

Diseño y puesta en marcha de un humedal artificial a nivel piloto como tratamiento complementario para la depuración de las aguas residuales tratadas en la PTAR del Municipio de Buenavista Departamento del Quindío.

**Carlos Arturo Arteaga Apráez
Evangelina López Vásquez**

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiental (ECAPMA)
Risaralda, Colombia
2019

Diseño y puesta en marcha de un humedal artificial a nivel piloto como tratamiento complementario para la depuración de las aguas residuales tratadas en la PTAR del Municipio de Buenavista Departamento del Quindío.

**Carlos Arturo Arteaga Apráez
Evangelina López Vásquez**

Proyecto de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Especialista en Biotecnología agraria

Director:
José Camilo Torres Romero.

Línea de investigación:
Gestión y Manejo Ambiental y Biotecnología

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiental (ECAPMA)
Risaralda, Colombia
2019

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo y acompañamiento incondicional de nuestra familia; sin ellos no sería posible dar pasos firmes en la vida.

De manera muy especial y sincera, manifestamos un fuerte agradecimiento por asesoramiento y gestión llevada a cabo por parte del director de la especialización en Biotecnología Agraria de la UNAD, al Licenciado en Biología y Educación Ambiental Jhon Deiber Torres Carrera por su asesoramiento biológico y académico en la elaboración del documento y análisis estadístico de resultados; al Ingeniero Sanitario Luis Ernesto Carrasco Villota por su apoyo técnico en el análisis de parámetros de laboratorio.

No dejamos de lado los agradecimientos la colaboración de las Empresas Publicas del Quindío (EPQ) por autorizarnos el desarrollo del trabajo en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Buenavista, Quindío.

Asimismo, agradecemos a la Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ) y su laboratorio de aguas por el apoyo brindado durante todo el proceso.

Con el fin de proponer una alternativa viable en el tratamiento de aguas residuales domésticas, para mejorar las condiciones físicas, químicas y a nivel bacteriológico; este trabajo muestra los resultados del diseño y puesta en marcha de un humedal artificial horizontal de flujo subsuperficial (SsF) a escala piloto para realizar el tratamiento de una fracción del agua del efluente de la PTAR del municipio de Buenavista, departamento del Quindío - Colombia; que cumpla con los requerimientos en la norma vigente y lo establecido en el reglamento técnico del sector agua potable y saneamiento básico. La instalación e implementación del sistema artificial piloto se adelantó en el predio Lote PTAR La Cabaña localizado a 450 metros de la cabecera municipal de Buenavista, Quindío (coordenadas: 4°21'39" N, -75°44'09" W) (datos suministrados Agustín Codazzi – SIG Quindío). La descarga que se realiza a la quebrada la Picota (PTAR) recoge el 70% de las aguas residuales de la cabecera municipal, y el 30% se vierte a la quebrada Las Margaritas. En el diseño del humedal se utilizaron los criterios de la metodología del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS, (2000). Se emplearon datos específicos de carga hidráulica para zonas frías o donde haya restricciones de espacio en la determinación del área superficial. Para determinar el área de la sección transversal se empleó la ley de Darcy. En la construcción del sistema piloto se realizó la excavación en paredes ataludadas, se llevó a cabo la derivación en PVC del tubo de salida de la PTAR; la impermeabilización de la celda se llevó a cabo con lámina de plástico de alta densidad. Para el tratamiento del agua residual, se empleó la especie macrófita *Cyperus papyrus*; esta se seleccionó teniendo en cuenta experiencias de especies establecidas en humedales artificiales comúnmente usadas en tanques poco profundos de monocultivo. En la puesta en marcha del sistema y evaluación del funcionamiento y eficiencia del humedal se realizó seguimiento cualitativo para características generales asociadas al estado fisiológico de estrés vegetal. Para la evaluación del humedal piloto, se empleó un diseño bifactorial (dos factores): el primero con dos niveles experimentales de prueba (entrada y salida del humedal) y un segundo factor el tiempo evaluado a lo largo de 6 meses, tomando una muestra cada dos meses, de esta manera se llevó a cabo 3 muestreos a la entrada y salida del humedal determinando en laboratorio los parámetros indicadores de carga orgánica. Los resultados obtenidos se representaron contrastándose mediante graficas de perfiles multivariados usando el programa InfoStat versión 2012. Realizados los respectivos contrastes de entrada y salida a lo largo del periodo de prueba del humedal artificial evaluado, se observó en términos generales una disminución de la concentración de la carga orgánica contaminante, sin embargo, se recomienda y se concluye que este tipo de tratamientos complementarios son viables en escala real siempre y cuando

se realice la supervisión e inspección por parte del prestador del servicio teniendo en cuenta que el manejo de los sólidos es un factor determinante y condicionante del adecuado funcionamiento y vida útil de un humedal como el evaluado.

Palabras claves: Depuradora, depuración, tratamiento complementario, agua residual, humedal, flujo subsuperficial, macrófitas, *Cyperus papyrus*. parámetros indicadores de carga orgánica.

Abstract

With aim to put forward a water domestic wastewater treatment system into a viable alternative, we present an artificial Sub-surface Flow Wetlands designed and implemented, it was constructed in pilot – scale to prove domestic wastewater’s physical- chemical characteristics in flowing from a lot of water’s treatment plant located in Buenavista – Quindío, Colombia. We check attempting sanitary laws in general. We establish the artificial Wetlands in Lote PTAR La Cabaña’s land located at 450 meters in the municipality boundaries (4°21’39’’ N, -75°44’09’’ W) (updated Agustín Codazzi – SIG Quindío database). Water discharge at La Picota tributary accumulates at 70% of domestic wastewater from urban boundaries, at 30% of the rest accumulates in Las Margaritas tributary. In designing the wetland we use the rules and laws taking the colombian regulatories: Reglamento Tecnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Basico RAS (2000). According to law’s methodology we employed certainty data in surface area determining, focused in hydraulic charge for colding regions parameters and specific restricted space. The Darcy’s laws was use in determining the transversal lot in the designed wetland. In construction we excavated in form of leaned walls, installing the outlet plumbing tube in emerging from water treatment plant. Onto waterproofing it installed a high density polyethylene geomembrane. In sanitarian wastewater treatment we growed the *Cyperus papyrus* macrophyte taking experimetals into monoculture pool’s criteria. In water domestic wastewater treatment system into putting forward and testing we qualify plants stress characteristics and we evaluated using a two - way design: one-way wetland inflowing/outflowing; two – way as sampling in 6 months each two one. In fact we sampled three times in wetland’s inflowing and outflowing sampled water organic charge parameters in the laboratory (physical and chemical). Data analysis by contrasting multivariate with InfoStat software, 2012. In the results inflowing and outflowing contrasting and testing we detect water organic charge parameters in the low. However this research recommend the wetland constructed in a natural – scale is powerful if it is checked out by administrator and regulations taking in specific sludge removing (solid) so these represents limitant factors in the wetland operating and its life – util in functioning.

Key words: Treatment plant, depuration, complementary treatment, domestic wastewater, wetland, Sub-surface Vi
Flow, macrophyte, *Cyperus papyrus*, water's organic charge parameters.

Tabla de Contenidos

1.	Introducción.....	1
2.	Marco de antecedentes.....	5
2.1	Antecedentes bibliográficos.....	5
2.2	Antecedentes históricos.....	7
2.3	Antecedentes legales.....	9
3.	Planteamiento del problema.....	10
4.	Objetivos.....	11
4.1.	Objetivo general.....	11
4.2.	Objetivos específicos.....	11
5.	Metodología.....	12
5.1.	Área de estudio.....	12
5.2.	Parámetros de diseño estructural e hidráulico para la instalación y puesta en marcha del humedal.....	13
5.3.	Construcción del humedal.....	17
5.4.	Evaluación de funcionamiento y eficiencia humedal piloto.....	17
6.	Desarrollo del humedal piloto.....	18
6.1.	Instalaciones hidráulicas.....	18
6.2.	Implementación del canal o estanque.....	19
6.3.	Lecho de apoyo físico, medio filtrante (grava).....	20
7.	Análisis de dificultades en el tratamiento del agua del efluente (PTAR) y evaluación del funcionamiento y eficiencia del humedal piloto.....	21

8. Análisis de los resultados.....	22
9. Resultados y discusión.....	22
10. Conclusiones y recomendaciones.....	28
10.1. Conclusiones.....	28
10.2. Recomendaciones.....	29
11. Anexos.....	31
12. Bibliografía.....	38

Lista de figuras

Figura 1: Instalación de canalizaciones de entrada y salida del agua residual.....	19
Figura 2. Canal de flujo horizontal con paredes ataludadas.....	19
Figura 3. Lecho de apoyo físico empleado.....	20
Figura 4. Sólidos suspendidos totales (SST) para la entrada y salida del humedal a lo largo de los 3 muestreos simples durante 6 meses.....	23
Figura 5. Valores de pH de la entrada y salida del humedal a lo largo de 6 meses en 3 muestreos simples.....	24
Figura 6. Valores para grasas y aceites entrada y salida del humedal a lo largo de los 3 muestreos simples durante los 6 meses.....	25
Figura 7. Valores de la demanda química de oxígeno (DQO) de la entrada y salida del humedal a lo largo de los 3 muestreos simples durante los 6 meses.....	26
Figura 8. Valores de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) entrada y salida del humedal a lo largo de los 3 muestreos simples durante los 6 meses.....	27
Figura 9. Valores de temperatura entrada y salida del humedal a lo largo del muestreo simple durante los 6 meses.....	28

1. Introducción

La descarga de aguas residuales en sistemas acuáticos lenticos y loticos tales como arroyos, ríos o humedales es una práctica de mucha antigüedad. Esta surge de la necesidad de evacuar estas aguas fuera del núcleo urbano; garantizando la prevención de problemas sanitarios. Sin embargo, esta práctica acarrea impactos ambientales. El impacto ambiental que la descarga de agua residual genera ha obligado a diseñar y poner en marcha métodos o mecanismos de depuración que particularmente son implementados en los núcleos urbanos, donde se resaltan características como el crecimiento de la población (asentamientos humanos). Es importante mencionar que el modo por el cual se hace tratamiento y se disminuye la carga contaminante del agua residual mediante los mecanismos de saneamiento, hace parte de estrategias fundamentadas en la gestión ambiental sostenible (Fernández, 2014).

