

**POSTRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN PLANTAS DE BENEFICIO
DE GANADO PORCINO Y BOVINO UTILIZANDO HUMEDALES
ARTIFICIALES**

DIANA CAROLINA VIVEROS MONJE

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Manizales, Colombia

2016

**POSTRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN PLANTAS DE BENEFICIO
DE GANADO PORCINO Y BOVINO UTILIZANDO HUMEDALES
ARTIFICIALES**

DIANA CAROLINA VIVEROS MONJE

Cohorte XI

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Director:

Nelson Rodríguez Valencia, Ingeniero Químico Ph.D.

Línea de Investigación: Biosistemas Integrados

Doctor:

Jhon Freddy Betancur

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas

Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Manizales, Colombia

2016

RESUMEN

En la presente investigación se evaluó el uso de humedales artificiales para el postratamiento de las aguas residuales provenientes de la planta de beneficio de ganado bovino y porcino de CEAGRODEX DEL HUILA, con el fin de disminuir el impacto ambiental que tienen las aguas tratadas en lagunas de oxidación y lograr el cumplimiento de los requerimientos establecidos en la normativa hídrica vigente.

Se evaluaron 15 tratamientos a saber: 3 materiales biológicos, 2 de ellos plantas emergentes: *Limnocharis flava*, *Typha latifolia* y una planta flotante: *Heteranthera reniformis*, 2 controles (uno para las plantas flotantes y otro para la planta emergente), a 3 concentraciones del efluente de la laguna de oxidación: sin diluir, diluidos al 40% y diluidos al 10%.

Las variables evaluadas fueron: tasa de crecimiento de las plantas estudiadas y parámetros de eliminación de carga orgánica y microbiológica: DQO, Sólidos Totales, Sólidos Suspendidos Totales, Coliformes totales y Coliformes fecales.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la investigación, los valores promedio de remoción de la carga orgánica evaluada como DQO y SST, en los diferentes tratamientos, que funcionaron con el efluente de la laguna de oxidación sin diluir fueron: 58,29% (CV=18,11%) y 3,98% (CV=745%) respectivamente, para la planta emergente *Limnocharis flava*, del 67,93% (CV=9,96%) y 23,90% (CV=111%) respectivamente, para la planta emergente *Typha latifolia*, del 56,90% (CV=21,79%) y -15,14% (CV=-275%) respectivamente, para la planta flotante *Heteranthera reniformis*. Todas las especies mostraron una gran eficiencia en la remoción de los coliformes fecales, cuyos valores promedio de eliminación, estuvieron para todos los tratamientos, en el rango entre 91,97% y 100%.

La tasa de crecimiento de las macrofitas emergentes fue de 0,29 g/d para *Limnocharis flava*, de 0,34 cm/d para *Typha latifolia* y de 0,39 g/d para la planta flotante *Heteranthera reniformis*.

La presente investigación permitió seleccionar a la planta emergente *Typha latifolia*, como la especie acuática más apropiada para el postratamiento de las aguas de las centrales de sacrificio, considerando aspectos tales como, eliminación de contaminantes, tasas de crecimiento, resistencia a enfermedades y plagas y permitiendo que las aguas residuales de las centrales de sacrificio cumplan con los requerimientos exigidos en la normativa ambiental vigente.

Palabras claves: Humedales artificiales, Postratamiento de agua, Plantas flotantes, Plantas emergentes, Saneamiento Básico, Aguas residuales centrales de sacrificio, *Limnocharis flava*, *Typha latifolia*, *Heteranthera reniformis*.

SUMMARY

In the present investigation, the use of artificial wetlands in post-treatment of the wastewater plant of bovine and porcine benefit in CEAGRODEX DEL HUILA, was evaluated in order to reduce the environmental impact that treated waters has in oxidation lagoons and achieve compliance with the requirements established in current water regulations.

Fifteen treatments were evaluated: 3 biological materials, 2 of them emergent plants: *Limnocharis flava*, *Typha latifolia* and a floating plant: *Heteranthera reniformis*, 2 controls (one for floating plants and one for the emergent plant), to 3 concentrations of the oxidation lagoon effluent: undiluted, diluted to 40% and diluted to 10%.

The evaluated variables were: plants growth rate and required parameters for determination of organic and microbiological load elimination: COD, Total Solids, Total Suspended Solids, and Total and Fecal Coliforms.

According to the results obtained in the investigation, the average values of removal of the organic load evaluated as COD and SST, in the different treatments, that worked with the effluent of the undiluted oxidation lagoon were: 58,29% (CV=9,96%) and 23,90% (CV=111%) respectively for the emerging plant *Limnocharis flava*, 67,93% (CV = 9,96%) and 3,90% respectively, for the emergent plant *Typha latifolia*, 56,90% (CV=21,79%) and -15,14% (CV= -275%), respectively, for the floating plant *Heteranthera reniformis*. All species showed a high efficiency in the removal of fecal coliforms, whose mean values of elimination were for all treatments, ranging from 91,97% to 100%.

The growth rate of emergent macrophytes was 0,29 g/d for *Limnocharis flava*, 0,34 cm/d for *Typha latifolia* and 0,39 g/d for the floating plant *Heteranthera reniformis*.

The present research allowed to select the emergent plant *Typha latifolia*, as the aquatic species most appropriate for the after treatment of the waters of the slaughterhouses, considering aspects such as pollutant elimination, growth rates, resistance to diseases and pests and allowing That the wastewater from the slaughterhouse complies with the requirements of the current environmental regulations.

Key words: Artificial wetlands, Water post-treatment, Floating plants, Emerging plants, Basic sanitation, Central wastewater for slaughter, *Limnocharis flava*, *Typha latifolia*, *Heteranthera reniformis*.

TABLA DE CONTENIDO

Contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	12
2	JUSTIFICACIÓN.....	14
3	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	15
4	PREGUNTA DE INVESTIGACION	16
5	OBJETIVOS.....	17
5.1	OBJETIVO GENERAL.....	17
5.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS	17
6	HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	18
7	MARCO TEÓRICO	19
7.1	Estado del recurso hídrico en Colombia	19
7.2	Principales contaminantes del recurso hídrico.....	20
7.2.1	Uso Doméstico:	21
7.2.2	Uso Agrícola:.....	21
7.2.3	Uso Industrial:	22
7.2.4	Efectos en la Salud por la Contaminación del Agua	22
7.2.5	Organismos Patógenos	23
7.3	Metodologías para la determinación de los principales contaminantes del recurso hídrico.....	23
7.3.1	Métodos para la remoción de los contaminantes del agua.	23
7.3.2	HUMEDALES:	25
7.3.3	HUMEDALES ARTIFICIALES:	25
7.4	Tipos de vegetación usados en los humedales.....	27

7.5	Tipos de vegetación usados en los humedales de la presente investigación.....	28
7.5.1	Limnocharis flava.....	29
7.5.2	Typha latifolia	30
7.5.3	Henteranthera reniformis:.....	31
7.6	PLANTAS DE BENEFICIO DE GANADO BOVINO Y PORCINO.....	32
8	Marco contextual	35
9	MARCO LEGAL	39
10	MATERIALES Y MÉTODOS.....	42
10.1	Lugar donde se realizó la investigación	42
La investigación se desarrolló en las instalaciones de CEAGRODEX DEL HUILA S.A. la cual cuenta con un tratamiento de aguas residuales.		42
10.2	DESCRIPCIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CEAGRODEX DEL HUILA S.A.	42
10.3	Fecha de realización.....	48
10.4	Materiales.	48
10.5	Material Biológico:	49
10.6	Materiales de Construcción:.....	49
10.7	Métodos.....	50
11	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	55
11.1	Construcción de las canastillas con el agua residual de experimentación	55
12	CONCLUSIONES.....	72
13	BIBLIOGRAFÍA	73

INDICE DE FOTOS

Foto 1 Viveros Monje D. C.; 2016; CEAGRODEX DEL HUILA S.A; <i>Limnocharis flava</i>	29
Foto 2 Viveros Monje D. C.; 2016; CEAGRODEX DEL HUILA S.A; detalle de tallos de <i>Limnocharis flava</i>	30
Foto 3 Brote de <i>Typha latifolia</i> Viveros Monje D. C.; 2016; CEAGRODEX DEL HUILA S.A.....	30
Foto 4 <i>Typha latifolia</i> detalle de sus hojas Viveros Monje D. C.; 2016; CEAGRODEX DEL HUILA S.A.....	31
Foto 5 ramificación de las hojas de la <i>Typha latifolia</i> ; Viveros Monje D. C.; 2016; CEAGRODEX DEL HUILA S.A.....	31
Foto 6 distribución <i>Henteranthera</i> Viveros Monje D. C.; 2016; CEAGRODEX DEL HUILA S.A.....	32
Foto 7 crecimiento de <i>Henteranthera</i> Viveros Monje D. C.; 2016; CEAGRODEX DEL HUILA S.A.....	32
Foto 8 <i>Foto satelital Ceagrodex del Huila S.A.; Google Earth</i>	36
Foto 9 <i>Vista satelital de la Planta de Beneficio Ceagrodex del Huila S.A., FUENTE: Google Earth</i>	42
Foto 10 <i>tanque Zig-zag</i> Viveros Monje D. C.; 2016; CEAGRODEX DEL HUILA S.A....	44
Foto 11 Trampas de Grasa Viveros Monje D. C.; 2016; CEAGRODEX DEL HUILA S.A	45
Foto 12 <i>laguna de oxidación Ceagrodex del Huila S.A.</i> Foto 13 <i>Filtro con Grava Ceagrodex del Huila S.A.</i> DIAGRAMA PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	46
Foto 14 Montaje de lagunas artificiales; Viveros Monje D. C.; 2016; CEAGRODEX DEL HUILA S.A.....	56
Foto 15 Plantación en lagunas artificiales; Viveros Monje D. C.; 2016; CEAGRODEX DEL HUILA S.A.....	56
Foto 17 Cogollos de <i>Typha latifolia</i> en concentración de 40%; Viveros Monje D.C.; CEAGRODEX DEL HUILA S.A.....	71

Foto 18 Plantacion de <i>Typha latifolia</i> a concentración de 40%; Viveros Monje D.C.; 2016; CEAGRODEXDEL HUILA S.A.	71
Foto 19 Crecimiento de las hojas de <i>Typha</i> a concentraciones del 40% Viveros Monje D.C.; 2016; CEAGRODEXDEL HUILA S.A.	71

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: ESQUEMA DEL <i>SISTEMA DE AGUAS RESIDUALES PLANTA DE BENEFICIO CEAGRODEX DEL HUILA</i>	34
Figura 2 Corporación Tolimense de Cuencas Hidrograficas y del Medio Ambiente CORCUENCAS Ccaracterización de entrada y salida de la laguna de Oxidación de CEAGRODEX DEL HUILA S.A.	35
Figura 3 Diagrama proceso de tratamiento de aguas residuales; <i>Manua aguas residuales Bovinos-2016</i>	47
Figura 4. Distribución de lagunas artificiales al 100%.....	51
Figura 5 Distribución de lagunas artificiales al 40%	51
Figura 6 Distribución de lagunas artificiales al 10%.....	52

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Relación de normas ambientales para el recurso hídrico</i>	41
Tabla 2 Descripción de los tratamientos evaluados.....	52
Tabla 3 Resultados de los parámetros evaluados en el agua residual a la salida de la laguna de oxidación.....	57
Tabla 4. Características de las aguas utilizadas en los humedales	58
Tabla 5 Resultados de los efluentes del primer muestreo realizado.....	58
Tabla 6 . Resultados de la eliminación de la contaminación en el primer muestreo realizado	59
Tabla 7 Resultados de los efluentes del segundo muestreo realizado	60
Tabla 8 Resultados de la eliminación de la contaminación en el segundo muestreo realizado	61
Tabla 9 Resultados de los efluentes del tercer muestreo realizado	62
Tabla 10 Resultados de la eliminación de la contaminación en el tercer muestreo realizado	63
Tabla 11 Seguimiento de crecimiento de las especies evaluadas.....	64
Tabla 12 Tasa de crecimiento de la especie <i>Limnocharis flava</i>	65
Tabla 13 Tasa de Crecimiento de la <i>Typha latifolia</i>	66
Tabla 14 Tasa de Crecimiento <i>Heterenthera reniformis</i>	67
Tabla 15 Porcentajes de remoción de carga orgánica en los diferentes tratamientos.....	69
Tabla 16 Porcentajes de remoción de carga microbiana en los diferentes tratamientos.	70

INDICE DE GRÁFICAS

Grafica 1 Tasa de crecimiento de la especie <i>Limnocharis flava</i>	65
Grafica 2 Tasa de crecimiento <i>Typha latifolia</i>	66
Grafica 3 Tasa de crecimiento de la especie <i>Heteranthera reniformis</i>	67

1 INTRODUCCIÓN

En las plantas de beneficio de ganado bovino y porcino, o también llamadas mataderos municipales, se generan altas cantidades de desechos orgánicos sólidos y líquidos, que para cualquier municipio o departamento sería un factor de contaminación ambiental que este tipo de industria genera, sin embargo la legislación colombiana exige a estas empresas realizar una adecuada disposición final de los residuos sólidos y líquidos.

En Colombia es muy común encontrar en la industria, la reutilización de los residuos orgánicos en un proceso de compostaje, convirtiéndolos en un producto para la agricultura como lo es el abono, pero ¿Qué se está haciendo para manejar las aguas residuales que esta industria genera?, en algunas plantas de beneficio, por ejemplo CEAGRODEX DEL HUILA, se cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales que permite disminuir el impacto ambiental de los residuos líquidos.

A pesar de la implementación de plantas de tratamiento que permitan cumplir con las regulaciones ambientales, en la mayoría de los casos, para las centrales de sacrificio, el efluente de las plantas sigue teniendo un impacto ambiental alto, dada la alta carga orgánica de las aguas residuales generadas, siendo necesario implementar sistemas de tratamiento adicionales.

A raíz de lo anterior se presenta la idea de poder realizar un pos tratamiento al agua residual de CEAGRODEX DEL HUILA, basado en un sistema de lagos artificiales, donde su proceso de pos tratamiento lo realicen plantas acuáticas las cuales serán estudiadas en el desarrollo de este proyecto.

En el país se tienen muchos diversos modelos de plantas para realizar pos tratamiento de aguas residuales (como por ejemplo, la Planta de Beneficio de Ganado Bovino y Porcino del Municipio de LEBRIJAS – Santander, que cuenta con un rediseño de su PTAR en el año 2006, el cual mantiene un plan de tratamiento de aguas residuales que cuenta con un cribado fino, un sistema de limpiado fácil, seguido por un desarenador y trampa de grasas, como fase primaria.

