1,67
FIMEH	93,3	1	1,97

Fuente: Elaboración propia datos tomados de, (Mwabi et al., 2011, Jenkins et al., 2011, y Mahmood el al, 2011)

En la tabla 18 se pueden observar los diferentes sistemas de tratamiento, para e.coli las mejores remociones se obtuvieron con el SIPP, mas sin embargo las remociones obtenidas para FIMEH no son deficientes, se encuentran en comparación con los otros tratamientos en segundo lugar alcanzando los 2log de remoción, que con los demás sistemas de tratamiento es una experiencia muy buena y demuestra la viabilidad del uso de arena de Puerto Tejada como material filtrante disminuyendo los costos en el momento de construcción.

CONCLUSIONES

- El trabajo con la comunidad es la principal y más importante parte del proyecto, pues se puede crear una conciencia adecuada para el correcto desarrollo del proyecto además de una apropiación por el sistema y desarrollar los diferentes pasos para el adecuado mantenimiento del sistema.
- Se reflejaron problemas en la sociedad debido a un mal trabajo realizado con anterioridad lo que dejó desconfianza y poca credibilidad en la comunidad dificultando el primer trato con los ingenieros y la comunidad.
- Por medio de un estudio previo se generó una mayor economía de lo pronosticado, y el sistema fue más viable para la comunidad, y puede aplicarse de la misma forma en comunidades cercanas a la zona de estudio.
- En la construcción siempre es necesaria la ayuda de personal con experiencia pues el manejo de herramientas peligrosas no se le puede permitir a miembros de la comunidad o sin experiencia ya que podrían terminar en accidente.
- Debido a un fallo en la seguridad se perdió la continuidad del agua efluente por lo que fue necesario trabajar con agua obtenida del acueducto y debido a la dinámica tanto climática como estructural del acueducto, la provisión de esta fue discontinua y fue necesario cambiar el sistema de operación de un filtro lento a un filtro de forma intermitente, esta dinámica es común a nivel nacional tanto en zonas rurales como urbanas, por lo que el filtro de forma intermitente podría ser una solución que abarcaría una mayor parte de la región colombiana en comparación con el filtro lento..
- En comparación con los filtros lentos de arena, operados de manera intermitente se puede ver un ligero aumento en la remoción, esto se debe gracias a los dos filtros dinámicos que funcionan como pre tratamiento, lo que permite una mayor calidad de efluente y una mayor seguridad, por un poco más de dinero.
- El FIME presenta en todos los parámetros medidos una aproximación y en algunos, el cumplimiento del decreto nacional 1575 de 2007 para agua potable.
- La remoción de fosforo y nitratos se puede deber principalmente a la presencia de algas en los filtros dinámicos, que además de permitir una mejor calidad crean una barrera, de tal manera que las algas no terminen en el sistema de filtración lenta, generando un menor tiempo de filtración.
- El uso de la filtración rápida como pretratamiento demostró en comparación con otros sistemas de filtración, dar una carrera de filtración más larga evitando limpiezas continuas al igual que mantener una calidad uniforme en los parámetros evaluados, mejorando la calidad de agua a ser tratada por filtración lenta.

- La filtración en múltiples etapas operada de manera intermitente, arrojó resultados muy satisfactorios para el tratamiento de agua potable como un sistema de tratamiento eficiente y asequible para la mayor parte de la comunidad rural colombiana.
- Se logra confirmar la actividad del biofilm como un retenedor de materia orgánica como son los coliformes fecales, y los coliformes totales pero debido a que la sensibilidad del procedimiento elegido para DQO no fue alto, no se pudo analizar la remoción global de DQO, por lo que no se puede concluir nada respecto a materia orgánica total.
- A pesar de que se realizó el lavado a la arena de Puerto Tejada se puede observar que esta tiene gran cantidad de impurezas que es de esperarse ya que es un material destinado para construcción y no para filtración.
- La conocida localmente como arena de Puerto Tejada en comparación con los demás sistemas de filtración con diferentes medios filtrantes, entre los que se encontraba filtración lenta, se pudo observar resultados de remoción similares, por lo que se puede concluir que la arena de puerto tejada funciona adecuadamente como un medio filtrante para filtros, de tal manera que se puede simplificar el diseño de filtro lento a partir de un material obtenido localmente.
- Para que el humedal funcione correctamente se hace esencial mejorar el tratamiento primario, y tener en cuenta las especificaciones dadas en la determinación de la capacidad del tanque séptico para tal fin, de esta manera se pueden evitar procesos como la colmatación y el mal funcionamiento del sistema.
- Los humedales necesitan un área extensa para su adecuado funcionamiento, y es necesario considerar los tiempos de retención entre 3 a 5 días. En general el humedal de la presente investigación no trata de manera adecuada el agua residual presentándose bajos porcentajes de remoción de parámetros como DQO, nitratos y fosfatos, es por esta razón que se hace indispensable aumentar el área superficial y el tiempo de retención para que los procesos físicos, químicos y biológicos mejoren y la eficiencia del sistema de tratamiento aumente.
- El uso de grava como medio de soporte puede aumentar el pH y la conductividad a la salida del humedal. Pero es un material de soporte muy utilizado en los humedales construidos para evitar la colmatación del sistema de tratamiento.
- A partir de la prueba estadística realizada para comparar el humedal diseñado en el año 2002 y el diseñado en esta investigación, se deduce que los porcentajes de remoción para DQO, y DBO son similares pero para garantizar una remoción acorde a lo citado en el decreto 1594/84 es necesario aumentar el área superficial del humedal y el tiempo de retención en el sistema de tratamiento debido a que la población que llega a la granja es más numerosa que la reportada para el diseño, se registraron días en los que grupos de 140 personas realizaban diferentes actividades en la

granja, por lo que su estadía aumentaba la carga orgánica y el flujo de agua a tratar.

- El mal funcionamiento del sistema de tratamiento debido a la gran población que no fue tomada en cuenta para su diseño, al igual que las limitaciones económicas presentes en el desarrollo del mismo, trajeron como consecuencias malos olores y la presencia de mosquitos y otros insectos vectores similares, los cuales perturban a la comunidad directamente afectada.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar una cloración para el agua efluente de tal forma que se cumpla con los estándares de calidad de agua potable.
- Es recomendable un lavado más minucioso de la arena con el fin de retirar la mayor cantidad de impurezas que esta pueda tener, para permitir un mejor funcionamiento del sistema de filtración lenta.
- Se observó presencia de algas en el filtro lento, se recomienda el uso de tapas o poli sombra para evitar el crecimiento de algas en el filtro lento, al igual se puede permitir la presencia de algas en el primer filtro rápido con el fin de generar una remoción adecuada de nitratos y fosfatos en el pre tratamiento además de una retención de algas en el primer filtro gracias al efecto generado por las mismas de generar comunidades.
- Es importante un abastecimiento más uniforme y continuo, el cual se proyectó con la comunidad a futuro, por medio de una hidro bomba en un rio cercano para obtener un servicio más continuo, y permitir de esta manera una mayor calidad en el efluente del tratamiento.
- Es recomendado el mantenimiento adecuado, según las indicaciones realizadas, tanto para el filtro lento como la periódica limpieza de los filtros rápidos y remoción de material flotante.
- Se recomienda después de cada limpieza dejar un tiempo para la maduración del filtro, ya que como se observaron en los resultados las remociones al comenzar las carreras de filtración son muy bajas y el afluente no cumple con los parámetros adecuados de calidad, por lo que se recomienda llevar bidones de agua del acueducto de Popayán para el consumo en los periodos de limpieza y maduración del filtro.
- Se recomienda un análisis de los datos de color en laboratorio certificados con el fin de identificar los verdaderos valores del afluente debido a que los datos no tienen un comportamiento normal, y el equipo no se comportó de una manera adecuada.
- Si se desea continuar con el humedal como tratamiento de aguas residuales, es importante hacer las modificaciones necesarias tanto en el tratamiento primario como en el humedal subsuperficial de flujo horizontal, para tener un adecuado funcionamiento que proporcione buenas remociones en los diferentes parámetros estudiados en la presente investigación.
- Se debe garantizar un flujo con velocidades bajas para que se lleven a cabo los procesos de filtración y sedimentación, para disminuir los sólidos presentes en el agua residual.
- Hay que considerar que el nitrógeno y fósforo asimilados por las plantas, puede retornar al humedal aumentando las concentraciones en el efluente del sistema, por tal motivo se recomienda podar la vegetación justo antes de la senescencia (García y Corzo, 2008).

- Antes de utilizar aguas residuales para el riego de cultivos agrícolas, es necesario determinar la calidad del efluente con relación a las normas nacionales establecidas para el reúso. En el caso de utilizar el agua tratada para un reservorio de peces, es indispensable realizar pruebas de oxígeno disuelto y analizar que la calidad del agua sea adecuada para su desarrollo.
- Es necesario efectuar trabajos de investigación tendientes a adecuar los modelos de diseño analizando otras variables como la porosidad del medio de soporte y la constante de primer orden dependiente de la temperatura (K_t) citada por Borrero (1999), las cuales asociadas a los diferentes climas, inciden en la eficiencias de remoción.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abalos , C , Agostini , R.A. Metodología para el dimensionamiento de campos de humedales de flujo sub-superficial construidos para el tratamiento de aguas residuales. Trabajo final (Tesis).Universidad de Oriente. Barcelona 2010.
2. A.J Bates, Water as consumed and its impact on the consumer—do we understand the variables?, Food and Chemical Toxicology, Volume 38, Supplement 1, 1 April 2000, Pages S29-S36, ISSN 0278-6915, [http://dx.doi.org/10.1016/S0278-6915\(99\)00139-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0278-6915(99)00139-8).
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278691599001398>)
3. Akratos S,C. Tsihrantzis A, V. 2007. Effect of temperatura, HTR, vegetation and porous media on renoval efficiency of pilot-scale horizontal sussurface flow constructed wetlands. Ecological Engineering 29: 173-191.
4. Arango, A.M.2007. Biosistema integral de tratamiento de aguas residuales , diseño, construcción y evaluación. Tesis de maestría, Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Universedad de Manizales- Colombia.
5. Arias, C., Brix , H. (2003). Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. Ciencia e Ingeniería Neogranadina. Bogotá. No. 13; pag 17-24.
6. Arias, C.A. y Brix, H. (2005). Phosphorus removal in constructed wetlands: can suitable alternative media be identified? Wat. Sci. Tech. 51 (9), 275-282.
7. Bécares, E. (2004). Función de la vegetación y procesos de diseño de humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal y flujo superficial”. En: Nuevos Criterios para el Diseño y Operación de Humedales Construidos. García, J., Morató, J. y Bayona, J.M Editores, CPET-Centro de Publicaciones del Campus Nord, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, pp 51-62.
8. Bellamy, W. D., Hendricks, D. W., & Logsdon, G. S. (1985a). Slow sand filtration: Influence of selected process variables. Journal - American Water Works Association, 77(12), 62-66.
9. Bellamy, W. D., Silvermann, G. P., & Hendricks, D. W. (1985b). Filtration of Giardia cysts and other substances: Volume 2 - slow sand filtration. Report EPA/600/S2-85/026.
10. Bellamy, W. D., Silvermann, G. P., Hendricks, D. W., & Logsdon, G. S. (1985c). Removing Giardia cysts with slow sand filtration. Journal - American Water Works Association, 77(2), 52-60.
11. Benefield,L.D. & C.W. Randall (1980). Biolo gical pr o cess desing for wastewater treatment. Pretice -Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J.