Observaciones realizadas por naturalistas, ecólogos, ambientalistas, ingenieros ambientales y otros investigadores, sobre las relaciones entre los niveles de vertimiento directo de agua residual y la importante capacidad depuradora en los humedales naturales, ha impulsado de manera significativa la formulación de propuestas de desarrollo de sistemas de depuración basadas en diseño de humedales artificiales (Fernández, 2014), los cuales son también tratamientos complementarios de las aguas residuales.

Los humedales artificiales son áreas de plantas emergentes (macrófitas) dispuestas en tanques, canales o lagunas poco profundas de monocultivo (Silva y Zamora, 2005) o

policultivo. A nivel del tiempo de retención, el efluente pasa a través del humedal después de recibir pre-tratamiento; el efluente es tratado fisicoquímicamente y a nivel bacteriológico. El oxígeno fotosintético es suministrado por las plantas emergentes que lo inyectan al área radicular donde, el proceso de transferencia de oxígeno facilita la formación de películas bacterianas las cuales proporcionan la eliminación microbiana de contaminantes. Asimismo, se favorece la degradación de materia orgánica y crecimiento de bacterias nitrificantes (Silva y Zamora, 2005; Fernández, 2014).

Dentro de las funciones que cumplen las plantas en el humedal, las cuales fundamentan el funcionamiento del mismo, están el aireamiento del área radicular transfiriendo oxígeno a bacterias de la rizosfera, absorción de nutrientes, eliminación de la carga contaminante por asimilación directa en el tejido y filtración de sólidos a través del entramado que forma el sistema radicular (Silva y Zamora, 2005; Fernández, 2014).

Las especificaciones técnicas para el diseño y construcción de un humedal tienen en cuenta factores como el bajo costo de instalación en relación al de un sistema o planta de tratamiento convencional y el mantenimiento sencillo respecto al bajo costo o nulo consumo de energía. A nivel de desarrollo tecnológico, existen varios tipos de humedales estableciéndose variables que los distinguen: la dirección del flujo de agua, el medio filtrante o lecho que puede ser sustrato de cascajo de piedra o grava, la especie macrófita que formará el monocultivo (Peña et al., 2010; Suarez et al., 2014; Fernández, 2014). En relación a la dirección del flujo de agua se consideran los tipos horizontal, vertical, flujo superficial y flujo sub - superficial. En el sustrato bajo el manto de agua, el sistema puede portar una capa de suelo que enraíza la vegetación y otros emplean una capa de grava

como lecho de apoyo físico inerte que sirve como soporte de enraizamiento. Otros únicamente tienen agua (Fernández, 2014). En la vegetación, el medio porta plantas flotantes acuáticas, macrófitas acuáticas emergentes, un sistema mixto sucesional o macrófitas acuáticas emergentes en flotación. Por último cabe precisar que hay una amplia gama de diseños en función de variables de flujo, profundidad y pendiente; y de cómo se configura el sistema entre sí: serie, paralelo y circulación (Fernández, 2014).

Tres líneas de diseño y desarrollo tecnológico de humedales pueden ser consideradas, las cuales cuentan con principios funcionales diferentes: humedales de flujo superficial *Surface Flow Wetlands* o *Free Water Surface Wetlands* (FWS), humedales de flujo sub-superficial *Sub-surface Flow Wetlands* o *Vegetated Submerged Bed* o también *Sub-surface Flow* (SsF o SFS) y humedales con las plantas flotando en la superficie del agua, los cuales utilizan especies que como característica evolutiva, son flotantes como el Jacinto de agua *Eichornia crassipes* y la lenteja de agua *Lemna spp.* Es importante indicar que algunos autores separan los humedales con plantas flotantes en la superficie del agua de los FWS y SFS. Para los humedales con las especies flotantes en la superficie del agua los llaman sistemas acuáticos para el tratamiento de aguas residuales *Aquatic Plant Systems*, dando la denominación de humedal a los FWS y los SFS (Fernández, 2014).

Todo humedal artificial, basa su funcionamiento en tres principios: actividad bioquímica de microorganismos (Espinosa, 2014) que determina los parámetros de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), el aporte de oxígeno a través de las plantas durante el día que permite medidas de oxígeno disuelto (OD) y el soporte físico del lecho

el cual puede estar formado por grava para el enraizamiento vegetal y que funciona además como material o medio filtrante.

En términos de la circulación del agua, en los humedales de flujo superficial (FWS), el agua se desplaza en forma horizontal superficial. Estos se configuran con apariencia similar a un humedal natural. El agua discurre por la superficie de un canal o estanque que contiene una capa de agua poco profunda, generalmente de unos 30 cm, aunque puede llegar a ser a más de 1 m de profundidad. Se diseñan en forma de tanques con paredes ataludadas y canalizaciones de entrada y salida de agua residual, dispositivos de control de flujo y alternancia de áreas sin y con vegetación. En el humedal de flujo sub-superficial (SsF) más que la circulación del agua, el tipo de flujo o desplazamiento; lo que realmente define al humedal SsF es que no hay, como tal, una columna de agua continua, sino que el influente circula a través del medio inerte que conforma la arena y/o grava que soporta la vegetación (Suarez *et al.*, 2014; Fernández, 2014).

En este trabajo se diseñó y se puso en marcha un humedal artificial de flujo horizontal sub-superficial (SsF) a nivel piloto con el fin de hacer el tratamiento de una fracción del agua proveniente del efluente de la Planta de Tratamiento de aguas residuales PTAR del municipio de Buenavista, departamento del Quindío, Colombia; basado en el cumplimiento de los requerimientos establecidos en el reglamento técnico del sector agua potable y saneamiento básico y de los criterios establecidos para la remoción de la carga contaminante de una fracción del efluente que cumpla con los estándares regulatorios establecidos en la norma de vertimiento. Para el tratamiento se empleó la especie *Cyperus papyrus* la cual ha sido usada ampliamente en estudios de tratamiento de agua residual,

realizando tanto comparaciones con otras especies como estudios de la especie de manera individual (Silva y Zamora, 2005; Aragón *et al.*, 2015), los cuales muestran parámetros indicadores de remoción de carga orgánica importantes. De esta manera, en este estudio se muestra los resultados de la evaluación de parámetros físicos y químicos del agua y se verifica el cumplimiento de la normatividad para un sistema completo; planta de tratamiento y un humedal prototipo.

2. MARCO DE ANTECEDENTES

2.1. Antecedentes bibliográficos.

En el ámbito Internacional, la primera vez que se utilizó el concepto de humedal artificial correspondió a la convención sobre los humedales RAMSAR en Irán 1971 (Salud, 1999 por Suarez *et al.*, 2014). En ésta se consolidó y estableció la documentación de normalización y regulaciones en el tratamiento de aguas y realización de estudios. A partir de esta fecha, se han desarrollado estudios en Estados Unidos, Europa y Suramérica con construcción de humedales obteniéndose resultados satisfactorios bajo la política sostenible ambiental.

En el ámbito europeo en España, la Universidad Politécnica de Madrid ha desarrollado y patentado el filtro de macrófitas en flotación. El desarrollo de este ha permitido instaurar las regulaciones, de los sistemas acuáticos para el tratamiento de agua residual *Aquatic Plant Systems* respecto al tipo de humedal de especies flotantes en la superficie.

En el contexto nacional una revisión realizada por Rivera en 2015 sobre los humedales de flujo horizontal subsuperficial (SsF), vertical y su potencial aplicación en Colombia muestra que según Díaz, (2014) citado por Rivera (2015) en Colombia se han

construido humedales de flujo subsuperficial, enfocados primordialmente a la realización de pruebas piloto en el tratamiento de agua residual doméstica, con caudales y poblaciones de diseño relativamente pequeñas. Los resultados evaluados por Rivera (2015) de humedales subsuperficiales su aplicación y el potencial que presentan estos para el país muestran que, según Lara et al., (2002), en el departamento de Boyacá se construyó un HSFS de un emisario final complementario de agua residual doméstica tratada previamente en un reactor anaerobio UASB en la ciudad de Tunja (en el barrio Los Muiscas). El sistema fue construido en 1997 y operado hasta febrero de 1999, presentando especificaciones con tiempos de retención entre 0,9 días y 3 días, caudal promedio de 2,2 m³/d, material vegetal utilizado para el tratamiento: junco (*Typha domingueis*); obteniendo las siguientes eficiencias promedio en la remoción de demanda química de oxígeno (DQO): 51.7 %, demanda bioquímica de oxígeno (DBO5): 45.1 %, nitrógeno total: 15.0 %, fósforo total: 31.0 %, sólidos suspendidos totales (SST): 88.6 %, y sólidos totales (ST): 22.5 %.

En el departamento de Cundinamarca en el municipio de Cogua según Rivera (2015) se presentó el funcionamiento en su etapa inicial de un humedal subsuperficial diseñado para servir una estación experimental (La estación experimental Javeriana) con el fin de tratar las aguas residuales domésticas provenientes de las viviendas y las aulas de esta universidad. El humedal manejó un caudal promedio de 1.34 m³/d y un afluente esperada en DBO5 de 132 mg/L y un efluente de 44 mg/L. El reactor fue una celda de 2 m de ancho por 5.8 m de largo, con una profundidad efectiva de 0.6 m, área del humedal de 11.6 m², tiempo de retención hidráulica de 1.6 días y una carga hidráulica de 0.23m/d.

Con este sistema se obtuvieron remociones promedio de DBO₅, entre el 66 % y el 80 %, de nitrógeno total entre el 30 % y el 70 %, para el fósforo alrededor del 28 %; en sólidos suspendidos totales, entre el 44 % y el 90 %.

En otro estudio según Rivera (2015) en el departamento de Antioquia, Montoya et al., (2010), realizó un estudio comparativo de la remoción de materia orgánica en humedales construidos de flujo horizontal subsuperficial en la sede principal del Tecnológico de Antioquia, Institución Educativa ubicada en el barrio Robledo, en la ciudad de Medellín. La investigación indagó comparativamente sobre la remoción de materia orgánica con agua residual sintética, en términos de los parámetros de demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO₅) y mediciones in situ de pH, oxígeno y temperatura cada 15 días, durante tres meses, en seis sistemas de humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal, a escala piloto, sembrados con tres especies diferentes de macrófitas: *Canna limbata*, *Heliconia psittacorum* y *Phragmites sp*; las remociones medias de DQO fueron de 97.31 % y 95.94 % para *Canna limbata*; 94.49 % y 93.50 % para *Heliconia psittacorum*; 97.39 % y 97.13 % para *Phragmites sp*. En DBO₅ fueron de 100 % y 99.36 % para *Canna limbata*; 99.09 % y 97.49 % para *Heliconia psittacorum*; 100 % y 99.45 % para *Phragmites sp*.