En la etapa secundaria consta de filtros anaeróbicos y filtros fitopedológicos que realiza el tratamiento del agua antes de ser entregada a las corrientes del río Lebrijas *(COBOS 2006)*

Los humedales artificiales se han usado como método de mejora de calidad de las aguas residuales, la ventaja que tienen estos sistemas son la disminución de la turbiedad, el color, los sólidos suspendidos, la DQO y DBO, por mencionar algunas.

El uso de tecnologías sostenibles es indispensable para avanzar hacia una mayor cobertura mundial en la gestión integral del recurso hídrico, desde la captación del agua hasta su tratamiento y reúso *(Morató, Subirana et al. 2006)*

A nivel mundial se han implementado diferentes tratamientos de aguas residuales, dejando claro que son 3 los factores que se deben tener en cuenta a la hora de implementarse o idearse una solución, a saber: 1. el tipo de contaminantes del agua, 2. la calidad requerida en el agua tratada y 3. La temperatura del agua a tratar. Estas variables son importantes dado que al conocer las respuestas a estas, se puede implementar un sistema de tratamiento (natural o químico), siendo este último el menos favorable para el medio ambiente y la sociedad. *(Morató, Subirana et al. 2006)*

2 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación busca disminuir el impacto negativo generado en los ecosistemas por las aguas residuales tratadas en las centrales de sacrificio, implementando un sistema de postratamiento con humedales artificiales con el fin de mejorar la calidad de las aguas residuales tratadas y buscando que sean apropiadas para su reúso en: zonas verdes propias de la institución, baterías sanitarias, bebederos para ganado, riego de pilas de compostaje (siendo este un subproducto propio de la empresa), abastecimiento de agua para fincas aledañas a la planta de beneficio con uso estricto de riego a cultivos en época de sequía.

De esta forma se evita que sean vertidas a la Cuenca Cauca-Magdalena, que cuenta con la mayor demanda de agua en Colombia y con una de las menores ofertas naturales; minimizando los impactos ambientales negativos que se generan en los cuerpos de agua superficiales por la contaminación contenida en las aguas residuales.

El proyecto se realiza con el objetivo de aportar al cuidado de nuestros recursos hídricos superficiales, en especial los de la macro cuenca Cauca-Magdalena, disminuyendo aún más la carga contaminante que se vierte en el afluente, porque una de las ventajas que tiene el postratamiento de las aguas residuales con humedales artificiales es la disminución de la carga orgánica y de la carga bacteriana.

Para los propietarios de la planta de beneficio Ceagrodex del Huila, la implementación de humedales artificiales permitiría reducir los costos ambientales representados en el pago de la tasa retributiva, a la vez que el sistema genera biomasa que puede ser usada junto a los otros subproductos orgánicos sólidos de la empresa en la producción de abono orgánico mediante procesos de compostaje.

3 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La calidad del agua tratada en sistemas de tratamiento de aguas residuales proveniente de centrales de beneficio la restringen para una gran variedad de usos dado que las cargas orgánicas iniciales de las aguas residuales son muy altas y los tratamientos primarios y secundarios no logran eliminar la carga orgánica a valores que no generen impactos ambientales significativos.

El ministerio de ambiente y desarrollo sostenible de Colombia a través de la promulgación de la resolución 1207 del 2014 favorece el reúso de las aguas residuales tratadas en diferentes aplicaciones. Para lograr su adopción en las centrales de beneficio es preciso implementar sistemas de postratamiento que permitan mejorar la calidad de los efluentes y favorecer su reúso en otras actividades de la empresa como son el riego de zonas verdes y la descarga de baterías sanitarias.

Los humedales artificiales son, un ecotecnología que permite realizar de forma económica el postratamiento de las aguas tratadas siendo necesario evaluar el tipo de vegetación apropiada para lograr un mejoramiento en la calidad del agua que permita su reúso.

4 PREGUNTA DE INVESTIGACION

¿Cuál es el mejoramiento en la calidad de las aguas residuales de las piscinas de oxidación en la planta de beneficio de ganado bovino y porcino Ceagrodex del Huila por el postratamiento mediante la utilización de humedales artificiales?

5 OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Postratar las aguas residuales de las piscinas de oxidación en plantas de beneficio de ganado porcino y bovino mediante la utilización de humedales artificiales.

5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar los porcentajes de eliminación de la carga orgánica, expresada como DQO, ST y SST y la eliminación de los coliformes fecales y totales por parte de 3 especies de plantas acuáticas: *Limnocharis flava*, *Typha latifolia*, *Heteranthera reniformis*.
- Determinar las tasas de crecimiento de las 3 especies acuáticas evaluadas.
- Determinar cuál especie acuática es la más apropiada para el pos tratamiento de las aguas de las centrales de sacrificio considerando aspectos tales como, eliminación de contaminantes, tasas de crecimiento, resistencia a enfermedades y plagas

6 HIPÓTESIS DE TRABAJO

H1: La utilización de humedales artificiales permite eliminar más del 50% de la carga orgánica afluyente, en términos de DQO.

H2: La Enea (*Typha latifolia*) permite obtener porcentajes de remoción mayores a los alcanzados con las demás plantas acuáticas evaluadas.

H3. La utilización de humedales artificiales permite que se alcancen en los vertimientos, los parámetros de calidad de agua exigidos en la nueva normativa ambiental.

7 MARCO TEÓRICO

7.1 Estado del recurso hídrico en Colombia

La cuenca del río Magdalena ocupa el 24% del territorio continental del país, naciendo en el páramo de las papas en el macizo colombiano a 3685 msnm, posteriormente desciende por medio de las cordilleras Central y Oriental haciendo así su recorrido por toda Colombia de sur a norte unos 1540 km aproximadamente (Durán 2015-04-15)

El río Grande de la Magdalena es el principal afluente de nuestro país cuenta con una longitud de unos 1500 km, cuenta con 18 departamentos de Colombia en sus riberas donde abarca el 80% de la población imponiendo su producción en un 85% del PIB nacional, el Magdalena es un afluente de agua superficial navegable desde el municipio de HONDA hasta su desembocadura en el mar Caribe más precisamente en Bocas de cenizas en Barranquilla (Durán 2015-04-15)

La cuenca Magdalena-Cauca cuenta con una distribución hidrológica de gran medida que se encuentra determinado por diversos sistemas orográficos, sus condiciones climáticas favorecen una variabilidad espacial y temporal que está marcada por el desplazamiento de la zona de confluencia intertropical. Sobre la cuenca de este afluente se observa la mayor influencia sobre el régimen de infraestructura hidráulica y actividades humanas de los principales municipios de Colombia. (Garcia M. y Vargas O 2014)

El primer departamento que el río Magdalena recorre es el Huila, pasando por el estrecho del Magdalena ubicado en el municipio de San Agustín al sur del departamento siguiendo su recorrido hasta llegar a la ciudad de Neiva en donde ya se empieza a observar unas aguas turbias con una notoria carga contaminante, pues en su trayecto desde su nacimiento hasta la primera ciudad que visita ha recibido una gran descarga de aguas residuales domésticas y de alcantarillados de municipios, veredas, fincas, etc, existentes en sus llanuras, también se ve el descargue de residuos químicos de los pesticidas de cultivos de arroz, aguas residuales de

cocheras y corrales, como también las aguas residuales de los mataderos municipales algunos cumpliendo con lo exigido por la norma y otros no. (Durán 2015-04-15)

El río no está a salvo de ser afectado por la minería en Colombia, existen zonas ocultas donde se hace extracción de oro de manera ilegal, contaminando con mercurio nuestra principal arteria hídrica, también se han observado derrames de crudo por parte de empresas petroleras realizando un daño irreversible en la fauna y flora, la cual cumplen un papel importante en la recuperación natural de estas aguas, generando enfermedades intestinales a la población aledaña del río en todo el país.

En Colombia el tratamiento de aguas residuales es un tema que se maneja a escala mínima, la mayoría de las plantas de tratamiento son de potabilización de aguas, las cuales captan recursos hídricos superficiales para abastecer a una población específica. El objetivo del presente trabajo no se asemeja a ninguna de las plantas potabilizadoras, dado que el agua a tratar proviene de una piscina de oxidación de una planta de beneficio o bien llamadas Mataderos municipales, con la finalidad de obtener agua apta para diferentes usos.

7.2 Principales contaminantes del recurso hídrico.

El agua compone casi 361 Km² de la superficie terrestre, lo cual corresponde a un volumen de 1460 millones de Km³, pertenecientes a océanos en una cifra de 1370 millones de km³ y el resto a aguas subterráneas, glaciares, nieves perpetuas, lagos, humedales de subsuelo y del suelo, humedad atmosférica y corrientes de agua (Romero and Pascual 2000). Aun con esas cifras que hacen creer que es un recurso inagotable, se puede observar la falta de agua apta para su uso.

Existen dos formas de contaminar el agua, una se atribuye a causas antropogénicas y la otra es una contaminación que se da de manera natural.

Constantemente y de forma natural al agua entran partículas llamadas sedimentos, restos orgánicos que pueden ser provenientes de la fauna silvestre, sin embargo los componentes bióticos y abióticos del recurso hídrico es capaz de soportar cantidades variables de estos residuos, ya que son capaces de eliminar o descomponer este tipo de impurezas, a este fenómeno se le es conocido como capacidad de depuración, dependiendo de las características físicas, químicas, biológicas y microbiológicas son los factores fundamentales que hacen que la depuración de un cuerpo de agua sea eficaz.

La contaminación antropogénica se debe a los diferentes usos que se le da al líquido dependiendo su calidad de esta manera se aprovecha para diferentes fines como: uso doméstico, agrícola, industrial, pesca, entre otras. (Romero and Pascual 2000)

7.2.1 Uso Doméstico:

El agua que utilizada para el uso doméstico es abastecida por medio de los sistemas de acueducto con los que cuenta cada municipio, la cual es consumida de forma directa en diferentes labores, lavado de ropa, preparación de alimentos, aseo personal, servicios sanitarios, aseo del hogar, etc., después de cada uno de estas actividades la calidad del agua cambia ya que recibe una carga de materiales todos diferentes como: materia orgánica con organismos patógenos que es el resultado de lavados y bacterias sanitarias, también los productos químicos que son los que se usan para aseo y limpieza, los productos químicos son generalmente provenientes de detergentes, colorantes y solventes. (Romero and Pascual 2000)

7.2.2 Uso Agrícola:

El agua que se utiliza para la actividad agrícola es con el fin de garantizar un buen desarrollo de las plantas, el líquido es obtenido por medio de sistemas de captación, almacenamiento y distribución. (Romero and Pascual 2000)

Además del agua que es consumida para las plantaciones por medio de riegos, hay que tener en cuenta que se generan excedentes que se escapan por canales o drenes, que son llevadas hasta ríos, lagos o mares, en el recorrido de este excedente se puede ser arrastrado restos del suelo, materia orgánica, restos de fertilizantes y plaguicidas, utilizados en las actividades agrícolas. *(Romero and Pascual 2000)*

Los fertilizantes, plaguicidas, herbicidas, etc. Propios de la actividad por lo general ocasionan impactos negativos en el agua, pues su carga química genera enfermedades patógenas, trastornos en la genética de los animales y plantas que se abastecen de las aguas afectadas por estos productos. *(Romero and Pascual 2000)*

7.2.3 Uso Industrial:

La contaminación que produce la industria en los afluentes es el resultado del vertimiento de sus residuos como el Material Flotantes que está comprendido por espumas, grasas, etc. También está los sólidos sedimentables que por su peso tienden a sumergirse en las aguas, el material coloidal que es difícil de separar, los sólidos suspendidos que contienen sales y minerales, las sustancias tóxicas provenientes de la minería como el cianuro o el mercurio. *(Romero and Pascual 2000)*

Existen diversos contaminantes provenientes de la industria, ya que cuando hablamos de industria estamos generalizando, pues dependiendo del sector productivo así mismo se puede saber el tipo de contaminación o vertimiento a los afluentes existe, esto ya es el primer paso para identificar el tipo de tratamiento que se puede utilizar, pero aun así es muy difícil su eliminación con los tratamientos convencionales, el tratamiento de los residuos líquidos de la minería no son los mismo a tratar para los residuos del sector de alimentos o el sector petrolero. *(Romero and Pascual 2000)*

7.2.4 Efectos en la Salud por la Contaminación del Agua

La contaminación del agua ocasiona daños en la salud de las personas que utilizan el líquido afectado para uso doméstico, sin embargo las enfermedades dependen directamente del

agente contaminante que por lo general son los agentes patógenos los encargados de las enfermedades intestinales, aunque también se presentan infecciones en la piel cuando el líquido entra en contacto con el cuerpo. (Romero and Pascual 2000)

7.2.5 Organismos Patógenos

Un organismo patógeno es aquel que es capaz de generar una enfermedad ya sea digestiva o cutánea, los más comunes son:

- *Salmonella*: es la responsable de enfermedades como la fiebre tifoidea, paratifoidea y gastroenteritis.
- *Shigella sp.*: la causante de disentería bacilar
- *Escherichia coli*: causa enfermedades entéricas
- El bacilo *Vibio Cholerae*: el causante del cólera. (Romero and Pascual 2000)

7.3 Metodologías para la determinación de los principales contaminantes del recurso hídrico

7.3.1 Métodos para la remoción de los contaminantes del agua.

Las aguas superficiales susceptibles de ser destinadas al consumo humano quedan clasificadas, según el grado de tratamiento que deben incluir para su potabilización, en los 3 grupos siguientes:

- **Primario:** Tratamiento físico simple y desinfección los cuales se realizan con filtración rápida y desinfección (PIZZI 2007)
- **Secundario:** Tratamiento físico normal, tratamiento químico y desinfección donde se realiza la precloración, coagulación y floculación, decantación, filtración y desinfección.(PIZZI 2007)
- **Terciario:** Tratamiento físico y químico intensivo, afino y desinfección en donde primero se realiza la cloración al Breakpoint, coagulación y floculación, decantación, filtración, afino con carbón activado y desinfección (PIZZI 2007)

- **Tratamientos Físicos:** este tratamiento poco usado también se puede incluir la aplicación de calor pero deja un mal sabor por la eliminación del oxígeno disuelto y sales, aparte de ser muy costoso. (PIZZI 2007)
- **Tratamientos químicos:** los productos químicos que más se utilizan en estos casos son el cloro en forma gaseosa, el dióxido de cloro y el ozono o también llamado hipoclorito de sodio o calcio, debido a tres factores para que el cloro sea aceptado, su capacidad de oxidar sustancias inorgánicas como el hierro, manganeso, nitritos, entre otros, que son los encargados de causar el mal sabor. (PIZZI 2007)

El cloro también cumple funciones como los de algicida, bactericida y en una menor reacción virucida, ayuda a que el proceso de coagulación y floculación mejores favoreciendo la formación de flóculos, el uso de este producto químico es de bajo costo. (PIZZI 2007)