12. Bernal, F. Mosquera, D; Maury, H, et al. 2003. Humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales en la corporación universitaria de la costa. Universidad del valle, Cinara.
13. Berry, F.H , Kress, W.J. 1991. Heliconia, An identification Guide. Estados Unidos, Smithsonian Institution Press. P. 334.
14. Borrero , L y Jaime , A. Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. Trabajo final (Máster en Ingeniería y Gestión Ambiental). Instituto Catalán de Tecnología. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona 1999.
15. Caselles- Osorio , A y Garcia , J. (2007). Effect of physico-chemical pretreatment on the removal efficiency of horizontal subsurface-flow constructed wetlands. Environmental Pollution. Volumen 146(1) pag55-63.
16. Carmen Vargas G, C.V. (n.d.), FALLAS Y PROBLEMAS DE LA DESINFECCIÓN RURAL, Lima, Perú: CEPIS - OPS/OMS
17. Candice Young-Rojanschi, Chandra Madramootoo, Intermittent versus continuous operation of biosand filters, Water Research, Volume 49, 1 February 2014, Pages 1-10, ISSN 0043-1354, <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2013.11.011>.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135413009226>)
18. Claudia Granados, Fabio Sánchez, Water Reforms, Decentralization and Child Mortality in Colombia, 1990–2005, World Development, Volume 53, January 2014, Pages 68-79, ISSN 0305-750X, <http://dx.doi.org/10.1016/j.worlddev.2013.01.007>.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305750X13000132>)
19. CENAGUA. Sistemas de Tratamiento de Aguas Servidas por medio de Humedales Artificiales. OPS, Societe Quebecoise d' assanissement des eaux, Santa Fé de Bogotá D.C., Colombia, 1999.
20. Corporación Autónoma Regional del Valle Cauca (CVC). 2007. Heliconias: compendio de experiencias investigativas sobre flores y follajes tropicales del Valle del Cauca-Colombia. P.148.
21. EPA (2000). Folleto informativo de tecnología de aguas residuales Humedales de flujo subsuperficial. US EPA.
22. Eric Lee, Lorence R. Oki, Slow sand filters effectively reduce Phytophthora after a pathogen switch from Fusarium and a simulated pump failure, Water Research, Volume 47, Issue 14, 15 September 2013, Pages 5121-5129, ISSN 0043-1354, <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2013.05.054>.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135413004843>)
23. García, T. (2004). Diseño, construcción y evaluación preliminar de un humedal de flujo subsuperficial. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.
24. García, J y Corzo, A. (2008) Depuración con humedales construidos. Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial. Universidad politecnica de catalunya. Barcelona.

25. Guerra, L.F. 2002. Instalación de un sistema de humedales artificiales para el tratamiento de agua de un reservorio en la granja de la universidad san francisco de quito. Universidad San Francisco de Quito. Colegio Politécnico.
26. Gustavo Chacón, Imelda Lizcano, Yefer Aspilla Lara, Consumo básico de agua potable en Colombia, 2002, Responsabilidad social y ambiental en los servicios públicos, volumen VIII número 1.
27. Gutierrez, M.H., Peña, V. M., y Aponte, R. A. (2010). Estimación del balance de Nitrógeno en un humedal construido subsuperficial plantado con *Heliconia psittacorum* para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Instituto Cinara - Universidad del Valle, Colombia.
28. Huisman and Wood, 1974 L. Huisman, W.E. Wood Slow Sand Filtration World Health Organization, Belgium, Germany (1974)
29. J.M. Arnal, B. García-Fayos, M. Sancho, G. Verdú, J. Lora, Design and installation of a decentralized drinking water system based on ultrafiltration in Mozambique, *Desalination*, Volume 250, Issue 2, 15 January 2010, Pages 613-617, ISSN 0011-9164,
<http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2009.09.035>.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001191640901008X>)
30. J.K. Mwabi, F.E. Adeyemo, T.O. Mahlangu, B.B. Mamba, B.M. Brouckaert, C.D. Swartz, G. Offringa, L. Mpenyana-Monyatsi, M.N.B. Momba, Household water treatment systems: A solution to the production of safe drinking water by the low-income communities of Southern Africa, *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, Volume 36, Issues 14–15, 2011, Pages 1120-1128, ISSN 1474-7065,
<http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2011.07.078>.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S147470651100218X>)
31. J.T. Visscher, R. Paramasivam, A. Raman, H.A. Heijnen. N d. Filtración lenta en arena tratamiento de agua para comunidades: Planeación, diseño, construcción operación y mantenimiento. Instituto CINARA, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
32. Qaisar Mahmood, Shams Ali Baig, Bahadar Nawab, Mustafa Nawaz Shafqat, Arshid Pervez, Bibi Saima Zeb, Development of low cost household drinking water treatment system for the earthquake affected communities in Northern Pakistan, *Desalination*, Volume 273, Issues 2–3, 15 June 2011, Pages 316-320, ISSN 0011-9164,
<http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2011.01.052>.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916411000634>)
33. Kadlec, R.H., Knight, R.L., Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P. y Haberl, R. (2000). *Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation*. IWA Specialist Group on Use of Macrophytes in Water Pollution Control, IWA Publishing, 155 pp.
34. Knight, R.L., Payne, V.W.E., Borer, R.E., et al., 2000. Constructed wetlands for livestock wastewater management. *Ecological Engineering*. Vol 15 (1-2), pag 41–55.

35. Leonardo Ramírez Medina, Noel S. Pérez Duarte, Uso de filtros lentos para el tratamiento de agua a nivel domiciliario, INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL, VOL. XXIII, No. 1, Octubre 2000.
36. Logsdon, G. S., & American Society of Civil Engineers. Task Committee on Slow Sand Filtration. (1991). Slow sand filtration: A report. New York.
37. Machate, T., Noll, H., Kettrup, A., 1997. Degradation of phenanthrene and hydraulic characteristics in a constructed wetland. Water Research. Vol 31 (3), pag 554–560.
38. Madera, C.A., Silva, J.P y Peña, M.R. N d. Sistemas combinados de tratamiento de aguas residuales basados en tanque séptico, filtro anaerobio y humedales: Una alternativa sostenible en pequeñas comunidades de países tropicales. Instituto CINARA, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
39. Magdalena Pachocka INTERMITTENT SLOW SAND FILTERS: IMPROVING THEIR DESIGN FOR DEVELOPING WORLD APPLICATIONS (2010). A thesis submitted to the Faculty of the University of Delaware in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Civil Engineering.
40. Marc Jeuland, Dale Whittington, Cost–benefit comparisons of investments in improved water supply and cholera vaccination programs, Vaccine, Volume 27, Issue 23, 18 May 2009, Pages 3109-3120, ISSN 0264-410X, <http://dx.doi.org/10.1016/j.vaccine.2009.02.104>.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264410X09003478>)
41. Marion W. Jenkins, Sangam K. Tiwari, Jeannie Darby, Bacterial, viral and turbidity removal by intermittent slow sand filtration for household use in developing countries: Experimental investigation and modeling, Water Research, Volume 45, Issue 18, 15 November 2011, Pages 6227-6239, ISSN 0043-1354, <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2011.09.022>.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135411005410>)
42. Mansoor Ahammed, Komal Davra, Performance evaluation of biosand filter modified with iron oxide-coated sand for household treatment of drinking water, Desalination, Volume 276, Issues 1–3, 2 August 2011, Pages 287-293, ISSN 0011-9164, <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2011.03.065>.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916411002839>)
43. Metcalf y Eddy, Inc. (1991) Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse, 3d ed, McGraw-Hill, New York.
44. Metcalf y Eddy, INC. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Tercera edición. Volumen 2. México 1996.
45. Navarro, J.P.; Aguilar, I.; López, J.R. Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. En: Revista Ecosistemas. Departamento de Biología Vegetal. Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Valencia. No. 16 (2). Mayo 2007. p. 10- 24. ISBN 1697-2473.
46. Organización Mundial de la Salud, OMS (2006), Guías para la calidad del agua potable PRIMER APÉNDICE A LA TERCERA EDICIÓN, obtenida el 4

