

EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO QUE OPTIMICE EL EFLUENTE DE  
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) DEL INPEC –  
YOPAL



SANDY KATHERYNE HIGUERA INFANTE  
C.C. 1117323777

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD  
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS PECUARIAS Y DE MEDIO AMBIENTE  
INGENIERÍA AMBIENTAL  
YOPAL  
2016

EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO QUE OPTIMICE EL EFLUENTE DE  
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) DEL INPEC –  
YOPAL

SANDY KATHERYNE HIGUERA INFANTE  
C.C. 1117323777

Proyecto presentado para optar al título de Ingeniera Ambiental

Asesor - Director  
Ing. Zulma Lorena Duran Hernández

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD  
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS PECUARIAS Y DE MEDIO AMBIENTE  
INGENIERÍA AMBIENTAL  
YOPAL  
2016

## DEDICATORIA

*A Dios y la Virgen María, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, 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.*

*Al amor de ese hombre quien no me ha abandonado en el camino largo que ha sido mi carrera, que me acompañó en los momentos difíciles y fáciles, que con su amor, comprensión y motivación me apoyo hasta el último momento.*

*A mis padres, Sandy Infante Díaz y Linson Javier Higuera, por darme la vida, por quererme mucho, creer en mí y apoyarme siempre, de algún modo u otro esto también se lo debo a ustedes, los quiero.*

*Mi hermano, Javier Higuera infante, porque también vivió conmigo momentos difíciles y aun así seguimos luchando, por estar conmigo, ayudarme en el desarrollo de mi trabajo de grado y apoyarme siempre, te quiero mucho.*

*A mi abuelo José Ángel Infante Suarez, que con su sabiduría y su recorrido por la vida supo aconsejarme y darme un amor de padre, siempre fue un ejemplo de vida para mí porque a pesar de sus tropiezos, problemas y caídas lo hacían más fuerte.*

*A Todos aquellos familiares que, aunque no estuvieron a mi lado, me apoyaron de corazón y con mucho amor.*

*Y por último a Dianita y Milenita que me apoyaron y ayudaron en este largo proceso, y dos amigas que a pesar de la distancia han sido como mis hermanas su apoyo y cariño incondicional me ayudaron a levantarme en momentos que sentía caer, Jennifer Pineda y Hellen Pineda (QEPD).*

## AGRADECIMIENTO Y RECONOCIMIENTO

*A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia por haberme dotado de enseñanza valiedera e importante para mi profesión, a mis tutores, quienes me guiaron con dedicación y esmero hasta alcanzar a cristalizar mis sueños, que hoy son una realidad.*

*A la Ing. Zulma Lorena Duran Hernández, directora de mi tesis, por su gran apoyo, acompañamiento, guía y motivación para la culminación de tan importante carrera profesional, y que gracias a su sabiduría y dedicación pude lograr la culminación de esta tesis.*

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	11
SUMMARY .....	12
INTRODUCCIÓN.....	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	15
2. OBJETIVOS .....	17
2.1. General .....	17
2.2. Específicos .....	17
3. JUSTIFICACIÓN.....	18
4. ESTADO DE ARTE .....	19
4.1. Experiencias del reúso de agua residual con tratamiento de humedales artificiales.....	19
4.1.1. Alemania.....	19
4.1.2. México.....	20
4.1.3. Perú.....	20
4.1.4. Pakistán.....	20
5. MARCO TEORICO .....	22
5.1. Características físico-químicas y microbiológicas de las aguas residuales.....	22
5.1.1. Características fisicoquímicas de las aguas residuales .....	22
5.1.2. Características microbiológicas de las aguas residuales.....	23
5.2. Tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales .....	24
5.2.1. ¿Qué son? .....	24
5.2.2. Remoción de materia orgánica .....	25
5.2.3. Remoción de nitrógeno .....	25
5.2.4. Remoción de fosforo .....	26
5.2.5. Remoción de microorganismos.....	26
5.3. Fitorremediación .....	28
5.3.1. Plantas Usadas .....	29
5.3.2. Sustratos.....	34
5.3.3. Usos de la cascarilla en tratamiento de aguas .....	34
5.3.4. Desinfección de aguas residuales.....	34

5.3.5.	Impactos de la descarga de aguas residuales en el suelo.....	35
6.	<b>METODOLOGÍA</b> .....	37
6.1.	Zona de Estudio.....	37
6.2.	Revisión de información secundaria .....	38
6.3.	Descripción de la PTAR existente .....	39
6.4.	Plan de muestreo y caracterización fisicoquímica y microbiológica del efluente de la PTAR .....	46
6.5.	Diseño de Prototipo a Escala Laboratorio .....	47
6.6.	Construcción .....	50
6.6.1.	Operación del Sistema.....	52
6.6.2.	Diseño de Sistema de Cloración.....	52
6.6.3.	Monitoreo y seguimiento a la calidad del agua.....	53
7.	<b>RESULTADOS</b> .....	56
7.1.	Caracterización del efluente .....	56
7.2.	Monitoreo de calidad del agua en el sistema de tratamiento construido ....	63
7.4.	Resultados por parámetros .....	71
7.4.1.	Alcalinidad.....	71
7.4.2.	Dureza.....	71
7.4.3.	pH.....	72
7.4.4.	Oxígeno disuelto .....	73
7.4.5.	Nitritos .....	74
7.4.6.	Sulfitos.....	75
7.5.	Calculo Cinética de Reacción.....	76
8.	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	78
8.1.	Análisis de calidad del agua Humedal: .....	78
8.2.	Análisis de calidad del agua con cloración: .....	78
8.3.	Coefficiente de remoción: .....	79
9.	<b>CONCLUSIONES</b> .....	80
10.	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	81
11.	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	82
12.	<b>ANEXOS</b> .....	86

## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1 Parámetros de diseño</i> .....	47
<i>Tabla 2 Carga orgánica esperada para el prototipo a escala laboratorio</i> .....	49
<i>Tabla 3 Aforos para tiempo de retención HIDRAULICO</i> .....	50
<i>Tabla 4 Métodos de medición</i> .....	53
<i>Tabla 5. Monitoreo y caracterización anterior del efluente de la PTAR existente</i> .....	56
<i>Tabla 6. Caracterización fisicoquímica septiembre 2015</i> .....	58
<i>Tabla 7 Caracterización In situ</i> .....	59
<i>Tabla 8 Formato de recolección de datos muestreo compuesto</i> .....	60
<i>Tabla 9 Primer muestreo in situ</i> .....	64
<i>Tabla 10 Segundo muestreo – parámetros In-situ</i> .....	65
<i>Tabla 11 Tercer muestreo – parámetros In-situ</i> .....	66
<i>Tabla 12 Tercer muestreo - Análisis de laboratorio</i> .....	67
<i>Tabla 13 Cuarto muestreo – Parámetros in situ</i> .....	69
<i>Tabla 14 Cuarto muestreo - Análisis de laboratorio</i> .....	69

## LISTA DE GRAFICAS

<i>Grafica 1 Resultados de alcalinidad.....</i>	<i>71</i>
<i>Grafica 2 Resultados de dureza.....</i>	<i>72</i>
<i>Grafica 3 Resultados pH.....</i>	<i>72</i>
<i>Grafica 4 Resultados de oxígeno disuelto.....</i>	<i>73</i>
<i>Grafica 5 Resultados Nitritos .....</i>	<i>74</i>
<i>Grafica 6 Resultados sulfitos .....</i>	<i>75</i>

## LISTA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1 Planta Typha spp</i> .....	30
<i>Ilustración 2 Planta Scirpus spp</i> .....	30
<i>Ilustración 3 Planta Phragmites spp australis</i> .....	31
<i>Ilustración 4 Planta chrysopogon zizanioides</i> .....	32
<i>Ilustración 5 Ubicación Inpec</i> .....	37
<i>Ilustración 6 Mapa de Yopal con Respecto a Casanare</i> .....	38
<i>Ilustración 7 Diagrama de flujo del sistema de tratamiento</i> .....	40
<i>Ilustración 8 PTAR existente</i> .....	42
<i>Ilustración 9 Tratamiento de lodos</i> .....	45
<i>Ilustración 10 Dimensiones del prototipo</i> .....	47
<i>Ilustración 11 Volumen del Sustrato</i> .....	48
<i>Ilustración 12 Fotos prototipo humedal de flujo subsuperficial</i> .....	51
<i>Ilustración 13 Equipos utilizados en campo</i> .....	54
<i>ilustración 14 kit de análisis en laboratorio unad cead yopal</i> .....	55
<i>Ilustración 15 Análisis microbiológicos</i> .....	61
<i>Ilustración 16 Análisis Fisicoquímicos</i> .....	62

## LISTA DE ANEXOS

<i>Anexo 1 Informe de resultados primer muestreo – entrada y salida humedal .....</i>	<i>86</i>
<i>Anexo 2 Informe de resultados demanda de cloro .....</i>	<i>88</i>
<i>Anexo 3 Informe de resultados segundo muestreo – con cloración .....</i>	<i>90</i>

## RESUMEN

El presente trabajo de Investigación en el que se evalúa una planta de tratamiento a escala laboratorio del efluente de la PTAR del Inpec para su reúso seguro en riego, responde a una necesidad de gestión y uso eficiente del agua tal como lo exige la Ley 373 de 1997 y como medida de adaptación al cambio climático frente a sequias cada vez más fuertes que amenazan la productividad agropecuaria y agroindustrial del Departamento de Casanare. Se contemplaron tres fases generales del proyecto, la primera fase que consistió en la caracterización y análisis de los parámetros tanto microbiológicos como fisicoquímicos del efluente, para lo cual se realizó un muestreo compuesto y medición de parámetros in situ y de laboratorio en la sede Nacional de la UNAD, de estos análisis se pudo establecer una evaluación de la eficiencia de la PTAR del INPEC, la cual era óptima para vertimiento según la resolución 631 de 2015, pero para reúso no cumplía en los parámetros microbiológicos ya que existían coliformes totales en el agua residual que se estaba utilizando en los aspersores de riego. La segunda fase correspondió al diseño y construcción del sistema a escala laboratorio del humedal artificial y desinfección con cloro, para esta fase se realizó el montaje de la planta a escala laboratorio en vidrio, y se utilizó como sustrato inerte grava y como sustrato orgánico cascarilla de arroz y se sembró pasto vetiver (*C. zizanioides*) como fitorremediador. El sistema se operó durante mes y medio a flujo continuo, se realizó un seguimiento a diario del caudal de salida por medio de aforo para mantener el tiempo de retención hidráulico establecido, y se revisó el correcto crecimiento de las plantas. La desinfección con cloro se diseñó a partir de una prueba de demanda de cloro y para el montaje correspondiente se instaló un sistema de goteo. En la tercera fase se realizaron 4 muestreos in situ y 2 análisis de laboratorio en los cuales se obtuvieron como resultados un porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> del 73,25%, reducción de la conductividad de un 72,5% sin cloración, el humedal durante su desarrollo presentó algunos cambios en oxígeno disuelto (ausencia a la salida), aumento de alcalinidad, dureza y los sulfitos y disminución de materia orgánica, en los últimos resultados de laboratorio donde se evaluó el tratamiento con cloración hubo aumentos en conductividad y eliminación total de coliformes fecales.

**Palabras claves:** Desarrollo sostenible, uso eficiente del agua, optimización del efluente de la PTAR, calidad del agua para uso hidroagrícola.

## SUMMARY

The present research work, which evaluates a treatment plant at laboratory scale of the effluent of the INPEC WWTP for its safe reuse in irrigation, it responds to a management need and efficient use of the water as the law 373 of 1997 requires, and as an adaptation measure to climate change face up to droughts every time stronger that threaten the agricultural and agro-industrial productivity of the Department of Casanare. There were contemplated three general phases of the project, the first phase consisting in the characterization and analysis of both microbiological and physicochemical parameters of the effluent, for which there were realized a compound sampling and parameters measurement in situ and of laboratory in the National head office of the UNAD, of these analyses it was possible to establish an evaluation of the efficiency of the INPEC WWTP, which was optimum for dumping according to the resolution 631 of 2015, but for reuse not met with microbiological parameters since there were total coliforms in the residual water that was using in the irrigation sprinklers. The second phase corresponded to the design and construction of the system to laboratory scale of the artificial wetland and disinfection with chlorine, for this phase was carried out the plant assembly at laboratory scale in glass, and it was used as an inert substrate gravel and as an organic substrate rice husk, and vetiver grass was planted (*C. zizanioides*) as phytoremediator. The system was operated for a month and a half to continuous flow, a daily monitoring of the output flow was carried out by means of capacity to keep the hydraulic retention time set, and the correct growth of the plants was checked. The disinfection with chlorine was designed from a test of demand of chlorine and for the corresponding assembly it was installed a dripping system. In the third phase were carried out 4 analysis in situ and 2 laboratory analysis in which were obtained as result a removal percentage of BOD5 of the 73,25%; reduction on the conductivity of a 72.5% without chlorination, changes in dissolved oxygen (absent from the output), increase of alkalinity, hardness and the sulfites and decrease of organic matter. In the last laboratory, results where it was assessed the treatment with chlorination there were increase in conductivity and total elimination of fecal coliforms.

**Keywords:** Sustainable development, water efficiency, optimization WWTP effluent, water quality hydro-agricultural use.

## INTRODUCCIÓN

La escasez de agua en el mundo ha llevado a buscar cada vez más alternativas para el abastecimiento de este vital líquido además de la conservación del mismo. En ese sentido el reúso de las aguas residuales es una estrategia de ahorro y uso eficiente del agua, fundamental para el modelo de desarrollo sostenible. En muchos lugares del mundo se ha aumentado el reúso de las aguas residuales por pequeños o grandes agricultores, debido a la escasez de agua de las fuentes hídricas convencionales. Por tal motivo representan un reto a la hora de seleccionar tecnologías sostenibles para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, creando la necesidad de desarrollar herramientas que faciliten la toma de decisiones para la implementación de estos sistemas, basados en tecnologías naturales de depuración, como humedales artificiales (Espinosa Ortiz, 2014).

A nivel Mundial se han establecido directrices para el reúso de las Aguas Residuales, las cuales han aumentado considerablemente en los últimos años, esto debido a la abundante escasez de agua. Uno de los aspectos importantes en el reúso de agua son los requisitos mínimos de calidad que deben tener las aguas reutilizadas, con el fin de garantizar que organismos patógenos presentes en estas no puedan entrar en contacto con las personas. (Manga, Logreira, & Serralt, 2001 ).

Actualmente en Colombia se cuenta con una normatividad que incluye criterios de calidad que debe cumplir el Agua Residual para Reúso de tal manera que no genere daños ni a la salud humana ni al medio ambiente. Según el IDEAM se prevé que para el año 2016 aproximadamente el 70% de la población urbana en Colombia tendrá un déficit en el suministro de Agua Potable. Esto produciría efectos económicos, sociales y ambientales que se sumaran a la ya complicada problemática de Colombia. (Manga, Logreira, & Serralt, 2001 ). Por estas problemáticas se genera la necesidad de crear tecnologías que permitan el reúso del agua residual en riego.

En el Departamento de Casanare se está creando una cultura para cumplir la norma de reúso de aguas residuales tratadas resultantes de las actividades de los diversos sectores

productivos en el Casanare, la resolución 1207 de 2014 formulada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible determina la utilización de aguas residuales tratadas cumpliendo con los criterios de calidad requeridos para el uso que se vaya a destinar, ya sea para el sector industrial, agrícola o para ornato y mantenimiento de áreas verdes. (Pineda, 2014).

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La mayoría de actividades antrópicas y en especial en los centros urbanos son generadores continuos de aguas residuales, éstas contienen materia orgánica, nutrientes y en especial una alta carga microbiológica. La concentración de coliformes fecales puede oscilar entre magnitudes de  $10^4$  y  $10^6$  número más probable por 100mL de muestra, lo cual es un indicador de una alta presencia de microorganismos entéricos patógenos (Barrera Escorcía, Fernández Rendón, Wong Chang, & Ramírez Romero, 2013).

El Instituto Nacional Penitenciario y Carcelario INPEC para el Departamento de Casanare cuenta con sistemas de tratamiento de agua residual aerobio, el cual aunque cumple en un 90% de remoción de  $DBO_5$  queda con un remanente de 102 mg/L y de DQO 125mg/L (ANALQUIM, 2015), lo cual genera un riesgo por la formación de sustancias orgánicas más peligrosas tales como los metanos trihalogenados (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 1999); esto debido a que a la salida de la planta se le aplica cloro al agua y esta queda con un residual de 1,46mg/L, además del riesgo microbiológico por presencia de patógenos que resisten el proceso de cloración.

Los estándares nacionales e internacionales de calidad del agua para reúso son restrictivos dependiendo el uso que se le vaya a dar a ésta, por lo cual debe evaluarse un sistema de tratamiento terciario (complementario), que optimice el efluente de la PTAR del INPEC y que permita a los miembros del INPEC reutilizar el agua tratada para riego en algún tipo de cultivo, especialmente teniendo en cuenta que hay un campo de aspersión ya instalado en una extensión de aproximadamente una hectárea, esta está distribuida en 11 aspersores pero solo 6 se encuentran en funcionamiento y estos se usan únicamente en la época de verano, se presume que esta agua está contaminando el suelo por la alta carga orgánica con que sale el agua, por lo tanto no se ha sembrado nada que permita su aprovechamiento.

Se plantea como pregunta de investigación:

¿La implementación de una planta de tratamiento terciario a escala laboratorio para el efluente de la PTAR del INPEC permitirá obtener un agua de mayor calidad para su reúso en riego?

Hipótesis:

Un sistema de humedal artificial combinado con cloración como tratamiento terciario permitirá mejorar la calidad del agua del efluente de la PTAR del INPEC, permitiendo su reúso agrícola de forma segura según la normativa ambiental nacional.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. General**

Evaluar un sistema de tratamiento terciario a escala laboratorio que optimice el efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Instituto Nacional Penitenciario y Carcelario INPEC – Yopal para su reúso agrícola.

### **2.2. Específicos**

- ✓ Caracterizar los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos del efluente de la PTAR del INPEC.
- ✓ Diseñar y Construir el sistema piloto de biofiltración y desinfección con cloro a escala laboratorio.
- ✓ Evaluar la eficiencia del sistema operado a flujo continuo.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Según los parámetros de calidad del agua de la PTAR del INPEC, se puede considerar que toda esta agua tiene un potencial de reúso enorme para regar pastos, cultivos, plantaciones forestales y consumo animal (Duran, 2009; Guevara & Calle, 2005; Ramírez, 2007; Umaña, 2006; Moscoso, 2002). Sin embargo, se necesitan trabajos de investigación para determinar su inocuidad en el reúso y la metodología para escalar la experiencia desde una prueba piloto a Plantas municipales.