- **Cloración al Breakpoint:** este tratamiento cumple con funciones de desinfección y oxidación contribuyendo a la eliminación de hierro, manganeso, sulfuros, amoniacos y cualquier otra sustancia, como también reduce sabores y la más importantes minimiza el crecimiento de algas. (PIZZI 2007)
- **Coagulación y Floculación:** las impurezas que se encuentran en la superficie como material superficial y coloidal, los materiales coloidales incluyen arcilla, sílice, hierro, solidos orgánicos, para la eliminación de una gran cantidad de las impurezas se realizan por sedimentación, pero algunas impurezas son muy pequeñas para ser eliminadas por lo tanto se utilizan procesos de clarificación que consiste en la combinación de procesos que reducen la concentración de los materiales suspendidos en un líquido. (PIZZI 2007)

La coagulación y floculación incrementan el tamaño del floculo y agiliza la aglomeración mermando el tiempo de sedimentación, para este proceso se adiciona sales de aluminio, de hierro o polielectrolitos que desplazan los iones negativos y reducen efectivamente el tamaño de la carga. (PIZZI 2007)

- **Decantación:** permite la eliminación por sedimentación de los sólidos suspendidos presentes, separando un líquido de un sólido o de un líquido de mayor densidad mediante el trasiego de la capa superior después de que la materia más pesada ya ha sedimentado. *(PIZZI 2007)*
- **Filtración:** es la etapa por la que pasa el agua que aun contiene material suspendido después de la decantación, esta etapa contiene algunos filtros que permiten el flujo del agua pero no de los sólidos suspendidos. *(PIZZI 2007)*
- **Afinao con Carbono Activado:** permite la disminución de materia orgánica, color, olor y sabor presente por medio de separación, el carbono activado en granulo forma un lecho fijo por el cual pasa el agua, eliminando cloros libres, inhibe crecimiento biológico y elimina amoniaco. *(PIZZI 2007)*

7.3.2 HUMEDALES:

Son zonas con un nivel de agua que está sobre o muy cerca de la superficie del suelo, para mantener sus condiciones de saturación mantiene el nivel de agua constante y el tiempo que sea necesario. *(Monje Cardozo 2010)*

Los humedales tienen la capacidad de desarrollar vegetación hidrofílica permitiendo llevar a cabo actividades biológicas propias de un espejo de agua como lo es un humedal. *(Monje Cardozo 2010)*

7.3.3 HUMEDALES ARTIFICIALES:

Son zonas que han sido intervenidas por el hombre cuya profundidad del agua y su vegetación es diseñada para poder ser compatibles con el caudal a tratar, con el objetivo final de obtener la calidad del agua esperada. *(Monje Cardozo 2010)*

Los humedales artificiales, son formados en terrenos con abastecimientos de agua, vegetación emergente, sumergida o flotante, el sistema artificial, es capaz de reducir la concentración de la Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO), Sólidos Suspendidos (SS), Nitrógenos (N), algunos metales pesados, organismos patógenos y trazas, estos últimos se realiza por medio de mecanismos simples como la sedimentación o la precipitación, por otro

lado la vegetación interviene ayudando en la absorción química y en la interacción microbiana. (Monje Cardozo 2010)

Antecedentes

El uso de lagunas artificiales con plantas acuáticas tienen existencia desde hace más de 100 años, sin embargo el método se popularizó en 1980 cuando algunos especialistas trataron de aplicar el método en pequeñas poblaciones, pero los métodos debían estar ajustados con los siguientes criterios: que los costos de la construcción y la operación de los sistemas convencionales fueran bajos, que se necesitara poco equipo mecanizado, y que el consumo de energía fuera mínima (de Aguas 1999)

El tratamiento de aguas residuales por medio de humedales artificiales se presenta como una de las mejores alternativas para el tratamiento de aguas residuales, debido a que cumple con varios de los criterios.

El uso de los humedales artificiales para la captación de aguas residuales se remonta a comienzos del siglo XX, cuando las ciénagas, humedales y turberas se consideraron como los mejores receptores de aguas residuales, pero también eran purificadores importantes de estos residuos. (Radoux 1989)

De igual manera desde 1964, Kickuth quien desarrolló en Alemania un procedimiento de flujo horizontal bajo la superficie, utilizando la caña común (*phragmites australis*), pero igual también se puede utilizar otras especies como el junco (*Joncus sp.*), la scirpe (*scirpus sp.*) y muchas otras, este modelo tuvo su primera instalación en Othfressen en 1974. (Radoux 1989)

Tipos de humedales

Existen dos tipos de humedales artificiales los de flujo superficial y los de flujo Subsuperficial.

Humedales de Flujo Superficial: Construidos por canales angostos con un recubrimiento en el fondo, no muy profundos (30 a 60 cm), mantienen un flujo de baja velocidad, la

vegetación más usada es la emergente la cual esta soportada por una capa de sustrato que permite el paso del agua. (Monje Cardozo 2010)

Humedales de Flujo Subsuperficial: Construidos por canales construidos con poros o lechos filtrantes que permite el paso del caudal y soporta el crecimiento de la vegetación emergente, el nivel del agua se mantiene por debajo de la superficie del soporte. (Díaz 2014)

Ventajas y desventajas de los humedales

Ventajas:

- ❖ Incorpora el hábitat de vida silvestre
- ❖ Remoción de DBO, DQO, SST, metales, compuestos orgánicos
- ❖ No genera malos olores ni vectores al implantarse el sistema
- ❖ No tiene límite de tiempo
- ❖ Suministra espacios recreativos y es estéticamente agradable (Díaz 2014)

Desventajas:

- ❖ Exige terrenos grandes para la construcción de los humedales
- ❖ El fosforo y los metales como algunos compuestos orgánicos persistentes que no son removidos permanecen en el sistema que se verán con el tiempo en la sedimentación
- ❖ En temperaturas bajas puede reducir la remoción del DBO y las reacciones biológicas
- ❖ La mayoría de las aguas que componen los humedales son anaerobias, lo cual limitan el potencial de nitrificación rápida del amoniacó (Díaz 2014)

7.4 Tipos de vegetación usados en los humedales

La mayoría de los proyectos de construcción de sistemas de humedales artificiales contienen la trasplatación de plántulas (Jiang, J., Zhou, C., An, S., Yang, H., Guan, B., & Cai, Y. (2008)), la vegetación en los humedales artificiales es supremamente importante, ya que abastece los sistemas con elementos necesarios para que la capacidad del tratamiento aumente, cumpliendo con funciones como base o soporte de las bacterias que mejoran la capacidad de absorción y filtración del suelo, dicha función es cumplida por las raíces y tallos de las plantas, los tallos

superficiales disminuyen la radiación solar controlando el crecimiento de algas y también ayudan en la transferencia de oxígeno al agua. (*Monje Cardozo 2010*)

Las plantas acuáticas inyectan grandes cantidades de oxígeno a la raíz, el aire que no es aprovechado por las plantas es absorbido por los microorganismos como bacterias, hongos, etc., que en conjunto con la raíz metabolizan los contaminantes que entran al sistema. (*Hidalgo, Montano et al. 2005*)

Por lo general en los humedales existe la presencia de sedimentos, saturando el sistema convirtiendo el humedal en un sistema anaeróbico, por esto el movimiento de oxígeno que realizan las plantas aparte de ayudar a la respiración de los tejidos enterrados, también oxigena la rizosfera por medio de filtración, creando condiciones de oxidación que estimula la descomposición aerobia de la materia orgánica. (*Monje Cardozo 2010*)

Existen tres tipos de vegetación utilizada en los humedales artificiales, la emergente, la sumergida y la flotante.

- **Vegetación Emergente:** aquellas plantas enraizadas en los sedimentos de las aguas residuales que componen el sistema artificial, capaz de desarrollarse sobrepasando la superficie como, la Typha, Phragmites, Scirpus. (*Monje Cardozo 2010*)
- **Vegetación Flotante:** este tipo de plantas se desarrolla sobre el agua, manteniendo sus raíces sumergidas sin estar fijas a ningún soporte como, Eichhornia, Lemna, Azolla. (*Luis E.Monje -2000*)
- **Vegetación Sumergida:** estas plantas se enraízan a los sedimentos y crecen solamente dentro de la columna de agua como, la Potamogeton, Cerato phyllun, Elodea. (*Monje Cardozo 2010*)

7.5 Tipos de vegetación usados en los humedales de la presente investigación

Las plantas utilizadas en esta investigación fueron: *Limnocharis flava*, *Typha latifolia* y *Heteranthera reniformis*, estas especies se utilizaron debido a que son más fáciles de

encontrar en los humedales naturales existentes en la zona urbana del municipio de Neiva, por ende son las que se adaptan más fácilmente a las condiciones climáticas, temperaturas de más de 35°C, algunas plantas como la *Limnocharis flava* fue recolectada de la Riviera del río Magdalena en donde se realiza el vertimiento de las aguas residuales de Ceagrodex del Huila, lo que nos da a pensar que es una planta que se adaptara más fácilmente a la carga contaminante de la investigación, la *Typha latifolia* se encuentra en el río las Ceibas, río que abastece a la Ciudad de Neiva, pero donde se encuentra esta planta no es en su nacimiento si no en un punto estratégico de su recorrido por la ciudad.

7.5.1 *Limnocharis flava*

Hierba de los pantanos y humedales de tierra cálida, alcanza una altura de 40 cm aproximadamente, su hoja es ancha, redondeada, lisa y suave, sostenida por peciolos triangulares y esponjosos que forman una roseta basal, sus flores son vistosas amarillas, muy delicadas, agrupadas al final del tallo. La planta almacena y proporciona alimento para la fauna acuática puede llegar a ser invasiva.



Foto 1 Viveros Monje D. C.; 2016; CEAGRODEX DEL HUILA S.A; *Limnocharis flava*



Foto 2 Viveros Monje D. C.; 2016; CEAGRODEX DEL HUILA S.A; detalle de tallos de *Limnocharis flava*

7.5.2 *Typha latifolia*

Es una planta muy usada en la implementación aérea 1 vez al año sus sustratos deben ser cambiados debido a que sus poros quedan totalmente destruidos por los lodos y residuos evitando que elimine fosforo (Hidalgo, Montano et al. 2005) esta planta es capaz de tolerar pH bajos, acumular en sus tejidos concentraciones de metales pesados. (Hidalgo, Montano et al. 2005)

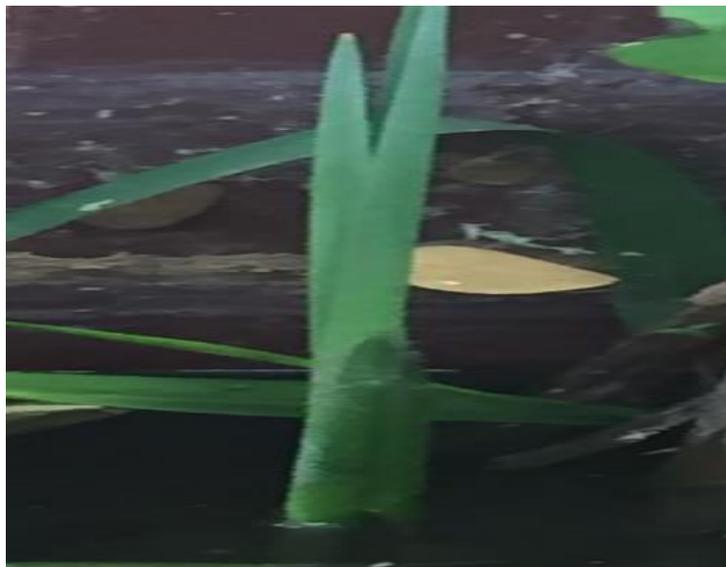


Foto 3 Brote de *Typha latifolia* Viveros Monje D. C.; 2016; CEAGRODEX DEL HUILA S.A



Foto 4 *Typha latifolia* detalle de sus hojas Viveros Monje D. C.; 2016; CEAGRODEX DEL HUILA S.A



Foto 5 ramificación de las hojas de la *Typha latifolia*; Viveros Monje D. C.; 2016; CEAGRODEX DEL HUILA S.A

7.5.3 *Heteranthera reniformis*:

Esta planta acuática se encuentra desde el sureste de Estados Unidos hasta el norte de Argentina, es de tallos alargados entre 2-13 cm de largo, por lo general flotantes en aguas muy poco profundas, sus hojas emergentes o flotantes son pecioladas, de láminas cordadas a reniformes entre 1 a 4 cm de largo, su ápice obtuso a ligeramente agudo nace a lo largo del tallo, sus flores crecen en forma de espiga con 2 u 8 flores de 5 a 42 mm de largo abriéndose todas a la vez, su espata linear de 8 a 55 mm de largo, sus flores son blancas, su tubo del perianto es de 5 a 10 mm de largo, con lóbulos de 3 a 7 mm, estambres de 3, laterales de 0.9 a 2.2 mm de largo de color amarillo, los frutos de esta planta son una capsula de 0.8 a 0.9 cm de largo, semillas de 0.5 a 0.9 mm de largo. Son propias de pantanos, ríos, canales, acequias, zanjas húmedas y orillas de lagunas. (GARCÍA and MUÑOZ)



Foto 6 distribución *Heteranthera* Viveros Monje D. C.; 2016; CEAGRODEX DEL HUILA S.A



Foto 7 crecimiento de *Heteranthera* Viveros Monje D. C.; 2016; CEAGRODEX DEL HUILA S.A

7.6 PLANTAS DE BENEFICIO DE GANADO BOVINO Y PORCINO

Los Mataderos Municipales o también llamados Plantas de Beneficio son establecimientos de vital importancia para la población; por ser un servicio público indispensable debe satisfacer las características administrativas, técnicas y sanitarias adecuadas para que la canal y vísceras obtenidas en los procesos realizados, cumplan con los requisitos o normas establecidas con el fin de ofrecer a la comunidad un producto de óptima calidad; así mismo debe cubrir los gastos de sacrificio y faenado. (*Hincapie and Hincapie 1997*)

En la ciudad de Bogotá en los años de 1885 aproximadamente los puntos de abastecimientos para los compradores de carne que abastecían famas o carnicerías era el Matadero Municipal, en este lugar no se vendía el producto al consumidor minoritario. (*Reina Rodriguez 2015*)

El sector de mataderos es uno de los sectores industriales alimentarios que presenta mayor contaminación ambiental debido a la generación de sus aguas residuales que poseen una elevada carga contaminante permitiendo que su tratamiento no sea simple, especialmente por la presencia de materia orgánica, sólidos suspendidos grasas y aceites, razón por la cual, dentro de los procesos productivos que debe contemplar la industria cárnica, es la correcta gestión de sus residuos y, en concreto, la depuración de sus aguas residuales, entendiéndolo como parámetro de calidad de su producción. *(Manual Aguas Residuales Bovinos-2016)*

Actualmente la tecnología de depuración disponible consigue resultados satisfactorios sobre esta agua residual, no obstante, algunos de estos tratamientos son procesos complejos que pueden requerir de mano de obra especializada y que en definitiva suponen tiempo y dinero sobre un proceso no productivo. En su lugar, la gestión de las aguas residuales debe ser una operación integrada en el proceso productivo, lo que supone que antes de realizar medidas correctivas se deben agotar todas las posibles medidas preventivas. *(Manual Aguas Residuales Bovinos-2016)*

Ceagrodex del Huila S.A. cuenta con un sistema de separación de aguas en el proceso industrial se trata según el tipo de líquidos que se genera como los son las aguas verdes (aguas con rumen de bovinos) provenientes de la planta de cebo, rojas (aguas contaminadas con sangre y cebo) provenientes de bovinos y las blancas (aguas contaminadas con grasas) provenientes de cerdos, cada uno de estas aguas pasan por un proceso preliminar que son las trampas de grasas, luego pasan a un sistema pequeño de colado, que consta de canastillas, mallas, gravilla y bombas. De lo anterior se genera un floculante orgánico que es aprovechado en el proceso de compostaje, cabe aclarar que en este sistema se generan aguas con temperaturas altas que ayudan en el proceso microbiano, luego ya más livianas estas tres aguas se unen para ser depositadas en una piscina de oxidación donde son mezcladas con los lixiviados del compostaje que ayudan a regular la carga bacteriana y así reposan hasta poder ser vertidas al río Magdalena que es su destino final, como se puede observar en la figura 1.