de febrero del 2014, de

http://www.who.int/water_sanitation_health/dwg/gdwq3_es_full_lowres.pdf

47. Ouellet-Plamondon, C., Chazarenc, F., Comeau, Y., Brisson, J., 2006. Artificial aeration to increase pollutant removal efficiency of constructed wetlands in cold climate. *Ecol. Eng.* 27, 258e264.
48. Pardo, C.S., Atencio, G.V. ,y Diaz, C.J. 2007. Evaluación de un sistema de humedales artificiales para el tratamiento de efluentes piscícolas. Universidad de Córdoba. Departamento de ciencias acuícolas
49. Peña, E.J. 2005. Las plantas que limpian. Uso de la biodiversidad de la flora local para aplicaciones en fitoremediación. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas.* 17:43-44
50. Peña, S. E. Madera, P.C. Sánchez, J.M y Medina, V.J. 2013. Bioprospección de plantas nativas para su uso en procesos de Biorremediación: Caso Heliconia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*37 (145): 469-481. ISSN0370-3908
51. Peña , M, Ginneken , M , Madera , C (2003) Humedales de Flujo Subsuperficial: Una Alternativa Natural para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Zonas Tropicales. Instituto Cinara. Universidad del Valle. Cali. Colombia.
52. Pérez , L.F , Camacho , A , Andrade , M et al. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Ed Nelson Antequera Durán. Cochabamba- Bolivia, 2010.
53. Píriz, A.J. (2000). Condiciones de Óxido-Reducción en Humedales Construidos de Flujo Subsuperficial. Tesina de Especialidad, ETSECCPB, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 104 pp.
54. Platzer , M , Cáseres , V y Fong , N. (2002). Investigaciones y experiencias con biofiltros en Nicaragua, Centro América. XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cancún México.
55. Ramos, E. M., Rodríguez, S.M y Martínez , C.P. 2007. Uso de macrófitas acuáticas en el tratamiento de aguas para el cultivo del sorgo y maíz. *Hidrobiología* 17(1 suplemento):7-15.
56. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. RAS 2000. Sección II Título E. Tratamiento de Aguas Residuales. República de Colombia, Ministerio de Desarrollo económico. Bogotá, Noviembre 2000.
57. Reyes, L. M., Zárate, A.G., Carrillo, N.S. y Durán,C. 2011. Remoción de Fósforo en un Sistema de Humedales Artificiales a Escala de Laboratorio. *Revista de la facultad de ciencias Químicas. Química Central* (2011) Vol. 2, No. 01: 25-32
58. Rodríguez, Mo.J., y Durán de Bazúa C. (2006). Remoción de nitrógeno en un sistema de tratamiento de aguas residuales usando humedales artificiales de flujo vertical a escala de banco. *Tecnol. Ciencia Ed.* 21, 25-33.
59. Romero, J. 1994. Acuitratamiento por lagunas de Estabilización. Escuela de Ingeniería Colombiana, Colombia.

60. Romero, R.J. 2005. Calidad del Agua. Colombia. Escuela Colombiana de Ingeniería. P.175
61. Sánchez, F.D. Depuración de aguas residuales de una población mediante humedales artificiales. Trabajo final (Tesis). Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, 2011.
62. Silva, Juan Pablo, Humedales construidos, Colombia, Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, noviembre de 2009.
63. Silva, V.P., y Valverde, S.A. 2011. Estimativa de gases de efeito estufa em pantanais construídos de fluxo subsuperficial. Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico (CINARA), Universidad del Valle, Cali, Colombia
64. Tanner, C.C., Sukias, J.P.S., Upsdell, M.P., (1998). Organic matter accumulation during maturation of gravel-bed constr. Water Research. Vol 32 (10), pag 3046- 3054
65. Tchobanoglous G. et al, Small and Decentralized wastewater management system. Mc Graw Hill International, Singapure, 2000.
66. UNESCO,(2003), WATER FOR PEOPLE WATER FOR LIFE, obtenida el 4 de febrero de 2014, de <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556s.pdf>
67. Velasco M, Vivas Y. 2006. Tesis. Humedales artificiales como alternativa para el tratamiento de agua residual. Universidad del Cauca, Facultad de Ingeniería Civil.
68. Vymazal. J, Kropfelová. L. 2008. Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow". B. Alloway, J. Trevors (editors). 1st ed. Ed. Springer. Dordrecht, Netherlands. pp. 566
69. Vymazal , J 2010. Constructed wetlands for wastewater treatment. Water 2010, 2, 530-549; 10.3390/w2030530.
70. Werker, A.G., Dougherty, J.M., McHenry, J.L., Van Loon, W.A., 2002. Treatment variability for wetland wastewater treatment design in cold climates. Ecol. Eng. 19, 1e11.

ANEXO 1

Los siguientes son datos obtenidos a partir de las jornadas de muestreo, para las diferentes fechas específicas en que se llevaron a cabo

TABLA A1. 1. AFORO DE CAUDAL PARA EL HUMEDAL

Fecha	Volúmen (mL)	Tiempo (sg)	Caudal (ml/s)
2-Dic-2014	170	10	17
2-Dic-2014	174	10	17,4
2-Dic-2014	170	10	17
2-Dic-2014	172	10	17,2
2-Dic-2014	164	10	16,4
2-Dic-2014	168	10	16,8
2-Dic-2014	190	10	19
2-Dic-2014	172	10	17,2
2-Dic-2014	194	10	19,4
2-Dic-2014	190	10	19
2-Dic-2014	194	10	19,4
2-Dic-2014	188	10	18,8
2-Dic-2014	188	10	18,8
2-Dic-2014	186	10	18,6
2-Dic-2014	180	10	18
2-Dic-2014	180	10	18
2-Dic-2014	178	10	17,8
2-Dic-2014	176	10	17,6
2-Dic-2014	176	10	17,6
Promedio=17,94			

Fuente: Elaboración propia

TABLA A1. 2. TEMPERATURA EN EL HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL

Parámetro	Fecha	Afluente	Efluente
Temperatura (°C)	6-Nov-2014	19,8	20
	18-Nov-2014	20	20,4
	2- Dic-2014	20,2	20,4
	17- Dic-2014	20,3	20
	29- Ene-2015	19,5	20
	17-Feb-2015	20	20,5

Fuente: Elaboración propia

TABLA A1. 3. PH EN EL HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL

Parámetro	Fecha	Afluente	Efluente
pH	6-Nov-2014	8,1	7,5
	18-Nov-2014	7,6	8
	2- Dic-2014	7,4	8,1
	17- Dic-2014	6,2	6,8
	29- Ene-2015	7	6,8
	17-Feb-2015	7,4	8,1

Fuente: Elaboración propia

Porcentajes de remoción

TABLA A1. 4. PORCENTAJE DE REMOCIÓN PARA TURBIEDAD EN EL HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL

Parámetro	Fecha	Afluente	Efluente	%Remoción
TURBIEDAD (NTU)	06-nov-14	176,5	117,60	33,37
	18-nov-14	116,3	48,30	58,47
	02-dic-14	221,3	104,70	52,69
	17-dic-14	137,3	41,53	69,75
	29-ene-15	208	55,30	73,41
	17-feb-15	221,3	104,70	52,69

Fuente: Elaboración propia

TABLA A1. 5. PORCENTAJE DE REMOCIÓN PARA COLOR EN EL HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL

Parámetro	Fecha	Afluente	Efluente	%Remoción
COLOR	06-nov-14	1785	709	60,28
	18-nov-14	1070	396	62,99
	02-dic-14	2172	1346	38,03
	17-dic-14	823	584	29,04
	29-ene-15	997	188	81,14
	17-feb-15	2172	1347	37,98

Fuente: Elaboración propia

TABLA A1. 6. PORCENTAJE DE REMOCIÓN PARA SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST) EN EL HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL

Parámetro	Fecha	Afluente	Efluente	%Remoción
SST (mg/L)	06-nov-14	120,0	94,0	21,67
	18-nov-14	51,8	1,3	97,49
	02-dic-14	301,7	183,3	39,24
	17-dic-14	146,0	76,3	47,73
	29-ene-15	161,7	10,0	93,81
	17-feb-15	301,7	183,3	39,24

Fuente: Elaboración propia

TABLA A1. 7. PORCENTAJE DE REMOCIÓN PARA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN EL HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL

Parámetro	Fecha	Afluente	Efluente	% Remoción
CONDUCTIVIDAD (μ/cm)	06-nov-14	504,5	621,5	-23,19
	18-nov-14	233,3	436,3	-87,01
	02-dic-14	438,7	520,0	-18,53
	17-dic-14	358,7	452,7	-26,20
	29-ene-15	476,3	540,3	-13,44
	17-feb-15	328,7	845,7	-157,29

Fuente: Elaboración propia

TABLA A1. 8. PORCENTAJE DE REMOCIÓN PARA DQO EN EL HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL

Parámetro	Fecha	Afluente	Efluente	%Remoción
DQO	06-nov-14	373	247	33,78
	18-nov-14	241	176	26,97
	02-dic-14	560	277	50,54
	17-dic-14	610	196	67,87
	29-ene-15	645,5	396	38,65
	17-feb-15	743,3	154	79,28

Fuente: Elaboración propia

TABLA A1. 9. PORCENTAJE DE REMOCIÓN PARA NITRATOS EN EL HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL

Parámetro	Fecha	Afluente	Efluente	%Remoción
Nitratos	06-nov-14	9,49	7,96	16,12
	18-nov-14	12,1	7,37	39,09
	02-dic-14	8,56	7,68	10,28
	17-dic-14	9,86	6,8	31,03
	29-ene-15	0,054	0,425	-687,04
	17-feb-15	2	<2,0	

Fuente: Elaboración propia

TABLA A1. 10. PORCENTAJE DE REMOCIÓN PARA FOSFATOS EN EL HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL

Parámetro	Fecha	Afluente	Efluente	%Remoción
Fosfatos	06-nov-14	2,87	2,67	6,97
	18-nov-14	2,9	2,3	20,69
	02-dic-14	5,4	6,9	-27,78
	17-dic-14	5,8	6,6	-13,79
	17-feb-15	2,24	1,29	42,41

Fuente: Elaboración propia

TABLA A1. 11. TEMPERATURAS EN LABORATORIO FIME

Temperatura		
Muestreo	Entrada	Salida
06-nov-14	12,9	13
18-nov-14	5,2	5
02-Dec-2014	6	6,2
17-Dec-2014	9,2	9,2
29-Jan-2015	10,3	13,3
17-feb-15	14,3	16