2.2. Antecedentes históricos

La descarga residual históricamente es una práctica antigua donde, la toma de conciencia sobre el tratamiento y la purificación del agua es relativamente reciente y es menester mundial dadas las proyecciones de crecimiento de la población mundial. Las primeras nociones científicas asociadas con el uso de humedales artificiales para tratar

agua residual, remonta a 1946 en el Max Plank Institute System donde se evaluó tratamiento con humedales de flujo horizontal para aguas municipales domésticas e industriales del sector textil y cervecero. Las prácticas de depuración en el ámbito internacional, se remontan a los años 50 del siglo XX en Europa y a la década de los 60 del mismo siglo en Estados Unidos incentivándose al desarrollo de sistemas de depuración. Es así como hasta la década de 1970 en Madrid, se hacía vertimiento directo de agua residual a ríos, no obstante, actualmente España lidera estrategias consolidadas de impacto mundial en remoción de carga contaminante.

En el contexto nacional, prácticas de depuración del agua en Colombia han sido promovidas por la secretaria de Medio ambiente de Cundinamarca en alianzas con la universidad privada mediante el desarrollo de humedales a escala laboratorio alimentados con aguas de los ríos Bogotá captadas de los municipios de Cajicá, Cundinamarca. Dicho ente territorial nacional lidera estrategias y políticas clave para el tratamiento de aguas residuales en Colombia.

A nivel local el sistema de tratamiento del agua residual en el departamento del Quindío cuenta con infraestructura reciente; reglamentada y normalizada entorno a la PTAR ubicada en el municipio de Armenia, y cuya gestión actual ha sido promovida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y en la cual se han desarrollado una serie de trabajos principalmente liderados por la Secretaria de agricultura departamental y Acción social. Es importante mencionar en el ámbito departamental que sistemas complementarios de tratamiento de agua residual no se han consolidados, por lo que este

trabajo hace parte de una iniciativa piloto que pretende fortalecer a nivel de sostenibilidad el recurso hídrico del departamento y específicamente al ente territorial de Buenavista.

2.3. Antecedentes Legales

DECRETO 050 DE 16 DE ENERO DE 2018: donde se reglamenta la conformación de los Consejos Ambientales Regionales de Macrocuencas – CARMAC mediante los ministros, delegados y directores de las autoridades ambientales competentes de macrocuencas.

REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS (Modificado mediante Resolución 0330 de 28 de junio de 2017): Por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005. Por el cual se reglamenta los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de planeación, diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo.

RESOLUCIÓN 631 DEL 17 DE MARZO DE 2015: Por la cual el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

DECRETO UNICO REGLAMENTARIO 1076 DE 26 DE MAYO 2015: Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.

3. Planteamiento del problema.

De acuerdo a las estadísticas del DANE el municipio de Buenavista departamento del Quindío tiene proyecciones de población de 2.833 habitantes para el año 2015, de los cuales 1.188 corresponden a la cabecera municipal y 1.645 al entorno rural. En el área urbana, corresponde 9 barrios, los cuales cuentan con buena cobertura de servicios públicos. Para el caso del alcantarillado, el servicio es prestado por la Empresa Publica del Quindío – EPQ S.A. E.S.P, empresa que tiene autorizado según el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos aprobado por la Autoridad Ambiental Competente dos descargas a fuentes hídricas superficiales, correspondientes a las Quebradas La Picota y Las margaritas.

El sistema hídrico del municipio de Buenavista cuenta con seis corrientes de agua importantes, una de ellas corresponde a Rio Verde, localizado en el costado norte, marcando límites geográficamente con el municipio de Calarcá. Las otras cinco fuentes hídricas representan quebradas importantes que se extienden de oriente a occidente y de norte a sur, cuyas cuencas nacen en el municipio y en sus límites; varias de estas quebradas forman parte de la Microcuenca la Picota. Dichas fuentes hídricas se encuentran en una situación de alto riesgo de deterioro ambiental, donde a través de visitas técnicas llevadas a cabo por la autoridad ambiental, se evidencian dificultades técnicas asociadas a baja remoción de carga contaminante en el tratamiento que ejecuta la PTAR del municipio de Buenavista, lo que implica incumplimientos de la Resolución 631 de 2015. Dichos factores podrían estar generando deterioro a partir de descargas incontroladas de agua residual doméstica y aquellas provenientes de procesos del

beneficio de café, coadyuvado por la deforestación en las zonas de ronda de dichos afluentes. La disposición inadecuada de residuos sólidos producidos a nivel doméstico y que son dispuestos inadecuadamente sobre las fuentes, son otra variable de incidencia adicional de contaminación.

4. Objetivos.

4.1. General

Evaluar la eficiencia de un humedal artificial construido a nivel piloto, para realizar el tratamiento complementario de las aguas efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas del Municipio de Buenavista, en el Departamento del Quindío.

4.2. Específicos.

- Diseñar y construir un humedal artificial horizontal de flujo subsuperficial (SsF) a escala piloto para realizar el tratamiento complementario de una fracción del agua proveniente del efluente de la PTAR del municipio de Buenavista que cumpla con los requerimientos establecidos en el reglamento técnico del sector agua potable y saneamiento básico (RAS 2000 a la fecha derogado mediante la Resolución 0330 de 28 de junio de 2017).
- Caracterizar a nivel físico y químico las aguas residuales del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Buenavista, Quindío y del agua tratada con el humedal artificial a escala piloto.
- Evaluar el funcionamiento del humedal a escala piloto realizando la comparación a lo largo del tiempo con respecto a las aguas tratadas provenientes del efluente de la Planta

de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y realizar la verificación al cumplimiento de los límites permisibles respecto a la norma (Resolución 631 de 2015).

5. Metodología.

5.1. Área de estudio.

5.1.1. Geografía y características poblacionales.

El estudio se desarrolló en el Municipio de Buenavista Quindío el cual se encuentra ubicado en la cordillera central más exactamente en la parte sur occidente del departamento del Quindío, 27 Km de la capital (Armenia). Cuenta con un área urbana de 0.14 Km² y un área Rural de 40.98 Km². Buenavista se encuentra ubicada a una altura de 1450 msnm y presenta una temperatura de 20°C en promedio. (Acuerdo No. 008, 2012), Según la estadística de proyección para junio 30 del 2015, Buenavista tiene una población de 2.833 habitantes. (DANE, 2011).

5.1.2. Aspectos hidrográficos y calidad del agua actual.

Los cuerpos de agua receptores de las aguas residuales del casco urbano del municipio de Buenavista, corresponden a las quebradas La Picota y La Margarita (ESAQUIN, 2009), actualmente solo la descarga a la Picota cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales construido en el año 2008 y es operada por la Empresa Publicas del Quindío (EPQ S.A. E.S.P.), la cual consta de un pretratamiento constituido por trampa de grasa, sedimentadores primarios y desarenador; biorreactores anaerobios; un tanque clarificador; tanques de lodos y descarga final (CRQ, 2015).

La descarga que se realiza a la quebrada la Picota (PTAR) recoge el 70% de las aguas residuales de la cabecera municipal a través de un sistema de alcantarillado combinado, el sistema de tratamiento presenta deficiencias en la remoción de los

contaminantes presentando una DBO a la entrada de la PTAR de 343 mg/L O₂ y de 128 a la salida de esta, (CRQ, 2015) presentando una eficiencia únicamente del 63 % evaluando este parámetro, con lo cual no se cumple con los estándares regulatorios vigentes al año 2015 que definían un mínimo del 80% de remoción de la carga contaminante representada en la DBO (Decreto 1594, 1984). Actualmente con la entrada en vigencia de la resolución 631 de 2015 los valores máximos permisibles están dados en términos de concentración de carga contaminante lo que direcciona los parámetros de evaluación en el desarrollo del presente trabajo.

5.2. Parámetros de diseño estructural e hidráulico para la instalación y puesta en marcha del humedal.

Para la puesta en marcha del humedal se llevaron a cabo las siguientes fases:

5.2.1. Diseño del humedal:

Se utilizó la metodología recomendada por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS, (2000) a la fecha, derogado mediante Resolución 0330 de 28 de junio de 2017, a través del cual se establecen los siguientes criterios de diseño:

Localización.

Los humedales deben localizarse aguas abajo de un tanque séptico. Para esto, debe hacerse una evaluación de las características del suelo, localización de cuerpos de agua, topografía, localización geográfica, líneas de propiedad y vegetación existente para localizar adecuadamente el humedal.

Parámetros de diseño.

Se selecciona la metodología de diseño que garantice el correcto funcionamiento del sistema teniendo en cuenta los siguientes factores los cuales fueron considerados (RAS, 2000):

- Conductividad hidráulica.
- Granulometría.
- Flujo sumergido para la fracción de caudal derivado de la PTAR .

Además, se recomiendan los siguientes parámetros, para el caso de humedales de flujo subsuperficial los cuales se tuvieron en cuenta en el diseño:

Área superficial.

Para la determinación del área superficial del humedal se consideraron dos alternativas:

- El uso de los siguientes valores de carga hidráulica: 0.032 m²/L/día (para zonas frías o donde haya restricciones de espacio), y 0.021m²/L/día (para zonas donde haya restricciones de espacio)
- Método incluyendo la cinética del proceso

$$A_s = \frac{Q \cdot (\ln C_o - \ln C_e)}{(K_T \cdot h \cdot n)}$$

Dónde:

A_s: Área Superficial del humedal (m²).

Q: Caudal.

LnCo: Carga orgánica (DBO) afluente.

LnCe: Carga orgánica (DBO) efluente.

K_T: Coeficiente de permeabilidad.

h: altura.

n: Porosidad del medio.

Sección transversal.

Para determinar el área de la sección transversal se empleó la ley de Darcy cuyo uso es recomendado:

$$A_t = \frac{Q}{K_s * S}$$

Dónde:

A_t: Área de sección transversal.