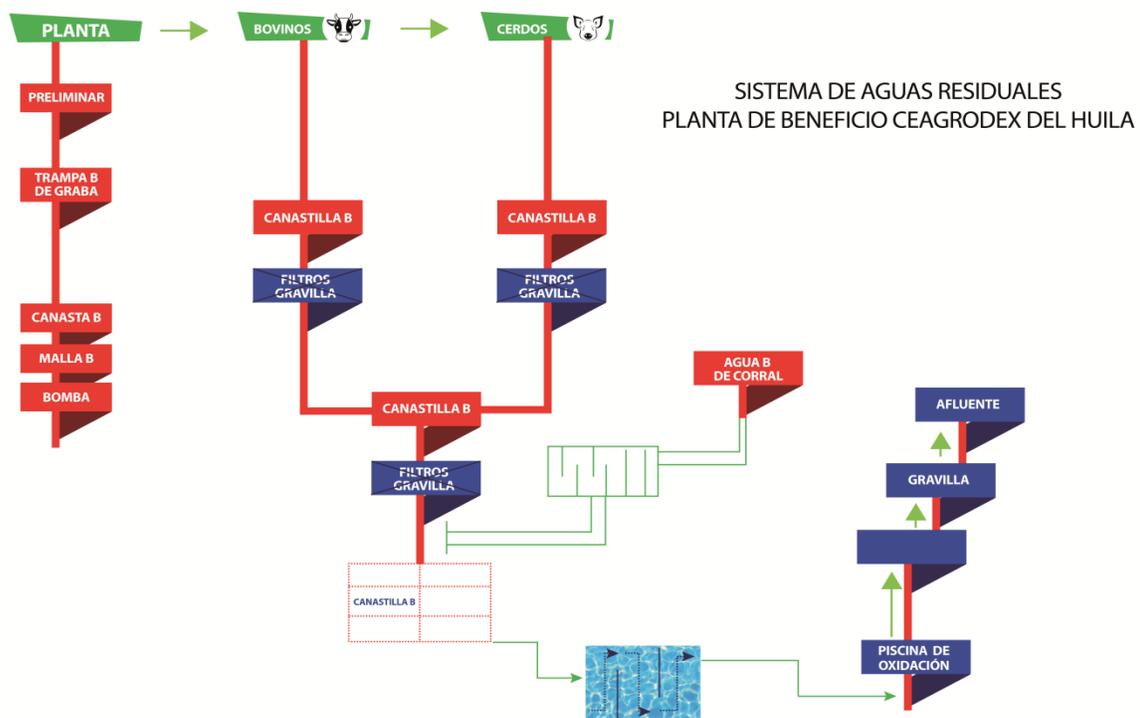


Figura 1: ESQUEMA DEL SISTEMA DE AGUAS RESIDUALES PLANTA DE BENEFICIO CEAGRODEX DEL HUILA

En el caso de Ceagrodex, se puede percibir que los vertimientos que se están haciendo son como lo exige la ley, la cual no exige un margen máximo para verter carga microbiana, es por eso se presenta la idea de poder realizar un pos tratamiento del agua residual generada de esta manera, pues bien en el país tenemos muchos modelos de plantas potabilizadoras de aguas pero estas plantas son abastecidas con aguas superficiales, o de aguas residuales que no han tenido tanto proceso como se nombró anteriormente y tampoco tiene una carga orgánica depurada tan alta como la tiene las aguas residuales de una planta de beneficio

En el siguiente cuadro se puede observar el análisis de las aguas residuales de la piscina de oxidación de Ceagrodex del Huila s.a. donde se puede observar dos entradas y una salida cada una codificada y con sus respectivas coordenadas, en esta caracterización se resalta los resultados de DQO los cuales se encuentran en 766 ppm los cuales según las normas colombianas están dentro del rango para poder realizar el vertimiento de estos residuos a afluentes superficiales, pero la experiencia demuestra que las aguas tratadas con concentraciones de DQO mayores a 500 ppm generan un impacto ambiental negativo sobre los organismos acuáticos, motivo por el cual se debe estudiar la posibilidad de realizar un pos tratamiento de las aguas residuales para así minimizar los impactos negativos que ellas generan. CORPORACIÓN TOLIMENSE DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS Y DEL MEDIO AMBIENTE

CORCUENCAS
LABORATORIO AMBIENTAL DEL TOLIMA

SITIOS DE MUESTREO	CÓDIGO	ESTE	NORTE	ALTURA
Entrada bovino planta de beneficio	411	75°17'47,6"	2°49'50,9"	492
Entrada porcina planta de beneficio	412	75°17'47,9"	2°49'50,2"	488
Salida planta de beneficio	413	75°17'50,4"	2°49'53,4"	484

RESULTADOS DE LABORATORIO

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO ⁽¹⁾	411	412	413
Matriz	*****	*****	A.R.I ⁽²⁾	A.R.I ⁽²⁾	A.R.I ⁽²⁾
Tipo de Muestra	*****	*****	Compuesta	Compuesta	Compuesta
Temperatura Ambiente	°C	2550 B	27,8	28,0	27,6
Temperatura del Agua [†]	°C	2550 B	28,8	30,3	28,8
pH [†]	Unid. pH	4500 H [†] B	7,18	6,98	7,30
Demanda Química de Oxígeno [†]	mg O ₂ /L	5220 C	10945	5431	766
Demanda Bioquímica de Oxígeno [†]	mg O ₂ /L	5210 B	3724	1643	137
Sólidos Suspendedos Totales [†]	mg/L	2540 D	12200	12280	305
Grasas y Aceites	mg/L	5520 B	719	513	119
Caudal	L/s	Volumetrico	2,3	*****	6,4

⁽¹⁾Standard Methods for the examination of water and wastewater. Edición 21, 2005; ⁽²⁾ Agua Residual Industrial.

Figura 2 Corporación Tolimense de Cuencas Hidrograficas y del Medio Ambiente CORCUENCAS Caracterización de entrada y salida de la laguna de Oxidación de CEAGRODEX DEL HUILA S.A.

8 Marco contextual

Para el mejoramiento de la calidad de las aguas residuales de la piscina de oxidación de la planta de beneficio Ceagrodex del Huila, se implementó un sistema de humedales artificiales con plantas acuáticas como la *Heteranthera reniformis*, *Typha latifolia* y la *Limnocharis flava*, plantas obtenidas por medio de recolección directa de la quebrada la Arenosa del municipio de Rivera, el Rio las Ceibas de la ciudad de Neiva y propias del recorrido que realizan las aguas residuales de la piscina de oxidación hasta llegar al rio Magdalena.

Se elige la planta de beneficio Ceagrodex del Huila S.A. por ser una empresa amigable con el medio ambiente, donde se practica actividades sostenibles como la producción de compost derivado de los residuos orgánicos de los procesos de beneficio animal, es una empresa preocupada por el sostenimiento y mejoramiento del tratamiento de sus aguas residuales.

Ceagrodex del Huila S.A. Se encuentra ubicada en la Cr 5 # 81s-45 Km 12 Vía Al Sur corregimiento de Rio Frio del municipio de Rivera Huila.



Foto 8 Foto satelital Ceagrodex del Huila S.A.; Google Earth

En el departamento del Huila existen 4 municipios que cuentan con matadero municipal o planta de beneficio, los cuales cumplen con las exigencias de las normas sanitarias, ambientales y demás normas gubernamentales.

En el proceso de descentralización de los mataderos municipales, los municipios de Pitalito, Garzón, la Plata y Ceagrodex (en la ciudad de Neiva), se cuenta con tratamientos de aguas residuales secundarios que permiten cumplir con la norma de vertimiento de aguas residuales.

A nivel nacional muchos municipios se han interesado en hacer un buen manejo de sus residuos líquidos incluso cuentan con sistemas de uso de recurso hídrico como en Medellín en la CENTRAL GANADERA S.A. que cuenta con un programa de gestión integrado de los residuos líquidos, donde se identifica los procedimientos adecuados para el manejo de este recurso, cumpliendo con los requisitos exigentes por las normas. (<http://www.centralganadera.co/cg/programa-de-manejo-integral-residuos-liquidos/>) en el 2015 implementan un proyecto de ahorro y uso eficiente del agua, que permite minimizar el volumen de agua potable necesaria para los procesos de producción de la Central, dando cumplimiento a la normativa vigente en ese momento, el proyecto permite que las aguas lluvias sean aprovechadas para lavar corrales y así evitar el uso de agua potable en esta actividad. (<http://www.centralganadera.co/cg/programa-de-manejo-integral-residuos-liquidos/>), también encontramos el matadero municipal de Lebrijas Santander, el cual cuenta con un sistema secundario para el tratamiento de sus aguas residuales.

A raíz de las tasas de contaminación que genera los mataderos municipales, se ha dado lugar a investigaciones, estudios y proyectos para identificar procesos efectivos que permitan reducir esta carga contaminante en los afluentes superficiales sea que el vertimiento de AR sea directa o por medio de sistema de alcantarillado.

En el 2006 en la ciudad de Cúcuta se realiza un estudio a escala de laboratorio de las aguas residuales del matadero municipal, el cual consistió en un tratamiento en serie conformado por Filtro Anaerobio de Flujo ascendente (FAFA) inoculado y un reactor secundario aeróbico de Disco Biológico Rotatorio (Biodiscos), (*Ramón and Maldonado 2013*) esta investigación demostró que el sistema permite tratar las aguas residuales industriales con buena eficiencia en la remoción de Materia Orgánica (92 - 97% DBO5 y 87.72 - 94.5 % DQO) con TRH entre 3.33 y 2.10 días, con cargas orgánicas volumétricas (COV) aplicadas sobre el FAFA entre 2.62 y 6.3 Kg. DQO total/m³-d y entre 2.25 - 6.32 gDQO total/m²-día aplicadas sobre los Biodiscos (TRH = 1.33 2.11 días), realizando aceptables remociones de Coli-fecales > al 97% (FAFA: 78%; Biodiscos: 88.8 - 95%). (*Ramón and Maldonado 2013*)

A nivel internacional también se han visto las consecuencias que dejan las aguas residuales de los mataderos o RASTROS como se conocen en México y España, es por eso que en 2008 se lleva a cabo un estudio comparativo a nivel de laboratorio entre un proceso fisicoquímico y uno biológico para el tratamiento de aguas residuales de matadero municipal, el estudio fisicoquímico consistió en la coagulación-floculación y para ello se utilizó sulfato de aluminio como coagulante y un polímero aniónico como auxiliar de la floculación. La mayor eficiencia de remoción alcanzada de demanda química de oxígeno (DQO) fue del 94% con una dosis de 250mg/L de sulfato de aluminio y una dosis de polímero de 5mg/L a un pH=4. Por otro lado, el proceso biológico se desarrolló en un sistema anaerobio/aerobio (An/Ar) secuencial, compuesto por un filtro anaerobio (FA) y un reactor aerobio por lotes (SBR). El FA operó con cargas orgánicas (CO) en un intervalo 3,7-16,5kg/m³/d, las eficiencias de remoción de DQO variaron entre 50 y 81% y fueron inversamente proporcionales al valor de la CO. La degradación de la materia orgánica (MO) en el SBR mostró una cinética de pseudo primer orden con respecto a la concentración de MO. La remoción de la DQO por el proceso biológico (FA+SBR) fue del 97% para un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 20h para el FA y de 9h de aireación para el SBR. (*Lopez Lopez, De La Barrera Fraire et al. 2008*)

La anterior investigación dejó la posibilidad de seguir estudiando e investigando sobre cómo tratar estas aguas residuales en ese país, es por eso que se inicia la investigación de hacer tratamiento de aguas residuales de mataderos con plantas acuáticas, ya que contienen altas concentraciones de materia orgánica, proteínas, grasas y nutrientes, entre otros. Debido a las concentraciones altas de contaminantes que presenta el agua residual de matadero, ésta debe ser tratada con reactores anaerobios, que se encargan de la degradación de materia orgánica, concentración de sólidos y grasas principalmente, pero los nutrientes no los remueve totalmente, por eso surge la necesidad de utilizar un tratamiento terciario el cual remueve N y P de este efluente. Dado que las hidrófitas son capaces de absorber estos nutrientes se evaluó la eficiencia de remoción de amonio, ortofosfatos y nitritos por *Eichhornia crassipes*, *Lemna gibba* y *Myriophyllum aquaticum* de agua de matadero previamente tratada con sistemas anaerobios en serie. Los resultados obtenidos demostraron que la mejor hidrófita para remover nutrientes del agua tratada fue *Myriophyllum aquaticum* sobre todo en ortofosfatos y nitratos mientras que *Lemna gibba* para nitratos, con respecto al amonio, las tres especies fueron eficientes en la absorción. (Romero-Ortiz, Ramírez-Vives et al. 2011)

9 MARCO LEGAL

NORMA	QUIEN LA EXPIDE	EPÍGRAFO (PROPOSITO, RESUMEN, USO)	DESCRIPCIÓN
Decreto 2811 de 1974	El Presidente De La República De Colombia	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.	El dueño, poseedor o tenedor de un predio puede servirse de las aguas lluvias que caigan o se recojan en éste y mientras por él discurran. Podrá, en consecuencia, construir dentro de su propiedad las obras adecuadas para almacenarlas y conservarlas, siempre que con ellas no cause perjuicios a terceros.
Decreto 1594 de 1984	El Presidente De La República De Colombia	Establece los parámetros para los diversos tratamientos de aguas de acuerdo a sus usos y disposición. El agua residual debe tener un 80% de remoción como mínimo para poder ser vertida a una fuente superficial.	Todo usuario del agua que no haya legalizado su uso de conformidad con el Decreto 1541 de 1978 y con las disposiciones de la CAM, deberá solicitar ante ésta la correspondiente concesión de agua, para cuya expedición se tendrán en cuenta las disposiciones del presente Decreto. El Ministerio de Salud o su entidad delegada, se pronunciarán con respecto a la autorización previa a la concesión, dentro de los sesenta (60) días siguientes a la fecha de radicación de la remisión de la información por parte de la CAM.
LEY 99 del 1993	El Congreso de Colombia	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.	Pagar tasas por utilización de aguas. La utilización de aguas dará lugar al cobro de tasas fijadas por el Gobierno Nacional que se destinarán al pago de los gastos de protección y renovación de los recursos hídricos.