Teniendo en cuenta lo anterior y conociendo que la PTAR del INPEC cumple con los estándares de calidad de agua (según parámetros presentados), podemos analizar y convertir esta propuesta en un sistema para optimizar el tratamiento terciario realizado por la PTAR, para que se realice algún tipo de trabajo hidroagrícola<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Hidroagrícola es hacer un uso eficiente del agua, así como aumentar la producción y productividad en la agricultura de riego y de temporal tecnificado, además de ampliar la frontera agrícola en áreas de riego, y proteger las áreas productivas contra inundaciones.

## 4. ESTADO DE ARTE

### 4.1. Experiencias del reúso de agua residual con tratamiento de humedales artificiales

El manejo del agua residual generada por comunidades, veredas o municipios es una tarea complicada teniendo en cuenta la falta de cultura de la sociedad para economizar o reutilizar este líquido vital. Por esta razón, cualquier evento asociado con esta actividad debe ser planeado y ejecutado teniendo en cuenta aspectos sociales, técnicos, económicos y topográficos en donde se deseen desarrollar proyectos con el fin de manejar, economizar y ahorrar agua.

Para analizar y tener más claridad sobre el reúso de las aguas residuales en riego a continuación se darán a conocer experiencias en países como México, Venezuela, California, Santa Bárbara, Dinamarca, Alemania y en Colombia (algunas ciudades), donde se están desarrollando con excelentes resultados, además se resaltan los diferentes sustratos y plantas con las que se trabaja.

#### 4.1.1. Alemania

En Alemania construyeron un humedal a grandes dimensiones, para el tratamiento de agua residual doméstica, municipal y aguas grises, el sistema fue de flujo subsuperficial con arena gruesa como material filtrante y *Phragmites australis* para el fitotratamiento. Después de tres años de funcionamiento de los humedales la remoción de DBO<sub>5</sub> en el Humedal de Flujo Vertical (HFV) para aguas grises (21 m<sup>2</sup>) y negras (70 m<sup>2</sup>) fue de alrededor del 95%. La eliminación de sólidos en suspensión fue aproximadamente del 90% en las aguas grises y del 86% en las aguas negras. El número de bacterias coliformes termotolerantes en el efluente fue inferior a 1000 NMP/100 ml. Toda el agua tratada se utiliza para el riego de cultivos, árboles y zonas verdes. (Agencia de Cooperación Internacional de Alemania, 2011).

#### 4.1.2. México

En Ciudad México realizaron un prototipo el cual fue construido en forma de prisma rectangular de vidrio reforzado con ángulo de aluminio, su sustrato fue grava – gravilla y arena, y las plantas *Costus spicatus* y *Fam Zingiberaceae*. Para este prototipo se obtuvo una eficiencia en la eliminación del fósforo con un valor de 88%, tal vez se deba al sustrato de arena en la parte superior que lo absorbe, o por ser nuevo el material, por lo que se debe seguir experimentando para corroborar. El aumento del tiempo de residencia no mejora la eficiencia de eliminación del fósforo su aumento estuvo entre (89% y 88.6%). (Rios Izquierdo , Cuevas Díaz , & De Gyves López , 2016).

#### 4.1.3. Perú

En el año 2011 en la Ciudad de Lima Metropolitana se implementó un estudio para evaluar las opciones de tratamiento y uso de las aguas residuales, que brindaran un soporte necesario a la Gestión sostenible del agua y las aguas residuales en centros de crecimiento urbano que así permitieran afrontar el cambio climático.

Aunque para ellos los humedales artificiales no constituyen opciones tecnológicas viables para afrontar el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Lima, ya que los humedales artificiales no aseguran una buena remoción de patógenos por sus cortos periodos de retención, a menos que se complementen con un proceso de desinfección, continúan desarrollando investigaciones de este tipo para que en las demás plantas de tratamiento sea aplicado porque buscando que se apliquen estas tecnologías ya que representan un bajo costo de operación y uno de sus principales objetivos es el reúso de esta agua tratada para el riego de áreas verdes urbanas y agricultura periurbana de la ciudad de Lima Metropolitana (Moscoso Cavallini, 2011).

#### 4.1.4. Pakistán

En el 2010 en Pakistán, Karachi, Universidad NED de Ingeniería y Tecnología desarrollaron un Humedal para tratamiento de aguas residuales, cuyo principal objetivo era evaluar el

rendimiento de la tecnología simple y tratamiento de aguas residuales de bajo costo, el estudio mostró que el rendimiento general del sistema era bueno y se logró reducir los contaminantes, incluso en la fluctuación de la carga contaminante resultante de la caída de la corriente. Los resultados indican que, si los humedales construidos se diseñan y operan apropiadamente, podrían usarse para el tratamiento de aguas residuales secundario y terciario en las condiciones locales, con éxito. Por lo tanto, humedales construidos se pueden utilizar en el tren de tratamiento para mejorar las plantas de tratamiento de aguas residuales con mal funcionamiento, especialmente en los países en desarrollo. Las aguas residuales tratadas a partir de estos humedales se pueden utilizar para el riego de jardines y también para otros usos beneficiosos. (International Journal of Environmental , 2013).

## 5. MARCO TEORICO

### 5.1. Características físico-químicas y microbiológicas de las aguas residuales

Las aguas residuales son un producto inevitable de la actividad humana, generan contaminación hídrica, la presencia de elementos, compuestos orgánicos e inorgánicos, disueltos o suspendidos alcanzan una concentración tal, que limita usos del agua como consumo humano, uso agrícola, pecuario, industrial, recreativo, estético, conservación de flora y fauna, etc.

#### 5.1.1. Características fisicoquímicas de las aguas residuales

Materia orgánica: es la fracción más relevante de los elementos contaminantes en las aguas residuales domésticas y municipales debido a que es la causante del agotamiento de oxígeno de los cuerpos de agua. Está formada principalmente por CHONS (Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno y Azufre) constituyendo las proteínas (restos de origen animal y vegetal), los carbohidratos (restos de origen vegetal), los aceites y grasas (residuos de cocina e industria) y los surfactantes (detergentes). La cantidad de materia orgánica de las aguas residuales se mide a través de la  $DBO_5$  y la DQO.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): es una medida indirecta de la cantidad de materia orgánica contenida en una muestra de agua, determinada por el consumo de oxígeno que hacen los microorganismos para degradar los compuestos biodegradables. Se evalúa analíticamente incubando una muestra con microorganismos por 5 días a 20 °C, tiempo después del cual se lee la concentración final de oxígeno y se compara con la inicial; esta prueba es conocida como  $DBO_5$  o DBO estándar. También se hacen, eventualmente, pruebas a 7 días ( $DBO_7$ ) y a 20 días (DBO última -  $DBO_u$  o total -  $DBO_t$ ).

Oxígeno disuelto: Es un parámetro fundamental en los ecosistemas acuáticos y su valor debería estar por encima de los 4 mg/L para asegurar la sobrevivencia de la mayor parte de los organismos superiores. Se usa como indicador de la contaminación o, por decirlo así, de la salud de los cuerpos hídricos. Para el correcto funcionamiento de los tratamientos

aerobios de las aguas residuales, es necesario asegurar una concentración mínima de 1 mg/L. Las aguas residuales usualmente carecen de oxígeno disuelto, ya que este es consumido para la degradación de la materia orgánica.

Potencial de hidrógeno (pH): tiene importancia en el control de los procesos biológicos del tratamiento de las aguas residuales (TAR). La mayoría de los microorganismos responsables de la depuración de las aguas residuales se desarrollan en un rango de pH óptimo entre 6,5 y 8,5 unidades.

#### 5.1.2. Características microbiológicas de las aguas residuales

Un vertido de aguas residuales aporta una gran cantidad de materia orgánica que sirve de alimento para hongos y bacterias encargados de la mayor parte de su descomposición. Finalmente, los protozoos ciliados se alimentan de las bacterias, puliendo u optimizando el tratamiento del agua (Características de las aguas residuales, UNAD , s.f.).

**Bacterias:** son los principales responsables de la degradación y estabilización de la materia orgánica contenida en las aguas residuales. Su crecimiento óptimo ocurre a pH entre 6,5, y 7,5. Algunas de las bacterias son patógenas, como la *Escherichia coli*, indicador de contaminación de origen fecal.

**Hongos:** predominan en las aguas residuales de tipo industrial debido que resisten muy bien valores de pH bajos y la escasez de nutrientes.

**Protozoos:** en especial los ciliados, se alimentan de bacterias y materia orgánica, mejorando la calidad microbiológica de los efluentes de las PTAR.

**Actinomicetos:** son bacterias filamentosas conocidas por causar problemas en reactores de lodos activados, generando la aparición de espumas (foaming) y pérdida de sedimentabilidad del lodo, hinchamiento o bulking filamentoso, incrementando los sólidos del efluente y la disminución de la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales. Uno de los actinomicetos más recurrente en los reactores es la *Nocardia*.

## **5.2. Tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales**

Para el tratamiento de las aguas residuales existen diversos procesos y operaciones unitarias, que, con una adecuada selección y combinación, pueden resolver la mayoría de las necesidades de disposición final o reaprovechamiento de los vertimientos. En términos generales existen procesos fisicoquímicos y procesos biológicos. Los procesos fisicoquímicos hacen uso de las diferencias en ciertas propiedades entre el contaminante y el agua (sedimentación y flotación) o mediante la adición de reactivos empleados para variar la forma del contaminante buscando condiciones de separación del líquido. Los procesos biológicos utilizan microorganismos que se alimentan de la materia orgánica contaminante y con ello la eliminan del agua en forma de nuevas células o de gases.

La construcción de biofiltros o humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales ha evolucionado desde las primeras investigaciones en algunos países con plantas emergentes, convirtiéndose en una importante tecnología para el tratamiento de efluentes de tanques sépticos, de lagunas de estabilización y, en general, de efluentes de tratamiento biológico. Cañas, juncos, y espadañas sirven como matriz para el crecimiento de las películas bacteriales adheridas. Los humedales artificiales pueden ser de flujo subsuperficial o de flujo libre de agua (a través de grava). Los humedales pueden funcionar como una opción para la reutilización de agua o como hábitat natural de fauna silvestre.

### **5.2.1. ¿Qué son?**

Esta tecnología se caracteriza por su sencillez de tratamiento y su independencia de tratamientos previos, así como la no necesidad de adicionar nutrientes, coagulantes, floculantes u otro aditivo. Solo requiere que el afluente llegue con características tales que permita la existencia de organismos vivos, entre ellos pH no inferior a 4,5 y no mayor a 8. El efluente pasa por el medio filtrante reteniéndose los materiales orgánicos mediante tres mecanismos principales: Filtración pasiva, Adsorción y Absorción, e Intercambio iónico. Los parámetros retenidos son biodegradados por la biocenosis que se instala en el filtro. (Fundación Chile ).

### 5.2.2. Remoción de materia orgánica

La remoción de materia orgánica tiene lugar principalmente mediante biodegradación aeróbica o anaeróbica. Una pequeña porción también es removida por procesos físicos como la sedimentación y filtración, cuando la materia orgánica es fijada a los sólidos suspendidos. La biodegradación es realizada por los microorganismos, los cuales están adheridos a la planta, en particular a las raíces y a la superficie de los sedimentos (Brix en Kolb, 1998). Todos los microorganismos involucrados en este proceso de tratamiento requieren una fuente de energía y carbono para la síntesis de nuevas células, como también otros nutrientes y elementos traza. De acuerdo a su fuente de nutrientes, están clasificados como heterótrofos o autótrofos. Los heterótrofos requieren material orgánico como fuente de carbono para la síntesis de nuevos microorganismos, en cambio, los autótrofos no utilizan materia orgánica sino dióxido de carbono como fuente de carbono (Gray en Kolb, 1998). Ambos grupos usan luz o una reacción química de oxidación-reducción como fuente de energía para todas las síntesis y son llamados fotótrofos y quimiótrofos, respectivamente (Cooper, 1996).

Dos clases diferentes de biodegradación microbial, la aeróbica o la anaeróbica, tienen lugar en los humedales construidos, dependiendo de la presencia de oxígeno disuelto. En la degradación aeróbica, dos grupos de microorganismos participan en este proceso de degradación: aeróbicos quimioheterótrofos, oxidando compuestos orgánicos y liberando amonio; y aeróbicos quimioautótrofos, los cuales oxidan el nitrógeno amoniacal a nitrito y nitrato. El último proceso es llamado nitrificación. Sin embargo, debido a la tasa de metabolismo más alta, los heterótrofos son principalmente responsables para la remoción del material orgánico; por lo tanto, la presencia de oxígeno disuelto es un factor limitante. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010).

### 5.2.3. Remoción de nitrógeno

Al momento que ingresa agua residual al humedal construido, la mayor parte del nitrógeno está presente como amonio o en forma de un compuesto inestable, que es fácilmente

transformado a amonio. Los principales mecanismos de remoción de nitrógeno en humedales construidos son la nitrificación y la de nitrificación, que ocurren en diferentes zonas del sustrato. Todo el proceso puede ser dividido en pasos, iniciando con la amonificación, seguido por la nitrificación y de nitrificación.

#### 5.2.4. Remoción de fósforo

El fósforo está presente en tres distintas formas: como ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico. El último es un constituyente menor del humedal como los polifosfatos, requieren una posterior descomposición a una forma de ortofosfato más asimilable. Cerca del 25% del fósforo total fijado en la alcantarilla está presente como ortofosfatos tales como:  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , que están disponibles para el metabolismo biológico inmediato. Por lo tanto, en términos de utilización, en la planta de tratamiento lo que importa es la concentración de fosfato orgánico antes que la concentración de fósforo total (Gray, 1989). La remoción de ortofosfato ocurre principalmente como una consecuencia de la adsorción, complejización y reacciones de precipitación con Al, Fe, Ca y materiales arcillosos en la matriz del sustrato. El consumo de fósforo por la planta puede ser considerado como insignificante comparado con los efectos de adsorción, valores de alrededor del 3% de la carga anual han sido reportados (Boerner en Kolb, 1998). Dependiendo del valor de pH dentro del sustrato, el fósforo está presente en la forma de sal soluble o minerales insolubles, lo cual significa que el fósforo puede ser transferido dentro de un humedal construido. Debido al contenido de óxidos metálicos en el sustrato, la fijación de fósforo como fosfatos por medio de la adsorción varía (Wissing en Kolb, 1998). (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010).

#### 5.2.5. Remoción de microorganismos

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

Los principales procesos que llevan a cabo los microorganismos son la degradación de la materia orgánica, la eliminación de nutrientes y elementos traza y la desinfección (Arias, 2004). Los principales microorganismos presentes en la biopelícula de los humedales son: bacterias, levaduras, hongos y protozoarios. La biomasa microbiana consume gran parte del carbono y muchos nutrientes. La actividad microbiana tiene la función de transformar un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas e insolubles y alterar las condiciones de potencial de reducción y oxidación del sustrato afectando así a la capacidad de proceso del humedal. Así mismo, gracias a la actividad biológica, muchas de las sustancias contaminantes se convierten en gases que son liberados a la atmósfera (Lara, 1999). (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010).

#### 5.2.6. Remoción de bacterias

Los organismos importantes, desde el punto de vista de la salud pública son las bacterias patógenas y los virus. Todos los patógenos son capaces de sobrevivir al menos un corto tiempo en agua natural, y más aún, en agua con temperaturas más frías y con presencia de polución orgánica (como en las aguas residuales). La remoción de estos microorganismos está basada en una combinación de factores físicos, químicos y biológicos. Los factores físicos incluyen la filtración, sedimentación, agregación y acción de la radiación ultravioleta. Los mecanismos biológicos incluyen, como se mencionó antes, predación y ataque por bacteriófagos y también la muerte (declinación die-off). Finalmente, los factores químicos son la oxidación, adsorción y la exposición a toxinas fijadas por otros microorganismos y exudadas por las raíces de las plantas (aunque la cantidad de estos antibióticos causa dudas respecto a su efectividad para afectar a los patógenos). Vymazal et al. (en Kolb 1998) reportaron remoción de bacterias (coliformes fecales) y enterobacterias en varios humedales en la República Checa, siendo la eficiencia de remoción entre 98% a 99% para estos indicadores bacterianos. En los casos en que se registraron las tasas más bajas, fue debido a tiempos de retención menores. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010).

### **5.3. Fitorremediación**

El papel de la vegetación en los humedales está determinado fundamentalmente por las raíces y rizomas enterrados. Las plantas son organismos foto autótrofos, es decir que recogen energía solar para transformar el carbono inorgánico en carbono orgánico. Tienen la habilidad de transferir oxígeno desde la atmósfera a través de hojas y tallos hasta el medio donde se encuentran las raíces. Este oxígeno crea regiones aerobias donde los microorganismos utilizan el oxígeno disponible para producir diversas reacciones de degradación de materia orgánica y nitrificación. Las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual y escorrentía de varias maneras:

- ✓ Estabilizan el sustrato y limitan la canalización del flujo.
- ✓ Dan lugar a velocidades de agua bajas y permiten que los materiales suspendidos se depositen.
- ✓ Toman el carbono, nutrientes y elementos traza y los incorporan a los tejidos de la planta.
- ✓ Transfieren gases entre la atmósfera y los sedimentos.
- ✓ El escape de oxígeno desde las estructuras subsuperficiales de las plantas, oxigena otros espacios dentro del sustrato.
- ✓ El tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos (Delgadillo O. , Camacho, Pérez, & Andrade, 2010).

En las últimas décadas del siglo XX surgieron tecnologías basadas en el empleo de organismos vivos para descontaminar suelos o emplazamientos contaminados y recuperar los ecosistemas afectados. Cuando estas tecnologías se basan en el uso de plantas, globalmente reciben el nombre de fitorremediación (en español se usan indistintamente también: fitorrecuperación, fitocorrección, fitorrestauración o fitorrehabilitación). Se define como el uso de plantas verdes para eliminar los contaminantes del entorno o para reducir su peligrosidad (Estrada Gallego, Islena Yineth, 2010).

Por lo tanto, estas tecnologías son especialmente útiles para su aplicación en grandes superficies, con contaminantes relativamente inmóviles o con niveles de contaminación bajo, y deben considerarse procesos de recuperación a largo plazo (Estrada Gallego, Islena

Yineth, 2010). La fitorremediación de suelos contaminados se basa en el uso conjunto de plantas, enmiendas del suelo y técnicas agronómicas para eliminar, retener, o disminuir la toxicidad de los contaminantes del suelo. (Estrada Gallego, Islena Yineth, 2010). Este grupo de fitotecnologías reúne un gran número de ventajas, especialmente la limpieza y la economía; no utilizan reactivos químicos peligrosos, ni afectan negativamente a la estructura del suelo, sólo aplican prácticas agrícolas comunes; además, el proceso se realiza 'in situ' evitando costosos transportes. (Estrada Gallego, Islena Yineth, 2010).