Fuente: Elaboración propia

TABLA A1. 12 RESULTADOS DE PH FIME

Ph		
Muestreo	Entrada	Salida
06-nov-14	6,8	6,9
18-nov-14	7	7,7
02-Dec-2014	8,4	8,6
17-Dec-2014	7,3	7,6
29-Jan-2015	7,4	7,3
17-feb-15	7,3	6,3

Fuente: Elaboración propia

TABLA A1. 13 RESULTADOS DE TURBIEDAD Y PORCENTAJE DE REMOCIÓN FIME

Turbiedad (NTU)			
Muestreo	Entrada	Salida	Remoción (%)
06-nov-14	6,05	0,75	87,6
18-nov-14	183,7	0,38	99,79
02-Dec-2014	16,23	0,46	97,17
17-Dec-2014	17,6	0,94	94,68
29-Jan-2015	20,9	1,7	91,87
17-feb-15	16,06	0,3	98,13

Fuente: Elaboración propia

TABLA A1. 14. RESULTADOS DE CONDUCTIVIDAD FIME

Conductividad (micromhos/cm)		
Muestreo	Entrada	Salida
06-nov-14	33	86,8
18-nov-14	35	63,3
02-Dec-2014	55,2	80,6
17-Dec-2014	50	76,6
29-Jan-2015	25	38,3
17-feb-15	57,3	62,2

Fuente: Elaboración propia

TABLA A1. 15. RESULTADOS OBTENIDOS DE COLOR FIME

Color verdadero Unidades de Platino Cobalto (UPC)			
Muestreo	Entrada	Salida	Remoción%
06-nov-14	151	96	36,75
18-nov-14	92	84	8,7
02-Dec-2014	200	87	56,5
17-Dec-2014	185	88	52,19
29-Jan-2015	19	0	100
17-feb-15	82	76	7,32

Fuente: Elaboración propia

TABLA A1. 16. RESULTADOS PARA SST FIME

SST(mg/Lt)			
Muestreo	Entrada	Salida	Remoción%
06-nov-14	22,5	19	15,56
18-nov-14	207	10,9	94,74
02-Dec-2014	37	14,7	60,38
17-Dec-2014	38,7	16,7	56,8
29-Jan-2015	9,7	0	100
17-feb-15	31	7	77,42

Fuente: Elaboración propia

TABLA A1. 17. RESULTADOS DE DQO FIME

DQO (mg/Lt)		
Muestreo	Entrada	Salida
06-nov-14	4	4
18-nov-14	4,4	4
02-Dec-2014	4	4
17-Dec-2014	4	4
29-Jan-2015	128,7	111,9
02-Feb-2015	<25	<25

Fuente: Elaboración propia.

TABLA A1. 18. RESULTADOS DE NITRATOS FIME

Nitratos(mg/Lt)		
Muestreo	Entrada	Salida
06-nov-14	0,59	0,029
18-nov-14	0,23	0,02
02-Dec-2014	0,035	0,29
17-Dec-2014	0,3	0,22
29-Jan-2015	0,233	0,095

Fuente: Elaboración propia

TABLA A1. 19 RESULTADOS DE FOSFATOS FIME

Fosfatos(mg/Lt)		
Muestreo	Entrada	Salida
06-nov-14	0,02	0,04
18-nov-14	1,71	0,29
02-Dec-2014	0,02	0,03
17-Dec-2014	0,02	0,04
18-feb-2015	<0,3066	<0,3066

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 2

Reporte de resultados laboratorios

CRC, GIEM, GDCON

TABLA A2. 1. REPORTE DE RESULTADOS CRC 12 DE NOVIEMBRE DE 2014

Reporte N° 326

	REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE AGUA CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA LABORATORIO AMBIENTAL	Código: FT-PDPA-LA027
		Fecha: 13/02/2013
		Versión: 3
		Página 1 de 1

Fecha: Noviembre 12 de 2014.

Cliente: Juan Carlos Casas	Solicitud N°: 268
Dirección: Carrera 17 N° 6N-88 Popayán	Teléfono: 3004547382
Municipio de muestreo: Popayán	Fecha de Recepción: Noviembre 5 de 2014.
	Fecha de Análisis: Noviembre 5, 7, y 11

Muestreo:

Plan de Muestreo N°	N/A
Fecha de Muestreo	N/A
Lugar de Muestreo	Vereda La Honda, Popayán
Procedimiento de muestreo	N/A

Identificación de la muestra

Código Muestra	Sitio de Muestreo
0927	Entrada filtro
0928	Salida filtro
0929	Entrada humedal
0930	Salida humedal

Resultados laboratorio:

Variable	Método	Unidad	Resultados			
			0927	0928	0929	0930
Nitratos	SM 4500-NO ₃ B	mg NO ₃ -N/L	0.59	0.29	9.49	7.96
Ortofosfatos	SM4500-P E, Modifica	mg PO ₄ -P/L	< 0.02	0.04	2.87	2.67
DQO	SM5220D, modificado	mg/L	< 4	< 4	373	247

Observaciones:

-Los resultados que se relacionan en este informe hacen referencia únicamente a las muestras analizadas.
-Este documento no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la debida autorización del Laboratorio Ambiental.

DIEGO ZULUAGA VERA
 Responsable Laboratorio Ambiental

Carrera 7 # 1N - 28 Edificio Edgar Negret Dueñas
 Pbx: 8203232 fax: 092 - 8203251
 Línea verde: 018000932855
 www.crc.gov.co

Laboratorio Ambiental: Vivero CRC, Vereda González, Popayán Telefax: 8245602

TABLA A2. 2. REPORTE DE RESULTADOS CRC 27 DE NOVIEMBRE DE 2014

Reporte N° 337

	REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE AGUA CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA LABORATORIO AMBIENTAL	Código: FT-PDPA-LA027
		Fecha: 13/02/2013
		Versión: 3
		Página 1 de 1

Fecha: Noviembre 27 de 2014.

Cliente: Juan Carlos Casas	Solicitud N°: 278
Dirección: Carrera 17 N° 6N-88 Popayán	Teléfono: 3004547382
Municipio de muestreo: Popayán	Fecha de Recepción: Noviembre 18 de 2014.
	Fecha de Análisis: Noviembre 18, 19 y 20.

Muestreo:

Plan de Muestreo N°	N/A
Fecha de Muestreo	N/A
Lugar de Muestreo	Vereda La Honda, Popayán
Procedimiento de muestreo	N/A

Identificación de la muestra

Código Muestra	Sitio de Muestreo
0963	Entrada filtro
0964	Salida filtro
0965	Entrada humedal
0966	Salida humedal

Resultados laboratorio:

Variable	Método	Unidad	Resultados			
			0963	0964	0965	0966
Nitratos	SM 4500-NO ₃ -B	mg NO ₃ -N/L	1.71	0.29	12.1	7.37
Ortofosfatos	SM4500-P E, Modifica	mg PO ₄ -P/L	0.23	0.02	2.90	2.30
DQO	SM5220D, modificado	mg/L	4.4	< 4	241	176

Observaciones:

-Los resultados que se relacionan en este informe hacen referencia únicamente a las muestras analizadas.
-Este documento no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la debida autorización del Laboratorio Ambiental.

DIEGO ZULUAGA VERA
 Responsable Laboratorio Ambiental

Carrera 7 # 1N - 28 Edificio Edgar Negret Dueñas
 Pbx: 8203232 fax: 092 - 8203251
 Línea verde: 018000932855
 www.crc.gov.co

Laboratorio Ambiental: Vivero CRC, Vereda González, Popayán Telefax: 8245602

TABLA A2. 3. REPORTE DE RESULTADOS CRC 5 DE DICIEMBRE DE 2014

Reporte N° 355

	REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE AGUA CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA LABORATORIO AMBIENTAL	Código: FT-PDPA-LA027
		Fecha: 13/02/2013
		Versión: 3
		Página 1 de 1

Fecha: Diciembre 5 de 2014.

Cliente: Juan Carlos Casas	Solicitud N°: 294
Dirección: Carrera 17 N° 6N-88 Popayán	Teléfono: 3004547382
Municipio de muestreo: Popayán	Fecha de Recepción: Diciembre 2 de 2014.
	Fecha de Análisis: Diciembre 2, 3 y 4

Muestreo:

Plan de Muestreo N°	N/A
Fecha de Muestreo	N/A
Lugar de Muestreo	Vereda La Honda, Popayán
Procedimiento de muestreo	N/A

Identificación de la muestra

Código Muestra	Sitio de Muestreo
1003	Entrada filtro
1004	Salida filtro
1005	Entrada humedal
1006	Salida humedal

Resultados laboratorio:

Variable	Método	Unidad	Resultados			
			1003	1004	1005	1006
Nitratos	SM 4500-NO ₃ ⁻ B	mg NO ₃ -N/L	0.35	0.29	8.56	7.68
Ortofosfatos	SM4500-P E, Modifica	mg PO ₄ -P/L	< 0.02	0.03	5.40	6.90
DQO	SM5220D, modificado	mg/L	< 4	< 4	560	277

Observaciones:

-Los resultados que se relacionan en este informe hacen referencia únicamente a las muestras analizadas. -Este documento no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la debida autorización del Laboratorio Ambiental.

DIEGO ZULUAGA VERA
 Responsable Laboratorio Ambiental

Carrera 7 # 1N - 28 Edificio Edgar Negret Dueñas
 Pbx: 8203232 fax: 092 - 8203251
 Línea verde: 018000932855
 www.crc.gov.co

Laboratorio Ambiental: Vivero CRC, Vereda González, Popayán Telefax: 8245602

TABLA A2. 4. REPORTE DE RESULTADOS CRC 22 DE DICIEMBRE DE 2014

Reporte N° 388

	REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE AGUA CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA LABORATORIO AMBIENTAL	Código: FT-PDPA-LA027
		Fecha: 13/02/2013
		Versión: 3
		Página 1 de 1

Fecha: Diciembre 22 de 2014.