Q: Caudal.

K_s: Coeficiente de permeabilidad.

S: Pendiente del Lecho.

La conductividad utilizada para el diseño nunca puede ser mayor que la del medio de soporte. Se debe reducir dicha conductividad en un orden de magnitud para tener en cuenta los efectos de atascamiento asociados a la retención de sólidos en los humedales.

Pendiente de fondo.

Se recomienda no usar la pendiente de fondo para ganar cabeza pues se corre el riesgo de dejar la entrada seca cuando haya condiciones de bajo caudal. = 1%.

Usar piedra entre 50 y 100 mm para una longitud de 0.6 m alrededor del influente distribuidor y las tuberías colectoras del efluente para reducir el taponamiento.

Usar solo sustrato lavado para eliminar los granos finos que puedan taponar los poros del sustrato y, posiblemente, causen flujo superficial.

Construir la berma al menos 150 mm por encima del sustrato y al menos 150 mm por encima de la superficie de la tierra.

Pendiente exterior 3H:1V

Pendiente interior 2H:1V

Ancho mínimo de la berma = 0.60 m.

Carga orgánica máxima = 4 m²/kg. de DBO5/día.

Tiempo de llenado del lecho con agua = 1 - 2 días.

Profundidad.

Se empleó lo siguiente recomendado: que la profundidad media del lecho sea 0.6 m y que la profundidad en la entrada no debe ser menor de 0.3 m. Con profundidades mayores a 0.6 m, las raíces más profundas y los rizomas empiezan a debilitarse. Es recomendado que los lechos se construyan con al menos 0.5 m de cabeza sobre la superficie del lecho. Para lechos pequeños, esta puede reducirse.

Medio.

Cuando se utilice grava como medio que carece de nutrientes, se recomienda que las semillas se planten en un medio fértil con el fin de evitar problemas posteriores.

Operación y mantenimiento.

Se tuvo en cuenta los siguientes aspectos recomendados y estandarizados metodológicamente: que la superficie del humedal se cubra con vegetación. La elección de la vegetación depende del tipo de residuos, de la radiación solar, la temperatura, la estética, la vida silvestre deseada, las especies nativas y la profundidad del humedal. Se deben usar dos celdas en serie. Las celdas deben ser impermeabilizadas para evitar la

infiltración. Es esencial que las raíces tengan siempre acceso a agua en el nivel de los rizomas en todas las condiciones de operación. Para medios muy permeables con alta conductividad hidráulica (tales como la grava), se recomienda que el nivel de agua se mantenga alrededor de 2 a 5 cm por debajo de la superficie del lecho.

Finalmente, se tuvo en cuenta el requerimiento de un dispositivo de derivación del caudal del agua residual ya que el trabajo estuvo encaminado a realizar el tratamiento a una porción del efluente de la planta de tratamiento, en este sentido se contó con la colaboración de un Ingeniero Sanitario. Se tuvo en cuenta el caudal a derivar y su dependencia del espacio disponible para la construcción del humedal.

5.3. Construcción del humedal.

Teniendo en cuenta los datos obtenidos en la fase de diseño, se procedió a la construcción, para lo cual se tuvo en cuenta los servicios de un experto.

5.3.1. Selección de especies vegetales y establecimiento.

Se tuvo en cuenta experiencias de especies establecidas en humedales artificiales con buenos resultados de remoción de carga orgánica, de esta manera, la siembra se realizó con la macrófita emergente *Cyperus papyrus*, especie común usada en tanques poco profundos de monocultivo (Silva y Zamora, 2005; Aragón *et al.*, 2015) para tratamiento de agua residual.

5.4. Evaluación de funcionamiento y eficiencia humedal piloto.

Dadas las dificultades técnicas para la obtención oportuna de muestras y el desarrollo vegetativo de letargo de la especie macrófita, determinado por las condiciones de la ineficiencia técnica de la PTAR en el tratamiento, se determinaron dos factores primer

factor con dos niveles experimentales de prueba (entrada y salida), y un segundo factor el tiempo (se evaluaron a lo largo de 6 meses, cada dos meses, los 6 parámetros físicos y químicos), de esta manera se llevó a cabo 3 muestreos simples (Ver Anexos).

Los resultados obtenidos se contrastaron para ambos niveles de prueba; para la PTAR y humedal piloto a lo largo de los 6 meses; y se llevó a cabo la evaluación del funcionamiento y la eficiencia del humedal prototipo realizando las correspondientes relaciones bioquímicas y llevando a cabo la determinación del cumplimiento de la norma de vertimientos según las concentraciones presentadas a la salida del sistema (Resolución 631, 2015). Dadas las condiciones de ineficiencia de la planta de tratamiento, se realizó seguimiento cualitativo para características generales asociadas al estado fisiológico de estrés vegetal tales como marchitamiento, necrosis y clorosis.

6. Desarrollo del humedal piloto.

6.1.Instalaciones hidráulicas.

Con base en el cumplimiento de los criterios establecidos para la remoción de la carga contaminante de una fracción del efluente que cumpla con los estándares regulatorios establecidos en la norma de vertimiento, se realizaron las canalizaciones de entrada y salida del agua residual como se muestra en la figura 1. Se realizaron las instalaciones con tubería de PVC.



Figura 1: Instalación de canalizaciones de entrada y salida del agua residual.

6.2. Implementación del canal o estanque

Basado en los criterios de diseño de humedales de flujo superficial (FWS) y de flujo sub-superficial (SsF) los cuales tienen en cuenta en la configuración, parámetros del flujo horizontal del influente, se diseñó un canal de profundidad de 0,6 m con paredes ataludadas como se muestra en la figura 2.



Figura 2: Canal de flujo horizontal con paredes ataludadas.

6.3. Lecho de apoyo físico, medio filtrante (grava).

Teniendo en cuenta que el trabajo a escala piloto llevado a cabo, se realizó con base en un humedal de flujo sub-superficial (SsF), es importante indicar que más que la circulación del agua, el tipo de flujo o desplazamiento; lo que realmente define al humedal SFS es que no hay, como tal, una columna de agua continua, sino que el influente circula a través del medio inerte que conforma la arena y/o grava que funciona como soporte para enraizar la vegetación (Suarez *et al.*, 2014; Fernández, 2014). Este sustrato actúa también como medio filtrante. El material empleado lo constituyó grava de tamaño medio como se muestra en la figura 3 acompañada de roca pequeña que cumple funciones estructurales y de filtración similares a la grava.



Figura 3: Lecho de apoyo físico empleado.

7.0. Análisis de dificultades en el tratamiento del agua del efluente (PTAR) y evaluación del funcionamiento y eficiencia del humedal piloto.

Entre las mayores dificultades dadas las condiciones de ineficiencia técnica de la PTAR en el tratamiento, se presentó el taponamiento total de la tubería, ocasionado por los sedimentos provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales; la cual adolece de mantenimiento por parte de las Empresas Publicas del Quindío EPQ S.A. E.S.P. En relación a ello, para evaluar la salida de la planta de tratamiento se tomaron los parámetros de: acidez, alcalinidad total, cloruros, color, cadmio total, plomo total, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno DQO, dureza cálcica, dureza total, fosforo total, grasas y aceites, hierro total, nitritos, nitrógeno amoniacal, ortofosfatos, sulfuro, sulfato, pH, solidos sedimentables, solidos suspendidos totales (SST), temperatura, caudal.

Asimismo, se tomaron en el muestreo simple para el humedal piloto, inferior a la planta de tratamiento los parámetros (Anexo B) de: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Grasas y aceites, pH, Solidos Suspendidos totales (SST) y Temperatura, los cuales fueron realizadas por el laboratorio de aguas de la Corporación Autónoma Regional del Quindío, laboratorio certificado por el IDEAM. Los métodos de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos que presta el Laboratorio de aguas de la CRQ están basados en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SM) edición 22, año 2012, en el Instituto Alemán de Estandarización (DIN) y en La Agencia de Protección del Medio Ambiente de los

Estados Unidos. (EPA). Los procedimientos de toma de muestras y aforo están basados en el manual de muestreo y medición de caudales del laboratorio.

8. Análisis de los resultados.

Los resultados obtenidos se contrastaron para ambos niveles de prueba; para la PTAR y humedal piloto; y se llevó a cabo la evaluación del funcionamiento y la eficiencia del humedal prototipo realizando las correspondientes relaciones bioquímicas y llevando a cabo la determinación del cumplimiento de la norma de vertimientos según las concentraciones presentadas a la salida del sistema (Resolución 631, 2015).

9. Resultados y discusión.

En una primera visita de seguimiento una vez realizado el llenado, se evidencia obstrucción parcial del tubo de entrada del tratamiento de la PTAR por sedimentos provenientes de la planta, dada la falta de mantenimiento de la misma por parte de las Empresas Publicas del Quindío EPQ S.A. E.S.P; a causa de ello, se observa algunas plantas que evidencian marchitamiento y necrosis de hojas dadas las condiciones de estrés. Pese a que de dicho estrés puede ser explicado parte por el transplante y adaptación de los individuos, en una segunda visita, se evidencia una mortalidad del 100% de los individuos sembrados, ello se convierte en un indicador del nivel de contaminación del agua tratada en la PTAR, por tanto, se lleva a cabo una resiembra para dar continuidad a la evaluación del funcionamiento del humedal.

Observando los resultados de los análisis físicos y químicos de laboratorio, los sólidos

suspendidos totales de la salida de la PTAR con valores de 28,2 mg/l permiten verificar el indicador de calidad del tratamiento en relación a la disminución de los sólidos suspendidos medidos en la salida del humedal (7,9 mg/l) en el primer muestreo a los dos primeros meses (Fig. 4), de esta manera, el humedal arroja un indicador funcional de disminución de sólidos suspendidos totales con una remoción del 71.9% aumentando la eficiencia, sin embargo es posible afirmar que, la concentración de salida de la PTAR ocasiona una baja paulatina en la funcionalidad del humedal y disminución de la vida útil del mismo por saturación - colmatación observado por incremento en el nivel de agua por encima de la capa del lecho de prueba. En el tercer muestreo a los 6 meses, se generó una remoción de sólidos suspendidos totales aumentando la eficiencia con un 55.5%.