Paralelo a las técnicas fisicoquímicas, la fitorremediación también presenta posibilidades interesantes. Las ventajas de la aplicación biológica incluyen mejores especificaciones que los métodos físicos y químicos y la posibilidad de aplicar metodologías in situ (evitando, por ejemplo, el uso de energía e insumos químicos). Las aproximaciones biotecnológicas en la actualidad se dirigen a la aplicación de estrategias in situ en un intento de reducir costos y evitar la dispersión de los problemas de contaminación a suelos o aguas causado por el transporte a las plantas de tratamiento. (Estrada Gallego, Islena Yineth, 2010).

En la fitorremediación, los humedales artificiales o contruidos son una de las alternativas a las tecnologías convencionales de tratamiento. (Estrada Gallego, Islena Yineth, 2010).

#### 5.3.1. Plantas Usadas

A continuación, se resumen las características de algunas de las especies más utilizadas en los humedales artificiales.

**ILUSTRACIÓN 1 PLANTA TYPHA SPP**

Nombre Científico	Características Sobresalientes
 <p data-bbox="518 846 669 877" style="text-align: center;"><b>Typha spp</b></p>	<p data-bbox="899 478 1463 762">Ubicua en distribución Capaz de crecer bajo diversas condiciones medio ambientales Se propaga fácilmente Capaz de producir una biomasa anual grande Tiene potencial pequeño de remoción de N y P por la vía de la poda y cosecha.</p>

Otras Características: Familia: Tifácea

Nombre Común: Espadaña, Enea, Anea, Junco, Bayón, Bayunco, Bohordo, Henea, Junco de la pasión, Maza de agua


Distancia de Siembra: 60 cm

Parentesco de raíces en grava: Relativamente pequeña (30 cm) por lo que no es recomendable para sistemas de flujo subsuperficial

Temperatura: Deseable 10-30°C, y Germinación de Semillas 12-24

pH: 4-10

**ILUSTRACIÓN 2 PLANTA SCIRPUS SPP**

Nombre Científico	Características Sobresalientes
 <p data-bbox="509 1812 678 1843" style="text-align: center;"><b>Scirpus spp</b></p>	<p data-bbox="899 1528 1463 1759">Perennes Crecen en grupo Plantas ubicuas Crecen en aguas costeras, interiores salobres y humedales Crecen bien en agua desde 5 cm hasta 3 m de profundidad.</p>

Otras Características:

Familia: Ciperácea

Nombre Común: Totorá


Distancia de Siembra: 30 cm

Parentesco de raíces en grava: 60 cm por lo que es recomendable para sistemas de flujo subsuperficial

Temperatura: Deseable 10-30 °C

pH: 4-9

**ILUSTRACIÓN 3 PLANTA PHRAGMYTES SPP AUSTRALIS**

<b>Nombre Científico</b>	<b>Características Sobresalientes</b>
 <p data-bbox="415 1266 773 1297"><b>Phragmites spp australis</b></p>	<p data-bbox="899 905 1463 1234">Anuales Altos Rizoma perenne extenso Plantas acuáticas usadas más extensas Pueden ser más eficaces en la transferencia de oxígeno porque sus rizomas penetran verticalmente y más profundamente. Son muy usadas en humedales.</p>

Otras Características:

Familia: Gramínea

Nombre Común: Carrizo


Distancia de Siembra: 60 cm

Parentesco de raíces en grava: 40 cm por lo que es recomendable para sistemas de flujo subsuperficial

Temperatura: Deseable 12-23 °C, y Germinación de Semillas 10-30 °C

pH: 2-8

**ILUSTRACIÓN 4 PLANTA CHRYSOPOGON ZIZANIOIDES**

Nombre Científico	Características Sobresalientes
 <p data-bbox="418 793 773 827"><b>Chrysopogon zizanioides</b></p>	El vetiver puede crecer hasta 1,5 metros, sus tallos son altos, las hojas son largas, delgadas y rígidas. A diferencia de la mayoría de las gramíneas, las raíces del vetiver crecen masivamente de manera vertical y alcanzan una profundidad de hasta 4 metros. Sus semillas no son fértiles, por lo cual es una planta ecológicamente segura.

Otras Características:

Familia: Gramíneas.

Nombre Común: Vetiver

Adaptado de (Delgadillo O. , Camacho, Pérez, & Andrade, 2010) y (Borrero, 1999).

5.3.2. Sustratos

**Cascarilla de Arroz:** La planta de arroz, científicamente denominada *Orizac sativa* y perteneciente a la familia de las gramíneas, está constituida por cuatro componentes principales: a) el germen, la parte más rica en nutrientes, ácidos grasos, aminoácidos y enzimas, y que se constituye en la parte germinal que da lugar al crecimiento del grano; b) el endospermo, que representa alrededor del 70% del volumen del grano y constituye al final del proceso el producto denominado arroz blanco; c) la cutícula o polvillo, el cual alcanza un 6.8% en volumen en el grano de arroz, utilizado como alimento para animales por su alto contenido de grasas y d) la cáscara o pajilla, que constituye aproximadamente 20% en peso del grano y que es separado en el proceso de pilado formándose verdaderas montañas de cascarilla al costado de los molinos, lo que ocasiona problemas de espacio por la acumulación de este desecho (SIERRA AGUILAR, 2009).

Normalmente, la cascarilla se incinera para reducir su volumen generando humos contaminantes. Como combustible genera calor, debido a su valor calorífico aproximadamente 16720 kJ/kg), y la ceniza resultante contiene un porcentaje en sílice superior al 90%, lo cual la hace una potencial fuente de sílice. Las principales impurezas que contiene esta sílice son: calcio, potasio, magnesio y manganeso y como secundarias aluminio, hierro (10-20ppm), boro y fósforo. (1-40 ppm). (SIERRA AGUILAR, 2009).

**Sustrato (medio granular):** En los humedales, el sustrato está formado por el suelo: arena, grava, roca, sedimentos y restos de vegetación que se acumulan en el humedal debido al crecimiento biológico. La principal característica del medio es que debe tener la permeabilidad suficiente para permitir el paso del agua a través de él. Esto obliga a utilizar suelos de tipo granular, principalmente grava seleccionada con un diámetro de 5 mm aproximadamente y con pocos finos. El sustrato, sedimentos y los restos de vegetación en los humedales artificiales son importantes por varias razones:

- ✓ Soportan a muchos de los organismos vivientes en el humedal.
- ✓ La permeabilidad del sustrato afecta el movimiento del agua a través del humedal.
- ✓ Muchas transformaciones químicas y biológicas (sobre todo microbianas) tienen lugar dentro del sustrato.
- ✓ Proporciona almacenamiento para muchos contaminantes. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

Estos son algunos de los sustratos de más importancia en los humedales:

La grava: Tienen la habilidad de mejorar la calidad del efluente mediante la fijación de sólidos suspendidos y formación de biopelículas bacterianas en la superficie de ella (Otálora Rodríguez, 2011).

La arena: Este sustrato disminuye la capacidad de adsorción y el poder filtrador del medio, pero aumenta la conductividad hidráulica (Otálora Rodríguez, 2011).

Sustratos plásticos: Como medio de soporte para la vegetación en el humedal, se utilizan soportes de material plástico, de diseño específico (Patente 5127801- B25B 1/0 AC UNAL) provenientes del reciclaje de plásticos (PP, PEHD, etc.) los cuales por su diseño y configuración permiten mayor área superficial para el desarrollo de la

biopelícula. Estos medios de soporte proveen una superficie específica del orden de 300 m<sup>2</sup> /m<sup>3</sup>, condición que proporciona área suficiente para el crecimiento de microorganismos de bacterias, hongos y protozoos transformadores del material orgánico (Otálora Rodríguez, 2011).

### 5.3.3. Usos de la cascarilla en tratamiento de aguas

La cascarilla de arroz ofrece buenas propiedades para ser usado como sustrato y así ser utilizada en humedales para tratamiento de aguas residuales, agua lluvia, un ejemplo es un estudio desarrollado por la Universidad Libre donde el objetivo era sistema de tratamiento para agua lluvia cosechada en los techos de la Universidad. La eficiencia del tratamiento se evaluó a través de análisis físicos, químicos y biológicos como pH, turbiedad, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, DQO y coliformes para un período de 10 días. Algunos de estos parámetros no mejoraron con el sistema en el período de prueba. Se observó además la ausencia de alcalinidad y dureza, lo que puede permitir el uso de esta agua en procesos diferentes al de consumo humano. (Suárez, Mesa, Bravo, & Prieto, 2015).

La cascarilla de arroz también ha sido implementada como sustrato para tratamiento de aguas contaminadas con cromo, esa investigación fue desarrollada en la Universidad Nacional de Colombia y muestra la capacidad de la cascarilla de arroz para remover iones de Cromo Cr (VI) en aguas simuladas. (Herrera, Hormaza Anaguano, & Gallego Suarez, 2011).

### 5.3.4. Desinfección de aguas residuales

La desinfección es un proceso clave en cualquier sistema de tratamiento de aguas es el último proceso y uno de los más importantes en el tratamiento del agua ya que es la única forma de garantizar la eliminación de microorganismos patógenos en el agua que puedan dañar la salud de las personas. Los principales métodos se presentan en el siguiente cuadro.

### Métodos de desinfección del agua disponibles

Físicos		Químicos		
Ultrafiltración, Ultrasonido, Ósmosis inversa, Electroforético, Ebullición, Congelación.		Cloro	Gas	
			Hipoclorito	Sodio
				Calcio
Radiación ionizante		Gamma	Dióxido de cloro	
			Cloraminas	
Gamma		Permanganato de potasio	Yodo	
Ultravioleta			Bromo	
			Ozono	
			Peróxido de hidrógeno	
			Plata	

Adaptado de: (Organización Panamericana De la Salud, 2007).

El método más utilizado y aplicado en diversas áreas e industrias es la cloración.

La cloración es el procedimiento de desinfección de aguas mediante el empleo de cloro o compuestos clorados. Se puede emplear gas cloro, pero normalmente se emplea hipoclorito de sodio (lejía) por su mayor facilidad de almacenamiento y dosificación. En algunos casos se emplean otros compuestos clorados, como dióxido de cloro (ClO<sub>2</sub>), hipoclorito de calcio o ácido cloroisocianúrico (Environmental Protection , 1999).

#### 5.3.5. Impactos de la descarga de aguas residuales en el suelo

El agua residual es muy apreciada por los agricultores, debido a su disponibilidad continua y contenido de materia orgánica y nutrientes que incrementa su productividad. Sin embargo, su uso indiscriminado genera riesgos muy serios para la salud pública, tanto en los agricultores que están en contacto con las aguas residuales como en los consumidores de los productos crudos. También puede haber peligros a más largo plazo si las aguas residuales contienen efluentes industriales con elementos tóxicos (como plomo, cromo,

boro, etc.) que afecten el suelo, disminuyan su fertilidad o se introduzcan en las cadenas alimenticias.

Los contaminantes del agua residual que pueden afectar principalmente al agua subterránea incluyen microorganismos patógenos, nutrientes en exceso y carbono orgánico disuelto.

- ✓ La vulnerabilidad del acuífero a la contaminación
- ✓ La calidad original del agua subterránea y, por ende, su uso potencial
- ✓ El origen de las aguas negras y, por ende, la probabilidad de que contengan contaminantes persistentes
- ✓ La calidad de las aguas residuales, su nivel de tratamiento y grado de dilución
- ✓ El flujo de infiltración de aguas residuales en relación con el flujo dentro del acuífero
- ✓ La forma en que se maneje y aplique el agua residual al suelo.

Comúnmente, donde se practica el reúso de agua residual para riego se usan estructuras de almacenamiento y distribución sin revestir y las parcelas se riegan por inundación. En estas condiciones y con mantos freáticos someros o acuíferos fracturados localizados cerca de la superficie, es posible que haya una importante penetración de bacterias y virus patógenos. Pero en la mayoría de las demás condiciones diferentes, hay una atenuación en la zona no saturada que remueve efectivamente la mayor parte de los patógenos antes de llegar al manto freático y (en este sentido) se logra un nivel de depuración equivalente al nivel terciario. (Foster, Garduño, Tuinhof, Kemper, & Nanni, 2002-2006).

## 6. METODOLOGÍA

Para la evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales con la tecnología de humedales artificiales a escala laboratorio, se tuvieron en cuenta las siguientes actividades: Recopilación de información de la PTAR INPEC, diseño de planta a escala laboratorio y monitoreo y seguimiento a la calidad del agua.

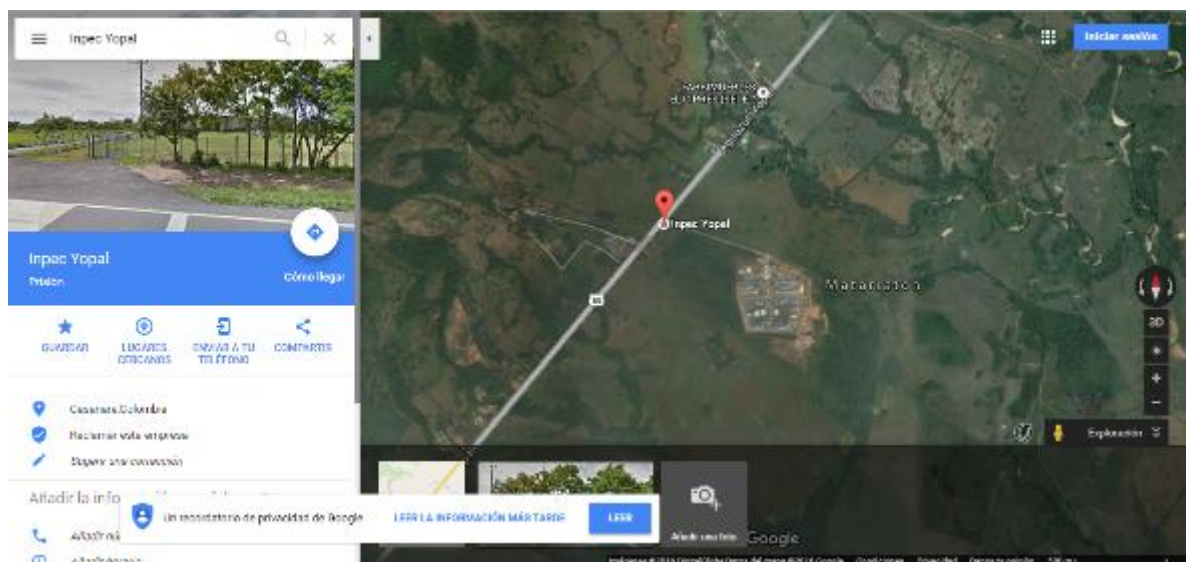
### 6.1. Zona de Estudio

El proyecto se desarrolló en el Establecimiento penitenciario y carcelario de Yopal, ubicado estratégicamente en el kilómetro 12 Vía Yopal – Aguazul, actualmente cuenta con un terreno de 440.000m<sup>2</sup>. De los cuales 64.661m<sup>2</sup> constituyen la infraestructura del Penal y el restante se encuentra destinado para el desarrollo de actividades agropecuarias.

En el centro se cuenta con aproximadamente 200 reclusos.

En la ilustración 5 se observa la ubicación del INPEC la cual se obtiene de google maps.

#### ***ILUSTRACIÓN 5 UBICACIÓN INPEC***



En la ilustración 6 se observa el mapa de Yopal con respecto a Casanare con el fin de conocer un poco más de la zona de estudio.

**ILUSTRACIÓN 6 MAPA DE YOPAL CON RESPECTO A CASANARE**



Tomado de: (Alcaldía de Yopal - Casanare, 2010)

## 6.2. Revisión de información secundaria

Dentro de la primera fase se realizó la recopilación de la información, bibliografías y documentos existentes que permitieron aportar datos e información acerca del proyecto en mención. Para iniciar con este proyecto se investigó a cerca de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del INPEC, tipos de tratamiento, operación del sistema y desinfección,

dentro de la información importante que suministro el INPEC se encuentran los parámetros de medición de la PTAR los cuales se exponen más adelante.

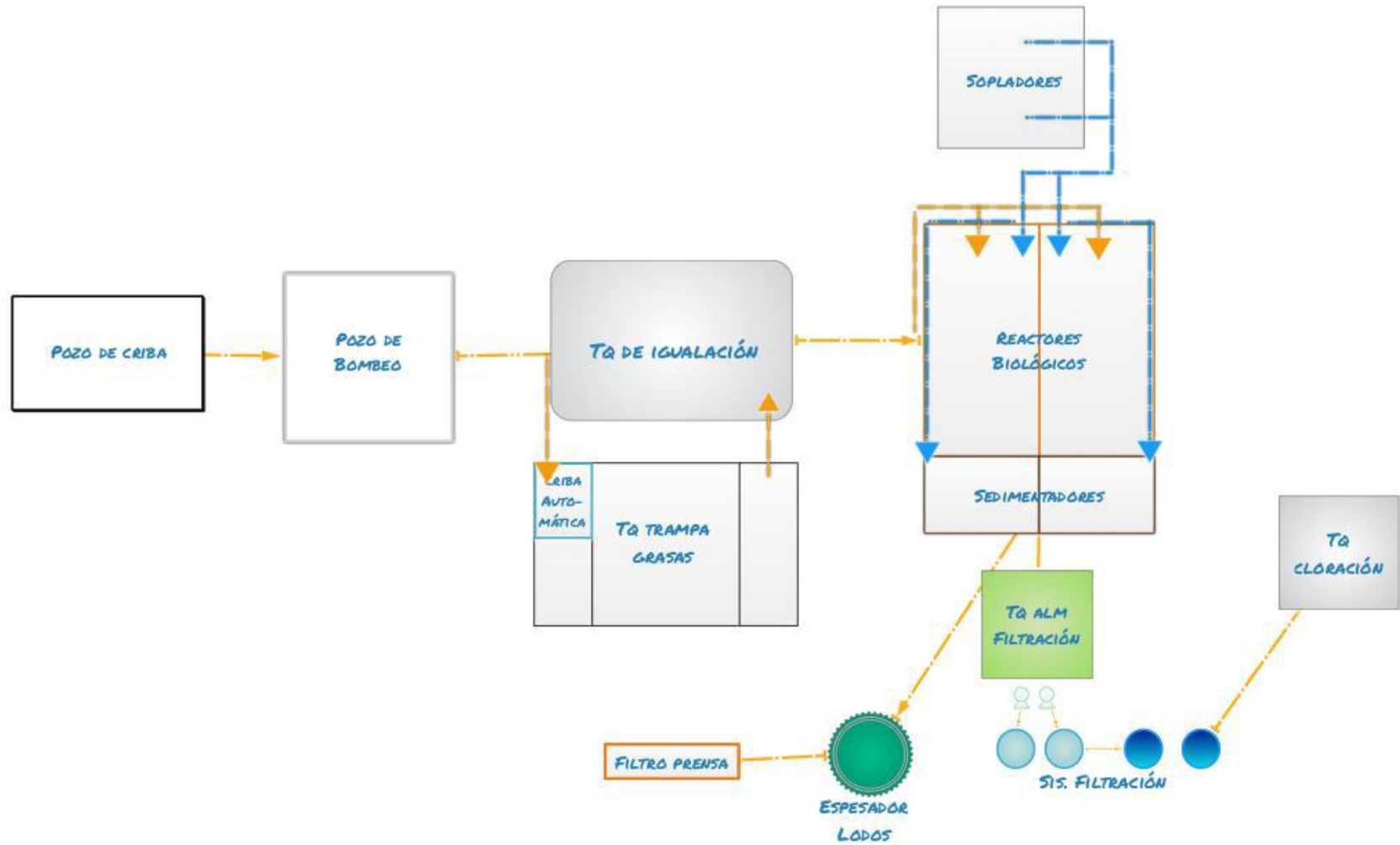
Se consultaron y analizaron proyectos de investigación ya desarrollados tanto a nivel Mundial, Nacional y Regional, lo cual permitió el buen desarrollo del proyecto.