Cliente: Juan Carlos Casas	Solicitud N°: 318
Dirección: Carrera 17 N° 6N-88 Popayán	Teléfono: 3004547382
Municipio de muestreo: Popayán	Fecha de Recepción: Diciembre 18 de 2014.
	Fecha de Análisis: Diciembre 18 y 19.

Muestreo:

Plan de Muestreo N°	N/A
Fecha de Muestreo	N/A
Lugar de Muestreo	Vereda La Honda, Popayán
Procedimiento de muestreo	N/A

Identificación de la muestra

Código Muestra	Sitio de Muestreo
1071	Entrada filtro
1072	Salida filtro
1073	Entrada humedal
1074	Salida humedal

Resultados laboratorio:

Variable	Método	Unidad	Resultados			
			1071	1072	1073	1074
Nitratos	SM 4500-NO ₃ B	mg NO ₃ -N/L	0.30	0.22	9.86	6.80
Ortofosfatos	SM4500-P E, Modifica	mg PO ₄ -P/L	< 0.02	0.04	5.80	6.60
DQO	SM5220D, modificado	mg/L	< 4	< 4	610	196

Observaciones:



-Los resultados que se relacionan en este informe hacen referencia únicamente a las muestras analizadas. -Este documento no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la debida autorización del Laboratorio Ambiental.

DIEGO ZULUAGA VERA
 Responsable Laboratorio Ambiental

Carrera 7 # 1N - 28 Edificio Edgar Negret Dueñas
 Pbx: 8203232 fax: 092 - 8203251
 Línea verde: 018000932855
 www.crc.gov.co

Laboratorio Ambiental: Vivero CRC, Vereda González, Popayán Telefax: 8245602

TABLA A2. 5. REPORTE DE RESULTADOS PAGINA N°1, GEM 30 DE ENERO DE 2015

	REPORTE DE RESULTADOS GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE ESTUDIOS MOLECULARES (GIEM) FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES INSTITUTO DE QUÍMICA CORPORACIÓN ACADÉMICA PARA EL ESTUDIO DE PATOLOGÍAS TROPICALES PROCESO GESTIÓN DE LOS SERVICIOS ASOCIADOS A LA INVESTIGACIÓN	 CÓDIGO: F-8840-06-S002 VERSIÓN: 02
		Página 1 de 5



Fecha de elaboración (dd-mm-aaaa): 27-04-2015		Usuario: Universidad del Cauca
Nit: 891.500.319-2	Telefono: 8245978-8245979	Dirección: Calle 5a N° 4-70 Las Guacas, Campus Universitario
Fecha recepción muestra (dd-mm-aaaa): 30-01-2015		Código interno de la muestra: 30ene1511 a 30ene1521

Nota aclaratoria: El presente reporte está basado en el análisis de la(s) muestra(s) entregada(s) por el usuario. Los resultados sólo afectan al material suministrado y por lo tanto no avalan ninguna tecnología o producto comercial.

Código interno	Descripción de la muestra
30ene1511	Aguas muestra testigo HT (28-01- 2015)
30ene1512	Aguas muestra H1A (28-01- 2015)
30ene1513	Aguas muestra H1B (28-01- 2015)
30ene1514	Aguas muestra H2A (28-01- 2015)
30ene1515	Aguas muestra H2B (28-01- 2015)
30ene1516	Aguas muestra H3A (28-01- 2015)
30ene1517	Aguas muestra H3B (28-01- 2015)
30ene1518	Agua Entrada humedal (Sandra Lozada)
30ene1519	Agua salida humedal (Sandra Lozada)
30ene1520	Agua entrada filtro (Sandra Lozada)
30ene1521	Agua salida filtro (Sandra Lozada)

-Fin de la hoja-

TABLA A2. 6. REPORTE DE RESULTADOS PAGINA N°2, GEM 30 DE ENERO DE 2015

	REPORTE DE RESULTADOS GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE ESTUDIOS MOLECULARES (GIEM)	
	FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES INSTITUTO DE QUÍMICA	
	CORPORACIÓN ACADÉMICA PARA EL ESTUDIO DE PATOLOGÍAS TROPICALES PROCESO GESTIÓN DE LOS SERVICIOS ASOCIADOS A LA INVESTIGACIÓN	

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS (30ene1511)

Convenciones; CO: Carbono orgánico, CRA: Capacidad de Retención de Agua, CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico, CIC/CO. CIC en términos de CO, EC: Electroforesis capilar, PDP: Polarografía diferencial de pulso, ND: No Detectado, NC: No cuantificable, de: desviación estándar, C/N: carbono/nitrógeno, g: gramos, meq: miliequivalentes, mS: milisimens, cm: centímetros, cm³: centímetro cúbico, LD: Límite de detección, NTC: Norma Técnica Colombiana, SSLMM-42-2-92: Soil Survey Laboratory Methods Manual Reporte N°42, Versión 2.0, 1992, SM: Standard Methods, APHA: American Public Health Association, AWWA: American Water Works Association, WPCF: Water Pollution Control Federation, AOAC: Association of Official Analytical Chemists, FAO: food and agriculture organization..A.A. Absorción Atómica

Parámetro	Expresado como	Técnica	Norma	Resultado	d.e	Unid.
pH (10%)	No aplica	Potenciometría	NTC 5167	6.70	-	-
DQO Total	mgO ₂ /L	Reflujo Cerrado	SM 5220-D	139.8	5.1	mg/L

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS (30ene1512)

Parámetro	Expresado como	Técnica	Norma	Resultado	d.e	Unid.
pH (10%)	No aplica	Potenciometría	NTC 5167	7.20	-	-
DQO Total	mgO ₂ /L	Reflujo Cerrado	SM 5220-D	113.0	5.1	mg/L



ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS (30ene1513)

Parámetro	Expresado como	Técnica	Norma	Resultado	d.e	Unid.
pH (10%)	No aplica	Potenciometría	NTC 5167	7.25	-	-
DQO Total	mgO ₂ /L	Reflujo Cerrado	SM 5220-D	147.7	8.8	mg/L

Línea de Cuantificación GIEM
GIEM

Amilvia Yanett Ortiz
Amilvia Yanett Ortiz Villa
Auxiliar de Investigación.

TABLA A2. 7. REPORTE DE RESULTADOS PAGINA N°3, GEM 30 DE ENERO DE 2015

 <p>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA 1803</p>	REPORTE DE RESULTADOS GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE ESTUDIOS MOLECULARES (GIEM) FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES INSTITUTO DE QUÍMICA CORPORACIÓN ACADÉMICA PARA EL ESTUDIO DE PATOLOGÍAS TROPICALES PROCESO GESTIÓN DE LOS SERVICIOS ASOCIADOS A LA INVESTIGACIÓN	 Universidad de Antioquia GEM Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares
	CÓDIGO: F-8840-06-S002 VERSIÓN: 02	
	Página 3 de 5	

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS (30ene1514)

Parámetro	Expresado como	Técnica	Norma	Resultado	d.e	Unid.
pH (10%)	No aplica	Potenciometría	NTC 5167	6.64	-	-
DQO Total	mgO ₂ /L	Reflujo Cerrado	SM 5220-D	135.4	11.8	mg/L

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS (30ene1515)

Parámetro	Expresado como	Técnica	Norma	Resultado	d.e	Unid.
pH (10%)	No aplica	Potenciometría	NTC 5167	6.73	-	-
DQO Total	mgO ₂ /L	Reflujo Cerrado	SM 5220-D	120.8	3.3	mg/L

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS (30ene1516)

Parámetro	Expresado como	Técnica	Norma	Resultado	d.e	Unid.
pH (10%)	No aplica	Potenciometría	NTC 5167	7.11	-	-
DQO Total	mgO ₂ /L	Reflujo Cerrado	SM 5220-D	114.1	5.8	mg/L

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS (30ene1517)

Parámetro	Expresado como	Técnica	Norma	Resultado	d.e	Unid.
pH (10%)	No aplica	Potenciometría	NTC 5167	7.01	-	-
DQO Total	mgO ₂ /L	Reflujo Cerrado	SM 5220-D	105.2	1.9	mg/L

Línea de Transformación de la Materia Orgánica
GIEM





Jairo Alejandro Hurtado A.
Coordinador Extensión

TABLA A2. 8. REPORTE DE RESULTADOS PAGINA N°4, GEM 30 DE ENERO DE 2015

 <p>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA 1803</p>	<p>REPORTE DE RESULTADOS GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE ESTUDIOS MOLECULARES (GIEM)</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES INSTITUTO DE QUÍMICA</p> <p>CORPORACIÓN ACADÉMICA PARA EL ESTUDIO DE PATOLOGÍAS TROPICALES PROCESO GESTIÓN DE LOS SERVICIOS ASOCIADOS A LA INVESTIGACIÓN</p>	 <p>Universidad de Antioquia GEM Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares</p>
		<p>CÓDIGO: F-8840-06-S002 VERSIÓN: 02</p>
		<p>Página 4 de 5</p>

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS (30ene1518)

Parámetro	Expresado como	Técnica	Norma	Resultado	d.e	Unid.
pH (10%)	No aplica	Potenciometría	NTC 5167	6.71	-	-
DQO Total	mgO ₂ /L	Reflujo Cerrado	SM 5220-D	645.5	5.1	mg/L
N-NO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Espectrométrico ultravioleta selectivo	SM 4500-NO ₃ ⁻ B	0.054	0.002	mg/L

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS (30ene1519)

Parámetro	Expresado como	Técnica	Norma	Resultado	d.e	Unid.
pH (10%)	No aplica	Potenciometría	NTC 5167	6.68	-	-
DQO Total	mgO ₂ /L	Reflujo Cerrado	SM 5220-D	396.0	14.6	mg/L
N-NO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Espectrométrico ultravioleta selectivo	SM 4500-NO ₃ ⁻ B	0.425	0.020	mg/L

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS (30ene1520)

Parámetro	Expresado como	Técnica	Norma	Resultado	d.e	Unid.
pH (10%)	No aplica	Potenciometría	NTC 5167	7.38	-	-
DQO Total	mgO ₂ /L	Reflujo Cerrado	SM 5220-D	128.7	3.9	mg/L
N-NO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Espectrométrico ultravioleta selectivo	SM 4500-NO ₃ ⁻ B	0.233	0.011	mg/L