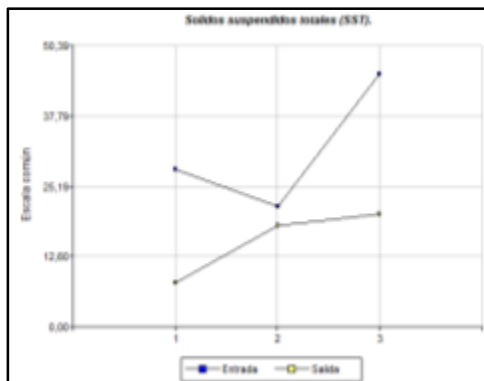


Figura 4: Sólidos suspendidos totales (SST) para la entrada y la salida del humedal a lo largo de los 3 muestreos simples durante 6 meses.

Asimismo, nivel bioquímico en el primer muestreo según los resultados obtenidos, la actividad biológica del humedal dada la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de 35,2 mg/l O₂ presento una disminución importante en relación al agua de la PTAR (DBO = 78,5 mg/l O₂), lo que indica que la actividad bioquímica de microorganismos en el humedal piloto permite el tratamiento complementario del agua residual vertida,

favoreciendo la degradación de materia orgánica del agua tratada con un incremento de eficiencia del 55,2% en remoción de carga; 4 meses después, en el tercer muestreo, se presentó una remoción aumentando la eficiencia del 15,9%. El valor de pH (7,0) (Fig. 5) es un parámetro que puede favorecer la actividad microbiana (Yañez, 2018), de esta manera, permite la actividad biológica favoreciendo la demanda de oxígeno bioquímico lo que beneficia el tratamiento de degradación para temperaturas de 20°C que se realiza a un agua residual (Yañez, 2018; Asnar, 2000) similar a los valores del humedal evaluado. El parámetro presentó poca variación a lo largo de los 6 meses.

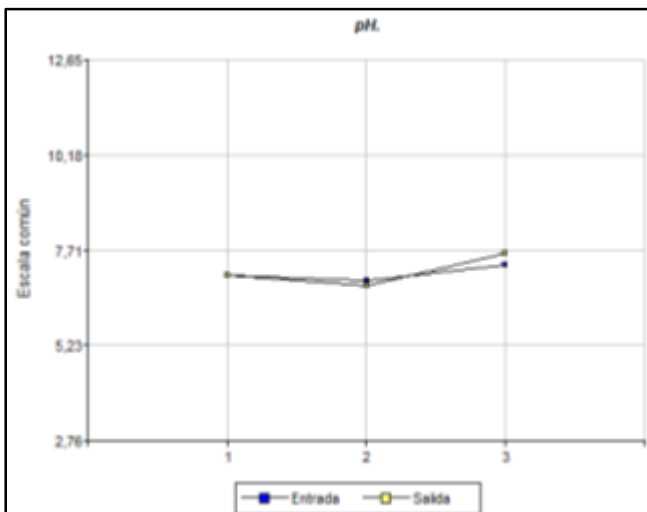


Figura 5: Valores de pH de la entrada y salida del humedal a lo largo de 6 meses en 3 muestreos simples.

De manera general, los datos en los valores de DBO, DQO, grasas y aceites y, sólidos suspendidos totales, oscilaron alrededor de valores similares tanto en la entrada como en la salida del humedal en la segunda toma (a los 4 meses), ello posiblemente a causa del taponamiento del tubo de ingreso de agua al humedal, producto de la saturación materiales de vertimiento provenientes de la PTAR y arrastre de los mismos una vez superada la novedad (llevada a cabo la remoción de materiales).

En relación a los resultados de la prueba de grasas y aceites en el primer muestreo se presentó disminución (3,4 mg/l) respecto a la PTAR que presentó un valor de 34.4mg/L lo que corresponde a un aumento de eficiencia en remoción de 90.1%. A los 4 meses dadas las condiciones biológicas en relación al bajo o nulo efecto biológico sobre estas en la actividad del humedal, se presentó un proceso de filtrado físico por efecto del lecho inerte (grava); en relación a ello, estas pueden ser arrastradas, removiéndose después del evento de acumulación presentado en la segunda toma de la muestra, lo que es posible observar en la gráfica (Fig. 6). En la tercera toma a los 6 meses se presentó en dicho parámetro una disminución (0.9 mg/L) respecto a la planta de tratamiento (11.1 mg/L) equivalente a un aumento de eficiencia en remoción de 91.8% (Fig. 6).

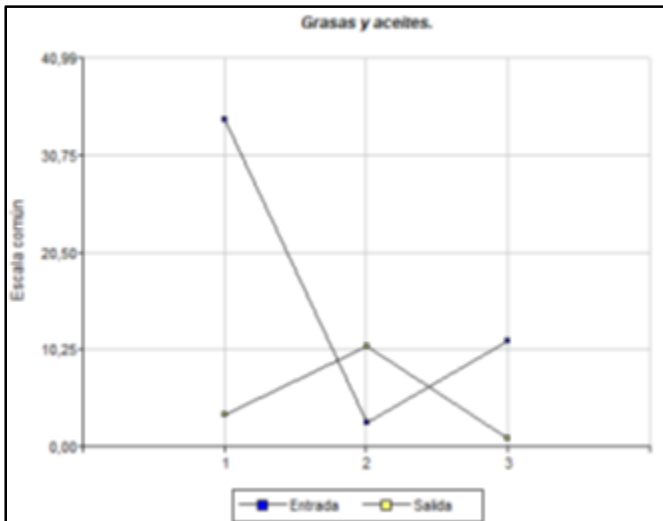


Figura 6: Valores para grasas y aceites entrada y salida del humedal a lo largo de los 3 muestreos simples durante los 6 meses.

Los valores de DQO han de ser mayores que el de DBO, pues no toda la materia oxidable químicamente ha de ser biooxidable según Aznar (2000); estas condiciones fueron evidentes durante el periodo de 6 meses de prueba (Fig. 7; fig. 8).

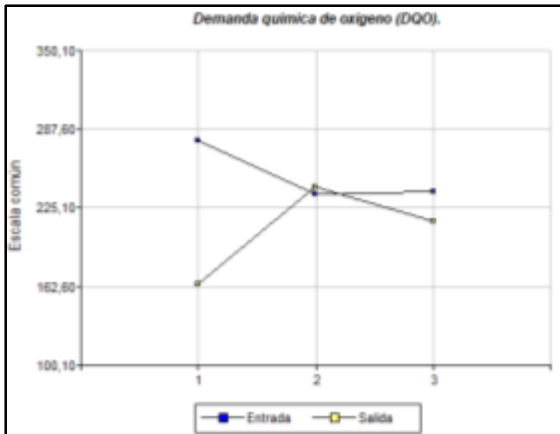


Figura 7: Valores de la demanda química de oxígeno (DQO) de la entrada y salida del humedal a lo largo de los 3 muestreos simples durante los 6 meses.

En relación a la demanda química y bioquímica del oxígeno en el humedal, el carbono oxidable de acuerdo a los valores de DQO muestran una disminución importante en el primer muestreo en el humedal igual a 164 mg/L en relación a los valores de este parámetro (278 mg/L) dados para la salida PTAR (entrada humedal), lo que a nivel del humedal indica una disminución del oxígeno que consumen los compuestos orgánicos presentes en el agua en proceso de tratamiento, disminuyendo la demanda química de oxígeno del agua en un 41% en el sistema (Fig. 7). A los 6 meses, el valor de DQO disminuyó (214mg/L) en relación a la PTAR que presentó un valor de 238 mg/L disminuyendo la demanda de oxígeno del agua en un 10%. En relación a ello, la disminución de todo el carbono oxidable puede ser dependiente de la demanda bioquímica la cual presentó también una disminución; este resultado valida el valor de la DQO como un tratamiento eficiente efectuado por el humedal (Fig. 7; fig. 8).

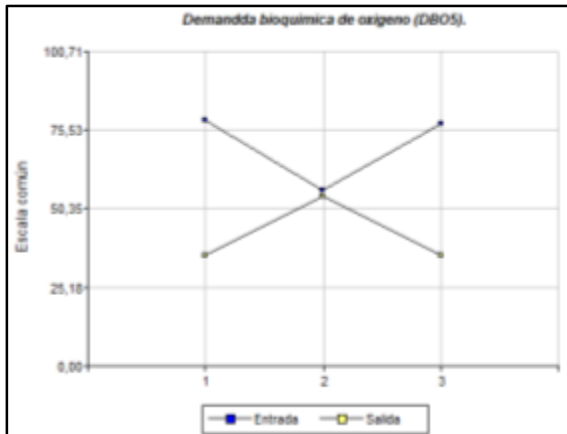


Figura 8: Valores de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) entrada y salida del humedal a lo largo de los 3 muestreos simples durante los 6 meses.

La saturación de oxígeno es un parámetro muy relacionado con la temperatura del agua y disminuye con el aumento de ella (Aznar, 2000). Asimismo, a determinada temperatura, el agua no es apta para desarrollar vida en su seno dado el poco oxígeno disuelto (Aznar, 2000), de esta manera, a medida que la temperatura aumenta el oxígeno se hace menor, lo que aumenta los valores de DBO. Debido a las condiciones de sombrío (baja luminosidad) presentes en el sitio de instalación del humedal, la temperatura disminuyó (Fig. 9) reduciendo los valores de DBO lo que pudo favorecer ciertas condiciones para el tratamiento del agua en el humedal evaluado evidenciando una temperatura poco variable a lo largo del periodo evaluado.

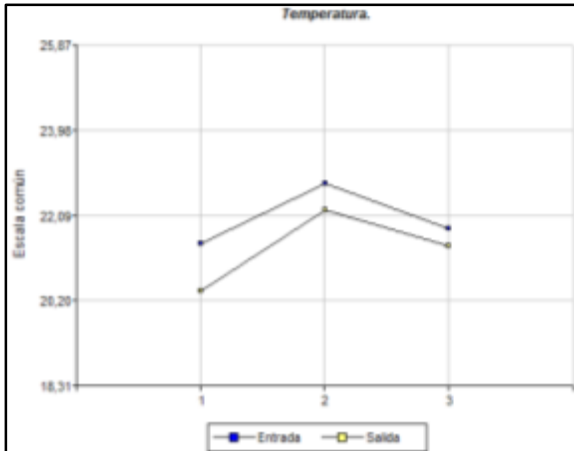


Figura 9: Valores de temperatura entrada y salida del humedal a lo largo del muestreo simple durante los 6 meses.