### **6.3. Descripción de la PTAR existente**

La planta de tratamiento de aguas residuales tiene un caudal de entrada de 12 L/s, es de tipo aerobio, su vertimiento va al caño Guavinas, según los análisis realizados por los laboratorios ANALQUIM la PTAR cumple con la norma para vertimientos.

La PTAR del INPEC, se compone de dos reactores biológicos de lodos activados por aireación extendida como tratamiento principal, que permite la remoción de los contaminantes orgánicos presentes en el agua residual que son captados y transportados por el sistema de recolección de aguas residuales dentro del establecimiento. Adicionalmente, el sistema de tratamiento cuenta con estructuras de operación unitaria que permita la remoción de grasas, aceites, sólidos suspendidos, microorganismos patógenos entre otros, la ilustración 7 nos muestra el Diagrama de flujo del sistema de tratamiento existente. (ACUAMEUNIER, 2016).

ILUSTRACIÓN 7 DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO



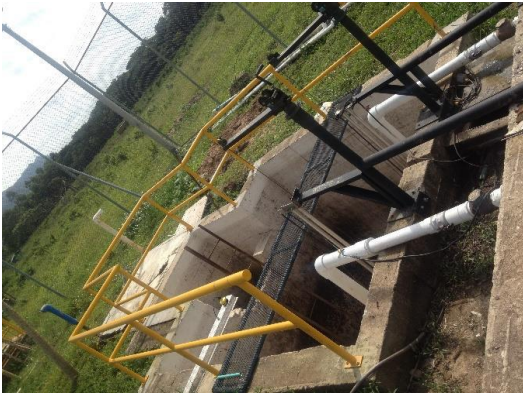
Tomado de: (ACUAMEUNIER, 2016)

Las operaciones unitarias que componen el conjunto del sistema de tratamiento inician con la criba la cual se compone de dos válvulas metálicas tipo compuerta deslizante ubicadas al inicio de los dos canales paralelos construidos en concreto de 6 m de longitud por 0,43m de ancho, que confluyen el líquido hacia dos cribas tipo gancho de fácil extracción para el retiro de sólidos atrapados en ellas, el pozo de bombeo tiene como función triturar los sólidos gruesos que hayan podido ingresar al sistema, el canal de cribado permite la remoción de los sólidos triturados enviados por las bombas sumergibles del tanque principal, el tanque de trampa de grasas permite la retención de grasas y aceites presentes en el agua en la parte superior de la sección central, el tanque de igualación permiten regular los caudales pico con el fin de entregar a reactores biológicos un caudal constante, los reactores biológicos de lodos activados permiten la suspensión permanente de flock compuesto de microorganismos aerobios que mediante procesos biológicos de oxidación disminuyen la concentración de materia orgánica presente en el agua, los sedimentadores una vez el agua ha pasado por el proceso de oxidación en cada reactor biológico, el caudal de ingreso se divide entre dos cámaras de sedimentación por cada reactor biológico, el canal de aquietamiento permite el ingreso del caudal de agua clarificada proveniente de sedimentadores, el tanque de almacenamiento para filtración permite el almacenamiento temporal del agua tratada antes de pasar al sistema de filtración, los filtros son el sistema terciario del tratamiento y su salida se encuentra conectada a cono de mezcla de tanque de cloración donde se tiene el contacto con cloro para finalmente realizar vertimiento, el tratamiento finaliza en el tanque de almacenamiento para cloración la desinfección del agua se realiza, mediante dos bombas de diafragma, las cuales funcionan en paralelo en modo automático energizando una y descansando la otra, cuando el agua no va al vertimiento se utiliza el campo de aspersion en el cual se encuentran instaladas dos bombas que permiten la impulsión del agua almacenada compuesto de 5 líneas de tubería PVC y 5 aspersores agroindustriales con caudal de 3.5L/sl. (ACUAMEUNIER, 2016), en la ilustración 8 se observan fotografías del sistema de tratamiento anteriormente descrito.

**ILUSTRACIÓN 8 PTAR EXISTENTE**



1. Criba Inicial.



2. Pozo de bombeo



3. Canal de cribado



4. Tanque trampa grasas



5. Tanque de igualación



6. Reactores biológicos de lodos activados



7. Sedimentadores



8. Canal de quietamiento



9. Tanque de almacenamiento para filtración



10. Filtros



11. Tanque de almacenamiento para cloración

El Tratamiento de Lodos se realiza mediante descarga hacia es pesador de lodos de funcionamiento continuo que cuenta con clarificador superior por canaletas rectangulares que dirigen en efluente clarificado a pozo de igualación, y otra parte es devuelta mediante recirculación al tanque de aireación inoculando las bacterias propias del tratamiento.

Posteriormente los lodos sedimentados son llevados al proceso de deshidratación en un filtro prensa, este proceso se inicia con la abertura de la válvula ubicada en la parte inferior del espesador y el encendido de la bomba tipo diafragma que envía los lodos al filtro prensa, estos lodos son usados en una zona de compostaje, la ilustración 9 muestra el tratamiento de lodos. (ACUAMEUNIER, 2016).

#### ILUSTRACIÓN 9 TRATAMIENTO DE LODOS





Tomadas de: Manual de Operación y Mantenimiento PTAR E.P.C. Yopal, Casanare (ACUAMEUNIER, 2016).

#### 6.4. Plan de muestreo y caracterización fisicoquímica y microbiológica del efluente de la PTAR

Se realizó un muestreo compuesto acorde como lo establece la Guía para el Monitoreo de Vertimientos, Aguas Superficiales y Aguas Subterráneas del Ideam, en la cual se toman muestras de agua cada hora en botellas de 600 ml, y se mide el caudal, oxígeno disuelto, pH y temperatura, al final se realizó una sola muestra compuesta proporcional al caudal medido cada hora.

Durante el muestreo se utilizaron pHmetro, kit de oxígeno disuelto y el caudal se midió a partir de la lectura de regleta calibrada en la canaleta Parshall de la Planta.

### 6.5. Diseño de Prototipo a Escala Laboratorio

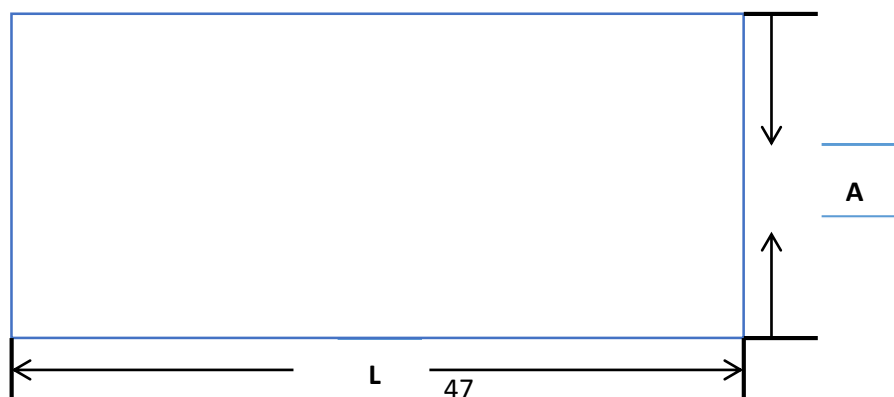
Para el diseño y construcción del prototipo a escala laboratorio se tuvieron en cuenta dimensiones de acuerdo a la disponibilidad de espacio en el laboratorio del CEAD Yopal, los criterios o recomendaciones para el diseño se tomaron de proyectos similares consultados (Borrero, 1999) (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010) (RODRIGUEZ, 2011), y practicidad en la construcción, en la tabla 1 se presentan los criterios de diseño del prototipo.

**TABLA 1 PARÁMETROS DE DISEÑO**

Parámetros de Diseño							
Sustrato	Plantas	Tiempo de Retención Hidráulico (TRH)	Caudal Tratado	Largo	Ancho	Profundidad Total	Profundidad del Sustrato
Grava y Cascarilla de Arroz	Pasto Vetiver	3,4 días	24 ml/min	1,5 m	50 cm	50 cm	0,35 m

La ilustración 10 indica las dimensiones del prototipo a escala laboratorio construido.

**ILUSTRACIÓN 10 DIMENSIONES DEL PROTOTIPO**



Donde,

Largo = 1.5 m

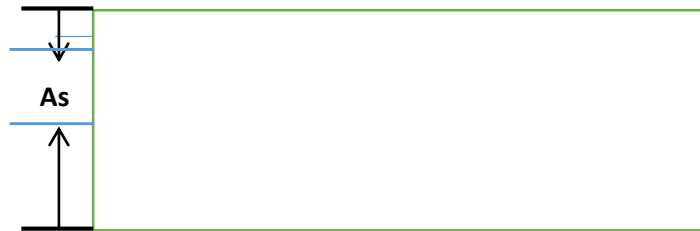
Alto= 0.5 m

La ilustración 11 muestra el volumen del sustrato que se usó en el prototipo del humedal a escala laboratorio.

### **ILUSTRACIÓN 11 VOLUMEN DEL SUSTRATO**

Volumen interno del sustrato: 1.5m\*0.5 m\*0.35m

$$V= 0.2625 \text{ m}^3$$



As= Altura sustrato 0,35 m

Teniendo en cuenta las dimensiones del prototipo se realizó el cálculo del caudal, este se realiza teniendo en cuenta la porosidad del sustrato (grava 35% y cascarilla 54%), el promedio de las dos es 44,5%, y el TRH se obtuvo realizando aforos del caudal de salida del tanque de almacenamiento entre un rango de 13,51 ml/mi a 26,3 ml/min, lo que dio como resultado un TRH medio de 3.4 d.

Teniendo el promedio del tiempo de retención hidráulica que se trabajó en el humedal se halló el caudal deseado con la siguiente formula.

$$Q=V/TRH$$

Primero se determina el volumen útil del sustrato en m<sup>3</sup> teniendo en cuenta la porosidad del sustrato y el volumen interno.

$$V = 0.2625 \text{ m}^3 * 44,5\% = 0,117 \text{ m}^3$$

Una vez obtenido se divide el volumen en el TRH obtenido de los afloros.

$$Q = 0,117 \text{ m}^3 / 3,4 \text{ días} = 0.0344 \text{ m}^3/\text{d}$$

Se realiza una conversión de m<sup>3</sup>/d a L/d.

$$Q = 0.0344 \text{ m}^3/\text{d} * 1000 \frac{\text{l}}{1 \text{ m}^3} = 34,4 \text{ L/d}$$

Nuevamente se realiza una conversión L/d a mL/min para poder realizar el aforo diario teniendo en cuenta el caudal que se obtuvo.

$$Q = 34,4 \text{ L/d} * \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} * \frac{1 \text{ día}}{1440 \text{ min}} = 23,8 \text{ mL/min}$$

Con el fin de realizar mejor el aforo manualmente y diariamente, se aproximó el valor del caudal a 24 mL/min.

La tabla 2 nos indica el valor deseado para la carga orgánica del diseño final del prototipo, la carga de DBO debe ser < 112 Kg/ha.d, es decir que aplicando la formula con el caudal establecido y el área del humedal cumple con el criterio.

$$C_e = C_o e^{-Kt} \text{ donde,}$$

$C_e$  = Concentración del efluente, mg/L

$C_o$  = Concentración del afluente, mg/L

$K$  = Constante de remoción, d<sup>-1</sup>

$t$  = Tiempo de retención

**TABLA 2 CARGA ORGÁNICA ESPERADA PARA EL PROTOTIPO A ESCALA LABORATORIO**

Carga Orgánica del Humedal		
DBO	0,102	kg/m <sup>3</sup>
Caudal	0,0344	m <sup>3</sup> /d
Área	1,25	m <sup>2</sup>
Carga orgánica	28,07	Kg/d.ha

La operación del sistema del humedal se realizó un seguimiento a diario, en el cual se tenía

en cuenta revisar el caudal de entrada y salida con el fin de que no se aumentara o disminuyera, se analizaba el crecimiento de las plantas y cambios que tuviera durante su proceso.

La tabla 3 muestra el caudal de salida en m<sup>3</sup>/d y se calculó el TRH a cada uno y al final un promedio con el cual se trabajó.

**TABLA 3 AFOROS PARA TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRAULICO**

Q (m <sup>3</sup> /d)	TRH (días)
0,0371	3,2
0,0282	4,1
0,195	0,6
0,035	3,3
0,03623	3,2
0,0297	3,9
0,0205	5,7
0,0362	3,2
0,0381	3,1
0,0304	3,8
0,03602	3,2
Promedio	3,4

### 6.6. Construcción





El sistema se construyó en vidrio de 4 mm de espesor y tuvo unas medidas de alto: 50 cm, ancho: 50 cm y largo: 1.5 m.

Alistamiento de sustratos: La cascarilla del arroz se lavó y se desinfecto con agua caliente, la grava de 4-8" únicamente se lavó.

Obtención de las plantas: El pasto vetiver se sembró con un tiempo de germinación de 21 días. El número de plantas sembradas fue de 48 las cuales se sembraron cada 15 cm.

En la ilustración 12 se presentan fases de la construcción del prototipo a escala laboratorio.

**ILUSTRACIÓN 12 FOTOS PROTOTIPO HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL**

 <p>1. Estructura en vidrio y tuberías de entrada y salida de agua</p>	 <p>2. Primera capa de sustrato (Grava y Cascarilla de arroz).</p>
 <p>3. Prototipo con sustrato completo a una altura de 35 cm.</p>	 <p>4. Siembra de plantas Vetiver</p>



5. Vista del prototipo terminado con plantas, al fondo tanque negro de alimentación



6. Vista del prototipo terminado con plantas

#### 6.6.1. Operación del Sistema

Para asegurar el flujo continuo se instalaron dos tanques, un tanque principal de 500L que alimentaba el humedal y otro de 300L que alimentaba el tanque principal de manera automática a través del uso de una válvula que accionaba la bomba de alimentación cuando el tanque principal se disminuía de nivel. El sistema se operó 1 mes, el monitoreo y seguimiento del sistema se realizó a diario, en el cual se verificó el tiempo de retención hidráulico (TRH) de operación de 3.4 días, para eso se midió el caudal de entrada y salida, nivel del agua y flujo del agua, de esta manera se verificaban las condiciones de operación correctas.

También se realizaron mediciones semanales de calidad del agua.

#### 6.6.2. Diseño de Sistema de Cloración

Para el sistema de cloración se realizó un análisis de demanda de cloro (anexo 2), con la cual se definió la cantidad de cloro requerida al agua y la cantidad de cloro libre residual que podía quedar después de la formación de cloro combinado residual o total resultante al final de un específico periodo de contacto. Las diferentes sustancias presentes en el agua, como lo es la materia orgánica y otros contaminantes, influyen en la demanda de cloro y

complican el uso de cloro para la desinfección. Por ello es necesario agregar la cantidad adecuada de cloro no solo para destruir organismos, sino también para compensar el cloro consumido por esas sustancias.

El análisis de demanda de cloro se desarrolló en los laboratorios de AQUALIM, el proceso consistió en tomar 100 mL del agua residual en varios matraces, se añadían dosis de cloro diferentes para cada matraz y se dejó un tiempo de reacción de 30 minutos, una vez pasado el tiempo de reacción se tomó el cloro residual de cada muestra. (Resultados en anexo 2), así se determinó la concentración requerida y usando la ecuación de conservación de la masa, se calculó la dosis requerida para el caudal de salida y así graduar el gotero dosificador.

### 6.6.3. Monitoreo y seguimiento a la calidad del agua

Para el monitoreo y seguimiento a la calidad del agua se realizaron muestreos in situ una vez por semana para un total de 4 muestreos y los análisis microbiológicos y otros fisicoquímicos se tomaron dos muestras cada 15 días y se analizaron en los laboratorios AQUALIM en la ciudad de Yopal, la tabla 4 muestra los métodos utilizados para los análisis.

**TABLA 4 MÉTODOS DE MEDICIÓN**

<b>Parámetro</b>	<b>Método de Medición</b>	<b>Frecuencia</b>
pH	Equilibrio iónico (Electrodo)	Semanal
Conductividad	Equilibrio iónico (Electrodo)	2 veces en un mes
Oxígeno disuelto	Método Winkler	Semanal
Cloro residual	Colorimétrico (Kit Merck)	Semanal
DBO <sub>5</sub>	SM 5210 B EPA 360 3 Electrodo de luminiscencia	2 veces en un mes
Coliformes totales	SM 5223 B Sustrato Definido	2 veces en un mes

Parámetro	Método de Medición	Frecuencia
Coliformes fecales	SM 5223 B Sustrato Definido	2 veces en un mes

En la ilustración 13 y 14 se observan los materiales y equipos utilizados en campo tanto in situ como los usados en laboratorio.

**ILUSTRACIÓN 13 EQUIPOS UTILIZADOS EN CAMPO**



1. Equipos y materiales utilizados para muestreo compuesto.



2. Kit para análisis de oxígeno disuelto.



3. Toma de pH (pHmetro)



4. Toma de temperatura

**ILUSTRACIÓN 14 KIT DE ANÁLISIS EN LABORATORIO UNAD CEAD YOPAL**



1. Analisis Laboratorio UNAD – Yopal



2. Analisis Laboratorio UNAD – Yopal

## 7. RESULTADOS

### 7.1. Caracterización del efluente

En la planta cuentan con aspersores para riego del agua tratada, pero no cumple con la norma para reúso, ya que la resolución 1207/2014 formulada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para reúso de agua residual tiene unos criterios de calidad, los cuales no está cumpliendo la PTAR, así como lo muestra la tabla 5, esta PTAR, lo que ocasiona es contaminación de suelos y nivel freático, por eso la necesidad de evaluar un sistema de que optimice el efluente de la PTAR.

En la tabla 5 se presenta la relacionan los análisis realizados por Laboratorios ANALQUIM donde se relaciona la eficiencia y cumplimiento de la PTAR para poder realizar su vertimiento.

**TABLA 5. MONITOREO Y CARACTERIZACIÓN ANTERIOR DEL EFLUENTE DE LA PTAR EXISTENTE**

Muestreo Abril 2015				
Parámetro	Unidad	Entrada	Salida	Resolución 1207/2014
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	194	102	90*
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	226	125	180*
GRASAS Y ACEITES	mg/L	318	18	20*
OXIGENO DISUELTO	mg O <sub>2</sub> /L	1.50 – 3.30	4.00-6.20	NA
PH	Unidades de PH	7.17 – 7.50	7.18 – 7.76	6,0 a 9,0
SOLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	553	93	90
TEMPERATURA	°C	28.6 – 30.5	28.7 – 30.1	NA
COLORO RESIDUAL TOTAL	mg/L	0.00	1.46	< 1,0

CAUDAL PROMEDIO	L/s	15.744	2.978	
CONDUCTIVIDAD	$\mu\text{S/cm}$	361-565	546-581	1.500,0
TENSOACTIVOS	mg/L	8.71	0.29	NA
SOLIDOS SEDIMENTABLES	mL/L	100-200	4.0-10.0	5

Fuente: ANALQUIM LTDA – Análisis Físicoquímicos y Calidad de Aire.

\*Como la Resolución 1207/14 no especifica esos parámetros, se usa la Resolución 631/2015.

La tabla 6 se muestran los resultados obtenidos en laboratorios de la Sede Nacional de la UNAD, en ella se observa que los cloruros están bajos pero que se encuentran dentro del rango de los parámetros permisibles para reúso del agua residual según lo establecido en la resolución 1207/2014, el hierro también presenta un nivel bajo, su nivel máximo permisible es de 5 mg/L, para el cloro residual y cloro total cumplen con el valor establecido en la resolución, la dureza también presenta valores bajos, la *salmonella sp* y el *E – Colli* presentan ausencia, por el contrario hay presencia de coliformes totales, la dureza y la dureza total tienen niveles bajos, los sólidos totales presentan un valor alto, la conductividad es baja pero cumple con el valor establecido en la resolución, esto indica que el sistema de tratamiento que están aplicando en la PTAR es eficiente, exceptuando los valores de  $\text{DBO}_5$  y sólidos suspendidos, así como las características del agua permiten un cumplimiento de la norma tanto de vertimientos como de reúso, para los parámetros medidos.

Se realizó una nueva caracterización previa a la construcción del prototipo para verificar las condiciones de calidad reportadas en el análisis anterior contratado por el INPEC y los resultados obtenidos se presentan en la tabla 6, para algunos análisis los resultados se reportan en duplicado y se calculó el promedio.

**TABLA 6. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA SEPTIEMBRE 2015**

Parámetro	Método de Medición	Unidades	Valor	Valor	Promedio
Cloruros	Titulación con Nitrato de Mercurio	mg CL/L	37	32	34,5
Hierro	Colorímetro	mg Fe/L	1	1	1
Cloro Residual	Colorímetro	mg Cl <sub>2</sub> /L	< 0,1	< 0,1	
Cloro Total	Colorímetro	mg Cl <sub>2</sub> /L	< 0,1	< 0,1	
Nitritos	colometria	mg/L N- NO <sub>2</sub>	0,2	1.2	0.7
Nitratos	colometria	mg/L N- NO <sub>2</sub>	0.5	0.15	0,32
Nitrógeno total	KJELDAHL	mg NH <sub>4</sub> /L	0.65	0.69	0.67
Fosforo	colometria	mg/L	0.64	0.93	0.78
Dureza cálcica	Complexometría	mg/L CaCO <sub>3</sub>	1.8	1.6	1.7
Dureza total	Complexometría	mg/L CaCO <sub>3</sub>	5.9	5.4	5.6
Conductividad	Conductímetro	µsiemens/cm	202	195	198
Sólidos totales	Evaporación de Solvente	mL/L	12.205	18.750	15.477
Turbidez	Turbidímetro		102	111	106
Coliformes totales	Número más probable	UFC/100mL	Presencia		
E. coli	haccp sistem plus	UFC/100mL	Ausencia		
Salmonella sp.	haccp sistem plus		Ausencia		

En la tabla 7 se muestran los resultados de la caracterización in situ, en estos resultados se observa que el caudal varía dependiendo la hora, a las 6:00 am y 11:00 am es donde más aumenta, la temperatura es estable se mantiene entre los 28°C y 29°C, el comportamiento del pH se mantuvo constante y el oxígeno disuelto también presentó cambios en diferentes horarios.

**TABLA 7 CARACTERIZACIÓN IN SITU**

<b>Hora</b>	<b>Caudal (L/s)</b>	<b>pH</b>	<b>Oxígeno Disuelto</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Condiciones Climáticas</b>
6:00 a.m	11,6	7,5	0	28,4	Nublado
7:00 a.m	7,75	7,3	0,95 mg/l	28,5	Nublado
8:00 a.m	7,5	7,3	0,95 mg/l	28,5	Poco Sol
9:00 a.m	8,9	7,4	0,85 mg/l	28,8	Poco Sol
10:00 a.m	5,8	7,4	0,8 mg/l	28,8	Poco Sol
11:00 a.m	12,9	7,5	1,5 mg/l	28,8	Llovizna
12:00 m	8,9	7,6	1 mg/l	29,3	Soleado
1:00 p.m	5,4	7,6	1,5 mg/l	29,3	Soleado

Acorde a los resultados de la tabla 7 se puede decir que el pH no varía significativamente en el tiempo y su rango se mantiene en la neutralidad. En cuanto al oxígeno disuelto su valor es característico de las aguas residuales, su valor fluctúa entre condiciones de bajo nivel y anóxicas, lo que repercute en los cuerpos de agua donde se vierte al reducir los niveles de O<sub>2</sub> disponible para el ecosistema. La temperatura fluctúa poco, y las variaciones se ven influenciada por las condiciones atmosféricas.

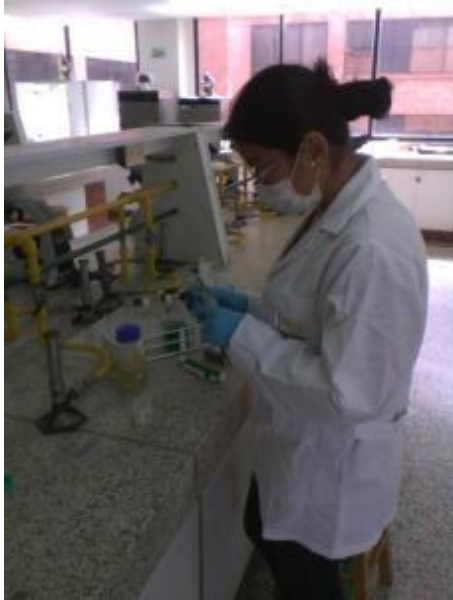
A continuación, en la tabla 8, se relacionan los horarios de la recolección y el volumen de las alícuotas con las que se realizó la muestra compuesta de 3 L.

**TABLA 8 FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS MUESTREO COMPUESTO**

<b>FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>								
<b>Elaboro: Sandy Katheryne Higuera Infante</b>								
<b>Fecha: 10 Septiembre – 2015.</b>					<b>Hora: 6:00 AM - 1:00 PM</b>			
<b>Punto de Muestreo: PTAR INPEC</b>								
<b>Hora</b>	<b>Alicuota (ml)</b>	<b>Caudal (L/s)</b>	<b>pH</b>	<b>Oxígeno Disuelto</b>	<b>Temperatura (oC)</b>	<b>Condiciones Climáticas</b>	<b>Cloro Total</b>	<b>Cloro Residual</b>
<b>6:00 a.m</b>	600	11,6	7,5	0	28,4	Nublado		
<b>7:00 a.m</b>	390	7,75	7,3	0,95 mg/l	28,5	Nublado		
<b>8:00 a.m</b>	380	7,5	7,3	0,95 mg/l	28,5	Poco Sol	< 0,1	< 0,1
<b>9:00 a.m</b>	45	8,9	7,4	0,85 mg/l	28,8	Poco Sol		
<b>10:00 a.m</b>	290	5,8	7,4	0,8 mg/l	28,8	Poco Sol	< 0,1	0,1
<b>11:00 a.m</b>	650	12,9	7,5	1,5 mg/l	28,8	Llovizna		
<b>12:00 m</b>	450	8,9	7,6	1 mg/l	29,3	Soleado		
<b>1:00 p.m</b>	270	5,4	7,6	1,5 mg/l	29,3	Soleado		

A continuación, en las ilustraciones 15 y 16 se evidencian fotografías, de los análisis microbiológicos y fisicoquímicos del agua obtenida del muestreo compuesto, estos fueron realizados en la UNAD sede Nacional.

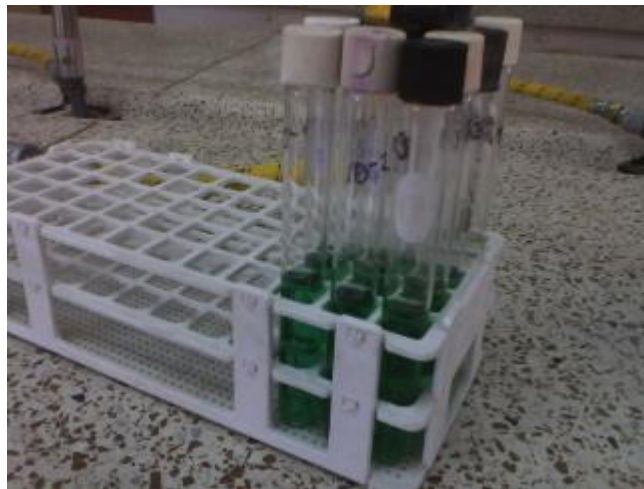
**ILUSTRACIÓN 15 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS**



1. Análisis microbiológicos.



2. Montaje para análisis de Salmonella y E – Coli. (haccp sistem plus)



3. Montaje para análisis de coliformes totales. (número más probable)

**ILUSTRACIÓN 16 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS**



1. Toma de Conductividad.  
(Conductímetro)



2. Toma de Sólidos Totales  
Disueltos.



3. Análisis de Dureza Cálrica.



4. Análisis de Turbidez  
(Turbidímetro)



5. Análisis de Nitrógeno, (Digestor para Kjeldhal).



6. Titulación Nitrógeno

## 7.2. Monitoreo de calidad del agua en el sistema de tratamiento construido

Dentro del cronograma del trabajo estaba realizar muestreos in situ del humedal con el fin de llevar un seguimiento del proceso y los parámetros que se pudieran medir, de estos muestreos se realizaron cuatro los cuales se muestran en las siguientes tablas, donde se puede ver que cumplen con los criterios para reúso del agua en usos hidroagrícolas.

En la tabla 9 se pueden apreciar resultados obtenidos en el primer muestro, esta nos indica que hubo incrementos en la dureza, alcalinidad, en cambio se pierde el oxígeno disuelto lo que significa que ha sido consumido para la degradación de la materia orgánica, se mantienen los cloruros, disminuye el pH a la salida y presencia ausencia de nitritos.

**TABLA 9 PRIMER MUESTREO IN SITU**

<b>Análisis In Situ No. 1 (22 de marzo de 2016)</b>					
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>Decreto 0631-2015</b>	<b>Res 1207/2014</b>
<b>Dureza</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	70,5	255	Análisis y Reporte	
<b>Sulfitos</b>	NaSO <sub>3</sub>	20	19		
<b>Alcalinidad</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	165	225		
<b>Cloruros</b>	mg/l Cl	40	40	250,00	300,0
<b>Oxígeno Disuelto</b>	mg/L O <sub>2</sub>	1,5	No presenta Oxígeno		
<b>pH</b>	Unidades de pH	7,5	6,1	6,00 a 9, 00	6,00 a 9, 00
<b>Nitritos</b>	mg/L N-NO <sub>2</sub>	0	0	Análisis y Reporte	

En la tabla 10 en el cual se presentan resultados del segundo muestreo se puede observar que los cloruros se mantienen iguales tanto como en entrada y salida, continua la ausencia del oxígeno disuelto, se encuentra presencia de nitritos, la dureza presenta un significativo aumento a la salida, el pH presenta una disminución a la salida, los sulfitos se mantienen iguales, y la alcalinidad aumenta en la salida.

**TABLA 10 SEGUNDO MUESTREO – PARÁMETROS IN-SITU**

<b>Análisis In Situ No. 2 (29 de marzo de 2016)</b>					
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>Decreto 0631-2015</b>	<b>Res 1207/2014</b>
<b>Dureza</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	120	270	Análisis y Reporte	
<b>Sulfitos</b>	NaSO <sub>3</sub>	20	20		
<b>Alcalinidad</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	150	165		
<b>Cloruros</b>	mg/l Cl	50	50	250,00	300,0
<b>Oxígeno Disuelto</b>	mg/L O <sub>2</sub>	2	No presenta Oxígeno		
<b>pH</b>	Unidades de pH	8	7,3	6,00 a 9, 00	6,00 a 9, 00
<b>Nitritos</b>	mg/L N-NO <sub>2</sub>	0,25	1.0	Análisis y Reporte	

Para el tercer muestreo como lo muestra la tabla 11, los cloruros presentan una disminución en la salida, la dureza presenta un aumento bastante alto con respecto a la entrada, los sulfitos aumentan a la salida, el pH disminuye a la salida y los nitritos disminuyeron a la salida.

**TABLA 11 TERCER MUESTREO – PARÁMETROS IN-SITU**

<b>Análisis In Situ No. 3 (8 de abril de 2016)</b>					
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>Decreto 0631-2015</b>	<b>Res 1207/2014</b>
<b>Dureza</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	105	225	Análisis y Reporte	
<b>Sulfitos</b>	NaSO <sub>3</sub>	17	20		
<b>Alcalinidad</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	135	210		
<b>Cloruros</b>	mg/l Cl	80	65	250,00	300,0
<b>Oxígeno Disuelto</b>	mg/L O <sub>2</sub>	0,35	No presenta Oxigeno		
<b>pH</b>	Unidades de pH	7,7	6,5	6,00 a 9, 00	6,00 a 9, 00
<b>Nitritos</b>	mg/L N- NO <sub>2</sub>	0,25	0,05	Análisis y Reporte	

La tabla 12 muestra los primeros análisis realizados en el laboratorio AQUALIM, estos permiten analizar el cumplimiento de los objetivos propuestos en cuanto a la calidad de agua, de acuerdo a los resultados que se presentan en la siguiente tabla se puede observar que el humedal cumple con el 73.25% de remoción carga orgánica (DBO<sub>5</sub>), su conductividad disminuye y se encuentra dentro de los parámetros permisibles según la resolución 1207/2014, también presenta una disminución de coliformes totales en un 99% y de E-Coli 99%.

**TABLA 12 TERCER MUESTREO - ANÁLISIS DE LABORATORIO**

Parámetro	Resultado		Unidades	% Remoción	Resolución 1207/2014
	Entrada	Salida			
<b>Conductividad Eléctrica</b>	528	383	µsiemens/cm	27.5 %	1.500,00
<b>DBO<sub>5</sub></b>	80,0	58,6	Mg O <sub>2</sub> /L	26,75 %	
<b>Coliformes Totales</b>	207500	1483	NMP/100 mL	99,28 %	
<b>Escherchia Coli</b>	149700	933	NMP/100 mL	99,4 %	1,0*E(+5)

### 7.3. Descripción y cálculos de la dosis de cloro.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el análisis de demanda de cloro (anexo 2), se realiza el cálculo de la cantidad de cloro que se requiere agregar al agua teniendo en cuenta que es un sistema por goteo, el cloro utilizado tiene una concentración del 15%.

En la siguiente ecuación se determinó la concentración del cloro en mg/L.

$$\frac{15g}{100ml} * \frac{1000mg}{1g} * \frac{1000ml}{1L} = 150.000 \text{ mg/L}$$

Esta ecuación se utiliza para convertir el caudal de ml/min a L/seg.

$$Q = 24 \frac{ml}{min} * \frac{1L}{1000 ml} * \frac{1 min}{60 seg} = 4 * 10^{-4} L/seg$$

Con la siguiente ecuación se realiza la disolución del cloro con el agua destilada.

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

$$C_1 = 150.000 \text{ mg/l}$$

$$V_1 = ?$$

$$C_2 = 50 \text{ mg/l}$$

$$V_2 = 2 \text{ L}$$

$$V_1 = \frac{50 \frac{mg}{l} * 2 L}{150.000 mg/l} = 0,6 L$$

En esta última ecuación se obtiene la dosis de cloro que se agregó al agua

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

$$V_1 = 4 * 10^{-4}$$

$$C_1 = 15 mg/L$$

$$C_2 = 50 mg/L$$

$$V_2 = ?$$

$$V_2 = \frac{15 \frac{mg}{l} * 4 * 10^{-4} L/seg}{50 mg/l} = 0,12 ml/seg$$

En el cuarto y último muestreo, cuyos resultados se presentan en la tabla 13 y 14, se observa el resultado del análisis de cloro residual el cual obtuvo un valor de 0,6 mg/L, tomando en cuenta este resultado permite ver que cumple con lo estipulado en la resolución 1207/2014 para reúso del agua residual. De los parámetros medidos in situ se evidencia el incremento de pH en la salida del humedal, los nitritos presentaron una disminución a la salida del humedal, la alcalinidad presenta un aumento en la salida, los sulfitos aumentaron a la salida, pero la dureza presenta un aumento a la salida.

**TABLA 13 CUARTO MUESTREO – PARÁMETROS IN SITU**

<b>Análisis In Situ No. 4 (11 de mayo, 2015)</b>					
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Salida Humedal</b>	<b>Salida - cloración</b>	<b>Decreto 0631-2015</b>	<b>Resolución 1207/2014</b>
<b>Dureza</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	120	135	Análisis y Reporte	
<b>Sulfitos</b>	NaSO <sub>3</sub>	18	20		
<b>Alcalinidad</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	141	185		
<b>pH</b>	Unidades de pH	7,3	7,1	6,00 a 9, 00	6,00 a 9, 00
<b>Nitritos</b>	mg/L N-NO <sub>2</sub>	1,0	0,15	Análisis y Reporte	
<b>Cloro residual</b>	Mg Cl <sub>2</sub> /L	< 0,1	0,6		Menor a 1,0

Los resultados de la tabla 14 corresponden a análisis realizados en el laboratorio ambiental AQUALIM, es notable el cambio en los resultados obtenidos, ya que aumenta la conductividad eléctrica, la DBO<sub>5</sub> en pequeña magnitud, pero si se presenta una remoción completa de coliformes fecales y Escherchia Coli.