<p>Decreto nacional 1575 de 2007</p>		<p>Por el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano</p>	<p>Establecer el sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, exceptuando el agua envasada.</p> <p>Aplica a todas las personas prestadoras que suministren o distribuyan agua para consumo humano, ya sea cruda o tratada, en todo el territorio nacional, independientemente del uso que de ella se haga para otras actividades económicas, a las direcciones territoriales de salud, autoridades ambientales y sanitarias y a los usuarios.</p>
<p>Decreto 3930 de 2010</p>		<p>Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones</p>	<p>Establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados.</p>
<p>Decreto 2667 de 2012</p>	<p>PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA</p>	<p>Por el cual se implementa la tasa retributiva por el uso directo e indirecto del agua para verter desechos líquidos</p>	<p>El presente decreto aplica a las autoridades ambientales competentes señaladas en el artículo 4º del presente decreto y, a los usuarios que realizan vertimientos sobre el recurso hídrico. La autoridad ambiental competente establecerá cada cinco años, una meta global de carga contaminante para cada cuerpo de agua o tramo del mismo de conformidad con el procedimiento establecido en el artículo 12 del presente decreto, la cual será igual a la</p>

			suma de las metas quinquenales individuales y grupales establecidas en el artículo 9° de este decreto. Para el cumplimiento de la meta global de carga contaminante del cuerpo de agua o tramo del mismo, la autoridad ambiental competente deberá establecer la meta individual de carga contaminante para cada usuario sujeto al pago de la tasa, a partir de sus propias cargas y considerando las determinantes señaladas en el anterior artículo.
Resolución 0631 de 2015	MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE	Por el cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.	Parámetros fisicoquímicos y sus valores en vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas de actividades industriales, comerciales o de servicio público de alcantarillado a cuerpos de agua superficiales.
Decreto 1076 de 2015	MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible es el rector de la gestión del ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado orientar y regular ordenamiento ambiental del territorio y de definir las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y del ambiente de la Nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible, perjuicio de funciones asignadas a otros sectores.

Tabla 1 Relación de normas ambientales para el recurso hídrico

10 MATERIALES Y MÉTODOS

10.1 Lugar donde se realizó la investigación

La investigación se desarrolló en las instalaciones de CEAGRODEX DEL HUILA S.A. la cual cuenta con un tratamiento de aguas residuales.



Foto 9 Vista satelital de la Planta de Beneficio Ceagrodex del Huila S.A., FUENTE: Google Earth

10.2 DESCRIPCIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CEAGRODEX DEL HUILA S.A.

Tratamiento Preliminar: consiste en retener el material más grueso que se encuentre en las aguas residuales provenientes de la planta de beneficio. (*Manual Aguas Residuales Bovinos-2016*)

- ✓ **REJILLAS:** Cada vertimiento de agua residual procedente de la planta inicia su proceso pasando por las rejillas que cumplen la función de retener los sólidos más grandes y evitar taponamientos en la tubería. (*Manual Aguas Residuales Bovinos-2016*)

Tratamiento Primario: consiste en remover material en suspensión o sedimentado de gran tamaño que pueda ocasionar problemas en las unidades de tratamiento y disminuir la carga orgánica, esto se obtiene por medio de la decantación y la flotación eliminando sólidos suspendidos, grasas y aceites. (*Manual Aguas Residuales Bovinos-2016*)

✓ **FILTROS**

Después de pasar por las rejillas y recorrer las tuberías el agua residual pasa a un tanque con trampa que se encarga de retener sólidos como grasas y sólidos sedimentables que retienen la mayor cantidad de residuos sólidos de gran tamaño por medio de canastillas en acero inoxidable ubicadas dentro de tanques de concreto que son evacuados por tractor diariamente al área de compostaje para ser aprovechados los residuos encontrados allí y el agua producto de este proceso es evacuada al tanque sedimentador. (*Manual Aguas Residuales Bovinos-2016*)

✓ **TANQUE SEDIMENTADORES**

A estos tanques se envía el agua proveniente del filtro con el fin de mejorar la eficiencia del tratamiento y disminuir los residuos suspendidos y sedimentables. Estas aguas con gran contenido de grasas y lodos son limpiadas diariamente por los operarios para remover los sólidos que por su tamaño más pequeño alcanzan a pasar por los orificios de las canastillas, los residuos se suspenden en el tanque sedimentador facilitando la remoción. (*Manual Aguas Residuales Bovinos-2016*)

✓ **FILTROS DE GRAVA**

Estos filtros contienen grava de aproximadamente 3 cm de diámetro con el objetivo de que el lecho retenga las partículas más finas suspendidas en el agua, disminuyendo la concentración de residuos. Este tanque con grava lleva el agua residual en un flujo descendente y retiene las partículas finas que han pasado del tratamiento anterior. (*Manual Aguas Residuales Bovinos-2016*)

✓ **TANQUE SEDIMENTADOR CON MALLA**

Este tanque de dos compartimientos cumple la función de recibir las aguas provenientes del proceso de compactación del contenido ruminal, donde su flujo es lento, esto hace que los sólidos que alcanzan a filtrar sean suspendidos, obligándolos a pasar a través de 3 mallas consecutivas en cada tanque para aumentar la eficiencia del tratamiento, formando una capa flotante para facilitar su recolección. (*Manual Aguas Residuales Bovinos-2016*)

✓ **TANQUE EN ZIG-ZAG**

A este tanque llega el agua del anterior proceso, en donde el flujo es lento, obligando al agua a chocar contra las paredes con el objeto de que los sólidos más pequeños que lograron filtrarse durante todo el proceso, queden retenidos y el agua salga con menos carga contaminante para ser vertida a la laguna de oxidación. (*Manual Aguas Residuales Bovinos-2016*)



Foto 10 tanque Zig-zag Viveros Monje D. C.; 2016; CEAGRODEX DEL HUILA S.A

✓ **TRAMPAS DE GRASAS**

Son tanques encargados de retener la grasa proveniente de la planta de sebo por medio de gravedad y mallas instaladas adentro. El agua es bombeada desde el fondo hacia los tanques sedimentadores y de allí continúan su tratamiento hasta llegar a la laguna. (*Manual Aguas Residuales Bovinos-2016*)



Foto 11 Trampas de Grasa Viveros Monje D. C.; 2016; CEAGRODEX DEL HUILA S.A

✓ **Tratamiento Secundario:**

LAGUNA DE OXIDACIÓN

Se cuenta con una laguna facultativa aireada donde la mayoría de sólidos suspendidos se sedimentan en la base de la laguna, donde se desarrolla una zona que opera como un digestor (anaerobio); encima de la capa de lodo (anaerobio), existe una zona intermedia en la que el oxígeno disuelto se encuentra alguna parte del tiempo transferido por la zona superior y es el medio donde se desarrollan microorganismos. Las bacterias consumen oxígeno respirando y multiplicándose y al mismo tiempo, ellas descomponen la materia orgánica presente en el agua residual. (*Manual Aguas Residuales Bovinos-2016*)

Los sólidos sedimentados son retirados cada 15 días por medio de bombeo con el fin de evitar que la laguna se sature y pierda su funcionalidad, estos lodos son deshidratados a temperatura ambiente a un costado de la laguna, en un lecho de secado que poseen en su base zanjadas con material filtrante para ayudar a su lixiviación y realizar una descarga con menos carga contaminante. (*Manual Aguas Residuales Bovinos-2016*)



Foto 12 laguna de oxidación Ceagrode x del Huila S.A.



Foto 13 Filtro con Grava Ceagrodex del Huila S.A.

10.3 Fecha de realización

Esta investigación tuvo una duración experimental cercana a 200 días, contando desde el día en que se inició con la recolección y adaptación de las plantas.

10.4 Materiales.

En el desarrollo de la investigación se utilizaron los siguientes materiales:

Sustratos: Como afluentes del sistema de pos tratamiento se utilizaron las aguas provenientes de la laguna de oxidación de la planta de sacrificio CEAGRODEX DEL HUILA S.A. la cual es el último paso de las aguas residuales de la planta de beneficio, en esta estación se encuentran las aguas lluvias, aguas sanguinolentas, las aguas grasas y aguas verdes.

Aguas sanguinolentas: Estas aguas provienen de las zonas de proceso de sacrificio y se originan cuando se mezcla la sangre que escurre después de la zona de sangría y durante todo el proceso.

Aguas lluvia: esta agua es generada en la época estacionaria de Lluvias. Los desagües tienen una pendiente no menor a 1%, por considerarse que durante las lluvias, ésta pueda arrastrar consigo estiércol de la superficie de los corrales y son conducidas por canal abierto hacia el sistema de tratamiento de aguas residuales de plaza de ferias y las demás aguas lluvias tienen tubería de desagüe hacia el punto de descarga de aguas residuales.

Aguas Grasas: procede de las zonas donde se hace lavado, o escaldado de vísceras, cuando los intestinos se lavan hay desprendimiento de grasa en forma de emulsión como consecuencia de la manipulación en los procesos donde se realiza el escaldado de panzas, librillos y cuajos. También se produce durante el lavado de la canal y sierra canal, cuando se retiran los riñones y se quita la grasa superficial; partículas de grasa caen al piso y se adhieren a él y solamente mediante agua caliente o detergentes se puede eliminar. También se generan aguas grasas en la sala de Bovino y desposte cuando se hace limpieza de carnes frías o lavado de canastillas produciendo desprendimiento de grasa

como consecuencia de los restos de carne y sebo que quedan en ella. La pendiente mínima para éstos desagües es de 1.5%.

Aguas Verdes: provienen del lavado de los corrales durante la limpieza de los bovinos, insensibilizado, izado, anudado de esófago y retiro de cabezas, (contenido ruminal), sala de vísceras blancas y del área de compostaje (compactador); estas aguas salen con alto contenido de material orgánico, merecen atención especial por los problemas que puede generar porque se sedimentan con gran facilidad y se depositan en sitios de difícil acceso. Para evitar depósitos indeseables de éstos residuos se utiliza una pendiente del 3%.

10.5 Material Biológico:

Se utilizó material extraído de afluentes propios de la región donde las plantas utilizadas se encontraban en su habitat natural, la *Limnocharis Flava* es una planta que se encontró en la quebrada la Arenosa, la cual se encuentra a 2km de la planta de beneficio.

También se trabajó con la planta emergente *Typha latifolia* que se da con facilidad en el rio las Ceibas por todo su recorrido por la ciudad de Neiva especialmente en las canalizaciones que la administración municipal construyo, de este mismo rio se obtiene la arena que nos sirvió como gravilla de filtración aparte fue de la única forma que la *Typha latifolia* se adaptara rápido a las aguas residuales de la planta.

La *Henteranthera retiformis* fue encontrada en las lagunas auxiliares del tratamiento de aguas residuales (estas lagunas son utilizadas solo si existe saturación de lodos y se requiere desplazar el agua de la laguna de oxidación para su mantenimiento o alguna adaptación nueva) como también fue encontrada en la entrada del cuerpo de agua que abastece la planta de beneficio.

10.6 Materiales de Construcción:

Se utilizaron 18 Canastas de 60cm de largo * 40cm de ancho * 41cm de alto para una capacidad de 72L., 3 tanques de 250 L, 36 adaptadores macho a presión de ½”, 18 Tee a presión de ½”, 6 codos a presión de ½”, 1 soldadura PVC1/8, limpiador pavco 1/2, 36 llave

de bola de ½” PVC, 3 buje a presión de 1 x ½”, un cinta de teflón, 4 tubos de ½” de 6 metros, grava media, entre otros.

10.7 Métodos

Se inició con dos meses anticipados ya que las plantas no mostraban adaptación a este tipo de agua residual, por lo tanto mientras se realizaba la recolección total de las plantas a utilizar se dejaron con mezclas distintas para que ellas se fueran adaptando al agua residual.

Se evaluaron 15 Tratamientos: 3 materiales biológicos, 2 de ellos plantas emergentes (*Typha latifolia* y *Limnocharis flava*) y el otro una planta flotante (*Henteranthera retiformis*) y 2 controles, uno para las plantas flotantes y uno para la planta emergente, a 3 concentraciones de afluyente así: efluentes de la laguna de oxidación sin diluir (C₁), efluentes de la laguna de oxidación diluidos al 40% (C_{0,4}) y efluentes de la laguna de oxidación diluidos al 10% (C_{0,1}).

El control de las plantas flotantes contenía las mismas características que las utilizadas para *Henteranthera retiformis*, pero sin material biológico, con el fin de evaluar la capacidad de autodepuración, por efecto de los microorganismos, que tendría la laguna en ausencia de las plantas.

El control de la planta emergente fue una laguna, de las mismas características que las utilizadas para la *Typha Latifolia* y *Limnocharis flava*, pero en la que no se sembró material biológico, con el fin de evaluar el efecto de la gravilla (tratamiento físico y biológico) sobre la eliminación de la carga orgánica en ausencia de las plantas

Primera línea (100% de agua residual)

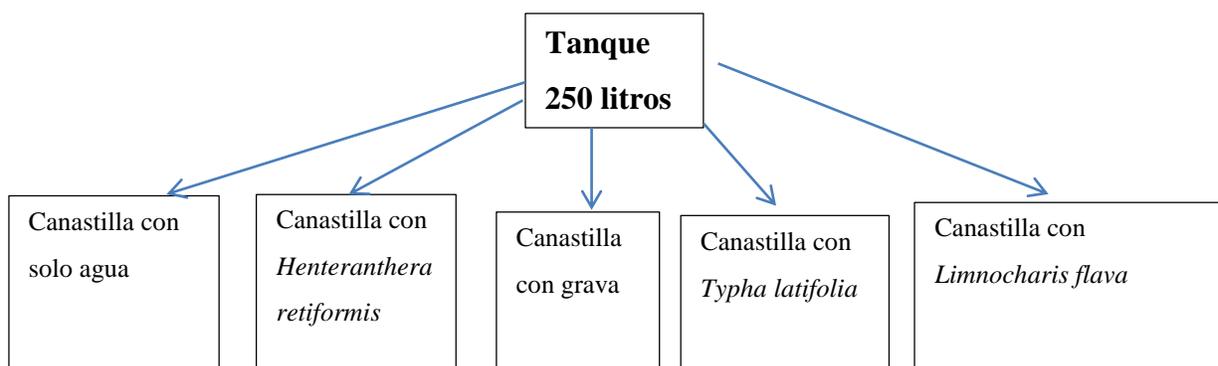


Figura 4. Distribución de lagunas artificiales al 100%

Segunda línea (40% de agua residual)

Para el segundo montaje se utilizó 40% de agua de la laguna y 60% de agua de grifo (100 litros de agua de la laguna y 150 litros de agua de grifo para tanques de 250 litros).

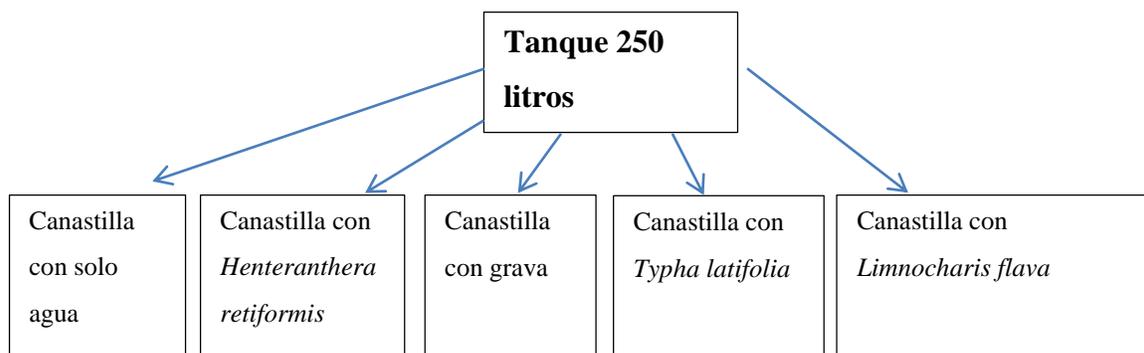


Figura 5 Distribución de lagunas artificiales al 40%

Tercera línea (10% de agua residual)

Para el tercer montaje se utilizó 10% de agua de la laguna y 90% de agua de grifo (25 litros de agua de la laguna y 225 litros de agua de grifo para tanques de 250 litros).

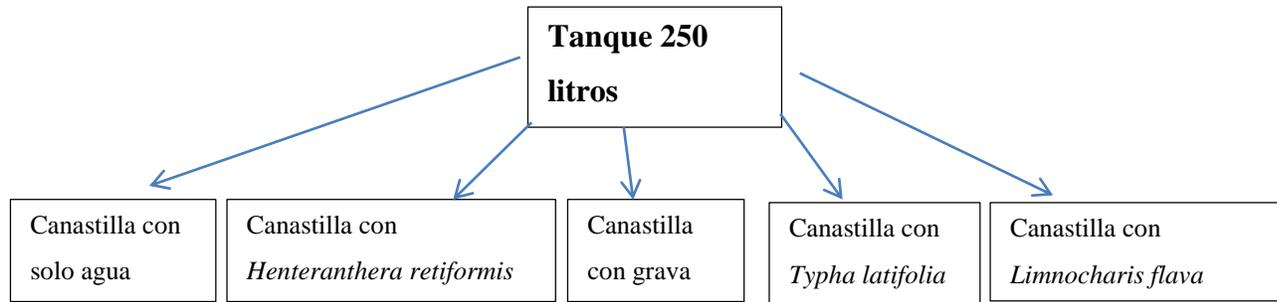


Figura 6 Distribución de lagunas artificiales al 10%

▪ **Regulación del flujo del agua a pos tratar.**

Las aguas residuales provenientes de la laguna de oxidación se canalizaron hasta un primer tanque de polietileno de 250 L para alimentar en forma continua las 5 primeras lagunas que operan sin dilución. De forma separada se realizaron las mezclas de los efluentes en 2 tanques adicionales de 250 L para alimentar las lagunas que operaban al 40% de dilución y al 10% de dilución. En la Tabla 2 se condensan los tratamientos evaluados en el presente estudio.

Tipo de laguna	Concentración Original	Concentración 0,4 original	Concentración 0,1 original
<i>Limnocharis flava</i>	100% efluente (Tratamiento 1)	40 % efluente 60 % de agua (Tratamiento 2)	10 % efluente 90 % de agua (Tratamiento 3)
<i>Typha latifolia</i>	100% efluente (Tratamiento 4)	40% efluente 60% de agua (Tratamiento 5)	10% efluente 90% de agua (Tratamiento 6)
<i>Henteranthera retiformis</i>	100% efluente (Tratamiento 7)	40% efluente 60% de agua (Tratamiento 8)	10% efluente 90% de agua (Tratamiento 9)
Control flotante.	100% efluente (Tratamiento 10)	40% efluente 60% de agua (Tratamiento 11)	10% efluente 90% de agua (Tratamiento 12)
Control emergente.	100% efluente (Tratamiento 13)	40% efluente 60% de agua (Tratamiento 14)	10% efluente 90% de agua (Tratamiento 15)

Tabla 2 Descripción de los tratamientos evaluados

- **Densidad de arranque de las plantas evaluadas.**

La densidad de arranque de las diferentes plantas acuáticas flotantes se determinó pesando la biomasa que permitía cubrir el 75% del área superficial efectiva de las lagunas experimentales. Para el caso de la planta emergente, las *Typhas* se sembraron, en cuadro, a una densidad de 30 plantas/m².

- **Evaluación de la depuración alcanzada con las macrófitas.**

Se evaluó la eliminación de carga orgánica mediante la realización de 3 muestreos compuestos. En cada muestreo se tuvo en cuenta el tiempo de detención hidráulica calculado para cada laguna, para tomar las muestras de los efluentes y determinando la DQO, Sólidos Totales, Sólidos Suspendidos en el afluente y en el efluente de las lagunas.

- **Muestreos y análisis del agua.**

Se realizó una primera caracterización de las aguas para conocer el estado de las aguas residuales con respecto a los parámetros de DQO, ST, SS y carga microbiana de la salida de la laguna de oxidación.

Las muestras se recolectaron en botellas de vidrio de 1lt de capacidad previamente esterilizada, las cuales se destapan *in situ*, y se lavan 3 veces con el agua a analizar, de acuerdo con las recomendaciones del Standard Methods (APHA, AWWA, WPCF, 1992) e inmediatamente se llenaron con la muestra.

- **Variables climáticas:** Con el fin de presentar las condiciones climáticas en las que se desarrolló el ensayo se tuvo en cuenta la temperatura cada día de visita, y la precipitación si era necesario.
- **Muestreo y caracterización de la biomasa.**

Quincenalmente y durante el tiempo que duró la experimentación, se pesó la biomasa del material flotante, con el fin de determinar su tasa de crecimiento. Para ello se retiró el material

de la laguna, se pesa *in situ*, se retiró el material excedente y se colocó nuevamente en la laguna, la cantidad inicial.

Para determinar el crecimiento de la planta emergente se seleccionaron 3 plantas por laguna (una de la parte inicial, otra de la parte media y otra de la parte final) y 3 hojas por planta. Los tallos se marcan 10 cm por encima de la capa de grava y las hojas a 10 cm de la base del tallo (parte del tallo donde nace la hoja), utilizando una aguja hipodérmica y realizando el agujero en la parte central tanto del tallo como de las hojas. Periódicamente se midió el desplazamiento, en cm, del agujero tanto en los tallos como en las hojas, utilizando la metodología empleada por Zieman (1974), reportada por Benedito (1996).

- **Análisis de la información.**

Para cada especie de macrófita y concentración de afluente se tomó como valores representativos la remoción de la DQO. Luego se tomaron todos los valores de las demás variables, que se registraron y con esta información se procedió a estimar el promedio, la desviación estándar, el coeficiente de variación y los valores mínimos y máximos para cada variable y tratamiento evaluado.

Se utilizó la estadística descriptiva (promedio, desviación estándar, valores mínimos y máximos) para analizar los datos de variables exógenas (condiciones climáticas) y de variables complementarias (tasas de crecimiento de las macrófitas, medidas biométricas de las plantas, entre otras).

11 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los objetivos de la investigación se alcanzaron mediante las siguientes etapas:

11.1 Construcción de las canastillas con el agua residual de experimentación

Las canastillas se construyeron contiguas, se cubrieron en el fondo y en las paredes laterales con un material de polietileno de baja densidad (Agroblack Esp. 6) para evitar la infiltración. La salida del efluente tratado se estableció para cada canastilla a un nivel de 38 cm medido desde el fondo de la laguna y a través de tubería de PVC de 1" y la toma del agua se hace desde el fondo de la misma.

Las canastillas se construyeron con una capacidad efectiva de 72 litros cada una y con las siguientes dimensiones: 60 cm de largo, 40 cm de ancho y 41 cm de profundidad y con una pendiente del 1%.

Las canastillas operaron bajo un cobertizo construido en guadua y plástico para evitar la incidencia de las aguas lluvias que ocasionarían dilución de las aguas a tratar. De igual manera se realizaron canales para desviar las aguas de esorrentía y evitar que ingresaran a las canastillas.



Foto 14 Montaje de lagunas artificiales; Viveros Monje D. C.; 2016; CEAGRODEX DEL HUILA S.A



Foto 15 Plantación en lagunas artificiales; Viveros Monje D. C.; 2016; CEAGRODEX DEL HUILA S.A

- ❖ **Logro del objetivo específico N°1:** Determinar los porcentajes de eliminación de la carga orgánica, expresada como DQO, ST y SST y la eliminación de los coliformes fecales y totales por parte de 3 especies de plantas acuáticas: *Limnocharis flava*, *Typha latifolia*, *Heteranthera reniformis*.

El primer paso de la investigación consistió en la caracterización de las aguas residuales provenientes de la laguna de oxidación de CEAGRODEX DEL HUILA S.A. Los resultados se presentan en la tabla 3

Parámetro	Unidades	Valor	CV (%)
Temperatura	°C	29,7	4,29
pH	Unidades	7,44	2,57
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg O ₂ /L	194	41,55
Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ /L	768	0,37
Sólidos Totales	mg/L	1196	0,42
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	251	30,43
Coliformes Totales	UFC/100 ml	6700000	-
Coliformes fecales	UFC/100 ml	4150000	-

Tabla 3 Resultados de los parámetros evaluados en el agua residual a la salida de la laguna de oxidación

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla, se puede observar que los valores de los parámetros del agua tratada no permiten cumplir con lo exigido en la resolución 0631 del 2015 para descarga a cuerpos de agua, en parámetros como los sólidos suspendidos, valor medio de la caracterización de 251 ppm y valor de la norma de 200 ppm. Para el caso de la DQO el valor está muy cercano a la norma, 768 ppm en la caracterización y 800 ppm en la norma. Lo anterior justifica la necesidad de realizar un postratamiento al agua tratada en la laguna de oxidación.

Diferentes autores reportan que las aguas tratadas con concentraciones de DQO mayores a 500 ppm generan un impacto ambiental negativo sobre los organismos acuáticos, motivo por el cual se debe estudiar la posibilidad de realizar un postratamiento de las aguas residuales para así minimizar los impactos negativos que ellas generan.

En la Tabla 4 se presentan las características de las aguas residuales utilizadas en la experimentación, para alimentar los humedales artificiales.

Parámetro	Unidades	Valor
Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ /L	768
Sólidos Totales	mg/L	1196
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	251
Coliformes Totales	UFC/100 ml	6700000
Coliformes fecales	UFC/100 ml	4150000

Tabla 4. Características de las aguas utilizadas en los humedales

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 4, los efluentes de la laguna de oxidación, en la cual se tratan las aguas residuales de las plantas de beneficio se caracterizan por una alta carga microbiana y unos contenidos de DQO, ST y SST por encima o muy cercanos a los valores máximos permisibles por la norma ambiental vigente.

En la tabla 5 se presentan los resultados de los muestreos del mes de agosto y en la tabla 6, los porcentajes de remoción.

Tratamiento	DQO (ppm)	SST (ppm)	ST (ppm)	CT (UFC/100ml)	CF (UFC/100ml)
T1 <i>Lymnocharis/100</i>	353	166	1095	1400000	110000
T2 <i>Lymnocharis/40</i>	173	70	673	280000	0
T3 <i>Lymnocharis/10</i>	50	10	200	1060000	80000
T4 <i>Typha/100</i>	306	118	890	1700000	160000
T5 <i>Typha/40</i>	130	38	320	160000	0
T6 <i>Typha/10</i>	53	4	199	260000	0
T7 <i>heteranthera/100</i>	373	182	1162	2500000	20000
T8 <i>heteranthera/40</i>	200	120	745	-----	-----
T9 <i>heteranthera/10</i>	60	6	518	790000	60000
T10 <i>C Emerg/100</i>	324	201	1205	500000	200000
T11 <i>C Emerg/40</i>	140	118	783	500000	0
T12 <i>C Emerg/10</i>	48	38	466	840000	50000
T13 <i>C Flo/100</i>	343	137	1297	0	0
T14 <i>C Flo/40</i>	223	78	772	2600000	30000
T15 <i>C Flo/10</i>	86	42	282	760000	0

Tabla 5 Resultados de los efluentes del primer muestreo realizado

Tratamiento	Remoción DQO (%)	Remoción SST (%)	Remoción ST (%)	Remoción CT (%)	Remoción CF (%)
T1 <i>Lymnocharis/100</i>	54,04	33,86	8,44	79,10	100,00
T2 <i>Lymnocharis/40</i>	45,08	39,13	-38,48	89,55	80,72
T3 <i>Lymnocharis/10</i>	37,50	70,59	-52,67	-58,21	96,14
T4 <i>Typha/100</i>	60,16	52,99	25,59	74,63	100,00
T5 <i>Typha/40</i>	58,73	66,96	34,16	94,03	100,00
T6 <i>Typha/10</i>	33,75	88,24	-51,91	61,19	99,52
T7 <i>heteranthera/100</i>	51,43	27,49	2,84	62,69	
T8 <i>heteranthera/40</i>	36,51	-4,35	-53,29		85,54
T9 <i>heteranthera/10</i>	25,00	82,35	-295,42	-17,91	95,18
T10 <i>C Emerg/100</i>	57,81	19,92	-0,75	92,54	100,00
T11 <i>C Emerg/40</i>	55,56	-2,61	-61,11	81,34	87,95
T12 <i>C Emerg/10</i>	40,00	-11,76	-255,73	-25,37	100,00
T13 <i>C Flo/100</i>	55,34	45,42	-8,44	100,00	98,19
T14 <i>C Flo/40</i>	29,21	32,17	-58,85	2,99	100,00
T15 <i>C Flo/10</i>	-7,50	-23,53	-115,27	-13,43	100,00

Tabla 6 . Resultados de la eliminación de la contaminación en el primer muestreo realizado

Partiendo de los valores arrojados por la caracterización de las aguas de salida de cada una de las lagunas, se evidencia que en el muestreo del mes de agosto, para los tratamientos alimentados con agua sin diluir, las mayores remociones de DQO y SST se encontraron para la planta emergente *Typha latifolia* (valores de 60,16% y 52,99% respectivamente), seguido de la planta emergente *Limnocharis flava* (54,04% y 33,86% respectivamente) y de la planta flotante *Heteranthera reniformis* (51,43% y 27,49% respectivamente). Los testigos flotante y emergente mostraron valores de eliminación de DQO del 57,81% y 55,34% respectivamente y remociones de SST del 19,92% y 45,42% respectivamente, confirmando la gran bondad de la grava para ayudar a la eliminación de SST.

En este primer muestreo se observó una mayor remoción de la DQO en los tratamientos que utilizaron agua sin diluir, seguido de los tratamientos que utilizaron agua diluida al 40% y de los tratamientos que utilizaron agua diluida al 10%. Los valores de remoción de los coliformes fecales variaron para todos los tratamientos entre 80,72% y 100%.

En la tabla 7 se presentan los resultados de los muestreos del mes de septiembre y en la tabla 8, los porcentajes de remoción.

Tratamiento	DQO (ppm)	SST (ppm)	ST (ppm)	CT (UFC/100ml)	CF (UFC/100ml)
T1 <i>Lymnocharis/100</i>	380	315	1214	-----	-----
T2 <i>Lymnocharis/40</i>	200	96	846	7200000	40000
T3 <i>Lymnocharis/10</i>	49	13	456	2300000	0
T4 <i>Typha/100</i>	222	248	1181	12500000	90000
T5 <i>Typha/40</i>	79	68	513	4320000	0
T6 <i>Typha/10</i>	29	20	292	2400000	0
T7 <i>heteranthera/100</i>	398	391	1403	-----	-----
T8 <i>heteranthera/40</i>	155	144	919	-----	-----
T9 <i>heteranthera/10</i>	54	45	614	-----	-----
T10 <i>C Emerg/100</i>	420	404	1322	500000	200000
T11 <i>C Emerg/40</i>	130	169	783	500000	0
T12 <i>C Emerg/10</i>	44	38	624	840000	50000
T13 <i>C Flo/100</i>	243	278	1197	0	0
T14 <i>C Flo/40</i>	213	42	1072	2600000	30000
T15 <i>C Flo/10</i>	81	32	587	760000	0

Tabla 7 Resultados de los efluentes del segundo muestreo realizado

Considerando los resultados obtenidos en la caracterización de las aguas de salida de cada una de las lagunas, en este segundo muestreo, se evidencia que en el muestreo del mes de septiembre, para los tratamientos alimentados con agua sin diluir, las mayores remociones de DQO se encontraron nuevamente para la planta emergente *Typha latifolia* (valores de 71,09%), seguido de la planta emergente *Limnocharis flava* (50,52%) y de la planta flotante *Heteranthera reniformis* (48,18%). Los testigos flotante y emergente mostraron valores de eliminación de DQO del 45,31% y 68,36% respectivamente. En este segundo muestreo se observó una remoción de los coliformes fecales en un rango de variación, considerando todos los tratamientos, entre 87,95% y 100%.

Tratamiento	Remoción DQO (%)	Remoción SST (%)	Remoción ST (%)	Remoción CT (%)	Remoción CF (%)
T1 <i>Lymnocharis/100</i>	50,52	-25,50	-1,51	-	-
T2 <i>Lymnocharis/40</i>	36,51	16,52	-74,07	-168,66	97,59
T3 <i>Lymnocharis/10</i>	38,75	61,76	-248,09	-243,28	100,00
T4 <i>Typha/100</i>	71,09	1,20	1,25	-86,57	97,83
T5 <i>Typha/40</i>	74,92	40,87	-5,56	-61,19	100,00
T6 <i>Typha/10</i>	63,75	41,18	-122,90	-258,21	100,00
T7 <i>heteranthera/100</i>	48,18	-55,78	-17,31	-	-
T8 <i>heteranthera/40</i>	50,79	-25,22	-89,09	-	-
T9 <i>heteranthera/10</i>	32,50	-32,35	-368,70	-	-
T10 <i>C Emerg/100</i>	45,31	-60,96	-10,54	92,54	95,18
T11 <i>C Emerg/40</i>	58,73	-46,96	-61,11	81,34	100,00
T12 <i>C Emerg/10</i>	45,00	-11,76	-376,34	-25,37	87,95
T13 <i>C Flo/100</i>	68,36	-10,76	-0,08	100,00	100,00
T14 <i>C Flo/40</i>	32,38	63,48	-120,58	2,99	98,19
T15 <i>C Flo/10</i>	-1,25	5,88	-348,09	-13,43	100,00

Tabla 8 Resultados de la eliminación de la contaminación en el segundo muestreo realizado

En la tabla 9 se presentan los resultados de los muestreos del mes de octubre y en la tabla 9, los porcentajes de remoción.

Tratamiento	DQO (ppm)	SST (ppm)	ST (ppm)	CT (UFC/100ml)	CF (UFC/100ml)
T1 <i>Lymnocharis</i> /100	228	242	1028	-----	-----
T2 <i>Lymnocharis</i> /40	175	105	731	-----	-----
T3 <i>Lymnocharis</i> /10	71	33	324	100000	0
T4 <i>Typha</i> /100	211	207	1005	-----	-----
T5 <i>Typha</i> /40	156	89	624	1100000	80000
T6 <i>Typha</i> /10	67	45	277	500000	0
T7 <i>heteranthera</i> /100	222	294	1321	-----	-----
T8 <i>heteranthera</i> /40	151	173	848	-----	-----
T9 <i>heteranthera</i> /10	63	66	548	-----	-----
T10 <i>C Emerg</i> /100	271	307	1405	500000	200000
T11 <i>C Emerg</i> /40	147	188	802	500000	0
T12 <i>C Emerg</i> /10	54	74	605	840000	0
T13 <i>C Flo</i> /100	231	281	1121	0	0
T14 <i>C Flo</i> /40	223	123	992	2600000	30000
T15 <i>C Flo</i> /10	96	61	602	760000	0

Tabla 9 Resultados de los efluentes del tercer muestreo realizado

Considerando los resultados obtenidos en la caracterización de las aguas de salida de cada una de las lagunas, en este tercer muestreo, se evidencia que en el muestreo del mes de octubre, para los tratamientos alimentados con agua sin diluir, las mayores remociones de DQO se encontraron nuevamente para la planta emergente *Typha latifolia* (valores de 72,53%), seguido de la planta *Heteranthera reniformis* (71,09%) y de la planta emergente *Limnocharis flava* (70,31%). Los testigos flotante y emergente mostraron valores de eliminación de DQO del 64,71% y 69,92% respectivamente. En este tercer muestreo se observó una remoción de los coliformes fecales en un rango de variación, considerando todos los tratamientos, entre 95,18% y 100%.

Tratamiento	Remoción DQO (%)	Remoción SST (%)	Remoción ST (%)	Remoción CT (%)	Remoción CF (%)
T1 <i>Lymnocharis</i> /100	70,31	3,59	14,05		
T2 <i>Lymnocharis</i> /40	44,44	8,70	-50,41		
T3 <i>Lymnocharis</i> /10	11,25	2,94	-147,33	85,07	100,00
T4 <i>Typha</i> /100	72,53	17,53	15,97		
T5 <i>Typha</i> /40	50,48	22,61	-28,40	58,96	95,18
T6 <i>Typha</i> /10	16,25	-32,35	-111,45	25,37	100,00
T7 <i>heteranthera</i> /100	71,09	-17,13	-10,45		
T8 <i>heteranthera</i> /40	52,06	-50,43	-74,49		
T9 <i>heteranthera</i> /10	21,25	-94,12	-318,32		
T10 <i>C Emerg</i> /100	64,71	-22,31	-17,47	92,54	95,18
T11 <i>C Emerg</i> /40	53,33	-63,48	-65,02	81,34	100,00
T12 <i>C Emerg</i> /10	32,50	-117,65	-361,83	-25,37	100,00
T13 <i>C Flo</i> /100	69,92	-11,95	6,27	100,00	100,00
T14 <i>C Flo</i> /40	29,21	-6,96	-104,12	2,99	98,19
T15 <i>C Flo</i> /10	-20,00	-79,41	-359,54	-13,43	100,00

Tabla 10 Resultados de la eliminación de la contaminación en el tercer muestreo realizado

- **Logro del objetivo específico N° 2:** Determinar las tasas de crecimiento de las 3 especies acuáticas evaluadas.

Para este objetivo se realizó un seguimiento, con una periodicidad de 15 días, donde se realizó el pesaje de la biomasa de las plantas y se realizó la medición de las *Typhas*, se midió la temperatura del día de muestreo y la pluviosidad.

En la Tabla 11 se presentan los valores de crecimiento de la biomasa evaluada.

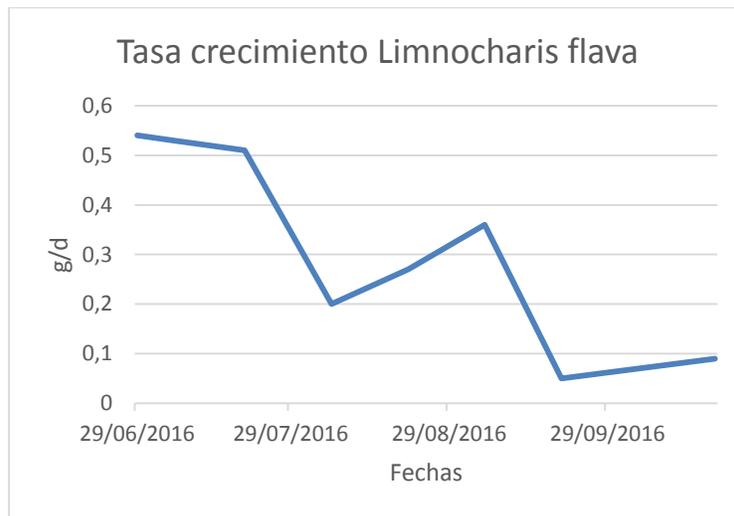
Fecha	Especie	Precipitación	T° / Día	gramos ganados			cm ganados		
				100%	40%	10%	100%	40%	10%
29/06/16	<i>Limnocharis Flava</i>	0-50mm	30°C	8,1	8,1	8,1			
	<i>Typha latifolia</i>						0	0	0
	<i>Heteranthera</i>			39	39	39			
6/07/16	<i>Limnocharis Flava</i>	0-50mm	32°C	1,83	4,3	5			
	<i>Typha latifolia</i>						10	10	15
	<i>Heteranthera</i>			0	0	10			
20/07/16	<i>Limnocharis Flava</i>	0-50mm	31°C	0	1,5	20			
	<i>Typha latifolia</i>						5	5	5
	<i>Heteranthera</i>			0	0	1,4			
6/08/16	<i>Limnocharis Flava</i>	0-50mm	30°C	0	3	7			
	<i>Typha latifolia</i>						0	5	5
	<i>Heteranthera</i>			0	0	1,2			
21/08/16	<i>Limnocharis Flava</i>	0-50mm	29°C	0	6,5	5,5			
	<i>Typha-latifolia</i>						0	5	5
	<i>Heteranthera</i>			0	0	1			
5/09/16	<i>Limnocharis Flava</i>	50-100mm	30°C	0	15	2,3			
	<i>Typha latifolia</i>						0	5	5
	<i>Heteranthera</i>			0	0	0			
20/09/16	<i>Limnocharis Flava</i>	50-100mm	21°C	0	0	2			
	<i>Typha latifolia</i>						0	2	2
	<i>Heteranthera</i>			0	0	0			
5/10/16	<i>Limnocharis Flava</i>	50-100mm	30°C	0	0	3,2			
	<i>Typha-latifolia</i>						0	4	2
	<i>Heteranthera</i>			0	0	0			
20/10/16	<i>Limnocharis Flava</i>	50-100mm	27°C	0	0	4			
	<i>Typha latifolia</i>						0	5	5
	<i>Heteranthera</i>			0	0	0			

Tabla 11 Seguimiento de crecimiento de las especies evaluadas

En la tabla 12 se presenta la tasa de crecimiento promedio para la especie *Limnocharis flava*.

<i>Limnocharis flava</i>	
Fecha	Tasa de Crecimiento g/d
29/06/16	0,54
06/07/16	0,53
20/07/16	0,51
06/08/16	0,20
21/08/16	0,27
05/09/16	0,36
20/09/16	0,05
05/10/16	0,07
20/10/16	0,09

Tabla 12 Tasa de crecimiento de la especie *Limnocharis flava*



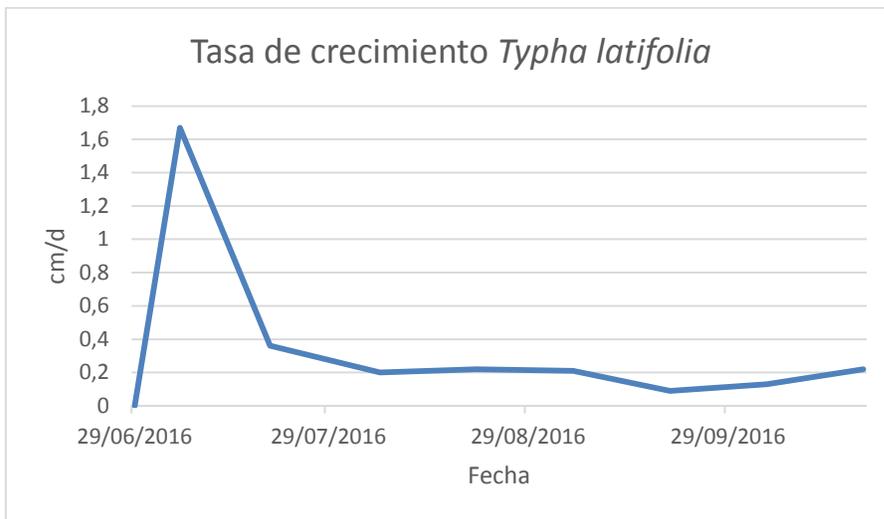
Grafica 1 Tasa de crecimiento de la especie *Limnocharis flava*

La tasa promedio de crecimiento de *Limnocharis flava*, durante todo el período de experimentación fue de 0,29 g/d. Se observa que a medida que transcurrió la experimentación las tasas de crecimiento disminuyeron, uno de los factores a los que se le atribuye esta disminución fue los cambios de temperatura que se evidenciaron a partir del mes de septiembre y al comienzo de las lluvias en la zona. En general las tasas de crecimiento fueron mayores en los tratamientos alimentados con aguas diluidas al 10%.

En la tabla 13 se presenta la tasa de crecimiento promedio para la especie *Typha latifolia*.

<i>Typha latifolia</i>	
Fecha	Tasa de Crecimiento cm/d
29/06/16	0
06/07/16	1,67
20/07/16	0,36
06/08/16	0,20
21/08/16	0,22
05/09/16	0,21
20/09/16	0,09
05/10/16	0,13
20/10/16	0,22

Tabla 13 Tasa de Crecimiento de la *Typha latifolia*



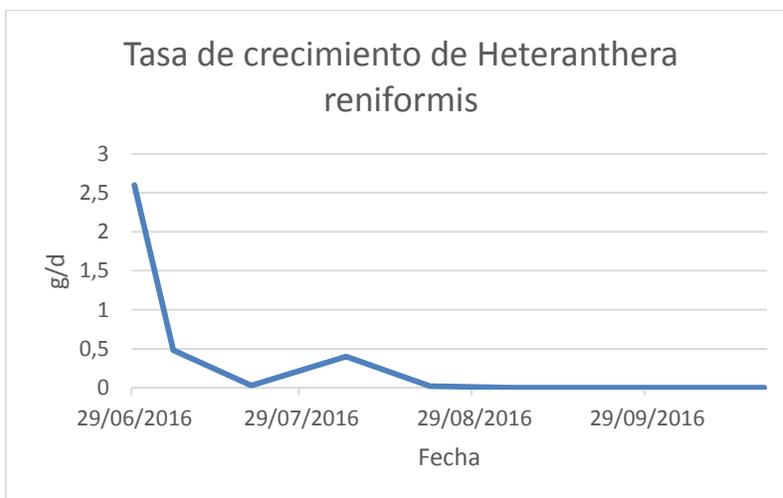
Grafica 2 Tasa de crecimiento *Typha latifolia*

La tasa promedio de crecimiento de *Typha latifolia*, durante todo el período de experimentación fue de 0,34 cm/d. Con esta especie emergente se inició con un valor de cero debido a que este valor fue el punto de arranque para los cm que ganó el tallo durante la investigación, por esta razón es que se observa un inicio de adaptación de la planta lento que le toma un mes, luego de esto la planta presenta un pico elevado en su crecimiento a finales del mes de junio e inicios del mes de julio para luego estabilizar su tasa de crecimiento.

En la tabla 14 se presenta la tasa de crecimiento promedio para la especie *Heteranthera reniformis*.

<i>Heteranthera reniformis</i>	
Fecha	Tasa de Crecimiento g/d
29/06/16	2,60
06/07/16	0,48
20/07/16	0,03
06/08/16	0,40
21/08/16	0,02
05/09/16	0
20/09/16	0
05/10/16	0
20/10/16	0

Tabla 14 Tasa de Crecimiento *Heteranthera reniformis*



Grafica 3 Tasa de crecimiento de la especie *Heteranthera reniformis*

La tasa promedio de crecimiento de *Heteranthera reniformis*, durante todo el período de experimentación fue de 0,39 g/d. En esta planta, después de 1 mes de experimentación no se observa crecimiento, los factores que pudieron afectar su desarrollo pueden estar ligados a los cambios de temperatura, pues no se observó crecimiento en ninguno de los tratamientos alimentados a diferentes cargas orgánicas.

• **Logro del objetivo específico N° 3:** *Determinar cuál especie acuática es la más apropiada para el pos tratamiento de las aguas de las centrales de sacrificio considerando aspectos tales como, eliminación de contaminantes, tasas de crecimiento, resistencia a enfermedades y plagas.*

En las tabla 15 y 16 se presentan los valores promedio de remoción de carga orgánica, expresada como DQO, SST y ST y de carga microbiana, expresada como CT y CF, para los 15 tratamientos evaluados.

Tratamiento	Remoción DQO (%)	CV (%)	Remoción SST (%)	CV (%)	Remoción ST (%)	CV (%)
T1 <i>Lymnocharis</i> /100	58,29	18,11	3,98	745,05	7,00	112,59
T2 <i>Lymnocharis</i> /40	42,01	11,37	21,45	73,68	-54,32	-33,35
T3 <i>Lymnocharis</i> /10	29,17	53,24	45,10	81,54	-149,36	-65,43
T4 <i>Typha</i> /100	67,93	9,96	23,90	110,77	14,27	85,88
T5 <i>Typha</i> /40	61,38	20,26	43,48	51,26	0,07	46149,65
T6 <i>Typha</i> /10	37,92	63,36	32,35	187,85	-95,42	-39,94
T7 <i>heteranthera</i> /100	56,90	21,79	-15,14	-275,24	-8,31	-123,36
T8 <i>heteranthera</i> /40	46,46	18,59	-26,67	-86,54	-72,29	-24,90
T9 <i>heteranthera</i> /10	26,25	21,82	-14,71	-608,93	-327,48	-11,45
T10 <i>C Emerg</i> /100	55,95	17,58	-21,12	-191,57	-9,59	-87,63
T11 <i>C Emerg</i> /40	55,87	4,85	-37,68	-83,54	-62,41	-3,62
T12 <i>C Emerg</i> /10	39,17	16,06	-47,06	-129,90	-331,30	-19,88
T13 <i>C Flo</i> /100	64,54	12,41	7,57	433,08	-0,75	-980,80
T14 <i>C Flo</i> /40	30,26	6,06	29,57	119,36	-94,51	-33,82
T15 <i>C Flo</i> /10	-9,58	-99,62	-32,35	-133,92	-274,30	-50,25

Tabla 15 Porcentajes de remoción de carga orgánica en los diferentes tratamientos.

De acuerdo con los valores condensados en la Tabla 15, los mayores porcentajes de remoción promedio para la DQO se encontraron para la planta emergente *Typha latifolia* en el tratamiento sin diluir (67,93%), seguido del testigo emergente en el tratamiento sin diluir (64,54%), de la planta emergente *Typha latifolia* en el tratamiento diluido al 40% (61,38%), de la planta emergente *Limnocharis flava* en el tratamiento sin diluir (58,29%), de la planta flotante *Heteranthera reniformis* en el tratamiento sin diluir (56,90%) y del testigo flotante en el tratamiento sin diluir (64,57%) y en el tratamiento diluido al 40% (55,87%), es decir que en 7 de los 15 tratamientos evaluados se logró tener un porcentaje de remoción de la DQO en valores mayores al 50%.

Lo anterior permite aceptar la hipótesis de trabajo H1, para los tratamientos alimentados con agua sin diluir “La utilización de humedales artificiales permite eliminar más del 50% de la carga orgánica afluente, en términos de DQO” y aceptar la hipótesis de trabajo H2 para los tratamientos alimentados con agua sin diluir “La Enea (*Typha latifolia*) permite obtener porcentajes de remoción mayores a los alcanzados con las demás plantas acuáticas evaluadas”.

Los mayores rendimientos de remoción de los SST se lograron en el tratamiento 4, correspondiente a la planta emergente *Typha latifolia* en el tratamiento sin diluir (23,90%).

Lo anterior permite aceptar, para el caso de los humedales que contenían la especie emergente *Typha latifolia*, la hipótesis de trabajo H3 “La utilización de humedales artificiales permite que se alcancen en los vertimientos, los parámetros de calidad de agua exigidos en la nueva normativa ambiental”.

Tratamiento	Remoción CT (%)	CV (%)	Remoción CF (%)	CV (%)
T1 <i>Lymnocharis</i> /100				
T2 <i>Lymnocharis</i> /40	-39,55	-461,62	98,80	1,72
T3 <i>Lymnocharis</i> /10	-72,14	-228,20	93,57	11,89
T4 <i>Typha</i> /100	-5,97	-1909,19	96,99	1,23
T5 <i>Typha</i> /40	30,60	266,05	98,39	2,83
T6 <i>Typha</i> /10	-57,21	-305,84	100,00	0,00
T7 <i>heteranthera</i> /100				
T8 <i>heteranthera</i> /40				
T9 <i>heteranthera</i> /10				
T10 C <i>Emerg</i> /100	92,54	0,00	95,18	0,00
T11 C <i>Emerg</i> /40	81,34	0,00	100,00	0,00
T12 C <i>Emerg</i> /10	-25,37	0,00	91,97	7,56
T13 C <i>Flo</i> /100	100,00	0,00	100,00	0,00
T14 C <i>Flo</i> /40	2,99	0,00	98,19	0,00
T15 C <i>Flo</i> /10	-13,43	0,00	100,00	0,00

Tabla 16 Porcentajes de remoción de carga microbiana en los diferentes tratamientos.

En promedio, para todos los tratamientos, los porcentajes de eliminación de coliformes fecales estuvieron en el rango entre 91,97% y 100%.

De lo anterior, se considera a la especie emergente *Typha latifolia* la planta más adecuada para un tratamiento de aguas residuales en plantas de beneficio bovino y porcino, debido a que esta planta presentó las mayores remociones de DQO y SST, además de capacidad de crecimiento vertical y reproducción sin que se observara, durante la investigación, ataque de enfermedades y plagas.



Foto 16 Cogollos de *Typha latifolia* en concentración de 40%; Viveros Monje D.C.; CEAGRODEX DEL HUILA S.A.



Foto 17 Plantación de *Typha latifolia* a concentración de 40%; Viveros Monje D.C.; 2016; CEAGRODEXDEL HUILA S.A.



Foto 18 Crecimiento de las hojas de *Typha* a concentraciones del 40% Viveros Monje D.C.; 2016; CEAGRODEXDEL HUILA S.A.

12 CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en la caracterización del agua residual proveniente de la laguna de oxidación en la central de beneficio evaluada, se concluye que los valores de los parámetros del agua tratada no permiten cumplir con lo exigido en la resolución 0631 del 2015 para descarga a cuerpos de agua, en parámetros como los sólidos suspendidos y que el valor de DQO está muy cercano al establecido por la norma. Lo anterior justifica la necesidad de realizar un postratamiento al agua tratada en la laguna de oxidación.

La tasa promedio de crecimiento de *Limnocharis flava*, durante todo el período de experimentación fue de 0,29 g/d, para la *Typha latifolia*, fue de 0,34 cm/d y para *Heteranthera reniformis*, fue de 0,39 g/d.

Los mayores porcentajes de remoción promedio para la DQO se encontraron para la planta emergente *Typha latifolia* en el tratamiento sin diluir (67,93%), seguido del testigo emergente en el tratamiento sin diluir (64,54%), de la planta emergente *Typha latifolia* en el tratamiento diluido al 40% (61,38%), de la planta emergente *Limnocharis flava* en el tratamiento sin diluir (58,29%), de la planta flotante *Heteranthera reniformis* en el tratamiento sin diluir (56,90%) y del testigo flotante en el tratamiento sin diluir (55,95%) y en el tratamiento diluido al 40% (55,87%), es decir que en 7 de los 15 tratamientos evaluados se logró tener un porcentaje de remoción de la DQO en valores mayores al 50%.

Los mayores rendimientos de remoción de los SST se lograron en el tratamiento 4, correspondiente a la planta emergente *Typha latifolia* en el tratamiento sin diluir (23,90%).

Se considera a la especie emergente *Typha latifolia* la planta más adecuada para un postratamiento de aguas residuales en plantas de beneficio bovino y porcino, debido a que esta planta presentó las mayores remociones de DQO y SST, además de capacidad de crecimiento vertical y reproducción sin que se observara, durante la investigación, ataque de enfermedades y plagas.

13 BIBLIOGRAFÍA

COBOS, S. O., JAIRO.; SERRANO, JAVIER.; (2006). Rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta de sacrificio de bovinos y porcinos del municipio de Lebrija - Santander. Universidad Industrial de Santander.

DE AGUAS, S. Q. D. S. (1999). Estudios técnicos de sustitución aplicables al saneamiento de aguas servidas de pequeñas comunidades, Colombia.

DÍAZ, C. (2014). Tratamiento de agua residual a través de humedales.

DURÁN, D. P. (2015-04-15). "No cesa la contaminación a las aguas del río Magdalena." Diario del Huila.

GARCÍA, J. A. P. and M. T. L. MUÑOZ "Plantas Acuáticas."

GARCIA M. Y VARGAS O, S. A., BERNAL F, OLAYA G, ROSERO M, CEBALLOS JL, GONZÁLEZ J, ALFONSO N, GARZÓN C, CAMPILLO A, ONOFRE C, ARÉVALO D, CAMPUZANO C, RODRÍGUEZ C, GONZÁLEZ JE, GUZMÁN A, PARADA G, ZARÁTE, TETAY C: CONSUELO L: (2014). "Estudio Nacional del Agua."

HIDALGO, J. C., et al. (2005). "Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas." Theoria **14**(1): 17-25.

HINCAPIE, S. and Y. HINCAPIE (1997). "Mataderos municipales su administración y operación." Universidad Distrital Francisco José de Caldas: 110.

LOPEZ LOPEZ, A., et al. (2008). "Comparative study between a physicochemical and a biological process to treat slaughterhouse wastewater." Interciencia **33**(7): 490-495.

MONJE CARDOZO, L. E. (2010). "Humedales artificiales como alternativa de tratamiento para aguas residuales domesticas."

MORATÓ, J., et al. (2006). Tecnologías sostenibles para la potabilización y el tratamiento de aguas residuales, Red Revista Lasallista de Investigación.

PIZZI, N. G. (2007). "Pre-Treatment Field Guide: American Water Works Association." Editorial AWWA. Estados Unidos.

RADOUX, M. (1989). "Epuración des eaux usées par hydrosère reconstituée." Tribune de l'eau **42**(4): 62-68.

RAMÓN, A. and J. I. MALDONADO (2013). "Sistema de tratamiento para aguas residuales industriales en mataderos." REVISTA AMBIENTAL AGUA, AIRE Y SUELO **1**(1).

REINA RODRIGUEZ, C. A. (2015). "El Matadero Municipal y la Plaza de Ferias de Bogotá: 1924-1934."

ROMERO-ORTIZ, L., et al. (2011). "Uso de hidrófitas y un sistema anaerobio para el tratamiento de agua residual de rastro." Polibotánica(31): 157-167.

ROMERO, A. A. and D. A. S. Pascual (2000). Contaminación ambiental, Trillas.

Jiang, J., Zhou, C., An, S., Yang, H., Guan, B., & Cai, Y. (2008). Sediment type, population density and their combined effect greatly charge the short-time growth of two common submerged macrophytes. *ecological engineering*, 34(2), 79-90.