Realizada la evaluación de los parámetros asociados a remoción de carga orgánica contaminante los cuales disminuyeron a lo largo del periodo evaluado, donde la especie *Cyperus papyrus* fue utilizada, es posible indicar que la misma demuestra comportamiento funcional adecuado para humedales artificiales empleados en tratamiento complementario de agua residual doméstica, esto se puede contrastar con estudios piloto similares como los desarrollados por Silva y Zamora, 2005 y Aragón y col., 2015, en los cuales la especie, en remoción de carga, se comportó de manera similar.

10. Conclusiones y recomendaciones.

10.1. Conclusiones.

- Si bien es cierto, de acuerdo a los resultados de laboratorio de este estudio, el agua vertida por la PTAR del municipio de Buenavista cumple los requerimientos de ley en relación a la concentración de los sólidos suspendidos, es importante sin embargo que para efectos del adecuado funcionamiento y vida útil de un humedal como el evaluado,

se ejecuten acciones encaminadas al mejoramiento de la remoción de estos sólidos en la planta de tratamiento PTAR incluyendo relacionados; lodos - solidos sedimentables.

- Los valores de DBO y pH obtenidos favorecen las características funcionales del humedal cumpliendo con los fundamentos sobre el funcionamiento de un humedal en relación al aireamiento del área radicular transfiriendo oxígeno a bacterias que cumplen la función de degradación de carga contaminante de naturaleza orgánica.
- Realizados los respectivos contrastes de entrada y salida a lo largo del periodo de prueba del humedal artificial evaluado, se observó en términos generales una disminución de la concentración de la carga orgánica contaminante, sin embargo, se recomienda y se concluye que este tipo de tratamientos complementarios son viables en escala real siempre y cuando se realice la supervisión e inspección por parte del prestador del servicio teniendo en cuenta que el manejo de solidos es un factor determinante y condicionante del adecuado funcionamiento y vida útil de un humedal como el evaluado.
- *Cyperus papyrus* demuestra comportamiento funcional adecuado para humedales artificiales empleados en tratamiento complementario de agua residual doméstica una vez realizada la evaluación de los parámetros asociados a remoción de carga orgánica contaminante los cuales disminuyeron a lo largo del periodo evaluado.

10.2. Recomendaciones.

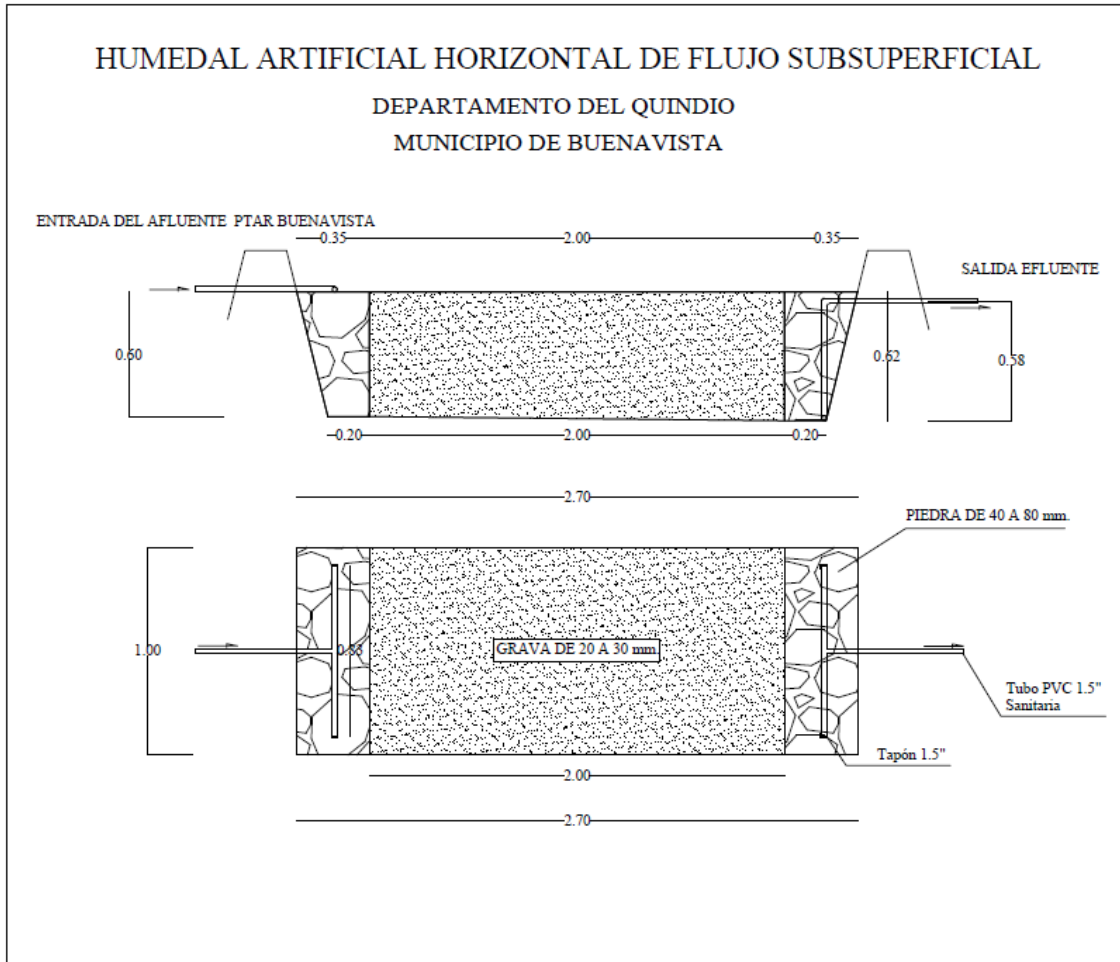
- Intensificar las labores en el mantenimiento de tuberías y en el tratamiento en general de las aguas residuales por parte de las Empresas Publicas del Quindío EPQ S.A. E.S.P. para favorecer resultados importantes en las experiencias de tratamiento

complementario de las aguas residuales de la PTAR del municipio de Buenavista como las ejecutadas en el presente proyecto.

- La implementación de desarenadores o sistemas de tamizaje de acuerdo con los resultados de sólidos suspendidos totales podría convertirse en una alternativa viable para el mejoramiento de las condiciones de funcionamiento de la planta de tratamiento que repercutan de manera positiva en el funcionamiento de humedal. Asimismo, se puede contemplar la posibilidad de emplear sistemas químicos (coagulantes - floculantes)
- Hasta tanto no se cuente con una remoción eficiente de los sólidos suspendidos en el tratamiento primario, no es recomendable la implementación de humedales de flujo sub superficial (SsF).


11. Anexos.

Anexo A: Plano del humedal piloto (planta y perfil).



Anexo B: Reporte de resultados de laboratorio muestreo simple N° 1 - entrada

Humedal; diciembre de 2017 (mes 2).

 <p>Protegiendo el Futuro</p>	CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL QUINDÍO PROCESO: LABORATORIO DE AGUAS ACTIVIDAD: GESTIÓN ADMINISTRATIVA DOCUMENTO: FORMATO PARA REPORTE DE RESULTADOS		
	Versión: 09	Fecha: Abril 01 de 2016	Código: FO-L-GA-11

LABORATORIO DE AGUAS
Calle 19N # 19-55 B/ Mercedes del Norte

Fecha de Emisión: 11/12/2017		SOLICITUD No: 112-17		Reporte No: 094-17	
CÓDIGO MUESTRA MCC20517					
DEPENDENCIA SOLICITANTE: SUBDIRECCION DE REGULACION Y CONTROL AMBIENTAL					
TIPO DE MUESTRA:	RESIDUAL DOMESTICO	TIPO DE MUESTREO:	COMPUESTO		
MUNICIPIO:	BUENAVISTA	VEREDA:	N/A		
FECHA DE TOMA:	27/11/2017	HORA:	8:00 AM - 4:00 PM		
TOMADA POR:	VIVIANA ORTIZ BETANCUR JUAN PABLO HINCAPIE HENAO.	No PLAN MONITOREO EJECUTADO:	112		
FECHA DE INGRESO AL LABORATORIO:	27/11/2017	HORA:	5:00 PM		
SITIO DE MUESTREO O NOMBRE DE FUENTE:	PTAR BUENAVISTA				
ESTACIÓN O PUNTO DE MUESTREO:	SALIDA PTAR				
COORDENADAS GEOGRAFICAS:	4° 21' 38.8" N		-75° 44' 09.9" W		
RESULTADOS					
PARAMETRO	RESULTADO	UNIDAD DE MEDIDA	METODO	FECHA DE ANALISIS	
Acidez	13	mg/L	SM 2310 B	27/11/2017	
Alcalinidad Total	166.5	mg/L	SM 2320 B	28/11/2017	
Cloruros	37.1	mg/L Cl ⁻	SM 4500-Cl D	28/11/2017	
Color	>100	Unidades Pt-Co	SM 2120 B	28/11/2017	
Cadmio Total	<LC ¹	µg/L Cu	DIN 38 406, Parte16	30/11/2017	
Plomo Total	149.3	µg/L Pb	DIN 38 406, Parte16	30/11/2017	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	78.6	mg/L O ₂	SM 5210 B	27/11/2017	
Demanda Química de Oxígeno	278	mg/L O ₂	SM 5220 D	04/12/2017	
Dureza Cálctica	175	mg/L CaCO ₃	SM 3500 -Ca B	28/11/2017	
Dureza total	200	mg/L CaCO ₃	SM 2340 C	28/11/2017	
Fosforo Total	0.84	mg/L P	SM 4500-P B-E	29/11/2017	
Grasas y Aceites	34.4	mg/L	SM 5520 D	27/11/2017	
Hierro Total	1.22	mg/L Fe	SM 3500 -Fe B	30/11/2017	
Nitritos	0.102	N-NO ₂ mg/L	Test de Merck, Fotométrico	27/11/2017	
Nitrógeno Amoniacal	77.9	mg/L N-NH ₃	SM 4500 NH ₃ B-C	28/11/2017	
Ortofosfatos	0.388	mg/L P-PO ₄	SM 4500 P E	30/11/2017	
Sulfuro	2.4	mg/L S ²⁻	SM 4500 -S ²⁻ F	29/11/2017	
Sulfato	<LC ³	mg SO ₄ /L	SM 4500- SO ₄ ²⁻ E	28/11/2017	
pH ⁽²⁾	Ver cuadro	Unidades	SM 4500 H+B	27/11/2017	
Sólidos Sedimentables	<0.5	ml/lh	SM 2540 F	27/11/2017	
Sólidos Suspendidos Totales	28.2	mg/L	SM 2540 D	27/11/2017	
Temperatura ⁽²⁾	Ver cuadro	°C	SM 2550 B	27/11/2017	
Caudal ⁽²⁾	Ver Cuadro	L/s	Volumetrico	27/11/2017	

-o-: Prueba sin características quimiométricas definidas.