**TABLA 14 CUARTO MUESTREO - ANÁLISIS DE LABORATORIO**

<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>			<b>Unidades</b>	<b>% Remoción</b>	<b>Resolución 1207/2014</b>
	<b>Entrada</b>	<b>Salida-Humedal</b>	<b>Salida - Cloro</b>			
<b>Conductividad Eléctrica</b>	312	319	4800	µsiemens/cm	No hubo remoción	1.500,00
<b>DBO5</b>	4,2	9,9	<4,4	Mg O <sub>2</sub> /L	No hubo remoción	
<b>Coliformes</b>	287800	5012	<10	NMP/100	98.25% entre	

Parámetro	Resultado			Unidades	% Remoción	Resolución 1207/2014
	Entrada	Salida- Humedal	Salida - Cloro			
<b>Totales</b>				mL	entrada y salida, pero 100% después de la cloración.	
<b>Escherchia Coli</b>	1000	20	<10	NMP/100 mL	98% entre entrada y salida, pero 100% después de la cloración.	1,0*E(+5)

La diferencia de ese análisis realizado, con respecto al primero puede deberse a la eficiencia del tratamiento en la planta de tratamiento del INPEC, cuando se realizó la primera recolección del agua la planta presentaba una falla en los flotadores y en la última recolección según información del operario la planta estaba trabajando a un 100%, por tal motivo la DBO<sub>5</sub> estaba baja.

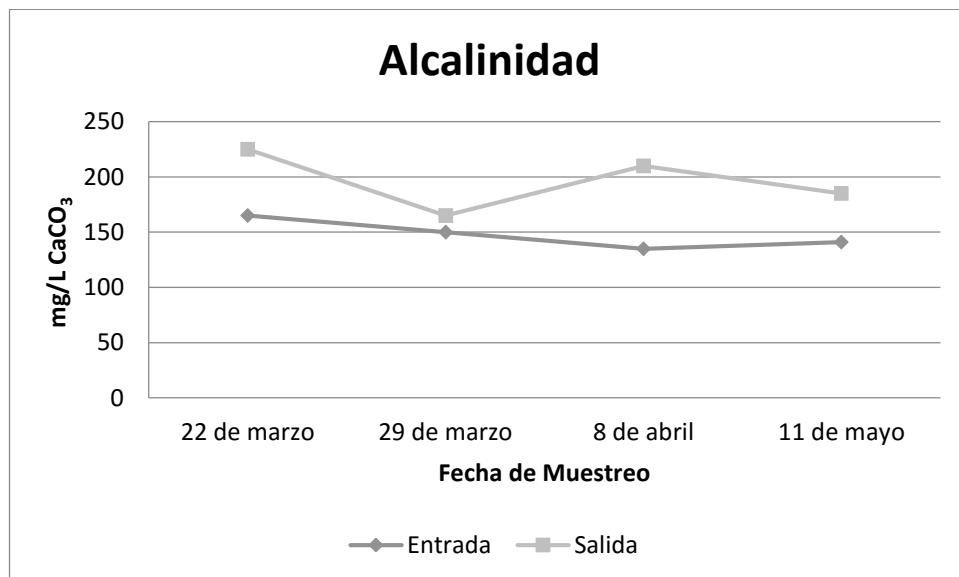
La tabla 14 también contiene los resultados del análisis de laboratorio realizado después del sistema de cloración, se observa un incremento de la conductividad eléctrica, este incremento de conductividad se presentó ya que se agregó una cantidad de cloro superior, debido a que la demanda de cloro que se realizó fue de acuerdo al primer muestreo y análisis de laboratorio, el cual presentaba un valor de DBO<sub>5</sub> del 58,6 mg O<sub>2</sub>/L, y para el segundo análisis el valor de DBO ya era mucho menor, además de esto se puede deber a presencia de electrolitos en el agua, tal vez dentro del agua se presente algún tipo de jabón, el aumento de la DBO<sub>5</sub> puede ser por la cascarilla de arroz como sustrato orgánico, sin embargo presenta una remoción de coliformes fecales y Escherchia Coli.

## 7.4. Resultados por parámetros

### 7.4.1. Alcalinidad

La grafica 1 nos indica que la alcalinidad en el agua residual tratada presentó un rango de 150 a 200 mg/L CaCO<sub>3</sub>, el aumento a la salida del humedal puede ser a causa de la cascarilla de arroz como sustrato orgánico, ya que esta presenta óxidos metálicos que disminuyen la acidez del agua, por ende, se disminuyen las grasas.

**GRAFICA 1 RESULTADOS DE ALCALINIDAD**

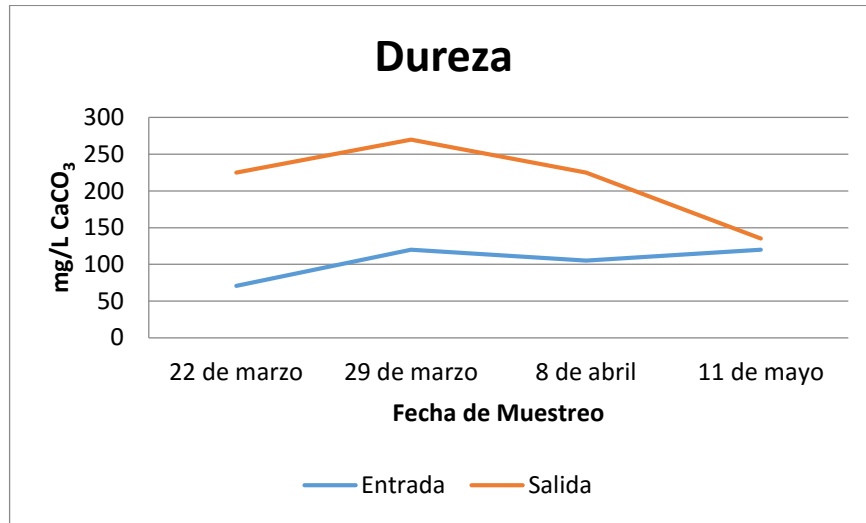


Teniendo en cuenta los resultados en alcalinidad obtenidos para la entrada del humedal se realizó un análisis de desviación estándar el cual tuvo un valor de 13 y un coeficiente de variación de 8%, lo que significa que los valores de entrada presentaron una baja variación durante los 4 muestreos realizados.

### 7.4.2. Dureza

En la siguiente grafica 2 se analiza el incremento de dureza a la salida del humedal, esto indica que aumentan las concentraciones de calcio y magnesio durante el proceso de retención.

**GRAFICA 2 RESULTADOS DE DUREZA**

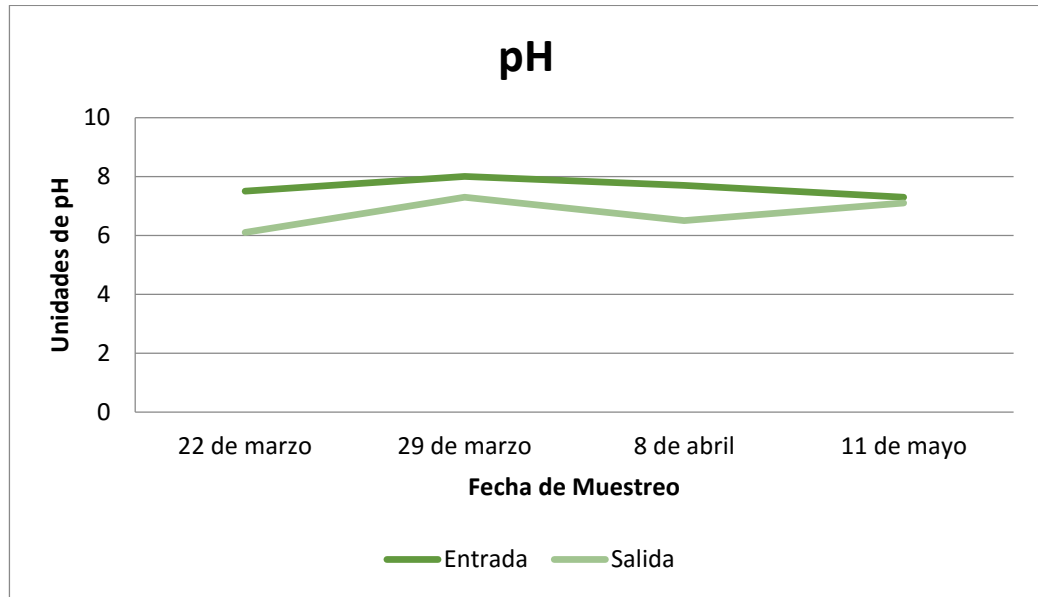


Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la Dureza para la entrada del humedal se calculó la desviación estándar la cual tuvo un valor de 23,3 y el coeficiente de variación 22.4%, lo que significa que los valores de entrada no presentaron una variación significativa.

#### 7.4.3. pH

La siguiente grafica 3 muestra los valores promedios de pH tanto de entrada como de salida del humedal con sus máximos y mínimos del total de los valores obtenidos en el transcurso de la evaluación del sistema, el comportamiento del pH se mantuvo constante.

**GRAFICA 3 RESULTADOS PH**

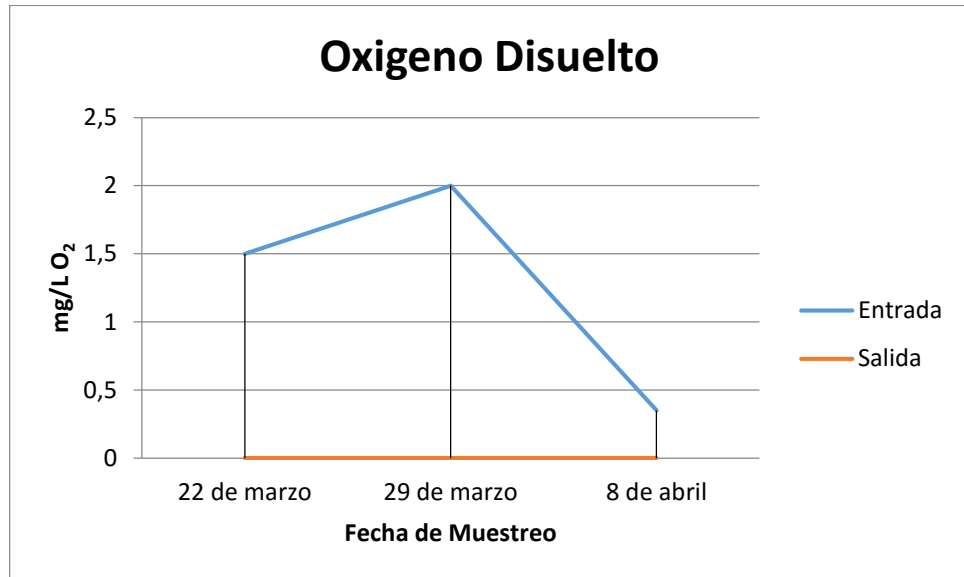


Teniendo en cuenta los resultados del pH obtenido para la entrada del humedal se calculó la desviación estándar la cual fue de 0,2 y el coeficiente de variación 3,9%, esto indica que el pH de entrada no presento un cambio significativo durante los muestreos realizados.

#### 7.4.4. Oxígeno disuelto

En la gráfica 4 se analiza el comportamiento del oxígeno disuelto con respecto al tiempo en donde se ve que se presenta un comportamiento muy diferente, ya que durante el proceso que desarrolla el humedal se pierde el oxígeno, lo que quiere decir que se desarrolla un medio anaerobio con microorganismos anaerobios y facultativos.

#### **GRAFICA 4 RESULTADOS DE OXÍGENO DISUELTO**

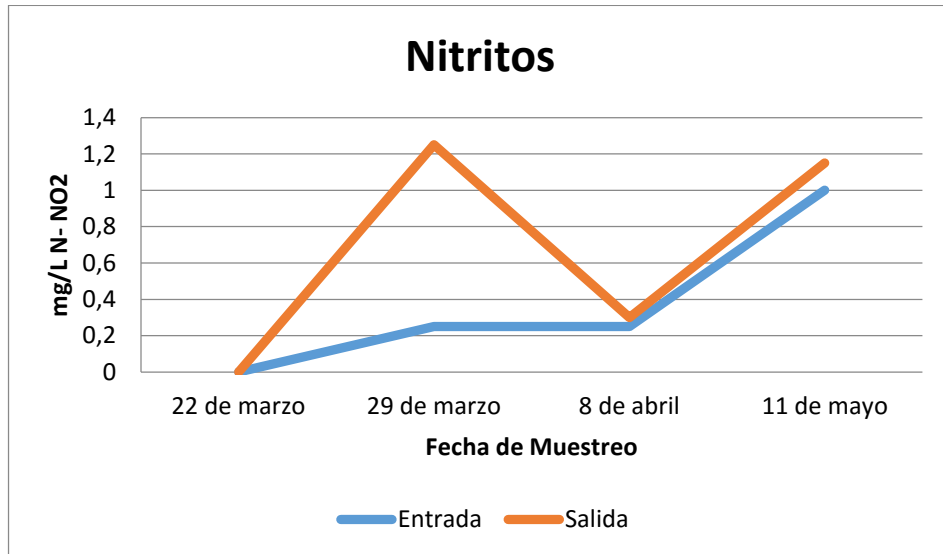


Para los resultados del oxígeno disuelto obtenido en la entrada del humedal se realizó el cálculo de desviación estándar el cual tuvo un valor de 0,8 y el coeficiente de variación fue de 65,9% lo que indica alta variabilidad en la calidad del agua de entrada.

#### 7.4.5. Nitritos

En la siguiente grafica 5 se puede observar el comportamiento de los nitritos en concentración con respecto al tiempo de la toma de muestras del humedal, estos datos presentan un contenido muy bajo, en la entrada y salida del humedal, llegan a casi ser igual a cero.

#### **GRAFICA 5 RESULTADOS NITRITOS**

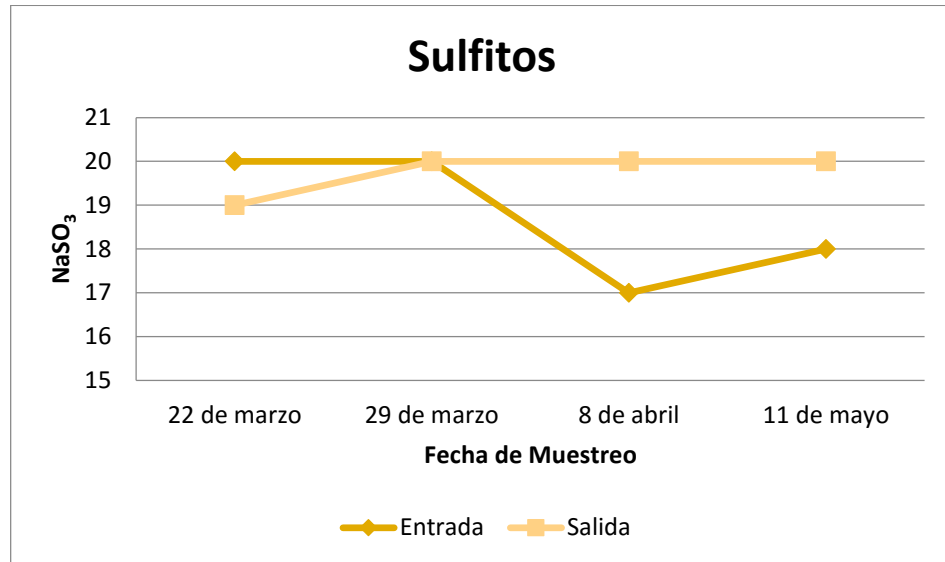


Teniendo en cuenta los resultados de los nitritos obtenidos a la entrada del humedal se realizó un análisis de desviación estándar el cual tuvo un valor de 0.4, el coeficiente de variación fue de 115,4%, esto representa una alta variación en la calidad de agua de entrada, en este parámetro.

#### 7.4.6. Sulfitos

En la gráfica 6 se presentan los cambios notables de los sulfitos, estos se mantuvieron casi estables a la salida del humedal, lo que indica que disminuyeron las sales en el agua y aumentaron los óxidos presentes en el agua.

**GRAFICA 6 RESULTADOS SULFITOS**



Teniendo en cuenta los resultados de los Sulfitos obtenidos en la entrada del humedal se realizó un análisis de desviación estándar el cual tuvo un valor de 1,5 y un coeficiente de variación de 8% lo que significa una baja variación de este parámetro en el agua de entrada.

### 7.5. Cálculo Cinética de Reacción

Uno de los principales resultados de este proyecto de investigación es la remoción de contaminantes del agua residual, esto se evidencia el cálculo de cinética de reacción K, y se aplica la siguiente fórmula:

$$C_e = C_0 e^{-Kt}$$

$C_e$  = Concentración del efluente, mg/L

$C_0$  = Concentración del afluente, mg/L

K = Constante de remoción,  $d^{-1}$

t = Tiempo de retención

Como ya se tienen los valores de la concentración del efluente y el afluente se despeja la fórmula de la siguiente manera:

$$C_e = C_0 e^{-Kt}$$

$$\frac{C_e}{C_0} = e^{-kt}$$

$$\ln\left[\frac{C_e}{C_0}\right] = -kt$$

$$K = \ln\left[\frac{C_e}{C_0}\right] / t$$

Donde,

Ce= 80,0 mg/L

Co= 58,6 mg/L

T= tiempo de retención

$$\ln\left[\frac{80,0 \frac{mg}{L}}{58,6 \frac{mg}{L}}\right] 3,4^{d-1} = 0.091 \text{ d}^{-1}$$

## 8. ANALISIS DE RESULTADOS

### 8.1. Análisis de calidad del agua Humedal

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos y analizando la eficiencia del humedal a escala piloto, este sistema de tratamiento logró 99% de eficiencia en la remoción de *coliformes fecales* y *Escherchia Coli*, por lo cual estos organismos patógenos cumplen con los criterios de calidad que establece la norma para reuso de aguas residuales, por el contrario, durante el proceso se perdió el oxígeno disuelto esto se debió a que ha sido consumido para la degradación de la materia orgánica, por ende esto desarrolla un medio anaerobio con microorganismos anaerobios y facultativos.

Otros parámetros como la  $DBO_5$  y la alcalinidad aumentaron durante una fase del tratamiento, una de las posibles causas pudo ser por la cascarilla de arroz como sustrato orgánico ya que este aporta materia orgánica, el comportamiento del pH se mantuvo constante tanto a la entrada como a la salida del humedal, la conductividad presento una disminución de casi el 28% a la salida del humedal.

### 8.2. Análisis de calidad del agua con cloración

La calidad del agua residual después del sistema de cloración tuvo cambios significativos en *coliformes fecales* y *Escherchia Coli* ya que se removieron en un 100%, por el contrario se presentó un incremento de la conductividad eléctrica, este incremento de conductividad se presentó ya que se agregó una cantidad de cloro superior, debido a que la demanda de cloro que se realizó fue de acuerdo al primer muestreo y a los resultados de los análisis de laboratorio en el que la  $DBO_5$  fue de 58mg/L, mientras que el segundo fue 4mg/L, este tipo de cambios se presentaron por mejoramiento en la eficiencia del sistema de tratamiento que estaba realizando la PTAR del INPEC.

### 8.3. Coeficiente de remoción

Los procesos de remoción de materia orgánica en humedales de flujo subsuperficial son muy efectivos, siempre y cuando se mantengan condiciones óptimas como el tiempo de retención hidráulica, carga orgánica de entrada y profundidad del humedal, este factor “K” es usado para modelar el comportamiento en la remoción de materia orgánica. “K” es la constante de cinética de reacción de primer orden en función de la temperatura,  $d^{-1}$ , esta se modifica por la temperatura según la ecuación de Arrhenius (Otálora Rodríguez, 2011).

La remoción de  $DBO_5$  teniendo en cuenta la cinética de velocidad de reacción “K” fue de  $0.091d^{-1}$  lo que indica que, aunque el humedal funciona muy bien removiendo algunos contaminantes, la constante de remoción de  $DBO_5$  es baja en comparación a otros sistemas similares donde esta constante oscila entre 1.1 y  $1.35d^{-1}$  (Otálora Rodríguez, 2011), lo cual pudo deberse a una baja carga orgánica en el sistema, también al corto tiempo de operación del sistema y la variación en la calidad del agua que se trató.

## 9. CONCLUSIONES

- ✚ Teniendo en cuenta los análisis y parámetros medidos del agua tratada por el humedal, se observa que ésta puede ser reutilizada en el riego de pastos o en cultivos agrícolas y que permite cumplir los requisitos ambientales.
- ✚ De acuerdo con los resultados obtenidos la eficiencia de remoción de la  $DBO_5$  para todo el sistema de un 73,25 % se evidencia el funcionamiento de los humedales artificiales para la remoción de materia orgánica.
- ✚ El uso de la cascarilla de arroz como sustrato orgánico en el humedal, fue de gran importancia ya que, esta presenta óxidos metálicos que hacen que se aumente la alcalinidad y disminuye la acidez del agua, por ende, se disminuyen las grasas dentro del tratamiento.
- ✚ Este tipo de tecnologías demuestran que una vez instalados y operados adecuadamente, tienen un funcionamiento adecuado para remoción de contaminantes en el agua.
- ✚ En cuanto a las plantas sembradas en el humedal, se puede decir que se adaptaron al sustrato usado, lo que demuestra la viabilidad de usar la cascarilla como sustrato en humedales artificiales.
- ✚ Según los resultados obtenidos, se presume que el humedal puede alcanzar mayores porcentajes de remoción de material orgánico y organismos patógenos en niveles óptimos de carga orgánica y flujo continuo de agua, esto mejoraría la calidad del agua para reúso agrícola.

## 10. RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, condiciones climáticas, eficiencia de la Planta de tratamiento del INPEC, y con el fin de mejorar este tipo de tecnologías de humedales, se hacen las siguientes recomendaciones:

- ✚ Una de las principales recomendaciones sería instalar un mejor sistema de aforo para el caudal, con el fin de tener mayor control del agua que ingresa al humedal.
- ✚ Se hace necesario aumentar el número de análisis de laboratorio, ya que en los análisis realizados en el laboratorio AQUALIM mostraron cambios en la calidad del agua del efluente de la PTAR que se trató. Esto fue un limitante en la determinación de las eficiencias de remoción de contaminantes.
- ✚ Para futuros experimentos se recomienda proteger el sistema de aspectos climáticos como la lluvia que pueden influir en el rendimiento del humedal y en las características del agua residual a tratar.
- ✚ Se recomienda evaluar el sistema de tratamiento a una escala más grande.
- ✚ Se recomienda tener en cuenta que la dosis de cloro debe ajustarse de acuerdo a la eficiencia de la PTAR, esto con el fin de evitar incrementos en parámetros importantes como lo es la conductividad.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

- ACUAMEUNIER, S. (2016). *MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL E.P.C. YOPAL, CASANARE*. Yopal.
- Agencia de Cooperación Internacional de Alemania, G. -P. (Febrero de 2011). *Revisión Técnica de Humedales Artificiales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas grises y aguas domésticas*. Obtenido de [http://www.sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/Revisi%C3%B3n%20T%C3%A9cnica%20de%20Humedales%20Artificiales.pdf](http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/Revisi%C3%B3n%20T%C3%A9cnica%20de%20Humedales%20Artificiales.pdf)
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, E. (1999). *Gestión de Aguas Residuales*. Recuperado el 12 de 05 de 2016, de La Ciencia del agua: [http://water.epa.gov/aboutow/owm/upload/2004\\_07\\_07\\_septics\\_cs-99-062.pdf](http://water.epa.gov/aboutow/owm/upload/2004_07_07_septics_cs-99-062.pdf)
- AGUILAR, J. S. (2009). *ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO DE LA CASCARILLA DE ARROZ EN COLOMBIA*. Recuperado el 02 de 03 de 2016, de <http://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/211/2/333.794S571.pdf>
- Alcaldía de Yopal - Casanare. (19 de Julio de 2010). *División Política Rural*. Obtenido de Nuestro Municipio: [http://www.yopal-casanare.gov.co/mapas\\_municipio.shtml?apc=bcxx-1-&x=2596442](http://www.yopal-casanare.gov.co/mapas_municipio.shtml?apc=bcxx-1-&x=2596442)
- Ambiente, G. A. (s.f.). *Calidad de Agua - Desinfección de Aguas Residuales - Guía Ambiental*. Recuperado el 15 de 03 de 2016, de <http://www.guiaambiental.com.ar/conocimiento-calidad-de-agua-desinfeccion-aguas-residuales.html>
- ANALQUIM, A. F. (2015). *Informe de Monitoreo y Caracterización de Agua Residual Doméstica*. Bogota D.C.
- Barrera Escorcia, G., Fernández Rendón, C. L., Wong Chang, I., & Ramírez Romero, P. (2013). *La sensibilidad del grupo coliforme como indicador de la presencia de enterobacterias patógenas en cuatro cuerpos acuáticos de México*. Recuperado el 12 de 05 de 2016, de Identificación de bacterias entéricas: <http://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v23n1/v23n1a9.pdf>
- Borrero, J. A. (05 de 1999). *Depuración de las Aguas Residuales Municipales Con Humedales Artificiales*. Recuperado el 01 de 03 de 2016, de <http://www.ecohabitar.org/wp-content/uploads/2015/09/humedales-artificiales.pdf>
- Características de las aguas residuales, UNAD , U. (s.f.). *Diseno de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Recuperado el 12 de 05 de 2016, de Leccion 1. Origen y características de las aguas residuales:

[http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/unidad\\_1\\_fundamentos\\_y\\_diseño\\_de\\_pretratamientos\\_y\\_tratamientos\\_gruesos.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/unidad_1_fundamentos_y_diseño_de_pretratamientos_y_tratamientos_gruesos.html)

- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Recuperado el 12 de 05 de 2016, de Sustrato (medio granular): [http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/depuracion\\_de\\_aguas\\_residuales\\_por\\_medio\\_de\\_humedales\\_artificiales.pdf](http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf)
- Environmental Protection , A. E. (Septiembre de 1999). *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales*. Recuperado el 12 de 05 de 2016, de Desinfección con cloro: [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/FB0613FDC4933A8005257DC600826FA0/\\$FILE/2004\\_07\\_07\\_septics\\_cs-99-062.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/FB0613FDC4933A8005257DC600826FA0/$FILE/2004_07_07_septics_cs-99-062.pdf)
- Espinosa Ortiz, C. E. (2014). *FACTIBILIDAD DEL DISEÑO DE UN HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES DE 30.000 HABITANTES*. Recuperado el 12 de 05 de 2016, de ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA - JULIO GARAVITO: <http://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/114/1/FACTIBILIDAD%20DEL%20DISEÑO%20DE%20UN%20HUMEDAL%20DE%20FLUJO%20SUBSUPERFICIAL%20PARA%2030000%20HABITANTES.pdf>
- Estrada Gallego, Islena Yineth. (2010). *Monografía sobre humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFSS) para remoción de metales pesados en aguas residuales*. Recuperado el 02 de 03 de 2016, de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1833/1/333918E82.pdf>
- Estrada Gallego, Islena Yineth. (2010). *MONOGRAFÍA SOBRE HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL (HAFSS) PARA REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES*. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1833/1/333918E82.pdf>
- Foster, S., Garduño, H., Tuinhof, A., Kemper, K., & Nanni, M. (2002-2006). *Recarga del Agua Subterránea con Aguas Residuales Urbanas*. Recuperado el 12 de 05 de 2016, de Gestión Sustentable del Agua Subterránea Conceptos y Herramientas: [http://siteresources.worldbank.org/EXTWAT/Resources/4602122-1210186362590/GWM\\_Briefing\\_12\\_sp.pdf](http://siteresources.worldbank.org/EXTWAT/Resources/4602122-1210186362590/GWM_Briefing_12_sp.pdf)
- Fundación Chile . (s.f.). *TECNOLOGÍA DE BIOFILTROS*. Recuperado el 10 de 08 de 2015, de Tecnología No Convencional de tipo Biológico : [http://www.sinia.cl/1292/articles-49990\\_07.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_07.pdf)
- Herrera, G. M., Hormaza Anaguano, A., & Gallego Suarez, D. (Mayo de 2011). *Cascarilla de arroz: material alternativo y de bajo costo para el tratamiento de aguas contaminadas con cromo (vi)*. Recuperado el 12 de 05 de 2016, de Universidad Nacional de Colombia : <http://www.redalyc.org/pdf/1694/169422215006.pdf>

- Instituto de Hidrología, M. y.-R. (10 de Septiembre de 2007). *INSTRUCTIVO PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES*. Obtenido de [http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma\\_Muestras\\_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428](http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428)
- International Journal of Environmental , S. (Febrero de 2013). *Constructed Wetland for Wastewater Treatment and Reuse A Case Study of Developing Country*. Obtenido de <http://www.ijesd.org/papers/296-CD0098.pdf>
- Manga, J., Logreira, N., & Serralt, J. (21 de 12 de 2001 ). *Ingenieria & Desarrollo. Universidad del Norte* . Recuperado el 09 de 05 de 2016, de Reuso de las Aguas Residuales Un Recurso Hídrico Disponible: [http://ciruelo.uninorte.edu.co/pdf/ingenieria\\_desarrollo/9/reuso\\_de\\_aguas\\_residuales.pdf](http://ciruelo.uninorte.edu.co/pdf/ingenieria_desarrollo/9/reuso_de_aguas_residuales.pdf)
- Moscoso Cavallini, J. C. (2011). *Ministerio Federal de Educación e Investigación*. Recuperado el 10 de 05 de 2016, de ESTUDIO DE OPCIONES DE TRATAMIENTO Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES EN LIMA METROPOLITANA: [http://www.lima-water.de/documents/jmoscoco\\_informe.pdf](http://www.lima-water.de/documents/jmoscoco_informe.pdf)
- Organización Panamericana , D. (2007). *GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE SISTEMA DE DESINFECCIÓN*. Recuperado el 12 de 05 de 2016, de Metodos de Desinfección: <http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/agua/guiaseleccsistdesinf.pdf>
- Organización Panamericana De la Salud. (2007). *GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE SISTEMA DE DESINFECCIÓN*. Recuperado el 12 de 05 de 2016, de Metodos de Desinfección: <http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/agua/guiaseleccsistdesinf.pdf>
- Oscar , D., Alan , C., Luis F. , P., & Mauricio , A. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Recuperado el 01 de 03 de 2016, de [http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/depuracion\\_de\\_aguas\\_residuales\\_por\\_medio\\_de\\_humedales\\_artificiales.pdf](http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf)
- Otálora Rodriguez, A. P. (2011). *EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES DE ALTA TASA EN LA LOCACIÓN PETROLERA DE CAÑO GANDÚL*. Recuperado el 12 de 05 de 2016, de UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA: <file:///C:/Users/Katy/Downloads/292544.2011.pdf>
- Pineda, C. (08 de Octubre de 2014). Reuso de las Aguas Residuales: Un Beneficio Economico, Social y Ambiental. (B. RADIO, Entrevistador)
- Rios Izquierdo , J., Cuevas Díaz , M., & De Gyves López , D. (2016). *Fitoremediación preliminar de agua residual urbana con "humedal" prototipo diseñado asumiendo cinética de primer orden*. Obtenido de [file:///E:/Info\\_Trabajo%20de%20Grado/Dctos\\_de%20Información/prototipo.pdf](file:///E:/Info_Trabajo%20de%20Grado/Dctos_de%20Información/prototipo.pdf)

- RODRIGUEZ, A. P. (2011). *EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES DE ALTA TASA EN LA LOCACIÓN PETROLERA DE CAÑO GANDÚL*. Recuperado el 05 de 03 de 2016, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/5044/1/292544.2011.pdf>
- Rodriguez, T. (Febrero de 2015). *Métodos Naturales para Tratamiento de Aguas Residuales*. Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/rodri.pdf>
- Romero Rojas , J. A. (2004). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Secretaria Dsitrial De Medio Ambiente, S. (s.f.). *Secretaria Distrital De Medio Ambiente*. Recuperado el 13 de 03 de 2016, de Recurso hídrico subterráneo: <http://ambientebogota.gov.co/aguas-subterraneeas>
- SIERRA AGUILAR, J. (2009). *ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO DE LA CASCARILLA DE ARROZ EN COLOMBIA*. Recuperado el 12 de 05 de 2016, de UNIVERSIDAD DE SUCRE - REPOSITORIO : <http://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/211/2/333.794S571.pdf>
- Suárez, A., Mesa, P., Bravo, V., & Prieto, A. (06 de 2015). *Evaluación de un sistema de filtros de cascarilla de arroz y luffa cylindrica para el tratamiento de aguas lluvias*. Recuperado el 12 de 05 de 2016, de Universidad Jorge Tadeo Lozano: <file:///C:/Users/Katy/Downloads/1015-2701-1-PB.pdf>
- Technology, B. (29 de Noviembre de 2002). *Characterization of five agricultural by-products as potential biofilter carriers*. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852402003152>
- TREATMENT WATER. (s.f.). *Fuentes de contaminación de aguas subterráneas*. Recuperado el 15 de 03 de 2016, de <http://www.lenntech.es/agua-subterranea/fuentes-contaminacion.htm>

## 12. ANEXOS



### ANEXO 1 INFORME DE RESULTADOS PRIMER MUESTREO – ENTRADA Y SALIDA HUMEDAL



**AQUALIM**

LABORATORIO AMBIENTAL ESPECIALIZADO EN AGUAS, ALIMENTOS Y SUELOS.  
ESTABLECIMIENTO COMERCIAL DE SQR S.A.S.  
NIT. 844.002.657-1



INFORME DE RESULTADOS 700-16				
DATOS DEL SOLICITANTE				
EMPRESA	SANDY KATHERYNE HIGUERA INFANTE			
NIT/C.C.	1117323777			
DIRECCION	TRANSVERSAL 10 N° 29-86			
MUNICIPIO	YOPAL- CASANARE			
TELEFONO	3212662596			
DATOS DE LA MUESTRA				
MUNICIPIO DE RECOLECCION	YOPAL- CASANARE			
DIRECCION DE TOMA	TRANSVERSAL 18 #14-65			
LUGAR DE TOMA DE MUESTRA	UNAD			
TIPO DE MUESTRA	SIMPLE			
MATRIZ	AGUA RESIDUAL DOMESTICA			
FUENTE	SALIDA HUMEDAL			
RECOLECTADA POR	CLIENTE: SANDY KATHERYNE HIGUERA			
PLAN Y PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	CLIENTE; NO REPORTA			
FECHA DE RECOLECCION	2016-04-08			
HORA DE RECOLECCION	15:00			
FECHA Y HORA DE RECEPCION	2016-04-08; 15:30			
FECHA DE ANALISIS	2016-04-08 A 2016-04-14			
ANALISIS DE LABORATORIO				
PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	TECNICA	METODO
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA*	383	µsiemens/cm	ELECTROMETRICO	SM 2510 B
DBO5*	58,6	mg O2 /L	INCUBACION A 5 DIAS - ELECTRODO DE LUMINISCENCIA	SM 5210 B - EPA 360.3
COLIFORMES TOTALES*	1483	NMP/100 mL	SUSTRATATO ENZIMATICO	SM 9223B
ESCHERCHIA COLI*	933	NMP/100 mL	SUSTRATATO ENZIMATICO	SM 9223B
OBSERVACIONES: *PARAMETROS ACREDITADOS; NMP:NUMERO MAS PROBABLE; UFC:UNIDADES FORMADORAS DE COLONIAS;MNP: MUY NUMEROSAS PARA CONTAR; **PARAMETROS SUBCONTRATADOS; N.D.:NO DETECTABLE				
<p>Los resultados analíticos del presente informe corresponden exclusivamente a la muestra recibida en el laboratorio AQUALIM. Resultados válidos únicamente para las muestras analizadas. Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita de Laboratorio AQUALIM. Solamente son válidas las copias autorizadas con el sello seco del laboratorio. SM: STANDAR METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. 22 EDITION, 2012. LOS ANALISIS DE PH, CLORO, CONDUCTIVIDAD, OXIGENO DISUELTO Y TEMPERATURA EN MUESTRAS RECOLECTADAS POR AQUALIM, CORRESPONDEN A MEDICIONES IN SITU</p>				
FL-RST-01 Rev. No 04 - Acta No 143	 ALEJANDRO CALDERON JIMENEZ ING QCO DIRECTOR DE LABORATORIO REVISÓ Y APROBÓ			
FIN DEL RESULTADO				

Carrera 23 No 19 - 15 Yopal - Casanare - Tel.: (098) 632 4402 - Fax: (098) 635 9090 - Cels.: 310 349 0629 - 320 301 7075  
gerencia@aqualim.com - cotizaciones@aqualim.com - www.aqualim.com



Página 1 de 1



# AQUALIM

LABORATORIO AMBIENTAL ESPECIALIZADO EN AGUAS, ALIMENTOS Y SUELOS.  
ESTABLECIMIENTO COMERCIAL DE SQR S.A.S.  
NIT. 844.002.657-1



INFORME DE RESULTADOS				
699-16				
DATOS DEL SOLICITANTE				
EMPRESA	SANDY KATHERYNE HIGUERA INFANTE			
NIT/C.C.	1117323777			
DIRECCION	TRANSVERSAL 10 N° 29-86			
MUNICIPIO	YOPAL- CASANARE			
TELEFONO	3212662596			
DATOS DE LA MUESTRA				
MUNICIPIO DE RECOLECCION	YOPAL- CASANARE			
DIRECCION DE TOMA	TRANSVERSAL 18 #14-65			
LUGAR DE TOMA DE MUESTRA	UNAD			
TIPO DE MUESTRA	SIMPLE			
MATRIZ	AGUA RESIDUAL DOMESTICA			
FUENTE	ENTRADA HUMEDAL			
RECOLECTADA POR	CLIENTE: SANDY KATHERYNE HIGUERA			
PLAN Y PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	CLIENTE; NO REPORTA			
FECHA DE RECOLECCION	2016-04-08			
HORA DE RECOLECCION	15:00			
FECHA Y HORA DE RECEPCION	2016-04-08; 15:30			
FECHA DE ANALISIS	2016-04-08 A 2016-04-14			
ANALISIS DE LABORATORIO				
PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	TECNICA	METODO
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA*	528	µsiemens/cm	ELECTROMETRICO	SM 2510 B
DBO5*	80,0	mg O2 /L	INCUBACION A 5 DIAS - ELECTRODO DE LUMINISCENCIA	SM 5210 B - EPA 360,3
COLIFORMES TOTALES*	207500	NMP/100 mL	SUSTRATATO ENZIMATICO	SM 9223B
ESCHERCHIA COLI*	149700	NMP/100 mL	SUSTRATATO ENZIMATICO	SM 9223B
OBSERVACIONES: *PARAMETROS ACREDITADOS; NMP:NUMERO MAS PROBABLE; UFC:UNIDADES FORMADORAS DE COLONIAS;MNP: MUY NUMEROSAS PARA CONTAR; **PARAMETROS SUBCONTRATADOS; N,D:NO DETECTABLE				
<p>Los resultados analíticos del presente informe corresponden exclusivamente a la muestra recibida en el laboratorio: AQUALIM. Resultados válidos únicamente para las muestras analizadas. Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita de Laboratorio AQUALIM. Solamente son válidas las copias autorizadas con el sello seco del laboratorio. SM: STANDAR METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. 22 EDITION, 2012. LOS ANALISIS DE PH, CLORO, CONDUCTIVIDAD, OXIGENO DISUELTO Y TEMPERATURA EN MUESTRAS RECOLECTADAS POR AQUALIM, CORRESPONDEN A MEDICIONES IN SITU.</p>				
FL-RST-01 Rev. No 04 - Acto No 143	 ALEJANDRO CALDERON JIMENEZ ING QCO DIRECTOR DE LABORATORIO REVISÓ Y APROBÓ			
FIN DEL RESULTADO				

Carrera 23 No 19 - 15 Yopal - Casanare - Tel.: (098) 632 4402 - Fax: (098) 635 9090 - Cels.: 310 349 0629 - 320 301 7075  
[gerencia@aqualim.com](mailto:gerencia@aqualim.com) - [cotizaciones@aqualim.com](mailto:cotizaciones@aqualim.com) - [www.aqualim.com](http://www.aqualim.com)

## ANEXO 2 INFORME DE RESULTADOS DEMANDA DE CLORO



### AQUALIM

LABORATORIO AMBIENTAL ESPECIALIZADO EN AGUAS, ALIMENTOS Y SUELOS.  
ESTABLECIMIENTO COMERCIAL DE SQR S.A.S.  
NIT. 844.002.657-1



INFORME DE RESULTADO 701-16				
DATOS DEL SOLICITANTE				
EMPRESA	SANDY KATHERYNE HIGUERA INFANTE			
NIT/C.C.	1117323777			
DIRECCION	TRANSVERSAL 10 N° 29-86			
MUNICIPIO	YOPAL- CASANARE			
TELEFONO	3212662596			
DATOS DE LA MUESTRAD				
MUNICIPIO DE RECOLECCION	YOPAL- CASANARE			
DIRECCION DE TOMA	TRANSVERSAL 18 #14-65			
LUGAR DE TOMA DE MUESTRA	UNAD			
TIPO DE MUESTRA	SIMPLE			
MATRIZ	AGUA RESIDUAL DOMESTICA			
FUENTE	SALIDA HUMEDAL			
RECOLECTADA POR	CLIENTE: SANDY KATHERYNE HIGUERA			
PLAN Y PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	CLIENTE; NO REPORTA			
FECHA DE RECOLECCION	2016-04-08			
HORA DE RECOLECCION	15:00			
FECHA Y HORA DE RECEPCION	2016-04-08; 15:30			
FECHA DE ANALISIS	2016-04-08 A 2016-04-13			
ENSAYO DEMANDA DE CLORO				
CONDICIONES CON DOSIS OPTIMA DE COAGULANTE	pH	COLOR (PtCo)	TURBIEDAD (NTU)	TEMPERATURA (°C)
	-	-	-	-
CONCENTRACION DE SOLUCION DE CLORO UTILIZADA		380mg Cl <sub>2</sub> /L		
TIEMPO DE REACCION		30 MINUTOS		
ALICUOTA	mL de solucion de cloro adicionados/100 mL	Dosis de Cloro (mg/L)	Cloro residual (mg/L)	
1	2,60	10,0	0,20	
2	3,90	15,0	0,52	
3	5,70	20,0	0,84	
4	6,50	25,0	1,11	
5	7,90	30,0	1,49	
6	9,20	35,0	1,62	

Carrera 23 No 19 - 15 Yopal - Casanare - Tel.: (098) 632 4402 - Fax: (098) 635 9090 - Cels.: 310 349 0629 - 320 301 7075  
gerencia@aqualim.com - cotizaciones@aqualim.com - www.aqualim.com



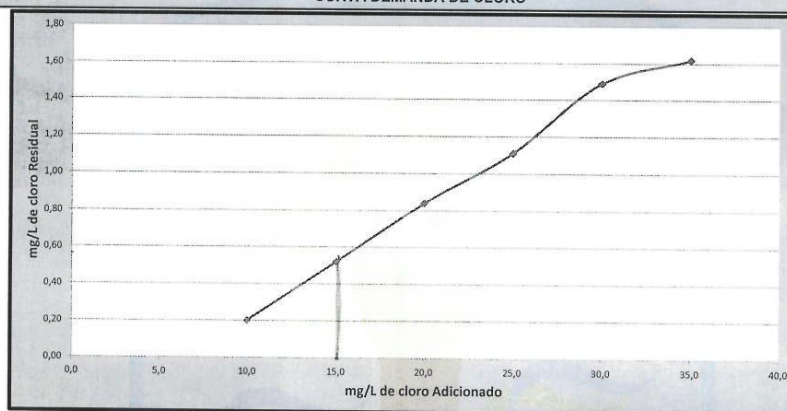
# AQUALIM

LABORATORIO AMBIENTAL ESPECIALIZADO EN AGUAS, ALIMENTOS Y SUELOS.  
ESTABLECIMIENTO COMERCIAL DE SQR S.A.S.  
NIT. 844.002.657-1



PAGINA 2 DE 2

### CURVA DEMANDA DE CLORO




#### OBSERVACIONES:

Los resultados analíticos del presente informe corresponden exclusivamente a la muestra recibida en el laboratorio AQUALIM.  
Resultados válidos únicamente para las muestras analizadas.  
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita de Laboratorio AQUALIM.  
Solamente son válidas las copias autorizadas con el sello seco del laboratorio.  
SM: STANDAR METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. 22 EDITION, 2012.  
LOS ANALISIS DE PH, CLORO, CONDUCTIVIDAD, OXIGENO DISUELTUO Y TEMPERATURA EN MUESTRAS RECOLECTADAS POR AQUALIM. CORRESPONDEN A MEDICIONES IN SITU.

FL-RST-01  
Rev. No 04 - Acta No 143

FIN DEL RESULTADO

  
ALEJANDRO CALDERON JIMENEZ  
ING OCO DIRECTOR DE LABORATORIO  
REVISO Y APROBO



Carrera 23 No 19 - 15 Yopal - Casanare - Tel.: (098) 632 4402 - Fax: (098) 635 9090 - Cels.: 310 349 0629 - 320 301 7075  
gerencia@aqualim.com - cotizaciones@aqualim.com - www.aqualim.com

### ANEXO 3 INFORME DE RESULTADOS SEGUNDO MUESTREO – CON CLORACIÓN





## AQUALIM

LABORATORIO AMBIENTAL ESPECIALIZADO EN AGUAS, ALIMENTOS Y SUELOS.  
ESTABLECIMIENTO COMERCIAL DE SQR S.A.S.  
NIT. 844.002.657-1



LABORATORIO ACREDITADO  
Resolución 2371  
de 2010 del Departamento de Ambiente

INFORME DE RESULTADOS				
950-16				
DATOS DEL SOLICITANTE				
EMPRESA	SANDY KATHERYNE HIGUERA INFANTE			
NIT/C.C.	1117323777			
DIRECCION	TRANSVERSAL 10 N° 29-86			
MUNICIPIO	YOPAL- CASANARE			
TELEFONO	3212662596			
DATOS DE LA MUESTRA				
MUNICIPIO DE RECOLECCION	YOPAL- CASANARE			
DIRECCION DE TOMA	CARRERA 15 #14-65			
LUGAR DE TOMA DE MUESTRA	ENTRADA			
TIPO DE MUESTRA	SIMPLE			
MATRIZ	AGUA RESIDUAL DOMESTICA			
FUENTE	PTAR INPEC			
RECOLECTADA POR	CLIENTE: SANDY KATHERYNE HIGUERA			
PLAN Y PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	CLIENTE; NO REPORTA			
FECHA DE RECOLECCION	2016-05-11			
HORA DE RECOLECCION	10:00			
FECHA Y HORA DE RECEPCION	2016-05-11; 11:20			
FECHA DE ANALISIS	2016-05-11 A 2016-05-17			
ANALISIS DE LABORATORIO				
PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	TECNICA	METODO
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA*	312	µsiemens/cm	ELECTROMETRICO	SM 2510 B
DBO5*	4,2	mg O2 /L	INCUBACION A 5 DIAS - ELECTRODO DE LUMINISCENCIA	SM 5210 B - EPA 360,3
COLIFORMES TOTALES*	287800	NMP/100 mL	SUSTRATO ENZIMATICO	SM 9223B
ESCHERCHIA COLI*	1000	NMP/100 mL	SUSTRATO ENZIMATICO	SM 9223B
OBSERVACIONES: *PARAMETROS ACREDITADOS; NMP: NUMERO MAS PROBABLE; UFC: UNIDADES FORMADORAS DE COLONIAS; MNP: MUY NUMEROSAS PARA CONTAR; **PARAMETROS SUBCONTRATADOS; N.D: NO DETECTABLE				
LA MUESTRA PARA ANALISIS MICROBIOLOGICO NO PRESENTA CAMARA DE AIRE				
Los resultados analíticos del presente informe corresponden exclusivamente a la muestra recibida en el laboratorio AQUALIM. Resultados validos unicamente para las muestras analizadas. Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita de Laboratorio AQUALIM. Solamente son validas las copias autorizadas con el sello seco del laboratorio. SM: STANDAR METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. 22 EDITION, 2012. LOS ANALISIS DE PH, CLORO, CONDUCTIVIDAD, OXIGENO DISUELTO Y TEMPERATURA EN MUESTRAS RECOLECTADAS POR AQUALIM, CORRESPONDEN A MEDICIONES IN SITU.				
FL-RST-01 Rev. No 04 - Acta No 143	 ALEJANDRO CALDERON JIMENEZ ING QCO DIRECTOR DE LABORATORIO REVISÓ Y APROBÓ			
FIN DEL RESULTADO				

Carrera 23 No 19 - 15 Yopal - Casanare - Tel.: (098) 632 4402 - Fax: (098) 635 9090 - Cels.: 310 349 0629 - 320 301 7075  
gerencia@aqualim.com - cotizaciones@aqualim.com - www.aqualim.com

Página 1 de 1



# AQUALIM

LABORATORIO AMBIENTAL ESPECIALIZADO EN AGUAS, ALIMENTOS Y SUELOS.  
ESTABLECIMIENTO COMERCIAL DE SQR S.A.S.  
NIT. 844.002.657-1



LABORATORIO ACREDITADO  
Resolución 2371  
26 de Septiembre de 2012

## INFORME DE RESULTADOS

### 949-16

#### DATOS DEL SOLICITANTE

EMPRESA	SANDY KATHERYNE HIGUERA INFANTE
NIT/C.C.	1117323777
DIRECCION	TRANSVERSAL 10 N° 29-86
MUNICIPIO	YOPAL- CASANARE
TELEFONO	3212662596

#### DATOS DE LA MUESTRA

MUNICIPIO DE RECOLECCION	YOPAL- CASANARE
DIRECCION DE TOMA	CARRERA 15 #14-65
LUGAR DE TOMA DE MUESTRA	SALIDA
TIPO DE MUESTRA	SIMPLE
MATRIZ	AGUA RESIDUAL DOMESTICA
FUENTE	HUMEDAL
RECOLECTADA POR	CLIENTE: SANDY KATHERYNE HIGUERA
PLAN Y PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	CLIENTE; NO REPORTA
FECHA DE RECOLECCION	2016-05-11
HORA DE RECOLECCION	10:00
FECHA Y HORA DE RECEPCION	2016-05-11; 11:20
FECHA DE ANALISIS	2016-05-11 A 2016-05-17

#### ANALISIS DE LABORATORIO

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	TECNICA	METODO
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA*	319	µsiemens/cm	ELECTROMETRICO	SM 2510 B
DBO5*	9,9	mg O2 /L	INCUBACION A 5 DIAS - ELECTRODO DE LUMINISCENCIA	SM 5210 B - EPA 360.3
COLIFORMES TOTALES*	5012	NMP/100 mL	SUSTRATO ENZIMATICO	SM 9223B
ESCHERCHIA COLI*	20	NMP/100 mL	SUSTRATO ENZIMATICO	SM 9223B

OBSERVACIONES: \*PARAMETROS ACREDITADOS; NMP:NUMERO MAS PROBABLE; UFC:UNIDADES FORMADORAS DE COLONIAS;MNPC:MUY NUMEROSAS PARA CONTAR;\*\*PARAMETROS SUBCONTRATADOS; N.D:NO DETECTABLE

Los resultados analíticos del presente informe corresponden exclusivamente a la muestra recibida en el laboratorio AQUALIM  
Resultados validos unicamente para las muestras analizadas.  
Prohibida la reproduccion total o parcial de este informe sin la autorizacion escrita de Laboratorio AQUALIM.  
Solamente son validas las copias autorizadas con el sello seco del laboratorio  
SM: STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. 22 EDITION, 2012.  
LOS ANALISIS DE PH, CLORO, CONDUCTIVIDAD, OXIGENO DISUELTO Y TEMPERATURA EN MUESTRAS RECOLECTADAS POR AQUALIM. CORRESPONDEN A MEDICIONES IN SITU

FL-RST-01  
Rev. No 04 - Acta No 143

ALEJANDRO CALDERON JIMENEZ  
ING OCO DIRECTOR DE LABORATORIO  
REVISO Y APROBO



FIN DEL RESULTADO

Carrera 23 No 19 - 15 Yopal - Casanare - Tel.: (098) 632 4402 - Fax: (098) 635 9090 - Cels.: 310 349 0629 - 320 301 7075  
gerencia@aqualim.com - cotizaciones@aqualim.com - www.aqualim.com

Página 1 de 1



# AQUALIM

LABORATORIO AMBIENTAL ESPECIALIZADO EN AGUAS, ALIMENTOS Y SUELOS.  
ESTABLECIMIENTO COMERCIAL DE SQR S.A.S.  
NIT. 844.002.657-1



LABORATORIO ACREDITADO  
Resolución 2371  
26 de Septiembre de 2012

## INFORME DE RESULTADOS

951-16

### DATOS DEL SOLICITANTE

EMPRESA	SANDY KATHERYNE HIGUERA INFANTE
NIT/C.C.	1117323777
DIRECCION	TRANSVERSAL 10 N° 29-86
MUNICIPIO	YOPAL- CASANARE
TELEFONO	3212662596

### DATOS DE LA MUESTRA

MUNICIPIO DE RECOLECCION	YOPAL- CASANARE
DIRECCION DE TOMA	CARRERA 15 #14-65
LUGAR DE TOMA DE MUESTRA	SALIDA-CLORO
TIPO DE MUESTRA	SIMPLE
MATRIZ	AGUA RESIDUAL DOMESTICA
FUENTE	HUMEDAL
RECOLECTADA POR	CLIENTE: SANDY KATHERYNE HIGUERA
PLAN Y PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	CLIENTE; NO REPORTA
FECHA DE RECOLECCION	2016-05-11
HORA DE RECOLECCION	10:00
FECHA Y HORA DE RECEPCION	2016-05-11; 11:20
FECHA DE ANALISIS	2016-05-11 A 2016-05-17

### ANALISIS DE LABORATORIO

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	TECNICA	METODO
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA*	4800	µsiemens/cm	ELECTROMETRICO	SM 2510 B
DBO5*	<4,0	mg O2 /L	INCUBACION A 5 DIAS - ELECTRODO DE LUMINISCENCIA	SM 5210 B - EPA 960.3
COLIFORMES TOTALES*	<10	NMP/100 mL	SUSTRATATO ENZIMATICO	SM 9223B
ESCHERCHIA COLI*	<10	NMP/100 mL	SUSTRATATO ENZIMATICO	SM 9223B

OBSERVACIONES: \*PARAMETROS ACREDITADOS; NMP:NUMERO MAS PROBABLE; UFC:UNIDADES FORMADORAS DE COLONIAS;MNPC:MUY NUMEROSAS PARA CONTAR;\*\*PARAMETROS SUBCONTRATADOS; N.D:NO DETECTABLE  
LA MUESTRA PARA ANALISIS MICROBIOLÓGICO NO PRESENTA CAMARA DE AIRE

Los resultados analíticos del presente informe corresponden exclusivamente a la muestra recibida en el laboratorio AQUALIM.  
Resultados válidos únicamente para las muestras analizadas.  
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita de Laboratorio AQUALIM.  
Solo son válidas las copias autorizadas con el sello seco del laboratorio.  
SM: STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. 22 EDITION, 2012.  
LOS ANALISIS DE PH, CLORO, CONDUCTIVIDAD, OXIGENO DISUELTO Y TEMPERATURA EN MUESTRAS RECOLECTADAS POR AQUALIM, CORRESPONDEN A MEDICIONES IN SITU

FL-RST-01  
Rev. No 04 - Acta No 143

FIN DEL RESULTADO

ALEJANDRO CALDERON JIMENEZ  
ING QCO DIRECTOR DE LABORATORIO  
REVISÓ Y APROBÓ



Carrera 23 No 19 - 15 Yopal - Casanare - Tel.: (098) 632 4402 - Fax: (098) 635 9090 - Cels.: 310 349 0629 - 320 301 7075  
gerencia@aqualim.com - cotizaciones@aqualim.com - www.aqualim.com