Línea de Transformación de la Materia Orgánica
 GIEM





 Jairo Alejandro Hurtado A.
 Coordinador Extensión


TABLA A2. 9. REPORTE DE RESULTADOS PAGINA N°5, GEM 30 DE ENERO DE 2015

 <p>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA 1803</p>	<p>REPORTE DE RESULTADOS</p> <p>GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE ESTUDIOS MOLECULARES (GIEM)</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES INSTITUTO DE QUÍMICA</p> <p>CORPORACIÓN ACADÉMICA PARA EL ESTUDIO DE PATOLOGÍAS TROPICALES PROCESO GESTIÓN DE LOS SERVICIOS ASOCIADOS A LA INVESTIGACIÓN</p>	
		<p>CÓDIGO: F-8840-06-S002 VERSIÓN: 02</p>
		<p>Página 5 de 5</p>

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS (30ene1521)

Parámetro	Expresado como	Técnica	Norma	Resultado	d.e	Unid.
pH (10%)	No aplica	Potenciometría	NTC 5167	7.26	-	-
DQO Total	mgO ₂ /L	Reflujo Cerrado	SM 5220-D	111.9	7.0	mg/L
N-NO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Espectrométrico ultravioleta selectivo	SM 4500-NO ₃ ⁻ B	0.095	0.004	mg/L

Línea de Transformación de la Materia Orgánica
GIEM


Jairo Alejandro Hurtado A.
Coordinador Extensión

Atentamente,




CARLOS ALBERTO PELAEZ JARAMILLO
Líder del grupo GIEM


JAIRO ALEJANDRO HURTADO A.
Coordinador de Servicios

El usuario dispone de 10 días hábiles a partir de la recepción del resultado para hacer reclamos o solicitar repetición del ensayo, el cual se hará sobre la submuestra guardada por el laboratorio. Si el nuevo resultado corresponde al anterior, considerando la desviación estándar presentada en original, el usuario asume nuevamente el costo del ensayo.

TABLA A2. 10. REPORTE DE RESULTADOS GDCON PAGINA N°1, 18 DE FEBRERO DE 2015

Informe de Resultados - Página 1

 UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA 1803	GRUPO DE DIAGNÓSTICO Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN -GDCON-		 GDCON GRUPO DIAGNÓSTICO Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN
	INFORME DE RESULTADOS		
Código: F3-GE-PR-001-GDCON	Versión: 08	Fecha de aprobación: 2014/05/22	

INFORME DE RESULTADOS - 15-0154

1. INFORMACIÓN DEL CLIENTE

Cliente	UNIVERSIDAD DEL CAUCA	Telefono	3127715165
NIT	8915003219-2	Contacto	JUAN CARLOS CASAS
Dirección	CALLE 45 #4-70	E-Mail	juanquis0105@gmail.com

2. IDENTIFICACIÓN DE LA(S) MUESTRA(S)

Fecha de recepción	2015/02/18
Fecha de elaboración del reporte	2015/03/11

CÓDIGO INTERNO	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
15-0154-1	ENTRADA HUMEDAL-ARD
15-0154-2	SALIDA HUMEDAL-ARD
15-0154-3	ACUEDUCTO RURAL ENTRADA-AT
15-0154-4	ACUEDUCTO RURAL SALIDA-AT

CÓDIGO INTERNO	PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA	RESULTADO	FECHA DE ANÁLISIS
15-0154-1	Nitratos***	SM 4110 B; Ed. 2012	0,200 mg NO ₃ -/L	2015/02/20
15-0154-1	DQO*	SM 5220 D; Ed. 2012	743,279 mg O ₂ /L	2015/02/19
15-0154-1	Ortofosfatos	SM 4500 P E; Ed. 2012	2,244 mg PO ₄ /L	2015/02/18
15-0154-2	Nitratos***	SM 4110 B; Ed. 2012	< 0,200 mg NO ₃ -/L	2015/02/20
15-0154-2	DQO*	SM 5220 D; Ed. 2012	154,012 mg O ₂ /L	2015/02/19
15-0154-2	Ortofosfatos	SM 4500 P E; Ed. 2012	1,289 mg PO ₄ /L	2015/02/18

SIU Universidad de Antioquia. Calle 62 # 52-59 Torre 2 Laboratorio 232. Teléfonos: 2196571 - 2196688
 Fax: 2196571. Medellín.

TABLA A2. 11. REPORTE DE RESULTADOS GDCON PAGINA N°2, 18 DE FEBRERO DE 2015

Informe de Resultados - Página 2

15-0154-3	Nitratos***	SM 4110 B; Ed. 2012	< 0,200 mg NO3-/L	2015/02/20
15-0154-3	DQO*	SM 5220 D; Ed. 2012	<25 mg O2/L	2015/02/20
15-0154-3	Ortofosfatos	SM 4500 P E; Ed. 2012	<0.3066 mg PO4/L	2015/02/18
15-0154-4	Nitratos***	SM 4110 B; Ed. 2012	0,488 mg NO3-/L	2015/02/20
15-0154-4	DQO*	SM 5220 D; Ed. 2012	<25 mg O2/L	2015/02/20
15-0154-4	Ortofosfatos	SM 4500 P E; Ed. 2012	<0.3066 mg PO4/L	2015/02/18

* Parametro acreditado por el IDEAM

** Parametro acreditado por la ONAC

*** Parametro acreditado por ONAC e IDEAM

NOTA: El Laboratorio GDCON declara que las Muestras Identificadas con los codigos 15-0154-1 al 15-0154-4, sus resultados son de caracter informativo no aptos para la toma de desiciones, debido a que las Muestras fueron enviadas en condiciones inadecuadas que no permiten la estabilidad de los analitos, Esta informacion es de conocimiento del responsable de las muestras. El laboratorio GDCON se exime de la responsabilidad del uso de estos datos.

Los resultados entregados sólo son válidos para las muestras analizadas y son de carácter confidencial. Las muestras fueron entregadas por el interesado al laboratorio. Por ningún motivo debe hacerse reproducción total o parcial del presente informe sin la autorización de GDCON

APRUEBAN ESTE INFORME:

Coordinador Físicoquímico	Ingeniera Sanitaria	Paula Andrea Lara R.	
Coordinador Instrumental	Ingeniero Sanitario	Kevin Berthi	
Coordinador Microbiología	Microbióloga	Any Carolina Garcés M.	
Director GDCON	Químico Ph.D. Qca. Ambiental	Gustavo Peñuela M.	



ACREDITADO ISO/IEC
17025:2005
Resolución N° 3564 11 de
diciembre de 2014.



ISO 9001:2008
Registro número: CO-SC 6729-1



ISO 9001:2008-NTC-ISO
9001:2008
Certificado: SC 6729-1

SIU Universidad de Antioquia. Calle 62 # 52-59 Torre 2 Laboratorio 232. Teléfonos: 2196571 - 2196688
Fax: 2196571. Medellín.

TABLA A2. 12. REPORTE DE RESULTADOS INNOVAGEN 20 DE AGOSTO DE 2014



PRUEBA ANÁLISIS DE AGUAS

Departamento: Cauca
Municipio: Timbío
Nombre del solicitante: Diego Alejandro Florez Guerrero
Fecha de toma: 20/08/2014
Fecha de análisis: 20/08/2014
Tipo de muestra: Agua cruda
Fuente: Sistema de filtración en arena
Lugar de la toma: Granja Maria Auxiliadora- Vereda la Honda
Hora de la toma: 10:30 a.m.
Método utilizado: Sustrato definido colilert

INFORME DE LABORATORIO

Código de Muestra	parámetro	Numero Más Probable (NMP/100mL)
FE	Coliformes totales	1299.7
	Coliformes fecales (<i>E. coli</i>)	51.2
FS	Coliformes totales	517.2
	Coliformes fecales (<i>E. coli</i>)	23.8

Angélica Domínguez

Angélica Alejandra Domínguez A.
Bacterióloga

Calle 15N # 6-40
 Tel +57-2-8372935
 Popayán, Cauca
www.fundacioninnovagen.org

TABLA A2. 13. REPORTE DE RESULTADOS INNOVAGEN 18 DE FEBRERO DE 2015

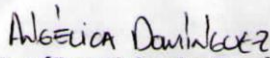


PRUEBA ANÁLISIS DE AGUAS

Departamento: Cauca
Municipio: Timbío
Nombre del solicitante: Diego Alejandro Flórez Guerrero
Fecha de toma: 18/02/2015
Fecha de análisis: 18/02/2015
Tipo de muestra: Agua cruda
Fuente: Sistema de filtración en arena
Lugar de la toma: Granja María Auxiliadora- Vereda la Honda
Hora de la toma: 10:30 a.m.
Método utilizado: Sustrato definido Colilert

INFORME DE LABORATORIO


Código de Muestra	parámetro	Número Más Probable (NMP/100mL)
EF	Coliformes totales	579.4
	Coliformes fecales (<i>E. coli</i>)	93.3
SF	Coliformes totales	92.8
	Coliformes fecales (<i>E. coli</i>)	<1


Angélica Alejandra Domínguez A.
Bacterióloga

Calle 15N # 6-40
 Tel +57-2-8372935
 Popayán, Cauca
www.fundacioninnovagen.org

TABLA A2. 14 REPORTE DE RESULTADOS DE DBO EN LA CRC

Reporte N° 091

	CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA LABORATORIO AMBIENTAL REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE AGUA	Código: FT-PDPA-LA027
		Fecha: 13/02/2013 Versión: 3 Página 1 de 1

Fecha: Mayo 12 de 2015.

Cliente: Universidad del Cauca Dirección: Popayán	Teléfono:	Solicitud N°: 056
Municipio de muestreo: Popayán	Fecha de Recepción: Mayo 6 de 2015. Fecha de Análisis: Mayo 6 y 11.	

Muestreo:

Plan de Muestreo N°	N/A
Fecha de Muestreo	N/A
Lugar de Muestreo	Timbio
Procedimiento de muestreo	N/A
Condiciones ambientales	N/A

Identificación de la muestra

Código Muestra	Sitio de Muestreo
0214	Entrada Humedal
0215	Salida Humedal

Resultados Laboratorio

Variable	Método	Unidad	Resultados	
			0214	0215
DBO ₅	SM5210B/SM4500-OG	mg/L	412	74,2

Observaciones:

-Los resultados que se relacionan en este informe hacen referencia únicamente a las muestras analizadas. -Este documento no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la debida autorización del Laboratorio Ambiental.



DIEGO ZULUAGA VERA
 Responsable Laboratorio Ambiental

Carrera 7 # 1N - 28 Edificio Edgar Negret Dueñas
 Pbx: 8203232 fax: 092 - 8203251
 Línea verde: 018000932855
 www.crc.gov.co

Laboratorio Ambiental: Vivero CRC, Vereda González, Popayán Telefax: 8245602

ANEXO 3

Tablas estadísticas para los análisis de las muestras

PORCENTAJES DE REMOCIÓN CON UN 95% DE CONFIABILIDAD ESTADÍSTICA

Se utilizó el programa SPSS para realizar los porcentajes de remoción con un 95% de nivel de confianza, los cuales se presentarán a continuación

TABLA A3. 1. PORCENTAJES DE REMOCIÓN CON UN 95% DE CONFIABILIDAD ESTADÍSTICA DE LOS PARÁMETROS MEDIDOS EN EL HUMEDAL

Parámetro	intervalo de confianza		% Remoción
	Límite inferior	Límite superior	
Turbiedad	41,67	71,79	57,10
Color	28,44	80,15	54,21
SST	17,88	102,09	60,03
DQO	23,59	63,53	43,13
Fosfatos	-28,72	40,12	5,52
Nitratos	-513,27	277,06	-95,22

Fuente: Elaboración propia

Estadística descriptiva para los parámetros estudiados en el humedal subsuperficial de flujo horizontal

TABLA A3. 2. ESTADISTICA DESCRIPTIVA PARA TEMPERATURA EN EL HUMEDAL

Temperatura	Media	Mediana	CV%	Mínimo	Máximo
Afluyente	19,97	20,0	8,87	19,5	20,3
Efluyente	20,22	20,2	8,29	20,0	20,5

Fuente: Elaboración propia

TABLA A3. 3. ESTADISTICA DESCRIPTIVA PARA PH EN EL HUMEDAL

pH	Media	Mediana	CV%	Mínimo	Máximo
Afluyente	7,268	7,390	8,87	6,2	8,1
Efluyente	7,541	7,755	8,29	19,5	8,1

Fuente: Elaboración propia

TABLA A3. 4. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA PARA TURBIEDAD EN EL HUMEDAL

Turbiedad (NTU)	Media	Mediana	CV%	Mínimo	Máximo
Afluente	180,12	192,25	24,9	116,3	221,3
Efluente	78,69	80	42,98	41,53	117,6

Fuente: Elaboración propia

TABLA A3. 5. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA PARA COLOR EN EL HUMEDAL

Color (UPC)	Media	Mediana	CV%	Mínimo	Máximo
Afluente	1502,96	1427,5	40,8	823	2172
Efluente	761,67	646,5	63,79	188	1347

Fuente: Elaboración propia

TABLA A3. 6. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA PARA SST EN EL HUMEDAL

SST(mg/L)	Media	Mediana	CV%	Mínimo	Máximo
Afluente	180,48	646,5	56	51,8	301,7
Efluente	91,37	85,15	87,4	1,3	183,3

Fuente: Elaboración propia

TABLA A3. 7. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA PARA CONDUCTIVIDAD EN EL HUMEDAL

Conductividad (μ/cm)	Media	Mediana	CV%	Mínimo	Máximo
Afluente	390,03	398,7	26,2	233,3	504,5
Efluente	569,42	530,15	26,48	436,3	845,7

Fuente: Elaboración propia

TABLA A3. 8. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA PARA DQO EN EL HUMEDAL

DQO (mg/L)	Media	Mediana	CV%	Mínimo	Máximo
Afluente	528,79	585	35,3	241	743,3
Efluente	241	221,5	36,7	154	396

Fuente: Elaboración propia

TABLA A3. 9. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA PARA FOSFATOS EN EL HUMEDAL

Fosfatos	Media	Mediana	CV%	Mínimo	Máximo
Afluente	3,84	2,9	42,44	2,24	5,8
Efluente	3,95	2,67	64,8	1,29	6,9

Fuente: Elaboración propia

TABLA A3. 10. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA PARA NITRATOS EN EL HUMEDAL

Nitratos			
Entrada	N	Válidos	5
		Perdidos	1
	Media		8,01
	Mediana		9,49
	CV		57,80
	Mínimo		,054
Máximo		12,10	
Salida	N	Válidos	5
		Perdidos	1
	Media		6,05
	Mediana		7,37
	CV.		52,40
	Mínimo		,42
Máximo		7,96	

Fuente: Elaboración propia

Comparación en la eficiencia de remoción del humedal construido en el año 2002 y el humedal construido en el año 2014

TABLA A3. 11. DIFERENCIA ENTRE LOS PORCENTAJES DE REMOCIÓN DE DQO EN LOS HUMEDALES

%Remoción de DQO antes	%Remoción de DQO después	Diferencia de los porcentajes
80,46	33,78	-46,68
67,14	26,97	-40,17
84,68	50,54	-34,14
82,05	67,87	-14,18
86,89	38,65	-48,24
54,9	79,28	24,38

Fuente: Elaboración propia

TABLA A3. 12. PRUEBA DE NORMALIDAD DE SHAPIRO WILK

Parámetro: DQO	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	P.
Diferencia entre los porcentajes de Remoción	,821	6	,091

Fuente: Elaboración propia

TABLA A3. 13. PRUEBA T PARA MUESTRAS PAREADAS

%Remoción Después-Antes	prueba de muestras relacionadas		
	T	Gl	P
	2,335	5	0,067

Fuente: Elaboración propia

TABLA A3. 14. PORCENTAJES DE REMOCIÓN DE DBO EN LOS HUMEDALES

%Remoción DBO antes	%Remoción DBO después
86	82
80	
75,51	
66,57	
68,89	
67,62	

Fuente: Elaboración propia

Los datos de DBO en el humedal subsuperficial de flujo horizontal del año 2002 fueron obtenidos de Velasco y Vivas (2006)

TABLA A3. 15 PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE DBO CON UN 95% DE CONFIABILIDAD ESTADÍSTICA PARA EL HUMEDAL CONSTRUIDO EN EL AÑO 2002

Parámetro	Intervalo de confianza		Media
	Límite inferior	Límite superior	
DQO antes	65,91	82,28	73,85

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 4

Registro fotográfico

FOTOGRAFÍA A4. 1. LUGAR DE TRABAJO



Fuente: Tomada por José Fernando Ordoñez

FOTOGRAFÍA A4. 2. VISITAS A LA COMUNIDAD



Fuente: Elaboración propia

FOTOGRAFÍA A4. 3. TRABAJO CON LA COMUNIDAD



Fuente: Elaboración Propia

Humedal subsuperficial de flujo horizontal

FOTOGRAFÍA A4. 4. TANQUE SÉPTICO



Fuente: Elaboración Propia

FOTOGRAFÍA A4. 5. EXCAVACIÓN DEL HUMEDAL



Fuente: Elaboración Propia

FOTOGRAFÍA A4. 6. IMPERMEABILIZACIÓN Y LLENADO CON GRAVA



Fuente: Elaboración Propia

FOTOGRAFÍA A4. 7. SELECCIÓN DE LAS MACRÓFITAS



Fuente: Elaboración Propia

FOTOGRAFÍA A4. 8. PLANTACIÓN CON HELICONIA



Fuente: Elaboración propia

FILTRACIÓN LENTA EN MÚLTIPLES ETAPAS (FIME)

FOTOGRAFÍA A4. 9. LUGAR SELECCIONADO PARA EL FIME



FOTOGRAFÍA A4. 10. RECUPERACIÓN DEL TANQUE PARA FILTRACIÓN LENTA



Fuente: Elaboración propia.

FOTOGRAFÍA A4. 11. ADAPTACIÓN DEL TANQUE PARA FILTRACIÓN LENTA



Fuente: Elaboración propia

FOTOGRAFÍA A4. 12. ELABORACIÓN DE LOS TAMICES



Fuente: Elaboración propia

FOTOGRAFÍA A4. 13. TAMIZADO DE LA GRAVA



Fuente: Elaboración propia.