⁽²⁾: Parámetro medido en campo.

NE: No Especificado.

ND: No Detectable

N/A: No Aplica

SM: Standard Methods for the examination of water & wastewater 22 st Edition

Se realizó la toma de muestras en base al Manual de Muestreo y Medición de Caudales código PR-L-MM-01. Perteneciente al Laboratorio de Aguas de la CRQ.

Nota: Los Resultados aquí presentados son válidos únicamente para la muestra analizada. El personal del laboratorio de Aguas se abstiene de hacer comentarios, interpretaciones o recomendaciones acerca de los resultados de los análisis realizados.

Límites de Cuantificación (LC): LC⁽²⁾=10 mg SO₄/L, LC⁽⁴⁾= 2 µg/L Cd

Observaciones reportadas durante la toma de muestra: Ninguna

Condiciones de ingreso en el momento de la recepción de la muestra: La muestra ingresó al Laboratorio en buenas condiciones de refrigeración y preservación.

** Para muestras compuestas se presentan los resultados de parámetros en campo obtenidos en cada submuestra:

SI NO APLICA


N° Submuestra	Hora de Toma	Temperatura Agua (°C)	pH (Unidades)	Caudal L/s
0	08:00	21.1	6.60	3.73
1	08:30	21.1	6.92	5.26
2	09:00	21.2	7.01	6.72
3	09:30	21.1	7.06	8.24
4	10:00	21.5	7.08	1.43
5	10:30	21.9	7.09	2
6	11:00	21.7	7.10	1.87
7	11:30	21.6	7.12	2.69
8	12:00	21.6	7.12	2.61
9	12:30	21.5	7.16	6
10	01:00	21.5	7.17	5.26
11	01:30	21.6	7.17	12.3

Anexo D: Reporte de resultados de laboratorio muestreo simple N° 2 – entrada

Humedal; febrero de 2018 (mes 4).

		<p align="center">CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL QUINDÍO PROCESO: LABORATORIO DE AGUAS ACTIVIDAD: GESTIÓN ADMINISTRATIVA DOCUMENTO: FORMATO PARA REPORTE DE RESULTADOS</p>		
Versión: 09	Fecha: Abril 01 de 2016	Código: FO-L-GA-11	Página 1 de 3	
<p>LABORATORIO DE AGUAS Calle 19N # 19-55 B/ Mercedes del Norte</p>				
Fecha de Emisión: 05/03/2018	SOLICITUD No: 001-18	Reporte No: 001-18		
CÓDIGO MUESTRA : MCC00118				
DEPENDENCIA SOLICITANTE: SUBDIRECCION DE GESTION AMBIENTAL				
TIPO DE MUESTRA:	RESIDUAL DOMESTICO	TIPO DE MUESTREO:	PUNTUAL	
MUNICIPIO:	BUENAVISTA	VEREDA:	LA CABAÑA	
FECHA DE TOMA:	23/02/2018	HORA:	12:05 P.M	
TOMADA POR:	VIVIANA ORTIZ BETANCOUR DIEGO IZQUIERDO MEZA	No PLAN MONITOREO EJECUTADO:	001	
FECHA DE INGRESO AL LABORATORIO:	23/02/2018	HORA :	03:20 P.M	
SITIO DE MUESTREO O NOMBRE DE FUENTE:	PTAR BUENAVISTA			
ESTACIÓN O PUNTO DE MUESTREO:	ENTRADA HUMEDAL – SALIDA PTAR			
COORDENADAS GEOGRAFICAS:	4° 21'38,7" N	-75° 44'10" W		
RESULTADOS				
PARAMETRO	RESULTADO	UNIDAD DE MEDIDA	METODO	FECHA DE ANALISIS
Demanda Bioquímica de Oxígeno	56,4	mg/L O ₂	SM 5210 B	23/02/2018
Demanda Química de Oxígeno	236	mg/L O ₂	SM 5220 D	01/03/2018
Grasas y Aceites	2,5	mg/L	SM 5520 D	26/02/2018
pH ⁽²⁾	6,93 (22,8 °C)	Unidades	SM 4500 H ⁺ B	23/02/2018
Sólidos Suspendedos Totales	21,5	mg/L	SM 2540 D	26/02/2018
Temperatura ⁽²⁾	22,8	°C	SM 2550 B	23/02/2018
Caudal	2,24	L/s	VOLUMETRICO	23/02/2018
<p>-o-¹: Prueba sin características quimiométricas definidas, ⁽²⁾: Parámetro medido en campo, NE: No Especificado, ND: No Detectable N/A: No Aplica SM: Standard Methods for the examination of water & wastewater 22 st Edition Se realizó la toma de muestras en base al Manual de Muestreo y Medición de Caudales código PR-L-MM-01. Perteneciente al Laboratorio de Aguas de la CRQ.</p>				
Nota: Los Resultados aquí presentados son válidos únicamente para la muestra analizada, El personal del laboratorio de Aguas se abstiene de hacer comentarios, interpretaciones o recomendaciones acerca de los resultados de los análisis realizados.				
Límites de Cuantificación (LC): No Aplica				
Observaciones reportadas durante la toma de muestra: Ninguna.				
Condiciones de ingreso en el momento de la recepción de la muestra: La muestra ingresó al Laboratorio en buenas condiciones de refrigeración y preservación.				
** Para muestras compuestas se presentan los resultados de parámetros en campo obtenidos en cada submuestra:				
SI <input type="checkbox"/> NO APLICA <input checked="" type="checkbox"/>				

Anexo E: Reporte de resultados de laboratorio muestreo simple N° 2 – salida Humedal; febrero de 2018 (mes 4).

		<p align="center">CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL QUINDÍO PROCESO: LABORATORIO DE AGUAS ACTIVIDAD: GESTIÓN ADMINISTRATIVA DOCUMENTO: FORMATO PARA REPORTE DE RESULTADOS</p>		
Versión: 09	Fecha: Abril 01 de 2016	Código: FO-L-GA-11	Página 2 de 3	
<p>LABORATORIO DE AGUAS Calle 19N # 19-55 B/ Mercedes del Norte</p>				
Fecha de Emisión: 05/03/2018	SOLICITUD No: 001-18	Reporte No: 001-18		
CÓDIGO MUESTRA : MCC00218				
DEPENDENCIA SOLICITANTE: SUBDIRECCION DE GESTION AMBIENTAL				
TIPO DE MUESTRA:	RESIDUAL DOMESTICO	TIPO DE MUESTREO:	PUNTUAL	
MUNICIPIO:	BUENAVISTA	VEREDA:	LA CABAÑA	
FECHA DE TOMA:	23/02/2018	HORA:	11:50 A.M	
TOMADA POR:	VIVIANA ORTIZ BETANCOUR DIEGO IZQUIERDO MEZA	No PLAN MONITOREO EJECUTADO:	001	
FECHA DE INGRESO AL LABORATORIO:	23/02/2018	HORA :	03:20 P.M	
SITIO DE MUESTREO O NOMBRE DE FUENTE:	PTAR BUENAVISTA			
ESTACIÓN O PUNTO DE MUESTREO:	SALIDA HUMEDAL			
COORDENADAS GEOGRAFICAS:	4° 21'39,9" N	-75° 44'10,2" W		
RESULTADOS				
PARAMETRO	RESULTADO	UNIDAD DE MEDIDA	METODO	FECHA DE ANALISIS
Demanda Bioquímica de Oxígeno	54,2	mg/L O ₂	SM 5210 B	23/02/2018
Demanda Química de Oxígeno	242	mg/L O ₂	SM 5220 D	01/03/2018
Grasas y Aceites	10,6	mg/L	SM 5520 D	26/02/2018
pH ⁽²⁾	6,80 (22,2 °C)	Unidades	SM 4500 H ^B	23/02/2018
Sólidos Suspendedos Totales	18,1	mg/L	SM 2540 D	26/02/2018
Temperatura ⁽²⁾	22,2	°C	SM 2550 B	23/02/2018
Caudal	0,36	L/s	VOLUMETRICO	23/02/2018
-o ¹ : Prueba sin características quimiométricas definidas, (2): Parámetro medido en campo, NE: No Especificado, ND: No Detectable N/A: No Aplica SM: Standard Methods for the examination of water & wastewater 22 st Edition Se realizó la toma de muestras en base al Manual de Muestreo y Medición de Caudales código PR-L-MM-01. Perteneciente al Laboratorio de Aguas de la CRQ.				
Nota: Los Resultados aquí presentados son válidos únicamente para la muestra analizada, El personal del laboratorio de Aguas se abstiene de hacer comentarios, interpretaciones o recomendaciones acerca de los resultados de los análisis realizados.				
Límites de Cuantificación (LC): No Aplica				
Observaciones reportadas durante la toma de muestra: Ninguna.				
Condiciones de ingreso en el momento de la recepción de la muestra: La muestra ingresó al Laboratorio en buenas condiciones de refrigeración y preservación.				
** Para muestras compuestas se presentan los resultados de parámetros en campo obtenidos en cada submuestra: SI <input type="checkbox"/> NO APLICA <input checked="" type="checkbox"/>				

Anexo F: Reporte de resultados de laboratorio muestreo simple N° 3 – entrada

Humedal; abril de 2018 (mes 6).