FOTOGRAFÍA A4. 14. FOTO DE ALTURA DEL SISTEMA FIME

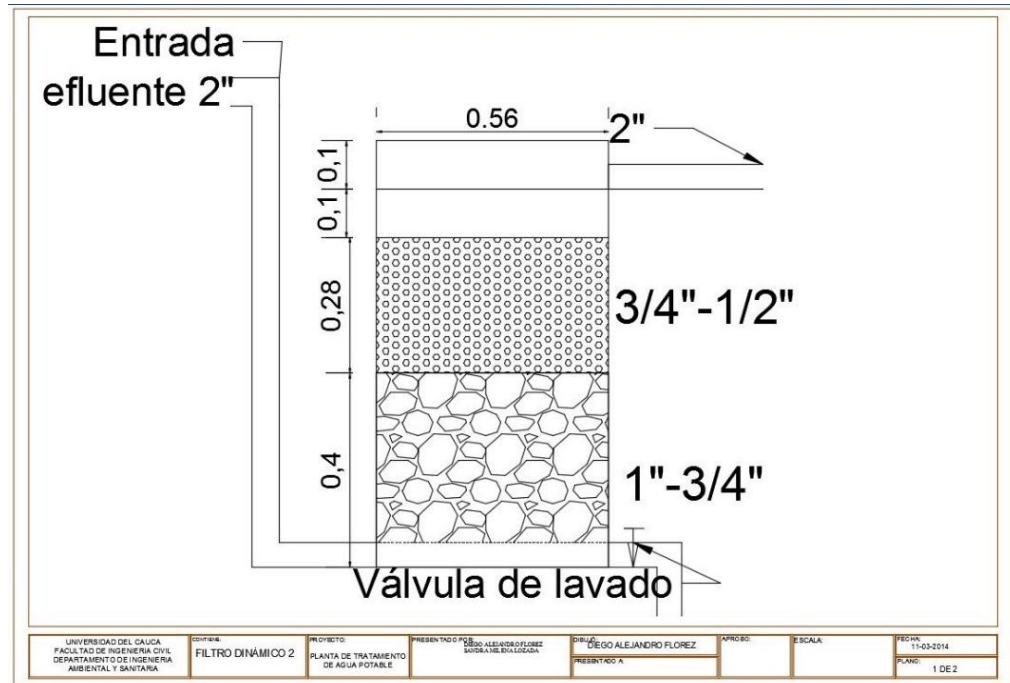


Fuente: Elaboración propia

ANEXO 5

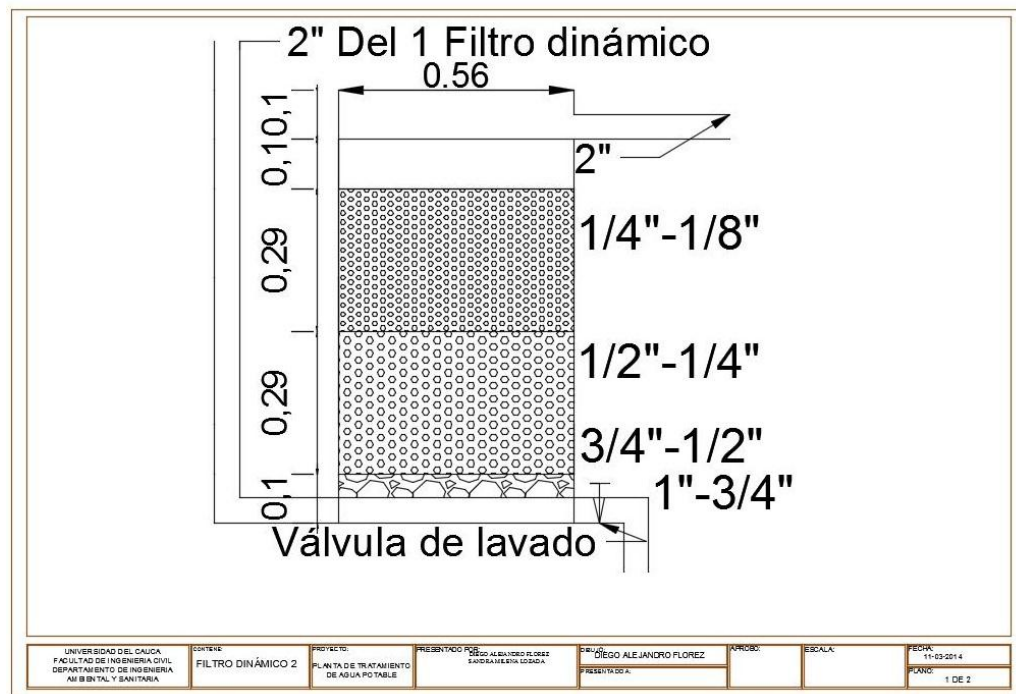
Figuras

FIGURA A.5. 1. FILTRO DINÁMICO 1



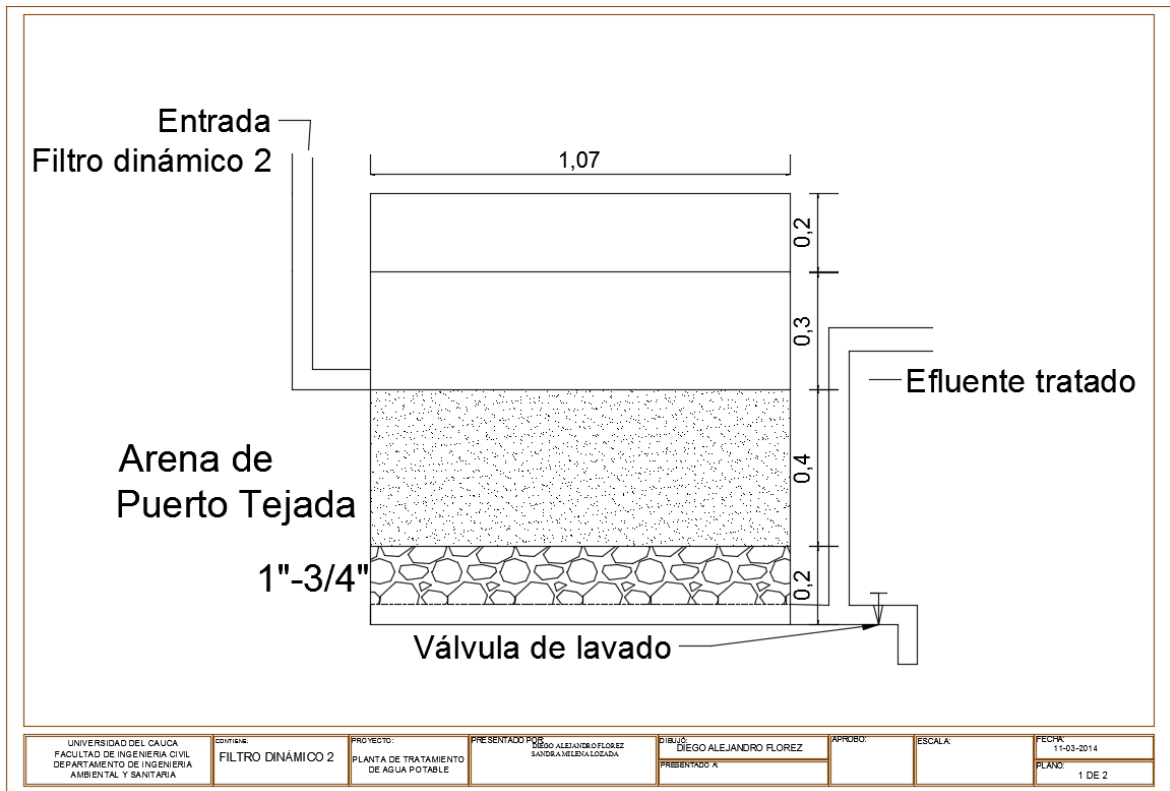
Fuente: Elaboración propia

FIGURA A.5. 2. FILTRO DINÁMICO ASCENDENTE 2



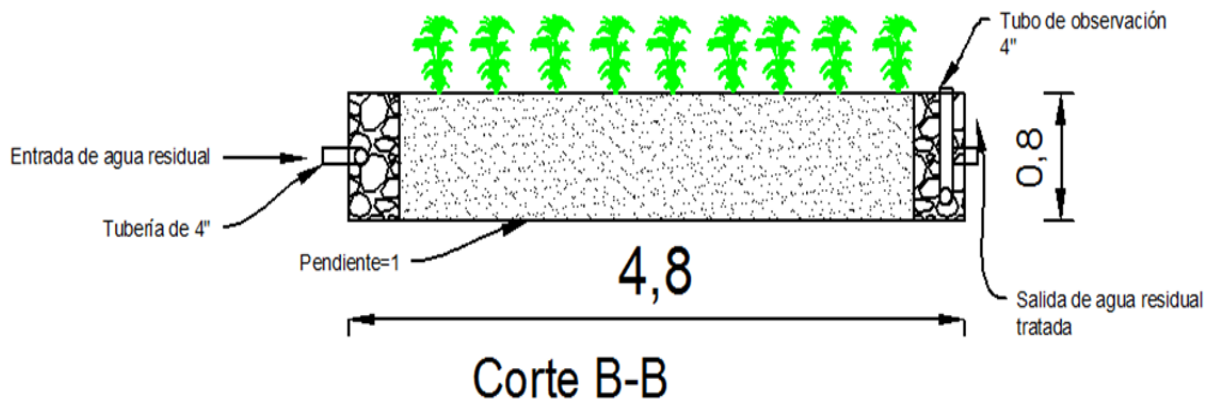
Fuente: Elaboración propia

FIGURA A.5. 3. FILTRO LENTO DE ARENA DE PUERTO TEJADA



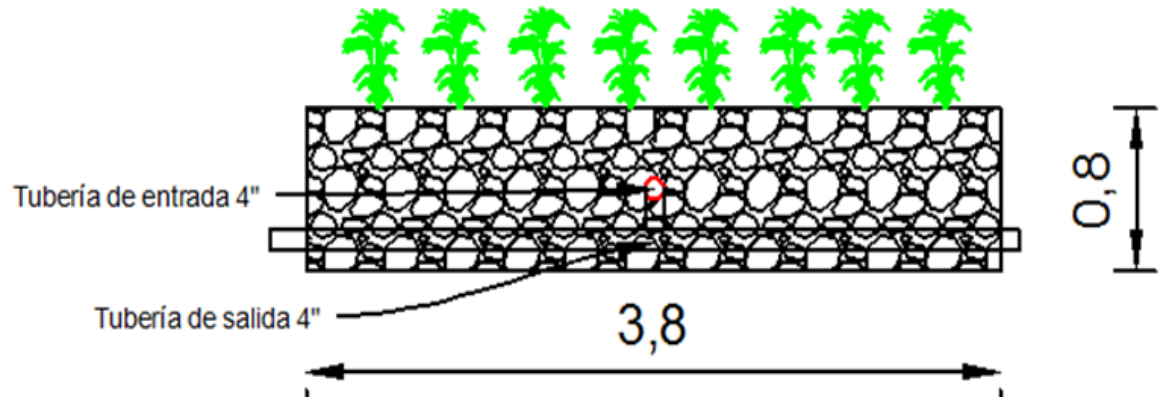
Fuente: Elaboración propia

FIGURA A.5. 4. HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL CORTE B-B



Fuente: Elaboración propia

FIGURA A.5. 5. HUEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL. CORTE C-C



Fuente: Elaboración propia