 <p>CRO Protegiendo el Futuro</p>	CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL QUINDÍO PROCESO: LABORATORIO DE AGUAS ACTIVIDAD: GESTIÓN ADMINISTRATIVA DOCUMENTO: FORMATO PARA REPORTE DE RESULTADOS		
	Versión: 09	Fecha: Abril 01 de 2016	Código: FO-L-GA-11

LABORATORIO DE AGUAS
Calle 19N # 19-55 B/ Mercedes del Norte

Fecha de Emisión: 30/04/2018 SOLICITUD No: 018-18 Reporte No: 017-18

CÓDIGO MUESTRA : MCC07518			
DEPENDENCIA SOLICITANTE: SUBDIRECCION DE GESTION AMBIENTAL			
TIPO DE MUESTRA:	RESIDUAL DOMESTICO	TIPO DE MUESTREO:	PUNTUAL
MUNICIPIO:	BUENAVISTA	VEREDA:	LA PICOTA
FECHA DE TOMA:	19/04/2018	HORA:	09:00 A.M
TOMADA POR:	VIVIANA ORTIZ BETANCOUR DIEGO IZQUIERDO MEZA	No PLAN MONITOREO EJECUTADO:	018
FECHA DE INGRESO AL LABORATORIO:	19/04/2018	HORA :	11:36 A.M
SITIO DE MUESTREO O NOMBRE DE FUENTE:	PTAR BUENAVISTA		
ESTACIÓN O PUNTO DE MUESTREO:	SALIDA PTAR		
COORDENADAS GEOGRAFICAS:	4° 21'38,8" N	-75° 44'10" W	

RESULTADOS				
PARAMETRO	RESULTADO	UNIDAD DE MEDIDA	METODO	FECHA DE ANALISIS
Demanda Bioquímica de Oxígeno	77,6	mg/L O ₂	SM 5210 B	19/04/2018
Demanda Química de Oxígeno	238	mg/L O ₂	SM 5220 D	26/04/2018
Grasas y Aceites	11,1	mg/L	SM 5520 D	19/04/2018
pH ⁽²⁾	7,33 (21,8 °C)	Unidades	SM 4500 H ⁻ B	19/04/2018
Sólidos Suspendidos Totales	45,2	mg/L	SM 2540 D	19/04/2018
Temperatura ⁽²⁾	21,8	°C	SM 2550 B	19/04/2018
Caudal	1,56	L/s	VOLUMETRICO	19/04/2018

-0⁻¹: Prueba sin características quimiométricas definidas,
⁽²⁾: Parámetro medido en campo,
 NE: No Especificado,
 ND: No Detectable
 N/A: No Aplica
 SM: Standard Methods for the examination of water & wastewater 22 st Edition
 Se realizó la toma de muestras en base al Manual de Muestreo y Medición de Caudales código PR-L-MM-01. Perteneciente al Laboratorio de Aguas de la CRQ.

Nota: Los Resultados aquí presentados son válidos únicamente para la muestra analizada. El personal del laboratorio de Aguas se abstiene de hacer comentarios, interpretaciones o recomendaciones acerca de los resultados de los análisis realizados.


Límites de Cuantificación (LC): No Aplica

Observaciones reportadas durante la toma de muestra: Ninguna.

Condiciones de ingreso en el momento de la recepción de la muestra: La muestra ingresó al Laboratorio en buenas condiciones de refrigeración y preservación.

** Para muestras compuestas se presentan los resultados de parámetros en campo obtenidos en cada submuestra:
 SI NO APLICA

Anexo G: Reporte de resultados de laboratorio muestreo simple N° 3 – salida Humedal; abril de 2018 (mes 6).

		CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL QUINDÍO PROCESO: LABORATORIO DE AGUAS ACTIVIDAD: GESTIÓN ADMINISTRATIVA DOCUMENTO: FORMATO PARA REPORTE DE RESULTADOS		
Versión: 09	Fecha: Abril 01 de 2016	Código: FO-L-GA-11	Página 2 de 3	
LABORATORIO DE AGUAS Calle 19N # 19-55 B/ Mercedes del Norte				
Fecha de Emisión: 30/04/2018	SOLICITUD No: 018-18	Reporte No: 017-18		
CÓDIGO MUESTRA: MCC07618				
DEPENDENCIA SOLICITANTE: SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL				
TIPO DE MUESTRA:	RESIDUAL DOMÉSTICO	TIPO DE MUESTREO:	PUNTUAL	
MUNICIPIO:	BUENAVISTA	VEREDA:	LA PICOTA	
FECHA DE TOMA:	19/04/2018	HORA:	09:35 A.M	
TOMADA POR:	VIVIANA ORTIZ BETANCOUR DIEGO IZQUIERDO MEZA	No PLAN MONITOREO EJECUTADO:	018	
FECHA DE INGRESO AL LABORATORIO:	19/04/2018	HORA:	11:36 A.M	
SITIO DE MUESTREO O NOMBRE DE FUENTE:	PTAR BUENAVISTA			
ESTACIÓN O PUNTO DE MUESTREO:	SALIDA HUMEDAL			
COORDENADAS GEOGRAFICAS:	4° 21' 39.7" N -75° 44' 10.2" W			
RESULTADOS				
PARAMETRO	RESULTADO	UNIDAD DE MEDIDA	METODO	FECHA DE ANALISIS
Demanda Bioquímica de Oxígeno	65.5	mg/L O ₂	SM 5210 B	19/04/2018
Demanda Química de Oxígeno	214	mg/L O ₂	SM 5220 D	26/04/2018
Grasas y Aceites	0.9	mg/L	SM 5520 D	19/04/2018
pH ²⁵	7.61 (21.4 °C)	Unidades	SM 4500 H'B	19/04/2018
Sólidos Suspendedos Totales	20.1	mg/L	SM 2540 D	19/04/2018
Temperatura ²⁵	21.4	°C	SM 2550 B	19/04/2018
Caudal	0.04	L/s	VOLUMETRICO	19/04/2018
-o ⁻¹ : Prueba sin características quimiométricas definidas. 25: Parámetro medido en campo. NE: No Especificado. ND: No Detectable. N/A: No Aplica. SM: Standard Methods for the examination of water & wastewater: 22 st Edition Se realizó la toma de muestras en base al Manual de Muestreo y Medición de Caudales código PR-L-MM-01. Perteneciente al Laboratorio de Aguas de la CRQ. Nota: Los Resultados aquí presentados son válidos únicamente para la muestra analizada. El personal del laboratorio de Aguas se abstiene de hacer comentarios, interpretaciones o recomendaciones acerca de los resultados de los análisis realizados. Límites de Cuantificación (LC): No Aplica. Observaciones reportadas durante la toma de muestra: Ninguna. Condiciones de ingreso en el momento de la recepción de la muestra: La muestra ingresó al Laboratorio en buenas condiciones de refrigeración y preservación. ** Para muestras compuestas se presentan los resultados de parámetros en campo obtenidos en cada submuestra: SI <input type="checkbox"/> NO APLICA <input checked="" type="checkbox"/>				

12. Bibliografía.

- Aragon Calderon, R. A, Parra Collazos, A. Y. Peña Torres, M. A. 2005. Evaluacion preliminar del funcionamiento de un sistema prototipo de humedales artificiales empleando *Heliconia psittacorum* y *Cyperus papyrus* para el tratamiento de aguas residuales. Vol (3), N°1, p. 51 – 60.
- Arias, C. A., & Hans , B. (s.f.). Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*(13), 17-24. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91101302>.
- Castañeda Villanueva, A & Florez Lopez, H. (2013).). Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas en Los Altos de Jalisco, México, *Tecnología y Innovación y difusión de la tecnología*, 3(5), Obtenido <http://www.udgvirtual.udg.mx/paakat/index.php/paakat/article/view/208>.
- Corporación Autónoma Regional del Quindío, CRQ,. (2015). *Informe Técnico No. 25874*. Armenia.
- Corporación Autónoma Regional del Quindío, CRQ,. (2015). *Formato Para Reporte de resultados de Laboratorio de Aguas*. Armenia.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas, DANE,. (2011). *Estimaciones de población 1985 - 2005 y proyecciones de población 2005 - 2020 total departamental por área*. Bogotá, D.C.
- Decreto 1594 de 1994, (1994).
- Empresa Sanitaria del Quindío, S.A. E.S.P,. (2009). *Plan de saneamiento y Manejo de Vertimientos Municipio de Buenavista*. Armenia.

Espinosa Ortiz, C. (2014). *Factibilidad del Diseño de un Humedal de Flujo Subsuperficial para El Tratamiento de Aguas Residuales Municipales de 30.000 Habitantes* (Tesis inédita de Maestría). Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

Estrada Gallego, I. (2010). *Monografía Sobre Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial (HAFSS) para Remoción de Metales Pesados En Aguas Residuales* (Tesis inédita de Tecnólogo). Universidad Tecnológica De Pereira.

Lara Borrero, J. (1999). *Depuración de aguas residuales Municipales con Humedales Artificiales* (Tesis Inédita de Maestría). Universidad Politécnica de Cataluña.

Ley 373 de 1997. (1997).

Mantilla Morales , G. (s.f.). Costos índice de sistemas de tratamiento de aguas residuales en México. Jiutepec, Morelos, Mexico. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/mantilla.pdf>.

Martínez González, S. A., & Márquez Vázquez, M. (s.f.). *Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial, Antología*. Aragón. Obtenido de <http://chita.aragon.unam.mx/papime100310/documentos/humedales.pdf>.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Política Nacional para la gestion integral del recurso hídrico*. Bogotá, D.C.: Nuevas Ediciones Ltda.

Plan de Desarrollo Municipal 2012 – 2015 “Un Trabajo Social y Participativo, Acuerdo No. 008 de 2012. (2012).

Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000,

Sección II, Título E, Tratamiento de Aguas Residuales. (2000).

Resolucion 631 de 2015. (2015).

Sánchez Font, D. (2010). *Depuración de aguas residuales de una población mediante humedales artificiales* (Tesis inédita de Pregrado). Universidad Politécnica de Cataluña.

Setty, K. (s.f.). Manual de Construcción: Humedales Construidos para el Tratamiento de Aguas negras. Santa Barbara, California. Obtenido de http://www2.bren.ucsb.edu/~keller/courses/GP_reports/Diseno_Humedal_Aguas_Negras.pdf.

UNESCO. (1971). Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas RAMSAR. París.

U.S. Environmental Protection Agency, EPA., (1988). *Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment, Design Manual*. Cincinnati, OH: Office of Research and Development.

Zambonino Gallo, J. (2013). *Análisis de Alternativas para el Tratamiento de Aguas Industriales del Ingenio Azucarero del Norte IANCEM* (Tesis inédita de Pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito.