

**Universidad Nacional De Ingeniería  
Facultad De Ingeniería Química**



**EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO  
HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS  
AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN**

**TRABAJO DE DIPLOMA PRESENTADO POR:**

**Henry Víctor Robleto Domínguez  
Juan Alberto Ortiz Parajón**

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**Tutor**

**Msc. Dionisio Vidal Cáceres Antón**

**Managua, Nicaragua 2020**

# TABLA DE CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	1
<b>DEDICATORIA</b> .....	3
<b>RESUMEN</b> .....	4
<b>I. INTRODUCCION</b> .....	5
<b>II. OBJETIVOS</b> .....	6
2.1 Objetivo general .....	6
2.2 Objetivos específico .....	6
<b>III. MARCO DE REFERENCIA</b> .....	7
3.1 Aguas residuales.....	7
3.1.1 Características físicas.....	7
3.1.2 Características químicas.....	8
3.1.3 Características Biológicas.....	9
3.2 Generalidades de los humedales artificiales .....	9
3.2.1 Clasificación.....	9
3.2.1.1 Sistemas de flujo horizontal superficial.....	10
3.2.1.2 Sistemas con flujo horizontal subsuperficial .....	10
3.2.1.3 Sistema de Flujo Vertical.....	10
3.2.2 Macrófitas .....	10
3.2.2.1 Macrófitas emergentes .....	10
3.2.2.2 Macrófitas sumergidas.....	11
3.2.2.3 Macrófitas flotantes .....	11
3.2.3 Microorganismos.....	11
3.3. Mecanismos de depuración del agua residuales en el humedal.....	12
3.3.1 Eliminación de la carga orgánica .....	12
3.3.1.1 Degradación aeróbica.....	12
3.3.1.2 Degradación anaeróbica.....	13
3.3.2 Mecanismo de eliminación de solidos suspendidos totales (SST)....	13
3.3.3 Mecanismos de eliminación del nitrógeno .....	13
3.3.3.1 Volatilización del amonio .....	13
3.3.3.2 Amonificación (mineralización) .....	14
3.3.3.3 Nitrificación .....	15
3.3.3.4 Desnitrificación .....	16
3.3.3.5 Asimilación .....	16
3.3.3.6 Adsorción.....	17
3.3.3.7 ANAMMOX (Anaerobic Ammonia Oxidation). .....	17

3.3.4 Mecanismos de eliminación del fósforo .....	17
3.3.4.1 Adsorción y precipitación.....	18
3.3.4.2 Asimilación .....	19
3.3.4.3 Remoción de bacterias .....	19
3.3.5 Mecanismos de eliminación de la DBO <sub>5</sub> .....	20
3.3.6 Mecanismos de eliminación de la DQO .....	20
<b>IV. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN .....</b>	<b>21</b>
4.1 Pre-Tratamiento .....	22
4.1.1 Rejillas .....	22
4.1.2 Trampa de grasa.....	22
4.1.3 Tamiz estático.....	22
4.2 Tratamiento primario .....	22
4.2.1 Biodigestores .....	22
4.2.2 Reactor con Deflectores y filtro anaerobio (Reactor Baffled) .....	23
4.3 Tratamiento secundario .....	23
4.3.1 Humedal artificial de Flujo horizontal (Flujo superficial) .....	23
4.3.2 Macrófitas flotantes en el humedal artificial de flujo horizontal .....	24
4.5 Característica del agua residual proveniente del proceso de matanza de reses y cerdos en el RML .....	24
4.5.1 Sangre .....	24
4.5.2 Grasas y Aceites.....	24
4.5.3 Estiércol.....	25
<b>V. MATERIALES Y METODO .....</b>	<b>26</b>
5.1 Sitio de estudio.....	26
5.2 Caracterización físico-química de las aguas residuales del humedal artificial de flujo horizontal libre .....	27
5.3 Determinación del caudal de agua residual del humedal artificial de flujo superficial.....	30
5.5 Determinación de la eficiencia de remoción en el humedal artificial de flujo horizontal.....	30
5.6 Alternativa técnica-económica para optimizar el funcionamiento y operación del sistema de tratamiento de las aguas residuales del RML.....	31
5.6.1 Diseño de humedales artificial de flujo horizontal .....	31
<b>VI. PRESENTACIÓN DE DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>35</b>
6.1 Resultados de la caracterización físico-química de las aguas residuales.....	35
6.1.1 Calidad del efluente con base al artículo 22 del decreto 21-2017 ....	43

6.2 Determinación del caudal de agua residual en el humedal artificial de flujo horizontal libre.....	44
6.2.1 Comportamiento del caudal residual.....	45
6.4 Eficiencia del humedal artificial en los porcentajes de remoción de contaminantes.....	46
6.5 Alternativa técnica-económica para optimizar el funcionamiento y operación del sistema de tratamiento de aguas residuales del RML .....	49
6.5.1 Dimensiones y criterios de diseño existentes del humedal artificial de flujo horizontal del rastro municipal de León.....	49
6.5.2 Caudal que debe recibir el humedal según sus dimensiones .....	50
6.5.3 Dimensiones que debe tener el humedal artificial de flujo horizontal de acuerdo al caudal que actualmente ingresa .....	51
6.5.4 Alternativa técnica-económica propuesta para optimizar el funcionamiento y operación del sistema de tratamiento del RML.....	56
6.5.4.1 Costo económico para la alternativa técnica propuesta .....	58
<b>VII. CONCLUSIONES .....</b>	<b>60</b>
<b>VIII. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>61</b>
<b>IX. GLOSARIO.....</b>	<b>62</b>
<b>X. NOMENCLATURA .....</b>	<b>66</b>
<b>XI. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>67</b>
<b>XII. ANEXOS.....</b>	<b>70</b>
ANEXO A: Métodos usados en la caracterización físico-química del Agua residual. ....	70
ANEXO B: Resultados de la caracterización físico-química del agua residual. ....	72
ANEXO C: Resultados horarios de los parámetros de campo en el Afluente y el afluente. ....	80
ANEXO D: Medición de caudal a la entrada y salida del humedal durante los muestreos. ....	83
ANEXO E: Graficas.....	88
ANEXO F: Cálculos de porcentajes de remoción promedio de la carga contaminante en el humedal artificial de flujo horizontal libre. ....	92
ANEXO G: Cálculos de los criterios de diseño del humedal artificial de flujo horizontal del rastro municipal de León.....	94
ANEXO H: Cálculo del caudal que debe ingresar al humedal de acuerdo a al tiempo de retención.....	96
ANEXO I: Cálculo de las dimensiones que debe tener el humedal de acuerdo al caudal que ingresa.....	97
ANEXO J: Art. 22 Decreto 21-2017.....	103

ANEXO K: Fotografía del humedal artificial de flujo horizontal de tratamiento de agua residual municipal bajo estudio. ....	104
ANEXO L: Memoria de cálculo de diseño del Humedal artificial de flujo horizontal para 40.77 m <sup>3</sup> /día .....	110
ANEXO M: Planos con las actuales dimensiones del humedal artificial de flujo horizontal del rastro municipal de la ciudad de León .....	112
ANEXO N: Planos de diseño para un humedal artificial de flujo horizontal de 40.77 m <sup>3</sup> /día para el rastro municipal de la ciudad de León .....	113

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 5.1</b> Artículo 22. Rangos y Valores Máximos Permisibles para los Vertidos a la Red de Alcantarillado Sanitario .....	27
<b>Tabla 5.2</b> Volumen de muestra tomada por hora de cada parámetro.....	29
<b>Tabla 5.3</b> Métodos analíticos utilizados en la caracterización Físico-química del agua residual.....	29
<b>Tabla 5.4</b> Parámetros de diseño de los humedales con flujo superficial.....	33
<b>Tabla 6.1</b> Resultados de la caracterización físico-química del afluente y efluente por muestreo en el humedal artificial de flujo horizontal .....	35
<b>Tabla 6.2</b> Valores promedio de los resultados de laboratorio de la caracterización del agua residual en el afluente y efluente .....	36
<b>Tabla 6.3</b> Resultados promedio de los parámetros de campo .....	36
<b>Tabla 6.4</b> Comparación de la concentración del efluente con el Art. 22 del decreto 21-2017 .....	43
<b>Tabla 6.5</b> Caudal residual promedio generado por cada día .....	44
<b>Tabla 6.6</b> Porcentajes de remoción promedio en el humedal artificial de flujo horizontal del rastro municipal de León.....	46
<b>Tabla 6.7</b> Características medias de las concentraciones de entrada y salida a un conjunto de Humedales Artificiales de Flujo horizontal libre.....	46
<b>Tabla 6.8</b> Tasas de carga hidráulica típica de la eliminación de nitrógeno en tratamientos con jacintos de agua.....	48
<b>Tabla 6.9</b> dimensiones del humedal de flujo horizontal del rastro municipal de la ciudad de León.....	49
<b>Tabla 6.10</b> Criterios de diseño del humedal del RML .....	49
<b>Tabla 6.11</b> Cálculo del tiempo de retención hidráulico en humedal del rastro municipal de León con el caudal actual.....	50
<b>Tabla 6.12</b> Cálculo del caudal que debe recibir el humedal según sus dimensiones .....	51
<b>Tabla 6.13</b> Cálculo de la concentración de DBO <sub>5</sub> esperada en el efluente.	52
<b>Tabla 6.14</b> Cálculo de la constante de reacción de primer orden .....	52

<b>Tabla 6.15</b> Calculo del caudal de diseño .....	52
<b>Tabla 6.16</b> Cálculo del Área Superficial .....	53
<b>Tabla 6.17</b> Cálculo de la longitud del humedal .....	53
<b>Tabla 6.18</b> Calculo del ancho del humedal .....	54
<b>Tabla 6.19</b> Calculo de la carga Hidráulica .....	54
<b>Tabla 6.20</b> Calculo la carga orgánica.....	54
<b>Tabla 6.21</b> Cálculo del tiempo de retención hidráulico.....	55
<b>Tabla 6.22</b> Criterios de diseño del humedal del RML redimensionados .....	55
<b>Tabla 6.23</b> Cálculo del Área Superficial .....	56
<b>Tabla 6.24</b> Cálculo de la longitud del humedal .....	56
<b>Tabla 6.25</b> Cálculo del tiempo de retención hidráulico .....	57
<b>Tabla 6.26</b> Calculo de la carga Hidráulica .....	57
<b>Tabla 6.27</b> Calculo la carga orgánica.....	57
<b>Tabla 6.28</b> Criterios de diseño del humedal de 40.77 m <sup>3</sup> /día del RML .....	57
<b>Tabla 6.29</b> Presupuesto para la alternativa de construcción de un nevó humedal en RML .....	58
<b>Tabla 6.30</b> Presupuesto para la construcción de la caja de recolección en el humedal .....	59
<b>Tabla 6.31</b> Costo tola de la construcción del humedal.....	59
<b>Tabla C-1</b> Resultados horarios del pH en el Afluente .....	80
<b>Tabla C-2</b> Resultados horarios del pH en el Efluente .....	80
<b>Tabla C-3</b> Resultados horarios de la Temperatura en el Afluente .....	81
<b>Tabla C-4</b> Resultados horarios de la Temperatura en el Efluente .....	81
<b>Tabla C-5</b> Resultados horarios de los sólidos sedimentables en el Afluente ...	82
<b>Tabla C-6</b> Resultados horarios de los sólidos sedimentables en el Efluente ...	82
<b>Tabla D-1</b> Medición de caudal muestreo I .....	83

<b>Tabla D-2</b> Medición de caudal muestreo II .....	84
<b>Tabla D-3</b> Medición de caudal muestreo III.....	85
<b>Tabla D-4</b> Medición de caudal muestreo IV .....	86
<b>Tabla D-5</b> Caudales promedio horario por día .....	87
<b>Tabla G-1</b> Datos para el cálculo del tiempo de retención hidráulico .....	94
<b>Tabla G-2</b> Typical Design Criteria and Expected Effluent Quality for Free Water Surface Constructed Wetlands.....	94
<b>Tabla G-3</b> Datos para el cálculo de la carga hidráulica.....	95
<b>Tabla G-4</b> Datos para el cálculo de la carga orgánica .....	95
<b>Tabla H-1</b> Datos para determinar el caudal que debe recibir el humedal del RML de acuerdo al tiempo de retención.....	96
<b>Tabla I-1:</b> Datos para el cálculo de la $C_e$ de $DBO_5$ esperada en el efluente.....	97
<b>Tabla I-2:</b> Datos para el cálculo de la constante dependiente de la Temperatura " $K_T$ " .....	98
<b>Tabla I-3</b> Datos para el cálculo de caudal de diseño .....	98
<b>Tabla I-4</b> parámetros de diseño de los humedales con flujo libre .....	99
<b>Tabla I-5</b> Datos para el cálculo del área superficial del humedal.....	99
<b>Tabla I-6</b> Datos para el cálculo de la longitud del humedal.....	100
<b>Tabla I-7</b> Datos para el cálculo del ancho del humedal .....	101
<b>Tabla I-8</b> Datos para el cálculo la carga hidráulica .....	101
<b>Tabla I-9</b> Datos para el cálculo la carga orgánica.....	101
<b>Tabla I-10</b> Datos para el cálculo del tiempo de retención teórico en el humedal .....	102



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 3.1</b> Clasificación de los humedales artificiales .....	9
<b>Figura 3.2</b> Eliminación del nitrógeno en un humedal.....	14
<b>Figura 3.3</b> Eliminación del fosforo en un humedal.....	18
<b>Figura 4.1</b> Descripción del sistema de tratamiento biológico de aguas residuales del rastro municipal de León .....	21
<b>Figura 4.2</b> Morfología de una macrófita flotante ( <i>Eicchornia crassipes</i> ) .....	24
<b>Figura 5.1</b> Ubicación del rastro municipal de en la ciudad de León.....	26
<b>Figura 5.2</b> Ubicación de humedal artificial en el rastro municipal de León .....	26
<b>Figura 5.3</b> puntos de muestreo en el humedal artificial de flujo horizontal .....	27
<b>Figura 5.4</b> ingreso del agua residual al humedal .....	28
<b>Figura 5.5:</b> Salida del agua residual en el humedal.....	28
<b>Figura 6.1</b> Comportamiento de la temperatura .....	37
<b>Figura 6.2</b> Comportamiento del pH.....	37
<b>Figura 6.3</b> Comportamiento de los sólidos suspendidos totales.....	38
<b>Figura 6.4</b> Comportamiento de los sólidos sedimentables .....	39
<b>Figura 6.5</b> Comportamiento de los sólidos disueltos totales.....	39
<b>Figura 6.6</b> Comportamiento de los sólidos totales volátiles.....	40
<b>Figura 6.7</b> Comportamiento de la demanda química de oxígeno .....	40
<b>Figura 6.8</b> Comportamiento de la demanda biológica de oxígeno.....	41
<b>Figura 6.9</b> Comportamiento del Fosforo total .....	41
<b>Figura 6.10</b> Comportamiento del Nitrógeno Total.....	42
<b>Figura 6.11</b> Comportamiento de los aceites y grasas.....	42
<b>Figura 6.12:</b> Aforo del caudal residual a la entrada del humedal.....	44
<b>Figura 6.13:</b> Aforo del caudal residual a la salida del humedal.....	44

<b>Figura 6.14</b> Comportamiento del caudal residual a la entrada y la salida del humedal .....	45
<b>Figura 6.15</b> Medición de las dimensiones del humedal de flujo horizontal del rastro municipal de León .....	50
<b>Figura E-1</b> Comportamiento del caudal residual a la entrada y salida del humedal .....	88
<b>Figura E-2</b> Comportamiento del caudal residual a la entrada y salida del humedal .....	88
<b>Figura E-3</b> Comportamiento del caudal residual a la entrada y salida del humedal .....	89
<b>Figura E-4</b> Comportamiento del caudal residual a la entrada y salida del humedal .....	89
<b>Figura E-5</b> Comportamiento horario de los sólidos sedimentables a la entrada y salida del humedal .....	90
<b>Figura E-6</b> Comportamiento horario de los sólidos sedimentables a la entrada y salida del humedal .....	90
<b>Figura E-7</b> Comportamiento horario de los sólidos sedimentables a la entrada y salida del humedal .....	91
<b>Figura E-8</b> Comportamiento horario de los sólidos sedimentables a la entrada y salida del humedal .....	92
<b>Figura K-1</b> Medición de caudal en Afluentes.....	104
<b>Figura K-2:</b> Afluente del humedal.....	104
<b>Figura K-3</b> Medición de caudal en Afluentes.....	105
<b>Figura K-4</b> Recolección de muestra en el Afluente .....	105
<b>Figura K-5</b> Medición de caudal en efluentes .....	105
<b>Figura K-6</b> Medición de caudal en efluentes .....	106
<b>Figura K-7</b> Recolección de muestra en el efluente.....	106
<b>Figura K-8</b> Medición de solidos sedimentables .....	106
<b>Figura K-9</b> Medición de solidos sedimentables en el Afluente .....	107
<b>Figura K-10</b> Medición de solidos sedimentables en el Efluente .....	107

<b>Figura K-11</b> Medición de solidos sedimentables .....	107
<b>Figura K-12</b> Medición de pH y Temperatura en el Afluente.....	108
<b>Figura K-13</b> Medición de pH y Temperatura en el Efluente.....	108
<b>Figura K-14</b> Jacinto de agua empleadas en Humedal artificial.....	109
<b>Figura K-15</b> Humedal Artificial de flujo horizontal en el rastro municipal de León .....	109

## **AGRADECIMIENTOS**

*Especialmente a nuestro Señor Jesucristo, quien ha hecho posible este logro, quien permanece igual desde siempre y para siempre, y está presente en nuestro clamor, quien conoce nuestro corazón y nuestros pensamientos. A Dios muchas gracias.*

*A **mi madre**, quien me ha heredado el tesoro más valioso que puede dársele a un hijo: amor. Como un testimonio de cariño y eterno agradecimiento por mi existencia, valores morales y formación profesional. Porque nunca podré pagar todos sus desvelos ni aún con las riquezas más grandes del mundo. Por lo que soy y por todo el tiempo que les robé pensando en mí Por esto y más... Gracias.*

*A la Universidad Nacional de ingeniería y la Facultad de Ingeniería de ingeniería química por brindarnos la oportunidad de formarme como profesionales.*

*A nuestros profesores, especialmente a la Msc. Larisa Korsak por apoyarnos incondicionalmente en nuestro trabajo monográfico y a nuestro tutor Msc. Ing. Vidal Cáceres A.*

*A **BORDA Nicaragua y PIENSA** por ayudar a que dicho estudio se realizara en el rastro municipal de la ciudad de León*

*Y a todas aquellas amistades dentro de la universidad y fuera de ella que de una u otra forma me ayudaron a salir adelante y con las que comparto este triunfo.*

*Henry Víctor Robleto Domínguez*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Agradezco a **DIOS** todo poderoso, por haber sido mi motor durante el camino de mi carrera, por estar conmigo siempre, haberme dado la sabiduría para culminar este trabajo, y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.*

*A **mis padres**, quienes me han heredado el tesoro más valioso que puede dársele a un hijo: amor. Como un testimonio de cariño y eterno agradecimiento por mi existencia, valores morales y formación profesional. Porque sin escatimar esfuerzo alguno, han sacrificado gran parte de su vida para formarme y porque nunca podré pagar todos sus desvelos ni aún con las riquezas más grandes del mundo. Por lo que soy y por todo el tiempo que les robé pensando en mí Por esto y más... Gracias.*

*A la Universidad Nacional de ingeniería y la Facultad de Ingeniería de ingeniería química por brindarme la oportunidad de formarme como profesionales.*

*A nuestros profesores, especialmente a la Msc. Larisa Korsak por apoyarnos incondicionalmente en nuestro trabajo monográfico y a nuestro tutor Msc. Ing. Vidal Cáceres A.*

*A **BORDA Nicaragua** y **PIENSA** por ayudar a que dicho estudio se realizara en el rastro municipal de la ciudad de León*

*Y a todas aquellas personas que de que de una u otra forma me ayudaron a salir adelante y con las muestro mi más grande agradecimiento dedicando este triunfo tan importante para mi persona.*

*Simplemente Gracias por todo.....*

*Juan Alberto Ortiz Parajón*

## ***DEDICATORIA***

*Dedicamos este trabajo a Dios, a mis padres, hermanos y a cada una de las personas que con su ejemplo y motivación han influido en mi desarrollo como amigos, estudiantes, profesional y en general como ser humano.*

## RESUMEN

El presente trabajo se realizó con la finalidad de evaluar el Humedal artificial de flujo horizontal como tratamiento secundario de las aguas residuales industriales del rastro municipal de León, así como realizar propuestas de mejoras que conlleven a un mejor desempeño para cumplir con las regulaciones medio ambientales según la legislación.

Los resultados promedios obtenidos de la caracterización fisicoquímica tanto en el afluente como en el efluente son de: 868.73 – 308.30 de DQO, 213.54 – 108.56 de DBO<sub>5</sub>, 161.81 – 67 SST, 2.26 – 2.10 de SSD, 6.41 – 4.84 de PT, 140.32 – 126.82 de NT, comparando los resultados de los análisis con lo establecido por artículo 22 del Decreto N°21-2017, se determinó que todos los parámetros analizados están cumplimiento con la legislación vigente exceptuando por el Nitrógeno. Se obtuvieron los resultados de los porcentajes de remoción promedio de los contaminantes en el humedal resultando: 49.16% en DBO<sub>5</sub>, 64.51% de DQO, 58.59 de SST, 61.21% de Aceites y Grasas, 24.46% de Fosforo total, 9.62% de Nitrógeno total.

El caudal promedio del afluente fue de 50.77 m<sup>3</sup>/día y en el efluente 42.68 m<sup>3</sup>/día respectivamente.

Sin embargo, cabe mencionar que durante los días de muestreo y aforos del caudal el número de reses sacrificadas y de cerdos en el rastro estuvo por debajo de la cantidad de animales sacrificado normalmente, con lo cual bajo condiciones de operación habituales el valor de caudal esperado seria mayor al determinado en este estudio

## I. INTRODUCCION

En la actualidad nos enfrentamos a grandes desafíos debido al crecimiento demográfico el cual conlleva a un incremento en la demanda y producción de productos agroindustriales tales como productos lácteos, beneficios de café, matanzas de ganado bovino, porcino y aves, los cuales generan grandes cantidades de desechos líquidos y sólidos con altas concentraciones de carga orgánica, que son vertidas a cuerpos receptores sin ningún tipo de tratamiento, convirtiéndose en focos de contaminación, malos olores y enfermedades que atentan contra la salud pública y contra el medio ambiente

Para mitigar los efectos negativos sobre el medio ambiente y cumplir con las normativas ambientales vigentes, es necesario dar tratamiento a las aguas residuales generadas por estos procesos. Los sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales que se han diseñado y construido en general se caracterizan por ser de altos costos, y exigente operación y mantenimiento. Como una alternativa viable existe el uso de sistemas naturales de depuración los cuales son aquellos que logran la reducción de las sustancias contaminantes de las aguas residuales a través de mecanismos y procesos naturales, los cuales no requieren de energía externa ni de aditivos químicos. En estos sistemas un buen número de procesos de descontaminación son ejecutados por sinergia de diferentes comunidades de microorganismos.

Los Humedales artificiales son generalmente utilizados como parte de los procesos de tratamiento descentralizado de aguas residuales, industriales o grises. Se implementan principalmente como tratamiento secundario, es decir, los efluentes siempre necesitan de un tratamiento primario, que debe ser de acuerdo a las características del afluente. La tecnología de los humedales artificiales al ser económicamente factible puede implementarse y adaptarse en sistemas de tratamiento como el existente en el Rastro Municipal de León. Debido a la situación económica del país, solamente los sistemas de tratamiento de bajos costos son factibles de utilizar, siempre y cuando tengan la eficiencia de remoción de contaminantes que les permita alcanzar los valores establecidos en el artículo 22 del decreto N°21-2017.

En referencia a todo lo antes descrito este trabajo consistió en la evaluación del humedal artificial de flujo horizontal del Rastro municipal de León, con el propósito de estudiar esta unidad de tratamiento, realizar propuestas de mejora y proyectar este tipo de tecnologías a nivel nacional.



## II. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo general

Evaluar el humedal artificial de flujo horizontal como tratamiento secundario de las aguas residuales del rastro municipal de León.

### 2.2 Objetivos específico

- Caracterizar físico-químicamente el agua residual generadas por en el Rastro Municipal de León.
- Determinar el caudal de agua residual generada por en el Rastro Municipal de León.
- Evaluar la eficiencia de remoción de la carga contaminante
- Formular alternativa técnica-económica para optimizar el funcionamiento y operación del sistema de tratamiento de aguas residuales.

### III. MARCO DE REFERENCIA

#### 3.1 Aguas residuales

El agua residual puede definirse como la combinación de residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos, procedentes de residencias, instituciones públicas, establecimientos industriales y comerciales, a los que con frecuencia se les agregan las aguas subterráneas, superficiales y pluviales.

Resultan del uso del agua de consumo en las labores domésticas o industriales, constituyéndose como un residuo que no puede ser usado directamente sin antes brindarle un adecuado tratamiento. En ocasiones, se les denomina *aguas cloacales* por el medio de transporte, *aguas negras* por su color y por estar contaminada con sustancias fecales y orina.

Las aguas residuales se distinguen por sus características y composición. Atendiendo a su origen y composición se clasifican en:

- **Domesticas:** son todas las aguas procedentes de residencias, instalaciones públicas y similares.
- **Comerciales:** son las que provienen de locales comerciales como mataderos.
- **Industriales:** toda agua en la que predominan residuos industriales.
- **Agrícolas:** provenientes de la cría de ganado y del procesamiento de productos animales y vegetales.
- **Pluviales:** agua resultante de la escorrentía superficial.
- **De Infiltración:** agua que se introduce al sistema de alcantarillado sin control alguno procedente del subsuelo por distintos medios.

##### 3.1.1 Características físicas

- **Olor:** Es debido a los gases producidos por la descomposición de la materia orgánica. El olor más característico es el del Sulfuro de Hidrógeno ( $H_2S$ ) producido por los microorganismos anaerobios que reducen los sulfatos a sulfitos.
- **Color:** Se asocia a la edad del agua residual. El agua residual reciente suele ser gris, cuando los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, el oxígeno disuelto se reduce a cero y el color cambia a negro.

- **Temperatura:** Algunas veces el agua residual es más caliente que la de consumo, debido a los usos que se le da a ésta. La temperatura influye en la vida acuática, en las reacciones químicas y en la aplicabilidad del agua.
- **Sólidos totales:** Es la cantidad de materia orgánica que queda como residuo de la evaporación a aproximadamente 104°C. Se clasifican en *Sólidos Sedimentables* (SSD) y *Sólidos Suspendidos* (SST). Los primeros son una medida de la cantidad de fango que se elimina por sedimentación; y los segundos incluyen la porción de sólidos totales retenidos por un filtro.

### 3.1.2 Características químicas

- **Materia orgánica:** Son aquellos sólidos procedentes de animales, vegetales y de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. Existen diversos métodos para medir el contenido orgánico. Entre los más usados actualmente son:
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>).** Es la cantidad de oxígeno disuelto que se consume durante la oxidación bioquímica de la materia orgánica presente en el agua en un tiempo dado (usualmente 5 días). Con ella se indica el oxígeno disuelto necesario consumido por los microorganismos para estabilizar biológicamente la materia orgánica y a las reacciones químicas.
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** es empleada para medir el contenido de materia orgánica en aguas naturales y residuales, industriales y municipales que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica.
- **Materia inorgánica:** Son todos aquellos sólidos con contenido inorgánico, cuyos componentes intervienen en la calidad del agua. Sus concentraciones varían de acuerdo al medio con el que el agua este en contacto. Dentro de los parámetros inorgánicos de calidad de las aguas residuales se distinguen: el Potencial de Hidrógeno (pH), los Cloruros, la Alcalinidad que proviene de Hidróxidos, Carbonatos y Bicarbonatos de Magnesio y Calcio. Otros elementos son el Nitrógeno, el Fósforo y el Azufre, los dos primeros propician el crecimiento de materia orgánica (algas, protozoos); el último es requerido en la síntesis de proteínas y liberado en su degradación.
- **Gases disueltos:** El efluente de aguas residuales no tratado contiene frecuentemente gases como Nitrógeno, Oxígeno, Anhídrido carbónico, Sulfuro de Hidrogeno, Amoniac y Metano y otros como Cloro, Ozono, Óxidos de Azufre.

### 3.1.3 Características Biológicas

**Microorganismos:** En las aguas residuales pueden ser protistas, vegetales y animales. Entre los protistas encontramos bacterias, hongos, protozoos y algas.

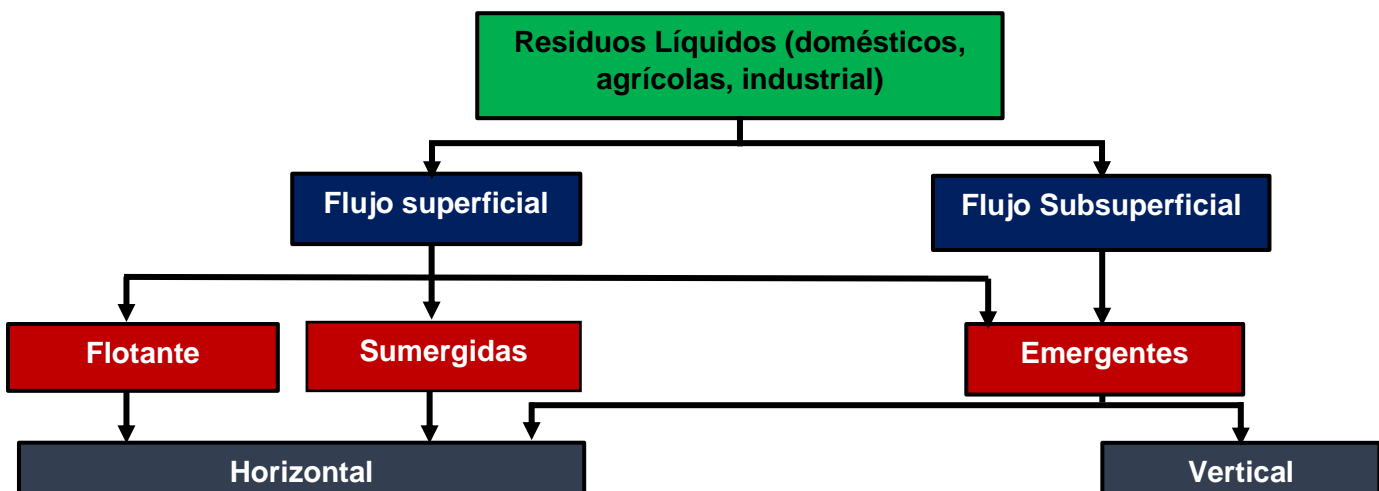
**Organismos patógenos:** provienen de desechos humanos infectados o de desechos portadores de enfermedades como fiebre tifoidea, disentería, diarrea y cólera. Son altamente infecciosos y responsables de un gran número de muertes en regiones con poca salubridad y de climas tropicales como nuestro país.

### 3.2 Generalidades de los humedales artificiales

Los humedales artificiales son sistemas ingenieriles que han sido diseñados y construidos para reproducir los procesos naturales en un humedal utilizando vegetación (Macrófitas), el sustrato y población microbiana, para el tratamiento de contaminantes en las aguas residuales domésticas e industriales, pero de manera más controlada que en el medio natural. Los humedales artificiales pueden ser clasificados según el tipo de macrófitas que empleen en su funcionamiento: macrófitas fijas al sustrato (enraizadas) o macrófitas flotantes libres (Blázquez, 2006).

#### 3.2.1 Clasificación

Los humedales artificiales pueden dividirse (ver **Figura 3.1**) en humedales de flujo horizontal Subsuperficial (HFSS) y humedales Artificiales de flujo horizontal Superficial (HFS), considerando la concentración de contaminantes orgánicos o carga orgánica afluente y el tipo de vegetación susceptible de ser incorporada a cada tipo de humedal.



**Figura 3.1:** Clasificación de los humedales artificiales (C., Vera, Salvato, Borin, & Vidal, 2014)

### **3.2.1.1 Sistemas de flujo horizontal superficial**

En los HFS, el agua se vierte en la superficie en un extremo del lecho, trasiega expuesta a la atmósfera, lenta y horizontalmente, para finalmente ser evacuada en el extremo opuesto del lecho, por medio de un vertedero.

### **3.2.1.2 Sistemas con flujo horizontal subsuperficial**

En los HSS el agua se distribuye en un extremo del lecho, se infiltra, se trasiega en sentido horizontal a través de un medio granular de relleno y entre las raíces de las plantas. Al final y en el fondo del lecho, el agua tratada se recoge y se evacua por medio de tuberías y/o vertederos. La profundidad de estos biofiltros descritos no suele exceder los 0.60 m y para facilitar el trasiego del agua deben ser contruidos con una leve pendiente en el fondo, pero manteniendo en lo posible condiciones hidráulicas de flujo laminar. Los lechos deben ser aislados de los suelos subyacentes para evitar la contaminación de suelos y de las aguas subterráneas.

### **3.2.1.3 Sistema de Flujo Vertical**

En los HFV el agua fluye de manera descendente y percola en el biofiltro. El agua se vierte y se distribuye en toda la superficie del lecho y percola en el lecho. El lecho debe tener una profundidad no menor a 1 metro.

## **3.2.2 Macrófitas**

Se denomina macrófitas a aquellas plantas que pueden vivir en terrenos inundados durante toda su vida o encharcadas durante largos períodos de tiempo. Otro nombre con el que se las conoce es plantas palustres.

A continuación, se describen brevemente los distintos tipos macrófitas que pueden emplearse en un humedal artificial:

### **3.2.2.1 Macrófitas emergentes**

Las especies de plantas macrófitas emergentes más comúnmente utilizadas en los humedales de tratamiento son el carrizo, la enea y los juncos. Las macrófitas que se desarrollen en un humedal deben poseer una extensa superficie para la fijación de microorganismos y ser capaces de transportar el oxígeno de forma eficiente de las hojas hasta las raíces. De este modo, se crea una zona aerobia en el sustrato que favorece la nitrificación (Blázquez, 2006).

### 3.2.2.2 Macrófitas sumergidas

Las plantas sumergidas se encuentran suspendidas en la columna de agua o enraizadas en los sedimentos. Las partes fotosintéticas de la planta suelen estar en la columna de agua, y su aporte de oxígeno al agua debido a esta actividad fotosintética durante el día es muy abundante, lo que favorece la mineralización y la nitrificación. Además, la utilización del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) del agua para la realización de la fotosíntesis durante el día incrementa el potencial hidrógeno (pH) en la columna de agua, lo que favorece la volatilización del (Blázquez, 2006).

Las macrófitas sumergidas comprenden algunos helechos, numerosos musgos y carófitas y muchas angiospermas. Se encuentran en toda la zona fótica (donde llega la luz solar) (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

### 3.2.2.3 Macrófitas flotantes

La especie de macrófita flotante que mejor representa este tipo de humedales es el jacinto de agua, que ha sido objeto de numerosos estudios acerca de la depuración de aguas residuales, así como de la eliminación de metales pesados. La principal ventaja del jacinto de agua es su relativamente escasa sensibilidad a las bajas temperaturas, pero que en ningún caso deben ser extremas, ya que en caso de producirse heladas las plantas de jacinto mueren (Blázquez, 2016).

### 3.2.3 Microorganismos

Una característica fundamental de los humedales es que sus funciones son principalmente reguladas por los microorganismos y su metabolismo. Los microorganismos incluyen bacterias, levaduras, hongos, y protozoarios. La biomasa microbiana consume gran parte del carbono orgánico y muchos nutrientes. La actividad microbiana:

- ✓ Transforma un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas o insolubles.
- ✓ Altera las condiciones de potencial redox del sustrato y así afecta la capacidad de proceso del humedal.
- ✓ Está involucrada en el reciclaje de nutrientes.

Las poblaciones microbianas se ajustan a los cambios en el agua que les llega y se pueden extender rápidamente cuando se tiene la suficiente energía. Cuando las condiciones medioambientales no son convenientes, muchos microorganismos se inactivan y puede permanecer inactivos durante años.

La comunidad microbiana de un humedal construido puede ser afectada por sustancias tóxicas, como pesticidas y metales pesados, y debe tenerse cuidado para prevenir que tales sustancias se introduzcan en las cadenas tróficas en concentraciones perjudiciales.

### 3.3. Mecanismos de depuración del agua residuales en el humedal

#### 3.3.1 Eliminación de la carga orgánica

La remoción de la carga orgánica tiene lugar principalmente mediante biodegradación aeróbica y anaeróbica. La biodegradación es realizada por los microorganismos, los cuales están adheridos a la planta, en particular a las raíces y a la superficie de los sedimentos.

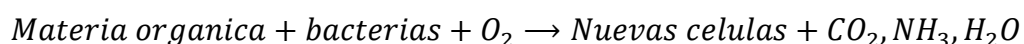
Todos los microorganismos involucrados en este proceso de tratamiento requieren una fuente de energía y carbono para la síntesis de nuevas células, como también nutrientes. De acuerdo a su fuente de nutrientes, están clasificados como heterótrofos o autótrofos.

- **Los heterótrofos** requieren material orgánico como fuente de carbono para la síntesis de nuevos microorganismos.
- **Los autótrofos** no utilizan materia orgánica si no dióxido de carbono como fuente de carbono (Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010)

Ambos grupos usan luz o reacción química de oxidación-reducción como fuente de energía para todas las síntesis y son llamados fotótrofos y quimiótrofos, respectivamente.

##### 3.3.1.1 Degradación aeróbica

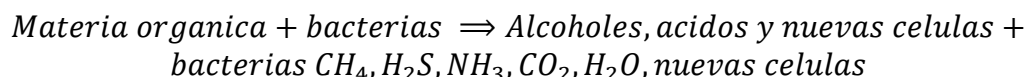
La degradación aeróbica de químicos solubles orgánicos es gobernada por dos grupos de microorganismos: los quimioheterótrofos, que oxidan la materia orgánica y liberan amonio; y los quimioautótrofos, los cuales oxidan el nitrógeno amoniacal a nitrato y nitrito (nitrificación).



Ambos grupos consumen materia orgánica pero la proporción metabólica más rápida de los heterótrofos significa que ellos son los principales responsables de la reducción de la DBO en el sistema. Si el oxígeno no está limitado, la degradación aeróbica dependerá de la cantidad de materia orgánica activa disponible para los organismos.

### 3.3.1.2 Degradación anaeróbica

Es un proceso de dos etapas que se da en ausencia de oxígeno disuelto por bacterias heterotróficas. En el primer paso, las bacterias formadoras de ácido convierten la materia orgánica en nuevas células, ácidos y alcoholes. Un segundo grupo de bacterias, las bacterias formadoras de metano, continúan la oxidación utilizando de nuevo parte de la materia orgánica para sintetizar nuevas células, pero convirtiendo el remanente a metano y dióxido de carbono.



Las bacterias formadoras de ácido son adaptables pero las formadoras de metano son más sensibles y solamente operarán en el rango de pH de 6.5 a 7.5. Una sobreproducción de ácido por las bacterias formadoras de ácido puede resultar en un bajo pH, deteniendo la acción de las formadoras de metano y produciendo malos olores.

### 3.3.2 Mecanismo de eliminación de sólidos suspendidos totales (SST)

La eliminación de los sólidos suspendidos se debe, principalmente, a fenómenos de sedimentación y de filtración del agua a su paso por todo el entramado de raíces y tallos de la vegetación flotante en el agua.

Para conseguir elevados rendimientos de sólidos en suspensión, se requiere disponer de zonas de vegetación abundante, que faciliten la sedimentación (al disminuir la velocidad de paso de las aguas) y la filtración, a la vez que, por el efecto sombra, se evita el crecimiento excesivo de microalgas, reduciendo los contenidos en materia en suspensión del efluente final

### 3.3.3 Mecanismos de eliminación del nitrógeno

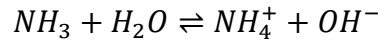
La transformación y eliminación del Nitrógeno en los humedales puede ocurrir por medio de: volatilización, Amonificación, nitrificación desnitrificación, sedimentación, suspensión, difusión, adsorción, asimilación y volatilización: A continuación, se describen los aspectos más importantes de estos procesos. (Malaver, 2013).

#### 3.3.3.1 Volatilización del amonio

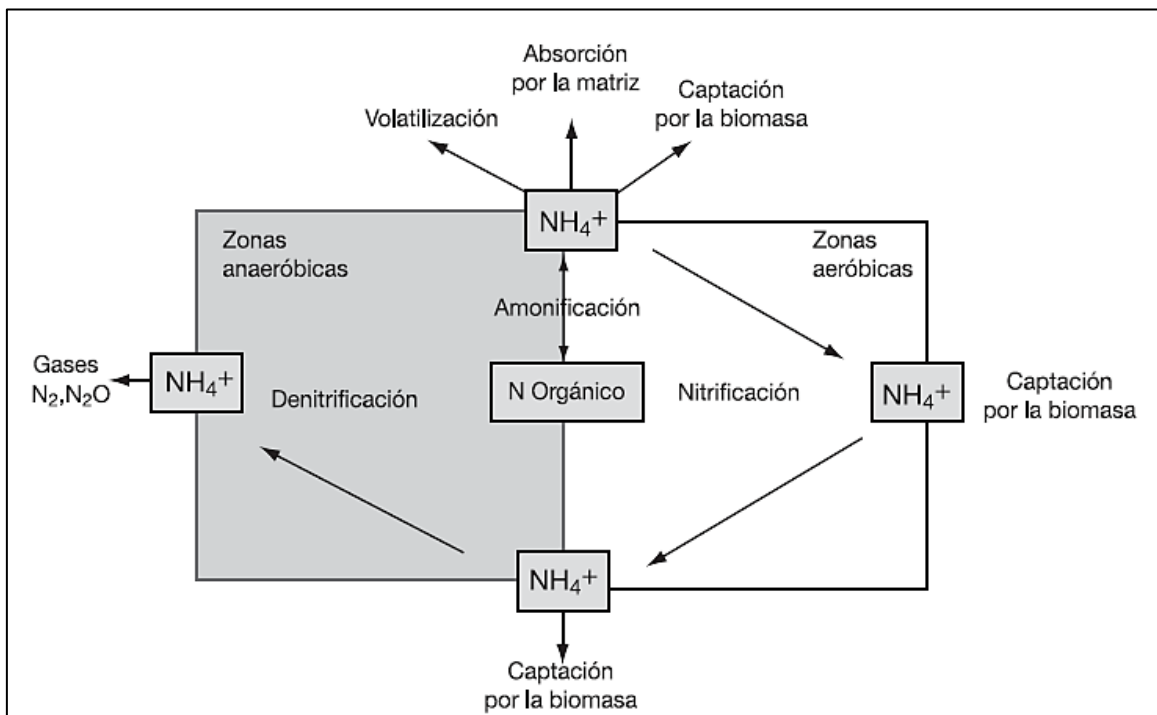
El amonio se encuentra en el agua en forma de amonio no ionizado ( $NH_3$ ) y en forma de amonio ionizado ( $NH_4^+$ ), dependiendo de la temperatura del agua y del pH. El amonio total es la suma de estas dos formas de amonio, siendo la forma ionizada la predominante en la mayoría de los humedales, ya que el pH y la



temperatura suelen ser moderados. En cambio, al aumentar estos dos últimos, también lo hace la proporción del  $NH_3$  (OLIVER, 2017).



Este amonio no ionizado es relativamente volátil y puede ser eliminado desde la superficie del agua a la atmósfera (volatilización). En la bibliografía se recoge que si el pH está por debajo de 7.5, la pérdida de amonio a través de la volatilización es insignificante. A un pH de 9.3 (el cual puede resultar de una intensa actividad fotosintética), la relación entre las dos formas de amonio es 1:1, siendo en este caso importantes las pérdidas por volatilización (OLIVER, 2017).



**Figura 3.2:** Eliminación de Nitrógeno en un humedal (Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010)

### 3.3.3.2 Amonificación (mineralización)

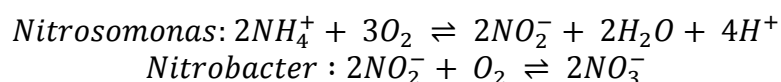
Es el proceso en el que el Nitrógeno orgánico es biológicamente transformado a amonio. Además, es cinéticamente más rápido que la nitrificación.

Las tasas de mineralización son más altas en las zonas oxigenadas y decrecen en las zonas anóxicas y anaeróbicas (bacterias anaerobias facultativas y obligadas), y, además, dependen de la temperatura, del pH, de la relación C:N del residuo, de los nutrientes disponibles en el sistema y de las condiciones del suelo (como son la textura y la estructura). El rango de temperatura óptimo para el proceso de Amonificación está entre 40-60°C y el del pH entre 6.5 y 8.5. En la

bibliografía aparece que la tasa de mineralización aeróbica se dobla al incrementar la temperatura 10°C.

### 3.3.3.3 Nitrificación

La nitrificación es un proceso quimioautótrofo. La energía necesaria para el crecimiento de las bacterias se obtiene de la oxidación del amonio y el dióxido de carbono se emplea como fuente de carbono para la síntesis de nuevas células. En la mayoría de los humedales artificiales, es el principal mecanismo de transformación que reduce la concentración de amonio, mediante la oxidación biológica de este componente a nitrato, con el nitrito como un intermediario en la reacción en secuencia. En este proceso el oxígeno es el aceptor de electrones. Se trata de un proceso de dos pasos en el que intervienen dos géneros microbianos distintos:



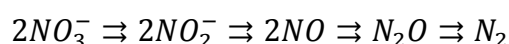
En el primer paso, el nitrógeno amoniacal es transformado en nitrito mediante la acción de bacterias estrictamente aeróbicas y autótrofas (denominadas amoniooxidantes), las cuales obtienen, de la oxidación del amonio, la energía necesaria para su crecimiento. En el segundo paso, el nitrito es oxidado a nitrato. Este último paso, es llevado a cabo por bacterias facultativas (nitritooxidantes), las cuales pueden emplear compuestos orgánicos, además de los nitritos, para la generación de energía para crecer.

Aproximadamente son necesarios 4.3 g de oxígeno por g de nitrógeno amoniacal oxidado a nitrato. Además, en este proceso de transformación, se consume una gran cantidad de alcalinidad, aproximadamente, 8.64 mg  $\text{HCO}_3^-$  por mg de nitrógeno amoniacal oxidado. Con lo cual, la nitrificación reduce la alcalinidad y el pH del agua.

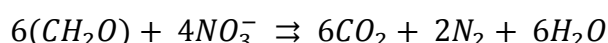
Las bacterias nitrificantes son organismos sensibles y extremadamente susceptibles a un amplio rango de inhibidores. La nitrificación es un proceso influenciado por los siguientes factores: temperatura, pH, alcalinidad, fuente de carbono inorgánico, población de microorganismos, concentración de amonio y de oxígeno disuelto. Elevadas concentraciones de nitrógeno amoniacal son inhibitoras. El rango de pH óptimo es estrecho, está entre 7.2 y 9.0. Además, la nitrificación es altamente dependiente de la temperatura. El mínimo de temperatura para el crecimiento de las *nitrosomonas* es de 5°C y de las *nitrobacterias* de 4°C. Concentraciones de oxígeno disuelto por debajo de 1 mg/L pueden desencadenar en que el oxígeno sea el sustrato limitante para el crecimiento de estas bacterias (OLIVER, 2017).

### 3.3.3.4 Desnitrificación

Es la eliminación biológica de nitrógeno debida a la conversión del nitrato en nitrógeno gas, bajo condiciones anóxicas (*cuando no hay oxígeno presente, pero sí que hay otros aceptores de electrones como los nitratos, nitritos o incluso sulfatos*). Hay varios géneros de bacterias heterótrofas, incluyendo: *Achromobacter, Aerobacter, Alcaligenes, Bacillus, Brevibacterium, Lactobacillus Micrococcus, Proteus, Pseudomonas y Spirillum*, que son capaces de reducir el nitrato. En su mayoría se trata de bacterias heterótrofas facultativas. Este proceso se lleva a cabo de forma secuencial:



Los tres últimos productos son gaseosos y son liberados a la atmósfera. No obstante, en la mayor parte de los sistemas, el óxido nítrico y el óxido nitroso son transitorios y el nitrógeno gas es el que principalmente se libera a la atmósfera. La desnitrificación se ilustra mediante la siguiente ecuación:



Esta reacción es irreversible y solo tiene lugar bajo condiciones anóxicas, en las que el nitrato es empleado como aceptor de electrones en lugar del oxígeno. No obstante, hoy en día hay evidencias de que la reducción del nitrato también puede ocurrir en presencia de oxígeno. Por tanto, en suelos inundados, la desnitrificación puede tener lugar sin que el oxígeno se haya consumido completamente.

Los factores ambientales que influyen en las tasas de desnitrificación son: la presencia de oxígeno disuelto, el potencial redox, la humedad del suelo, la temperatura, el pH, la presencia de bacterias desnitrificadoras, el tipo de suelo, la disponibilidad de materia orgánica y la concentración de nitratos. El rango óptimo de pH se encuentra entre 6 y 8, sin embargo, la alcalinidad producida durante la desnitrificación puede resultar en incrementos de pH. Las tasas de desnitrificación varían ampliamente en la literatura entre 0.003 y 1.02 g N/m<sup>2</sup> d (OLIVER, 2017).

### 3.3.3.5 Asimilación

La asimilación de nitrógeno se refiere a una amplia variedad de procesos biológicos que convierten el nitrógeno inorgánico (generalmente el amonio y el nitrato) en componentes orgánicos y es llevada a cabo por las macrófitas, algas y microorganismos del humedal. Las plantas suelen preferir el amonio, ya que es energéticamente más reducido que el nitrato. No obstante, en aguas ricas en nitratos, estos pueden ser la principal fuente de N.

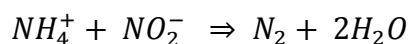
En climas moderados, el consumo por plantas suele ser un fenómeno primavera-verano, en donde las partes aéreas y subterráneas de las plantas crecen. El porcentaje de N contenido en la biomasa vegetal de humedales naturales oscila, para vegetación emergente, entre 0.9-2.6%. Para sistemas de tratamiento secundario, la cantidad de N eliminado vía cosechado es bastante baja y normalmente no excede del 10% de la carga de entrada. En cambio, cuando la carga de entrada es baja (<100-200 g N/m<sup>2</sup> Año), como en el caso de los tratamientos terciarios, la eliminación de N vía cosechado puede ser importante (OLIVER, 2017).

### 3.3.3.6 Adsorción

El amonio ionizado puede ser adsorbido desde la solución a través del intercambio catiónico con detritos, sedimentos inorgánicos o suelos. No obstante, el amonio adsorbido está débilmente unido al sustrato, con lo que puede ser liberado con facilidad cuando las condiciones químicas del agua cambien (por ejemplo, ante una disminución en el influente) (OLIVER, 2017).

### 3.3.3.7 ANAMMOX (Anaerobic Ammonia Oxidation).

La eliminación de nitrito vía amonio, también conocida como oxidación de amonio anaeróbico (ANAMMOX) es la conversión de nitritos y amonio a N<sub>2</sub>. El nitrito es el aceptor clave en este proceso:



El principal mecanismo de eliminación de nitrógeno en la mayoría de los HA es el proceso secuencial nitrificación-desnitrificación. Los restantes mecanismos de eliminación de N (asimilación, volatilización, adsorción) pueden llegar a ser estacionalmente importantes (OLIVER, 2017).

### 3.3.4 Mecanismos de eliminación del fósforo

Los procesos de transformación de fósforo (P) en humedales son:

Acreción, adsorción/desorción, precipitación/disolución, consumo por parte de las plantas/microorganismos, fragmentación y lixiviación, mineralización y formación de nuevo suelo. De todos estos procesos, el que controla la eliminación del fósforo a largo plazo es la formación de nuevo suelo y sedimento. La adsorción y el almacenamiento en la biomasa son procesos saturables (OLIVER, 2017).

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.

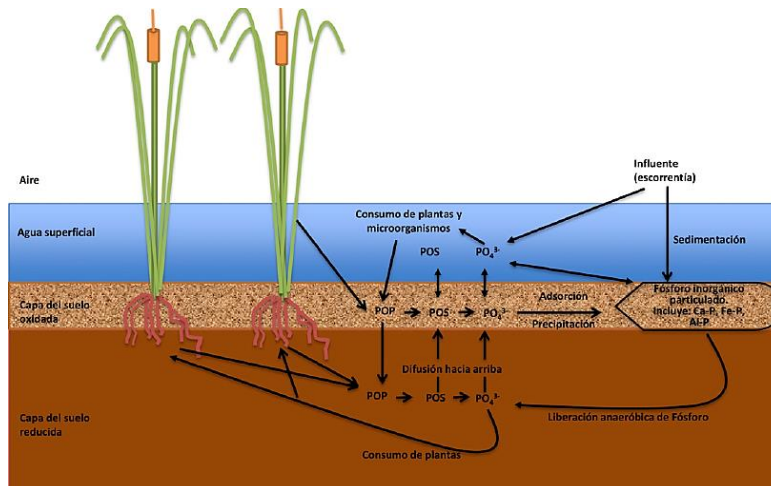


Figura 3.3: Eliminación del fósforo en un humedal (OLIVER, 2017).

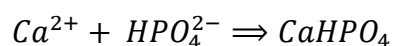
### 3.3.4.1 Adsorción y precipitación

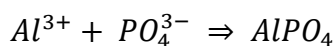
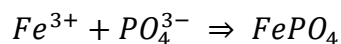
La adsorción se refiere al movimiento del **fosforo inorgánico disuelto (PID)** desde el agua presente en los poros del suelo a la superficie de los minerales. Generalmente, la capacidad de adsorción de un suelo incrementa con el contenido de arcilla o de componentes minerales en el suelo, siendo, por tanto, mayor en suelos minerales que orgánicos. La adsorción de fósforo por el suelo está controlada por la concentración de PID en el agua contenida en los poros del suelo y por la capacidad de la fase sólida para retener esos PID. Cuando las partículas del suelo se saturan de fósforo, y el agua intersticial tiene una baja concentración de fósforo, se produce un movimiento neto de fósforo desde el suelo al agua intersticial hasta que se produce un nuevo equilibrio entre las concentraciones de fósforo de las dos fases. La adsorción generalmente se describe como un proceso de dos pasos:

- **Adsorción:** el PID rápidamente se intercambia entre el agua intersticial y las partículas del suelo o superficies minerales.
- **Absorción:** el PID lentamente penetra dentro de la fase sólida.

La disponibilidad de fósforo en el suelo alcalino es controlado por la solubilidad de los compuestos de calcio y en suelos ácidos por los minerales de hierro (Fe) y aluminio (Al).

La precipitación puede referirse a la reacción de los iones de fósforo con cationes metálicos como el Fe, Al, Ca, o Mg, formando sólidos amorfos o poco cristalinos. Estas reacciones normalmente ocurren a altas concentraciones de cualquier de los dos, fosfatos o cationes metálicos. En las ecuaciones siguientes se muestran ejemplos de las reacciones de precipitación:





En humedales ricos en calcio, la presencia de un alto contenido de  $Ca^{2+}$  en la columna de agua puede resultar en la formación de precipitados de fosfatos tales como el fosfato cálcico y la hidroxiapatita. La disolución y la solubilidad de los precipitados sólidos puede ocurrir cuando la concentración de cualquiera de los reactantes disminuye por debajo de su producto de solubilidad (OLIVER, 2017).

Además de las reacciones directas, el fósforo se puede co-precipitar con otros minerales, tales como el oxihidróxido de hierro y carbonatos como la calcita (carbonatos, calcio). La solubilidad de los precipitados de aluminio incrementa con el pH, pudiéndose producir una liberación del P adsorbido a las sales minerales a pH por encima de 8. En el caso de los precipitados de hierro, el P puede ser liberado a bajas concentraciones de oxígeno (se reduce el  $Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$ ) y en el de los minerales carbonatados al disminuir el pH (OLIVER, 2017).

#### 3.3.4.2 Asimilación

El consumo de fósforo por parte de la microbiota (bacterias, hongos, algas, microinvertebrados, etc.) y plantas. En el caso de la microbiota es muy rápido, pero la cantidad almacenada es muy baja. No obstante, la cantidad de fósforo secuestrado por las algas, puede ser importante. Además, las algas también pueden interferir indirectamente en el ciclo del fósforo a través de los cambios producidos en determinados parámetros del agua y de la interfase agua/suelo (pH y oxígeno disuelto) (OLIVER, 2017).

#### 3.3.4.3 Remoción de bacterias

Los organismos importantes, desde el punto de vista de la salud pública son las bacterias patógenas y los virus. Todos los patógenos son capaces de sobrevivir al menos un corto tiempo en agua natural, y más aún, en agua con temperaturas más frías y con presencia de contaminación orgánica (como en las aguas residuales).

La remoción de estos microorganismos está basada en una combinación de factores físicos, químicos y biológicos. Los factores físicos incluyen la filtración, sedimentación, agregación y acción de la radiación ultravioleta. Los mecanismos biológicos incluyen, como se mencionó antes, depredación y ataque por bacteriófagos y también la muerte (declinación *die-off*).

Finalmente, los factores químicos son la oxidación, adsorción y la exposición a toxinas fijadas por otros microorganismos y exudadas por las raíces de las

plantas (aunque la cantidad de estos antibióticos causa dudas respecto a su efectividad para afectar a los patógenos).

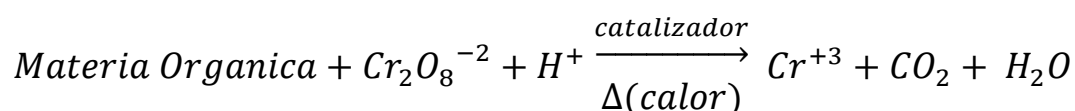
(Delgadillo O. , Camacho, Perez, & Andrade, 2010) Reportaron remoción de bacterias (coliformes fecales) y enterobacterias en varios humedales en la República Checa, siendo la eficiencia de remoción entre 98% a 99% para estos indicadores bacterianos. En los casos en que se registraron las tasas más bajas, fue debido a tiempos de retención menores.

### 3.3.5 Mecanismos de eliminación de la DBO<sub>5</sub>

La **DBO** que se encuentra en forma soluble es removida mediante la degradación biológica realizada por los microorganismos adheridos a la superficie de las plantas y los detritos, así como por los microorganismos que se encuentran en la columna de agua. Los sólidos orgánicos removidos por sedimentación y filtración, así como la vegetación muerta ejercerán una demanda de oxígeno. Como resultado la DBO se remueve rápidamente a medida que el agua avanza en el sistema (Silva V, 2009).

### 3.3.6 Mecanismos de eliminación de la DQO

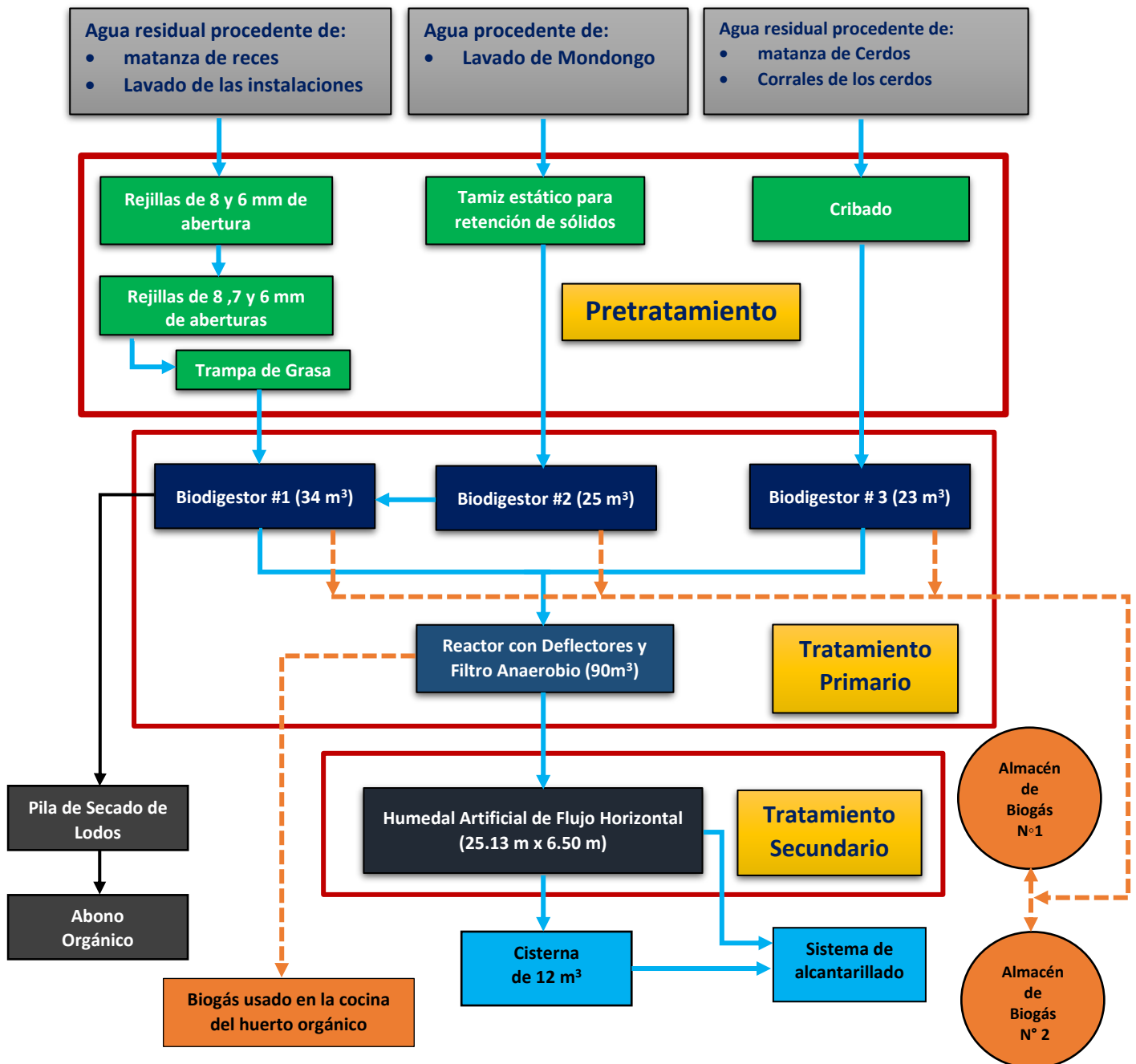
En condiciones naturales, dicha materia orgánica puede ser biodegradada lentamente (oxidada) a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O mediante un proceso que puede tardar desde unas pocas semanas hasta unos cuantos cientos de años, dependiendo del tipo de materia orgánica presente y de las condiciones de la oxidación. En las pruebas de DQO se acelera artificialmente la biodegradación que realizan los microorganismos, mediante un proceso de oxidación forzada, utilizando oxidantes químicos y métodos debidamente estandarizados, que tienen por objeto garantizar la reproducibilidad y comparabilidad de las mediciones (scielo, 2009).



La remoción de DQO y DBO<sub>5</sub> depende de la combinación entre mecanismos físicos y microbiológicos. Debido a los mecanismos de filtración y baja porosidad del medio, los sólidos orgánicos pueden ser filtrados y atrapados en el lecho, permitiendo la biodegradación de la materia orgánica ( GONZALEZ RESTREPO, 2015).

#### IV. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN

El sistema de tratamiento biológico (ver **Figura 4.1**) instalado en el rastro municipal de León está basado en el manual DEWATS (Decentralized Wastewater Treatment) que en español quiere decir: *Tratamiento de aguas residuales descentralizado* (BORDA Nicaragua, 2015).



**Figura 4.1:** Descripción del sistema de tratamiento biológico de aguas residuales del rastro municipal de León (BORDA Nicaragua, 2019).



## **4.1 Pre-Tratamiento**

El pretratamiento sirve para preparar las aguas residuales y recibir un tratamiento subsiguiente que permite minimizar efectos, como grandes variaciones de caudal y la presencia de materia flotante entre otros.

### **4.1.1 Rejillas**

Las rejillas están constituidas por barras metálicas paralelas e igualmente espaciadas por donde circula el agua residual a través de ellas. Su finalidad es retener sólidos gruesos como pellejo, hueso, entre otros, contenidas en las aguas residuales que pueden obstruir o dañar tuberías e interferir con el proceso de tratamiento.

### **4.1.2 Trampa de grasa**

Las trampas de grasas retardan los flujos de aguas residual procedentes de la matanza, con lo que las grasas y el agua tienen tiempo para separarse. Al separarse las grasas y aceites, flotan en la superficie por la diferencia de densidades entre el agua y la grasa y los aceites, mientras que otros sólidos más pesados se depositan en el fondo de la trampa y el agua sale por una descarga inferior.

### **4.1.3 Tamiz estático**

El tamiz estático separa sólidos de líquidos. El flujo es distribuido homogéneamente a lo largo y ancho de una curvatura que permite al líquido pasar a través de las aberturas, mientras los sólidos son retenidos y desplazados por la superficie de la malla filtrante al borde de la descarga inferior.

## **4.2 Tratamiento primario**

### **4.2.1 Biodigestores**

El sistema de tratamiento de las aguas residuales cuenta con tres biodigestores con diferentes capacidades. Los biodigestores 1 y 2 reciben el agua residual procedente de la matanza de las reses y lavado de mondongo respectivamente, mientras que el biodigestor 3 recibe las aguas residuales procedentes de la matanza de cerdos. Los biodigestores tienen como función la sedimentación en el que se establecen los lodos y se estabiliza mediante la digestión anaerobia por contacto entre las aguas residuales frescas y fangos activos.

Las capacidades de los biodigestores son de 34 m<sup>3</sup> y 25 m<sup>3</sup> para el agua procedente de la matanza de las reses y lavado de mondongo respectivamente, y para el agua procedente de la matanza de los cerdos es de 23 m<sup>3</sup>. Los

biodigestores son de concreto sólido, equipado con un mecanismo de agitación mecánico, accionado manualmente debido al enorme contenido de sólidos orgánicos con el objetivo de evitar la formación de capas flotantes y mantener la estabilización de los biodigestores.

La cúpula de los biodigestores esta sellada con un anillo de agua que asegura no haya fugas de biogás, la cual se llena automáticamente con la ayuda de una válvula accionada por el nivel de una boya, tan pronto como se alcanza el nivel de agua, la boya baja y acciona la llave de agua (BORDA Nicaragua, 2015).

#### **4.2.2 Reactor con Deflectores y filtro anaerobio (Reactor Baffled)**

El reactor anaerobio con deflectores con material de soporte (**PIEDRA VOLCANICA QUEMADA DE Ø 4"**) es una unidad de tratamiento de aguas residuales empleado como tratamiento de aguas residuales municipales, mediante un proceso de retención y degradación anaerobia de la materia orgánica (BORDA Nicaragua, 2015).

El reactor anaerobio con deflectores y el filtro anaerobio están integrados en un solo equipo, divididos únicamente por cámaras de concretos por donde el flujo pasa de una cámara hacia la otro. Cuando el agua entra al Baffled esta fluye a través de deflectores de manera ascendente ingresando por el rebose de los tubos de inmersión hasta llegar a las dos últimas cámaras que conforman el filtro anaerobio.

### **4.3 Tratamiento secundario**

#### **4.3.1 Humedal artificial de Flujo horizontal (Flujo superficial)**

El humedal artificial de flujo horizontal o también llamado humedales artificiales de flujo superficial reproduce los procesos naturales de depuración como la de los pantanos, pero de manera artificial, por lo que no se requiere de energía externa ni de aditivos químicos para la degradación de la materia orgánica ya que aquí son las plantas las que se encargan de reducir la carga contaminante.

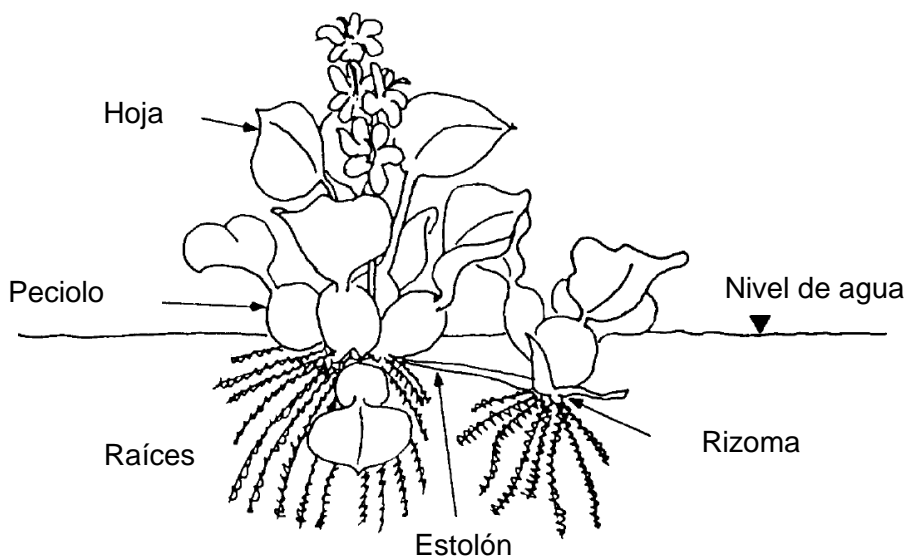
El agua residual procedente del reactor con deflectores y filtro anaerobio llega a un humedal artificial de flujo horizontal la cual tiene la finalidad de realizar un tratamiento físico-químico y biológico.

El flujo entra por medio de un tubo de 4 pulgadas que conecta el reactor Baffled al humedal (BORDA Nicaragua e.V., 2015). El humedal es inundado hasta un nivel de profundidad de 30-40 cm.

El humedal existente consiste de una pila con bajos niveles de agua provistas de plantas macrófitas que flotan libremente en la superficie (Jacinto de agua).

#### 4.3.2 Macrófitas flotantes en el humedal artificial de flujo horizontal

La especie de macrófita (*plantas acuáticas*) que se emplea en el humedal es el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*). Con desarrollo ascendente, de tallo vegetativo sumamente corto, hojas de color verde brillante y espigas de flores. Los pecíolos de las plantas son elongados y abultados de aire que contribuye a la flotabilidad de la planta ( Martelo & Lara–Borrero, 2012)



**Figura 4.2:** Morfología de una macrófita flotante (*Eichhornia crassipes*)

#### 4.5 Característica del agua residual proveniente del proceso de matanza de reses y cerdos en el RML

##### 4.5.1 Sangre

El desangrado es una operación clave desde el punto de vista ambiental de las Aguas Residuales en los Mataderos, ya que la sangre tiene una carga orgánica muy elevada, y su incorporación a las aguas residuales produce un aumento muy significativo de la carga contaminante. La sangre tiene una elevada DQO por lo que cualquier reducción de la cantidad de sangre que acaba yendo a las aguas residuales se considera una opción de minimización de la carga contaminante muy adecuada (Aguas industriales, 2014).

##### 4.5.2 Grasas y Aceites

Las grasas y aceites alcanzan las aguas residuales en forma de manteca de cerdo y res, aceites de grasa vegetales como las semillas y algunas frutas. Las grasas y aceites pueden constituir un problema serio de contaminación en rastos, industrias empacadoras de carnes, fábricas de aceites de cocina y

margarina, restaurantes, estaciones de servicio de automotor, e industria de distintas índoles. Su cuantificación es necesaria para determinar la necesidad del pretratamiento, la eficiencia de los procesos de remoción y el grado de contaminación por estos productos.

La presencia de grasas y aceites puede provocar problemas tanto en la red de alcantarillados haciendo difícil su transporte, reduciendo el flujo de los conductos, lo que representa un problema en las plantas de tratamiento. Si no se elimina el contenido antes del vertido de las aguas residuales, puede interferir con la vida biológica en las aguas superficiales y crear películas y acumulaciones de materia flotante desagradable (Metcalf & Eddy, V.I p. 74-75, 2002).

#### **4.5.3 Estiércol**

Las bacterias coliformes fecales se encuentran en el sistema digestivo de la mayoría de los animales de sangre caliente y su presencia en este contexto, es relativamente benigna. Los altos niveles de bacterias coliformes fecales en el agua no son peligrosos por sí mismas, sino que se utilizan como un indicador fiable para otros patógenos que se encuentran comúnmente en las aguas contaminadas con heces. Las mismas condiciones ambientales que fomentan los altos niveles de bacterias coliformes fecales, también son favorables para una amplia gama de organismos que causan enfermedades.

Un alto nivel de bacterias coliformes fecales, por lo general indica la presencia en el agua de una gran cantidad de heces y otros materiales orgánicos sin tratar, que pueden tener un serio impacto en el ambiente. La materia orgánica que acoge a la bacteria se descompone aeróbicamente, lo que puede disminuir seriamente los niveles de oxígeno y causar la muerte de peces y otros ejemplares de la vida silvestre que dependen del oxígeno. La presencia de contaminantes fecales en el agua también contribuye al crecimiento de algas y malezas acuáticas, que también son capaces de reducir los niveles de oxígeno y de bloquear el flujo continuo de agua (Robartaigh, 2014).

Toso estos desechos (sangre, Grasas, Estiércol) mencionados son putrefactibles y deben ser manejados cuidadosamente para prevenir malos olores y la propagación de alguna enfermedad.

## V. MATERIALES Y METODO

### 5.1 Sitio de estudio

El Rastro Municipal, se encuentra ubicado en la ciudad de León (ver **figura 5.1** y **figura 5.2**), en el barrio indígena de Sutiava, en la dirección que cita del BANPRO Sutiava cinco cuadras al sur en las coordenadas 512180.51 m E y 1373989.90 m N.



**Figura 5.1:** Ubicación del rastro municipal de en la ciudad de León.



**Figura 5.2:** Ubicación de humedal artificial en el rastro municipal de León.

## 5.2 Caracterización físico-química de las aguas residuales del humedal artificial de flujo horizontal libre

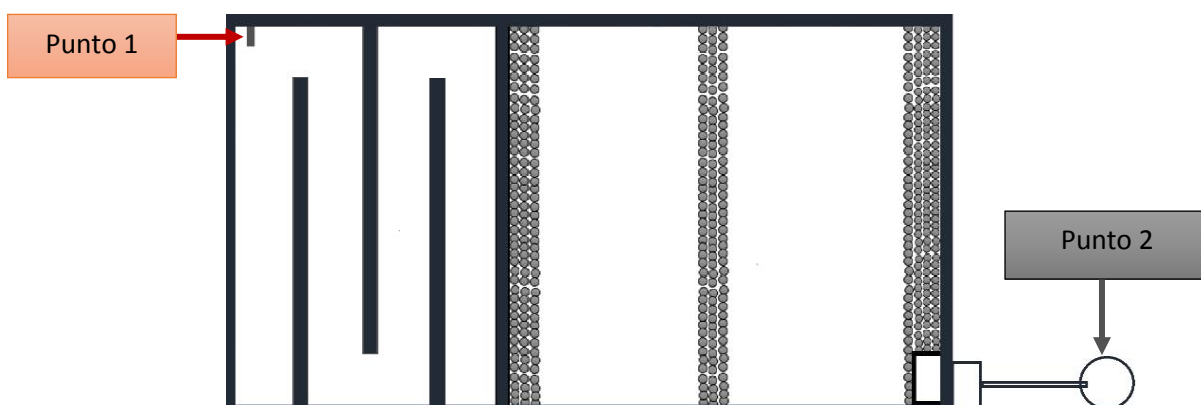
Los parámetros analizados para la caracterización físico-química se realizaron de acuerdo a lo estipulado en el artículo 22 del decreto 21 2017, del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA) de la legislación vigente aplicable a las descargas de aguas residuales vertidas al alcantarillado sanitario ver **Tabla 5.1**.

**Tabla 5.1:** Artículo 22. Rangos y Valores Máximos Permisibles para los Vertidos a la Red de Alcantarillado Sanitario. (LA GACETA DIARIO OFICIAL, 2017)

PARÁMETROS	UNIDAD	RANGOS Y LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
pH	-	6-9
Temperatura	°C	50
Sólidos sedimentables totales	mL/l	10
Sólidos suspendidos totales	mg/l	400
Sólidos Volátiles	mg/L	No especifica
Sólidos Disueltos	mg/L	No especifica
DBO <sub>5</sub>	mg/l	400
DQO	mg/l	900
Grasas y aceites	mg/l	100
Nitrógeno Total	mg/l	12
Fósforo	mg/L	12

- **Puntos de muestreo**

Selección de los puntos de muestreo, a la entrada y la salida del humedal, lo cual se indica en la **Figura 5.3**.



**Figura 5.3:** puntos de muestreo en el humedal artificial de flujo horizontal

**PUNTO 1:** En este punto ingresa el agua residual por medio de un tubo de PVC de Ø4 pulgadas SDR 41 (ver **Figura 5.4**)

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.

**PUNTO 2:** En la **Figura 5.5** se puede apreciar el punto salida o descarga del agua residual por medio de un tubo de PVC de Ø4 pulgadas SDR 41 al manhole conectado con alcantarillado sanitario, de la red pública.



**Figura 5.4:** ingreso del agua residual al humedal



**Figura 5.5:** Salida del agua residual en el humedal

- **Periodos de muestreo**

Para caracterizar el agua residual se realizaron 4 muestreos compuestos proporcionales al tiempo tanto a la entrada como a la salida del humedal, en las fechas comprendida del: 26/09/2019 - 27/09/2019, 15/10/2019 - 16/10/2019, 12/11/2019 - 13/11/2019, 26/11/2019 - 27/11/2019, de 12:00 AM a 11:00 AM, por ser en este periodo cuando se dan las actividades de matanza y el lavado de las instalaciones donde se realiza el sacrificio del ganado bobino y porcino.

- **Recolección de muestras**

Las muestras se tomaron cada hora durante el tiempo que duro el sacrificio de las reses y cerdos, almacenándose en un recipiente plástico hasta obtener un galón, las que fueron preservadas en un termo con hielo durante el periodo de muestreo manteniendo una temperatura de 4°C, hasta el momento del analizarlas en el laboratorio.

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.

**Tabla 5.2:** Volumen de muestra tomada por hora de cada parámetro

PARÁMETRO	INTERVALO (HORA)	VOLUMEN (ml)	RECIPIENTE
pH	Hora	-	-
Temperatura	Hora	-	-
DQO	Hora	315.45	Plástico
DBO5	Hora	315.45	Plástico
SST	Hora	315.45	Plástico
SSD	Hora	315.45	Plástico
SDT	Hora	315.45	Plástico
STV	Hora	315.45	Plástico
PT	Hora	315.45	Plástico
NTK	Hora	315.45	Plástico
A y G	Hora	315.45	Plástico

- **Metodología de los análisis de muestras en laboratorio**

Para conocer la calidad del afluente y efluente de las aguas residuales, las muestras fueron analizadas en el laboratorio de aguas residuales del Programa de investigación, Estudios Nacionales y Servicios de Ambiente (PIENSA), de acuerdo a la metodología del Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017.

**Tabla 5.3:** Métodos analíticos utilizados en la caracterización Físico-química del agua residual

METODO // EPA	ENSAYO REALIZADO (PARAMETRO)	UNIDAD
4500-B	Potencial de Hidrogeno	-
2550-B	Temperatura	°C
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/L
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L
2540-D	Solidos Suspendido Totales	mg/L
2540-F	Solidos sedimentables	mg/L
2540-C	Solidos Disueltos Totales	mg/L
2540-E	Solidos Totales Volátiles	mg/L
4500-C	Fosforo Total	mg/L
4500-B	Nitrógeno Total	mg/L
5520-B	Aceites y Grasas	mg/L



### 5.3 Determinación del caudal de agua residual del humedal artificial de flujo superficial

- **Metodología para estimar el caudal**

El caudal se estimó por la relación volumen/Tiempo (método volumétrico) mediante la **ecuación 5.1**.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (5.1)$$

**Donde:**

$Q$  = Caudal en “L/s “

$V$  = Volumen en “ $m^3$ ”

$t$  = Tiempo en “s”

- **Periodo de medición de caudal**

Para estimar el caudal de agua residual se realizaron 4 mediciones en diferentes días, tanto a la entrada como a la salida del humedal, en las fechas: 27/09/2019, 16/10/2019, 13/11/2019, 27/11/2019, de 12:00 AM a 11:00 AM, que es el periodo de tiempo en que transcurrió el proceso del sacrificio de res y cerdo.

- **Equipos y materiales utilizados**

✓ Recipiente de plástico con volumen de 10 L (balde graduado)

✓ Cronometro

- **Procedimiento**

El tiempo de medición de caudal tuvo una duración de 12 horas, realizando los aforos cada media hora, para un total de 24 mediciones considerando las fluctuaciones en el uso del agua durante la noche y el día. El procedimiento realizado consistió en medir tiempo transcurrido para llenar el recipiente de volumen de 10 L.

### 5.5 Determinación de la eficiencia de remoción en el humedal artificial de flujo horizontal

En base a los resultados obtenidos en los análisis de aguas residuales en los diferentes puntos de muestreo y para cada periodo, se calculó la eficiencia de remoción del humedal aplicando la **ecuación 5.2**. Los cuales se compararon con los sugeridos en la literatura para estos tipos de tratamiento.

$$\% \text{ Remocion} = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100 \quad (5.2)$$

**Donde:**

$C_i$ = Concentración inicial (mg/L)

$C_f$ = Concentración final (mg/L)

## 5.6 Alternativa técnica-económica para optimizar el funcionamiento y operación del sistema de tratamiento de las aguas residuales del RML

Con los resultados obtenidos en los análisis físico-químicos, mediciones de caudal y dimensiones físicas del humedal, se comprobó:

- Las dimensiones existentes de acuerdo al caudal que está ingresando en el humedal actualmente.
- Se determinó el caudal que debe ingresar el humedal de acuerdo las dimensiones que tiene actualmente.
- Se rediseño el humedal, para obtener las dimensiones reales que debe tener para tratar el caudal que actualmente está ingresando.
- Se propuso la alternativa técnica-económica para mejorar el tratamiento de las aguas residuales generadas por el RML.

### 5.6.1 Diseño de humedales artificial de flujo horizontal

El dimensionamiento del humedal se realiza en base a dos criterios de diseño principal; la remoción de contaminantes y el régimen de flujo.

- **Criterios de diseño en función de la remoción de contaminantes**

El diseño del humedal artificial de flujo horizontal se realizó ajustando su comportamiento a un modelo ideal de flujo pistón (**ecuación 5.3**) para describir la eficiencia en la reducción de DBO<sub>5</sub>. El modelo es válido para un tiempo de retención en un rango entre 2 a 5 días (P F Cooper, Green, & Shustes, 1998).

$$\frac{C_e}{C_o} = e^{-k_r t} \Leftrightarrow \frac{C_e}{C_o} = 0.43 * \text{Exp}(-0.26 * t_r) \quad (5.3)$$

**Donde:**

$C_e$  = Concentración de DBO<sub>5</sub> en el efluente (mg/l)

$C_o$  = Concentración de DBO<sub>5</sub> en el afluente (mg/l)

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.

$K_T$  = Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura ( $dia^{-1}$ )

$t_r$  = Tiempo de retención hidráulico (día)

**0.43** = factor de conversión constante (P F Cooper, Green, & Shustes, 1998)

**0.26** = factor de conversión constante (P F Cooper, Green, & Shustes, 1998)

La constante dependiente de la Temperatura " $K_T$ " se calcula utilizando la siguiente ecuación (Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006):

$$K_T = k_{20} * \theta^{(T-20)} \quad (5.4)$$

**Donde:**

$T = 27.43$  °C (Temperatura promedio del agua residual en el humedal)

$\theta = 1.06$  coeficiente de Temperatura (Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006)

$k_{20} = 0.678$   $dia^{-1}$  constante (Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006)

- **Criterios de diseño en función de los requerimientos hidráulicos**

Según (Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006) para compensar las pérdidas o ganancias de agua causadas por filtración, evapotranspiración, ganancia por la lluvia o precipitaciones a través del humedal, se calcula el caudal promedio mediante la **ecuación 4.5**:

$$Q = \frac{Q_o + Q_e}{2} \quad (5.5)$$

El cálculo asume que no existen pérdidas por filtración y adopta una estimación razonable de las pérdidas por evapotranspiración y ganancias por lluvias. Por lo general se asume que el caudal de entrada y salida son los mismos (Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006).

**Donde:**

$Q_o$  = Caudal de ingreso,  $m^3/d$ .

$Q_e$  = Caudal de salida,  $m^3/d$ .

El tiempo de retención hidráulico " $t_r$ " en el humedal se calcula por medio de la siguiente Ecuación:

$$t_r = \frac{L \cdot W \cdot y \cdot n}{Q} \quad (5.6)$$

**Donde:**

$L$  = Largo de la celda del humedal, m.

$W$  = Ancho de la celda del humedal, m.

$y$  = Profundidad de la celda del humedal, m.

$n$  = Porosidad, o espacio disponible para el flujo del agua a través del humedal, porcentaje expresado como decimal.

$Q$  = Caudal promedio a través del humedal, m<sup>3</sup>/d.

El valor de  $k_{20}$  varía dependiendo del contaminante que se desea reducir y de la temperatura. aquí se empleará la temperatura promedio medida en el sitio.

El **área superficial** se calcula con la siguiente ecuación:

$$A_s = \frac{Q * \ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right)}{K_T * y * n} \quad (5.7)$$

**Donde:**

$Q$  = Caudal (m<sup>3</sup>/día)

$A_s$  = Área superficial (m<sup>2</sup>)

$C_o$  = concentración de materia orgánica del afluente (mg/L)

$C_e$  = Concentración de materia orgánica del efluente (mg/L)

$K_T$  = constante cinética de primer orden (d<sup>-1</sup>)

$y$  = profundidad, (m) (Ver *Tabla 5.4*)

$n$  = porosidad del humedal (Ver *Tabla 5.4*)

**Tabla 5.4:** parámetros de diseño de los humedales con flujo superficial (Comisión Nacional del Agua, 2019)

Parámetros de diseño	Unidad	Valor
Tiempo de retención hidráulico	$d$	2-5 (DBO) 7-14 (N)
Velocidad de carga orgánica	$Kg/h*d$	<110
Profundidad del agua	$m$	0.06-0.45
Porosidad	-	0.65-0.75

La **longitud del humedal** se determinó por medio de la siguiente ecuación:

$$L = \left[ \frac{A_s * y^{\frac{8}{3}} * m^{\frac{1}{2}} * 86400}{a * Q} \right]^{2/3} \quad (5.8)$$

Con la **ecuación 5.8** se calcula de manera directa la longitud máxima deseable del humedal compatible con el gradiente hidráulico seleccionado (Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006).

**Donde:**

$Q$  = Caudal ( $m^3/d$ )

$W$  = Ancho del humedal (m)

$As$  = Área superficial del humedal ( $m^2$ )

$y$  = profundidad (m)

$L$  = Longitud del humedal (m)

$m$  = Pendiente del fondo del lecho, expresado en % como decimal.

$a$  = Factor de resistencia ( $s.m^{1/6}$ )

**El ancho “ $W$ ” del humedal se calcula de despejar  $W$  de la **ecuación 4.9**:**

$$W = \frac{As}{L} \quad (5.9)$$

**Donde:**

$W$  = Ancho del humedal (m)

$As$  = Área superficial ( $m^2$ )

$L$  = longitud (m)

**La carga hidráulica** se calcula mediante la siguiente ecuación (CRUZ HERRERA, ALDO DONALD, 2013):

$$C_h = \frac{Q}{As} \quad (5.10)$$

**Donde:**

$Ch$  = Carga hidráulica (m/día)

$Q$  = Caudal de diseño ( $m^3/día$ )

$As$  = Área superficial ( $m^2$ )

La carga orgánica ( $C_{org}$ ) se calcula mediante la siguiente ecuación (CRUZ HERRERA, ALDO DONALD, 2013):

$$C_{org} = \frac{QC_o}{As} \quad (5.11)$$

**Donde:**

$C_o$  = Concentración de  $DBO_5$  en el efluente (mg/l)

$Q$  = Caudal de diseño ( $m^3/año$ )

$As$  = Área superficial ( $m^2$ )

## VI. PRESENTACIÓN DE DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1 Resultados de la caracterización físico-química de las aguas residuales

La determinación de las características físico-químicas del agua residual durante el proceso de tratamiento son fundamentales para determinar la calidad del agua residual de acuerdo a lo estipulado por el artículo 22 del decreto 21 2017, del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA) de la legislación vigente aplicable a las descargas de aguas residuales vertidas al alcantarillado sanitario.

Se realizaron 4 muestreos compuestos de 12 horas cada uno, este número de análisis se estableció con el objetivo de aumentar la confiabilidad de los resultados obtenidos en la caracterización físico-química.

Los análisis de las muestras de agua residual se llevaron a cabo en el *Laboratorio de Aguas Residuales del Programa de investigación, Estudios Nacionales y Servicios de Ambiente (PIENSA) de la universidad nacional de ingenierías (UNI)*. Estos análisis se realizaron de acuerdo a la metodología del Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017. El costo económico de dichos análisis físicoquímicos fue asumido por **BORDA** y **PIENSA** en el marco de la colaboración entre ambas instituciones. En la **Tabla 6.1** se presentan los resultados de la caracterización del agua residual generada por el RML.

**Tabla 6.1:** Resultados de la caracterización físico-química del afluente y efluente por muestreo en el humedal artificial de flujo horizontal

MUESTREOS		26/09/2019 - 27/09/2019		15/10/2019 - 16/10/2019		12/11/2019 - 13/11/2019		26/11/2019 - 27/11/2019	
PARÁMETROS	UNIDAD	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Potencial de hidrogeno	pH	7.13	7.36	6.97	7.28	7.48	7.73	7.13	7.36
DQO	(mg/L)	944.12	264.46	426.38	158.29	405.50	144.60	1698.92	709.68
DBO <sub>5</sub>	(mg/L)	150.83	50.75	195.00	81.50	208.33	102.00	300.00	200.00
Solidos suspendidos totales	(mg/L)	222.58	25.00	231.66	74.00	107.00	30.00	86.00	139.00
Solidos sedimentables	(ml/L)	4.50	< 0.1	0.60	0.20	0.70	< 0.10	4.50	< 0.10
Solidos disueltos totales	(mg/L)	1171.42	875.00	1179.34	1038.00	1024.00	870.00	1171.42	875
Solidos volátiles totales	(mg/L)	594.00	172.00	697.00	450.00	361.00	61.00	594	172
Fosforo total	(mg/L)	6.27	4.05	6.21	5.23	5.25	3.02	6.27	405
Nitrógeno total	(mg/L)	143.61	137.20	132.08	117.87	133.83	111.44	143.61	137.20
Aceite y grasas	(mg/L)	20.40	13.40	22.20	6.10	13.40	5.10	20.40	13.40

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.

El promedio de los parámetros en estudio durante los cuatro muestreos, tanto para el afluente como el efluente se presentan en la **Tabla 6.2**.

**Tabla 6.2:** Valores promedio de los resultados de laboratorio de la caracterización del agua residual en el afluente y efluente

PARÁMETROS	UNIDAD	AFLUENTE	EFLUENTE
SST	mg/L	161.81	67.00
SSD	ml/L	1.70	2.10
SDT	mg/L	1162.19	947.00
STV	mg/L	564.00	238.75
pH	-	7.20	7.45
DQO	mg/L	868.73	308.30
DBO <sub>5</sub>	mg/L	213.54	108.56
PT	mg/L	6.41	4.84
NTK	mg/L	140.32	126.82
A y G	mg/L	16.05	6.23

Además, en cada muestreo se realizó medición de parámetros de campo de Temperatura, pH y SSD obteniendo valores promedios de dichos parámetros (**ver Tabla 6.3**).

**Tabla 6.3:** Resultados promedio de los parámetros de campo

PARÁMETROS	UNIDAD	AFLUENTE	EFLUENTE
T	°C	27.47	26.22
pH	-	7.13	7.33
SSD	ml/L	1.93	0.81

Los resultados horarios de cada parámetro determinado en campo se encuentran en el **Anexo C**.

A continuación, se presentan gráficamente las concentraciones de los parámetros del agua residual caracterizada.

- **Temperatura (Parámetro de campo)**

La temperatura es muy importante, pues afecta directamente la actividad biológica en la unidad de tratamiento y por ello los datos de la **Figura 6.1** corresponde a la determinada en campo.

En la **Figura 6.1** podemos observar que la temperatura del agua residual que ingresa al humedal es mayor a la de la salida durante los 4 muestreo realizados in-situ.

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.

En el afluente se observa que la temperatura se mantiene en el rango de los 27.25 °C – 27.88 °C y en el efluente se observa un mínimo en la temperatura del efluente de 25.88 y un máximo de 26.58

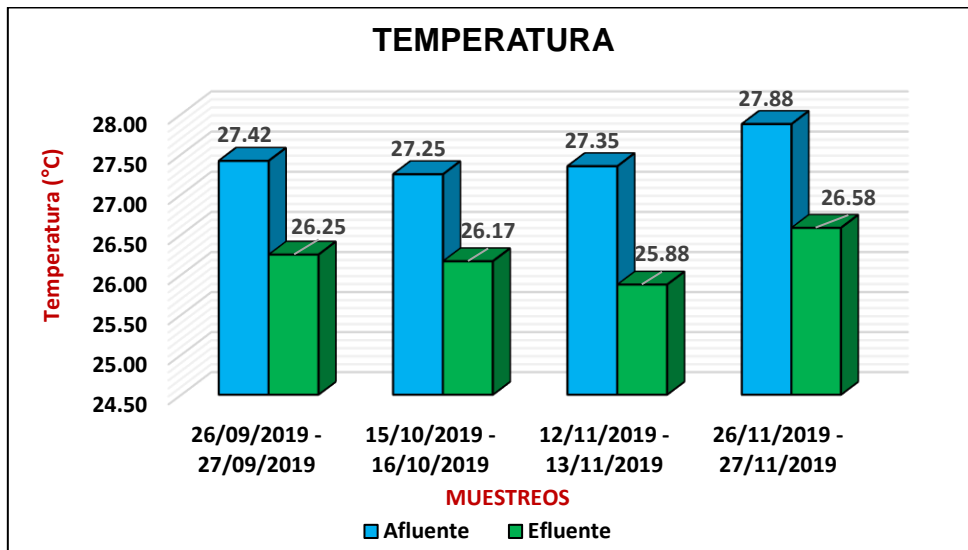


Figura 6.1: Comportamiento de la temperatura

El que la temperatura del agua residual en el efluente sea menor a la salida se debe a que cuando las plantas se desarrollan y reproducen por toda la superficie reducen la intensidad de los rayos del sol incidente sobre el sistema, evitando así grandes gradientes de temperatura en la profundidad del humedal.

- pH

La concentración de iones de hidrogeno (pH) es un parámetro de gran importancia para el tratamiento del agua residual en el humedal, ya que gran parte de la actividad microbiana es sensible al pH.

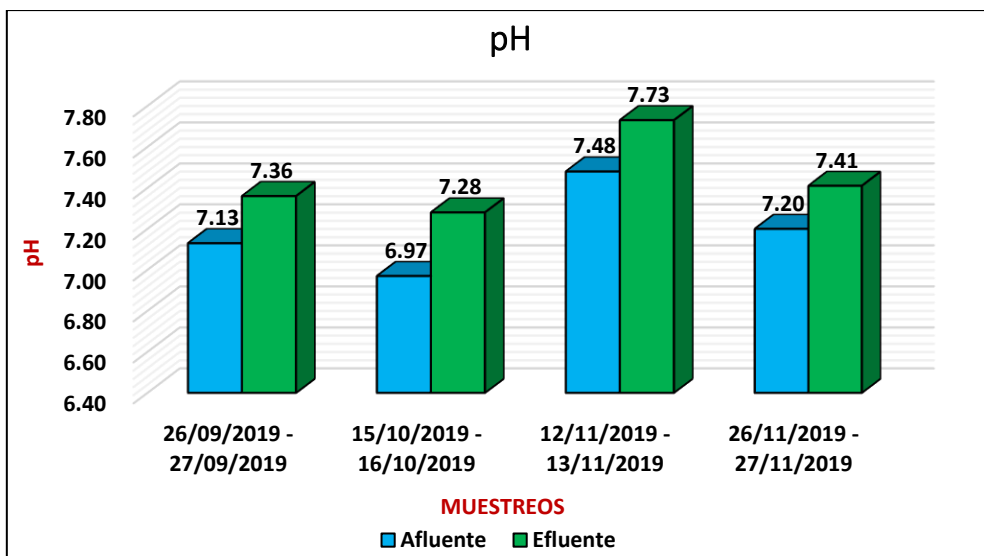


Figura 6.2: Comportamiento del pH



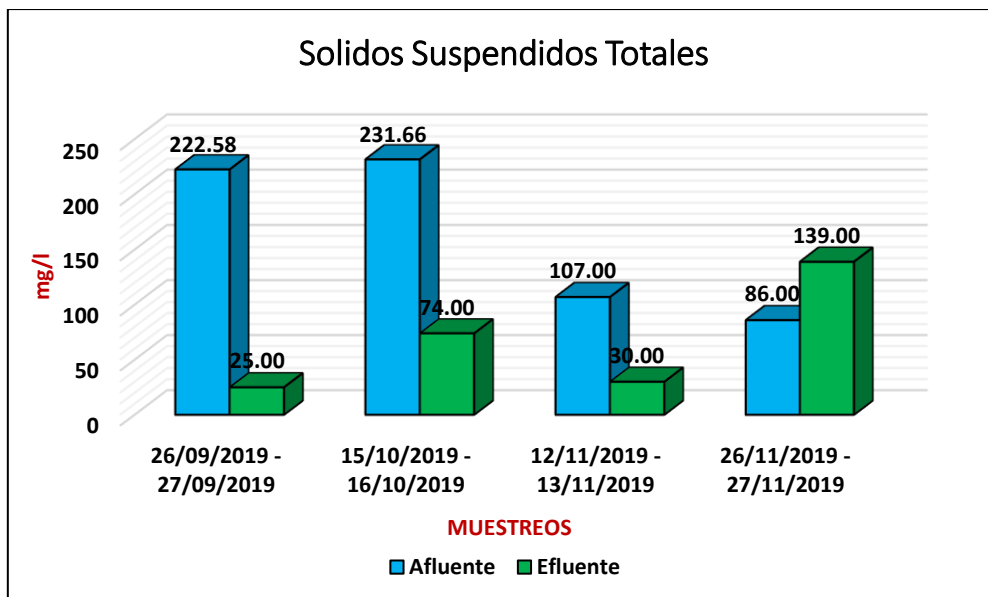
EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.

Como es posible apreciar en la **Figura 6.2** los valores de pH en el afluente oscilaron entre 7.48 – 6.97; mientras en el efluente los valores de pH se presentan un rango entre 7.28 – 7.73. Los valores promedio del pH son de 7.13 en el afluente y 7.33 en el efluente.

Estos valores de pH se encuentran dentro del rango favorable de 6.5 a 8.5 para un adecuado proceso de tratamiento en el humedal. Dado que el pH se ubica por debajo de 9.3 se puede decir que la concentración de nitrógeno que predomina es la forma del ion amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) (Delgadillo O. , Camacho, Pérez, & Andrade, 2010).

- **Sólidos suspendidos totales (SST)**

La concentración de solidos suspendidos totales en el afluente está en un rango de 86.00 – 231.66 mg/l, con un promedio de 161.81 mg/l, mientras que en el efluente se mantuvo en un rango de 25.00–139.00 mg/l. Sin embargo, cabe destacar que el muestreo del “26/11/2019 - 27/11/2019” se generó una mayor concentración de SST en el efluente, debido a la falta de mantenimiento en el humedal, producto del residuo vegetal generado por los jacintos de agua.



**Figura 6.3:** Comportamiento de los sólidos suspendidos totales

- **Sólidos Sedimentables (SSD)**

Los valores de concentración de solidos sedimentables en el afluente se encuentran en un rango entre 0.60 - 4.50 ml/l, presentándose un promedio de 1.70 ml/l, mientras que en el efluente presenta rangos entre 0 (< 0.10) y 0.40 ml/l. En la **Figura 6.4** se presenta el comportamiento de los sólidos sedimentables.

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.

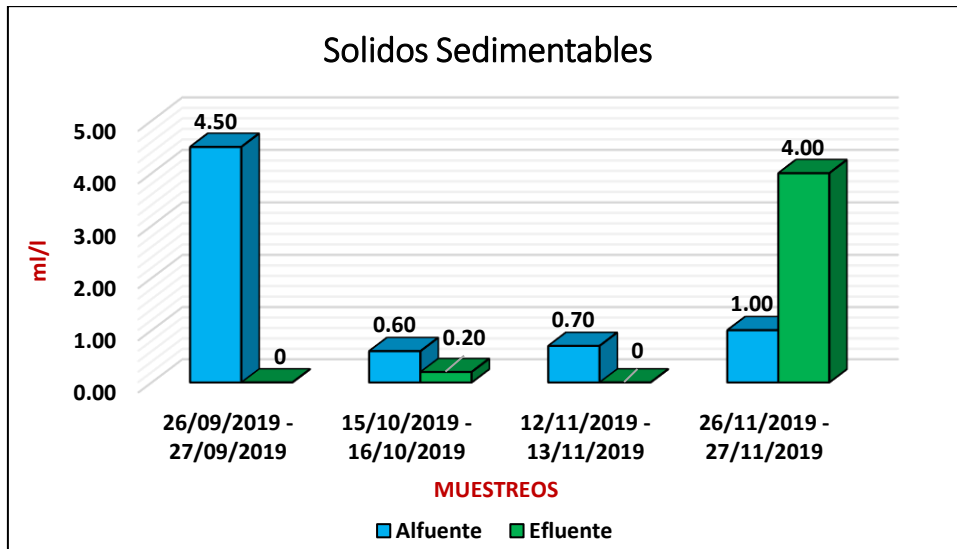


Figura 6.4: Comportamiento de los sólidos sedimentables

Según la gráfica se aprecia que en cada muestreo se dio una importante remoción, a excepción del muestreo del 26/11/2019 - 27/11/2019 el cual genero una mayor concentración de SSD en el efluente, debido a la falta de mantenimiento en el humedal, producto del residuo vegetal generado por los jacintos de agua.

- **Solidos Disueltos Totales (SDT)**

En la **Figura 6.5** se presenta el comportamiento de los sólidos disueltos totales con valores de concentración en el afluente en un rango entre 1024 - 1274 mg/l presentándose un promedio de 1162.19 mg/l, mientras que en el efluente presenta rangos entre 875.00 – 1038.00 mg/l.

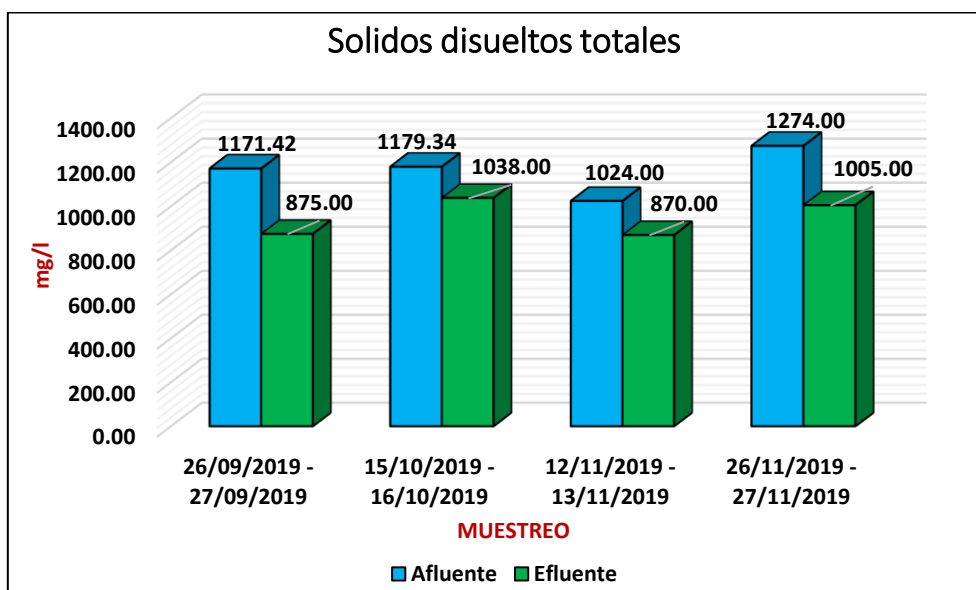
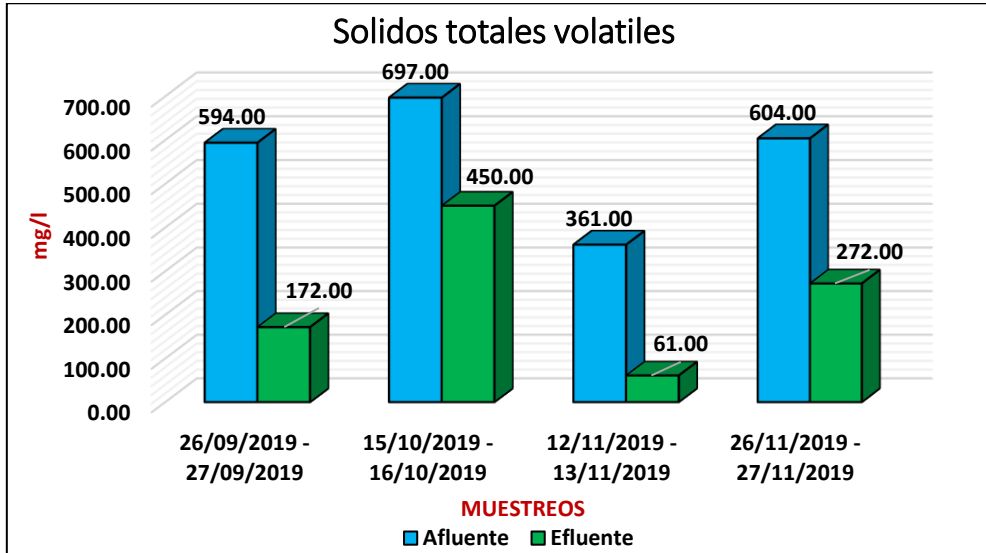


Figura 6.5: Comportamiento de los sólidos disueltos totales

- **Sólidos totales volátiles (STV)**

En la **Figura 6.6** se presenta el comportamiento de los STV. La concentración de los sólidos totales volátiles en el afluente se encuentra en un rango entre 361.00 – 697.00 mg/l y un valor promedio de 564 mg/l.

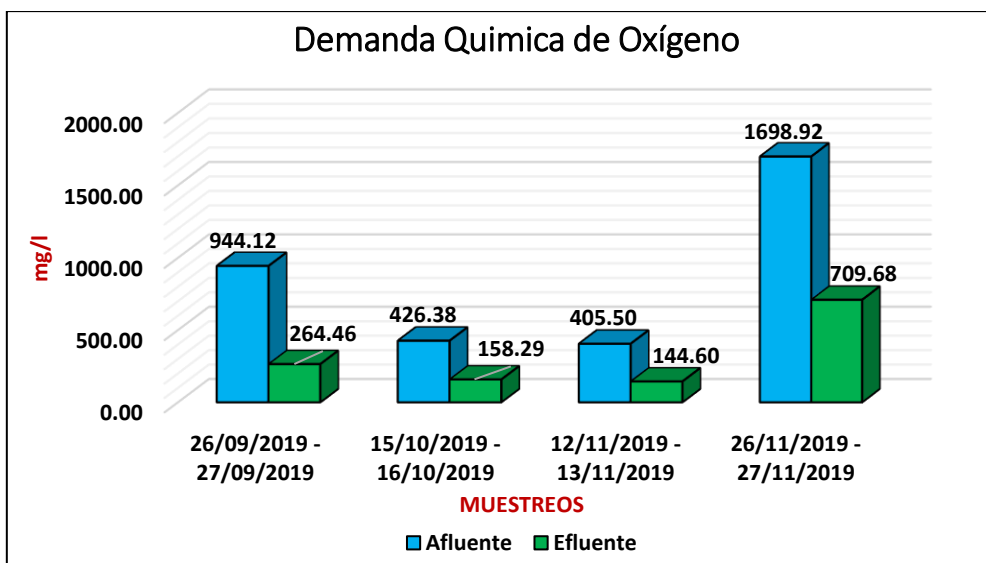


**Figura 6.6:** Comportamiento de los sólidos totales volátiles

En el efluente la concentración de STV se encuentran en un rango entre 61 - 450 mg/l, con un valor promedio de 238.75 mg/l.

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Los valores de DQO en el afluente presentan un rango entre 405.5 – 1698.92 mg/l con un valor promedio de 868.73 mg/l.



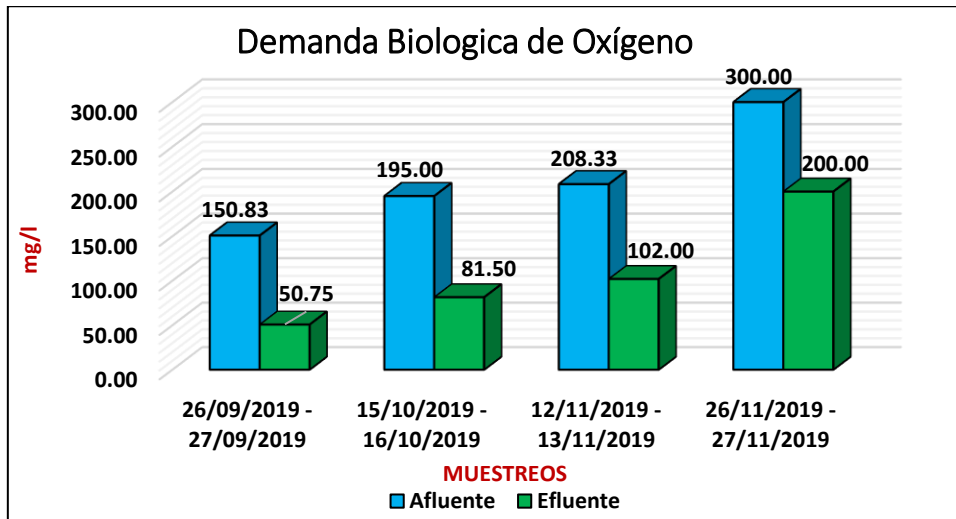
**Figura 6.7:** Comportamiento de la demanda química de oxígeno

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.

En el efluente los valores se encuentran en un rango entre 144.6 – 709.68 mg/l con un valor promedio de 319.26 mg/l.

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

**Según la Figura 6.8:** Los valores en el afluente se encuentran en un rango entre 150.83 – 300 mg/l con un valor promedio de 213.54 mg/l.

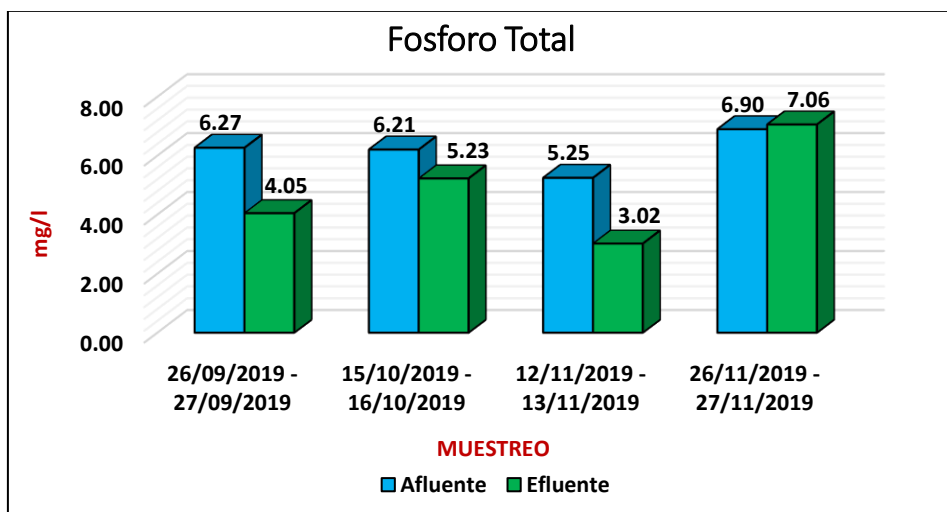


**Figura 6.8:** Comportamiento de la demanda biológica de oxígeno

Mientras que en el efluente se puede apreciar que el rango de concentración va de 50.75 a 200 mg/l y un valor promedio de 108.56 mg/l.

- **Fosforo total (PT)**

En la **Figura 6.9** se puede apreciar que los valores del fosforo total en el afluente se encuentran en un rango entre 5.25 – 6.90 mg/l y un valor promedio de 6.16 mg/l.



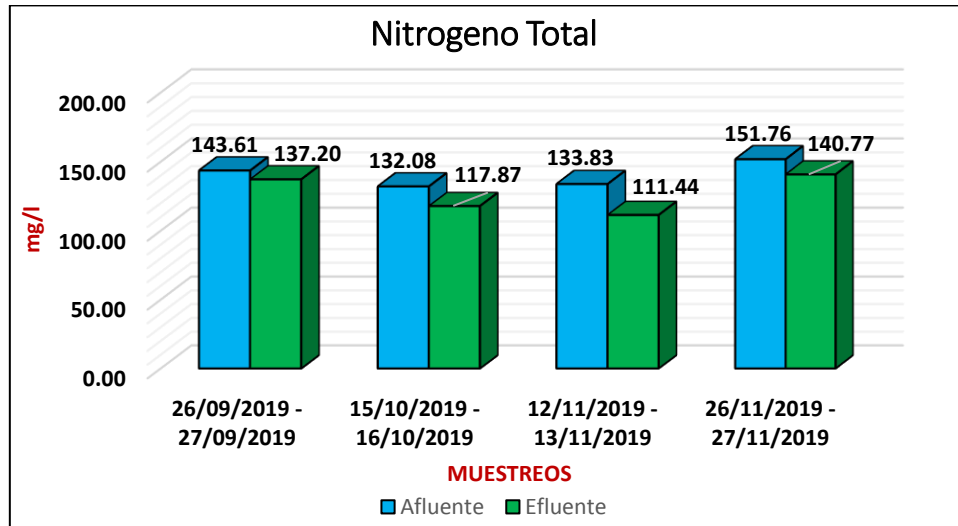
**Figura 6.9:** Comportamiento del Fosforo total

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.

Mientras que en el efluente se presenta un rango en la concentración de fosforo total entre 3.02 – 7.06 mg/l y con un valor promedio de 4.84 mg/l.

- **Nitrógeno Total (NTK)**

En la **Figura 6.10** se muestran las concentraciones de Nitrógeno total en el afluente en un rango de 132.08 – 151.76 mg/l con un valor promedio de 140.32 mg/l.

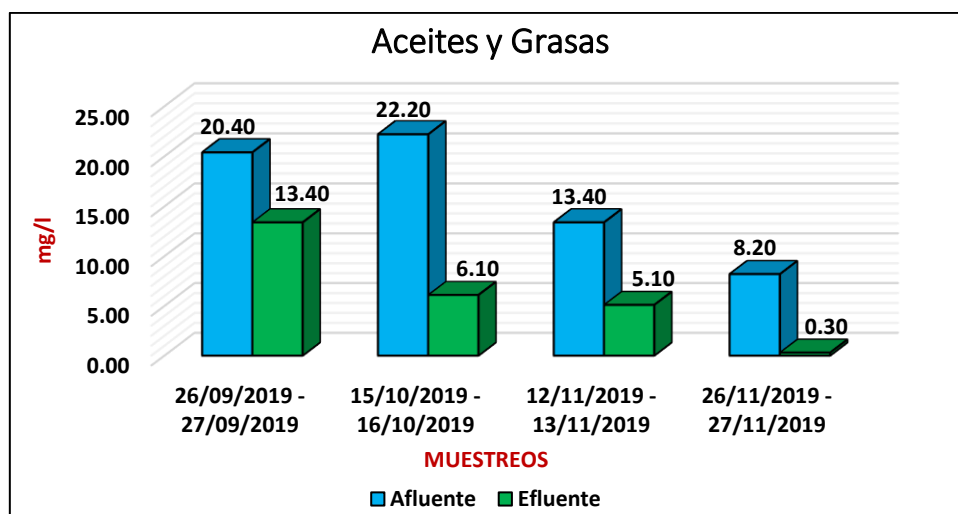


**Figura 6.10:** Comportamiento del Nitrógeno Total

Los valores de Nitrógeno Total en el efluente presentaron un rango entre 111.44 – 140.77 mg/l con un promedio de 126.82 mg/l.

- **Aceites y grasas (A y G)**

En la **Figura 6.11** muestra las concentraciones de aceites y grasas en el afluente en un rango de 8.2 a 22.2 mg/l con un valor promedio de 16.05 mg/l.



**Figura 6.11:** Comportamiento de los aceites y grasas

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.

Por su parte en el efluente se puede apreciar concentraciones de aceites y grasas en un rango entre 3.02 – 7.06 mg/l y un valor promedio de 6.23 mg/l.

### 6.1.1 Calidad del efluente con base al artículo 22 del decreto 21-2017

La **Tabla 6.4** muestra la comparación de las concentraciones promedio de los contaminantes del efluente con los rangos de valores máximos permisibles en el artículo 22 del decreto 21-2017 para los Vertidos a la Red de Alcantarillado Sanitario, del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA).

**Tabla 6.4:** Comparación de la concentración del efluente con el Art. 22 del decreto 21-2017.

PARÁMETROS	UNIDAD	EFLUENTE	RANGOS O VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES
Temperatura	°C	26.22	50
SST	mg/l	67.00	400
SSD	ml/l	2.10	10
SDT	mg/l	947.00	No Especifica
STV	mg/l	238.75	No Especifica
pH	-	7.45	6 - 9
DQO	mg/l	308.30	900
DBO <sub>5</sub>	mg/l	108.56	400
PT	mg/l	4.84	12
NTK	mg/l	126.82	60
A y G	mg/l	6.23	100

Como se puede apreciar en la **Tabla 6.4**: La Temperatura, los sólidos suspendidos totales, los sólidos sedimentables, el pH, la DQO, DBO<sub>5</sub>, el Fosforo total y los aceites y grasas están en cumplimiento con los rangos máximos permisibles establecidos por el artículo 22 del decreto 22-2017 el cual se vierten al alcantarillado Sanitario de la ciudad de León.

Pero por otro lado el nitrógeno total (NT) se encuentra incumpliendo con el valor máximo permisible establecido por la norma que es de 60 mg/l, excedido en un 111.36 % respecto el valor de la norma.

## 6.2 Determinación del caudal de agua residual en el humedal artificial de flujo horizontal libre

Se realizó 4 Mediciones de caudal a la entrada y salida del humedal cada media hora durante un periodo de tiempo de 12 horas, realizando aforos de caudales cada media hora, para un total de 24 aforos realizados durante las siguientes fechas: 27/09/2019, 16/10/2019, 13/11/2019, 27/11/2019, fijados en un horario de 12:00 AM a 11:30 AM, por ser en este periodo cuando se genera los mayores consumo de agua para las actividades de la matanza y el lavado de las instalaciones donde se realiza el sacrificio del ganado bobino y porcino.

Por las condiciones del afluente en el humedal se tuvo que emplear el método volumétrico empleando la **ecuación 5.1**, a partir de la caída del flujo del agua residual, en la entrada del humedal por un tubo PVC de 4", el aforo del caudal de salida se realizó en el manjole que conecta con el sistema de alcantarillado sanitario (las **Figura 6.12** y **Figura 6.13** ilustran el lugar del aforo)



**Figura 6.12:** Aforo del caudal residual a la entrada del humedal



**Figura 6.13:** Aforo del caudal residual a la salida del humedal

**Tabla 6.5:** Caudal residual promedio generado por cada día

FECHA DE REALIZACIÓN	UNIDAD	CAUDAL DE ENTRADA EN HUMEDAL	CAUDAL DE SALIDA EN HUMEDAL
27 de septiembre de 2019	$m^3/día$	37.01	34.33
16 de octubre de 2019	$m^3/día$	52.03	55.27
13 de noviembre de 2019	$m^3/día$	53.96	40.48
27 de noviembre de 2019	$m^3/día$	60.09	40.66
<b>PROMEDIO</b>	$m^3/día$	50.77	42.69

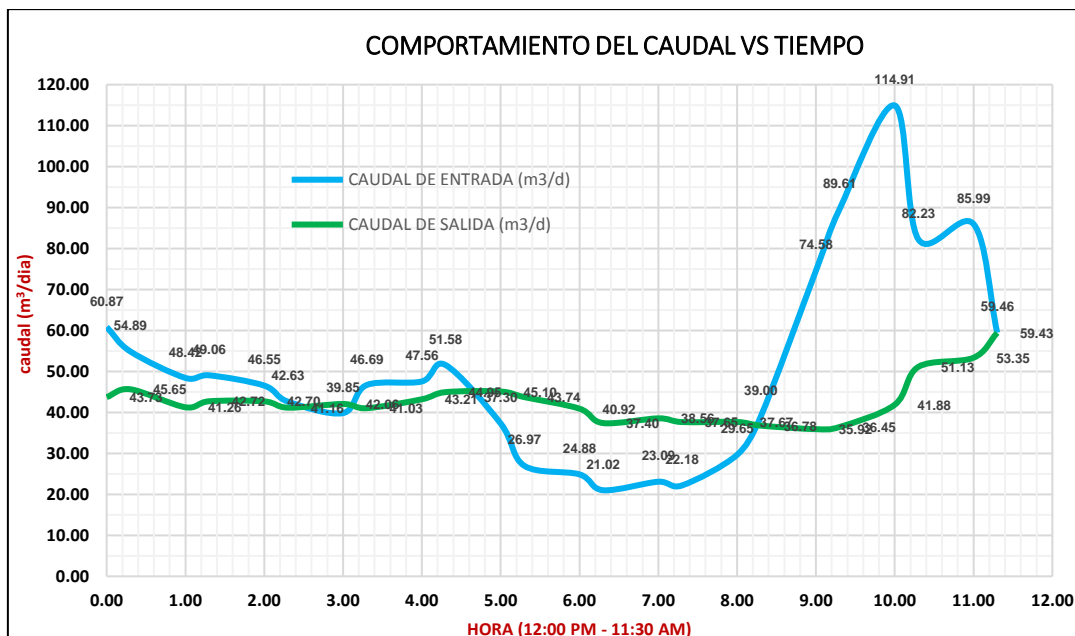
## EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.

Los resultados generados por los aforos de caudal realizados cada media hora en las fechas; **27/09/2019, 16/10/2019, 13/11/2019, 27/11/2019** se encuentran en el **Anexo D** de Medición de caudal a la entra y salida del humedal.

### 6.2.1 Comportamiento del caudal residual

Con base a los resultados horarios promedio (ver la **Tabla D-5: Caudales promedio horarios por día del Anexo D:**) se generó la curva de la **Figura 6.14** donde se observa el comportamiento del caudal horario por día durante la jornada de trabajo.

En la **Figura 6.14** se aprecia que los caudales fluctúan en un rango de 21.02 m<sup>3</sup>/día – 114.91 m<sup>3</sup>/día a la entrada y en la salida del humedal con 35.92 m<sup>3</sup>/día – 59.43 m<sup>3</sup>/día.



**Figura 6.14:** Comportamiento del caudal residual a la entrada y la salida del humedal

Se observa que el caudal pico de entrada en el humedal se registra a las 10:00 AM con un caudal de 114.91 m<sup>3</sup>/día debido a que a esa hora se realizan las operaciones del lavado de las salas de matanza tanto de reses como de cerdos. El caudal más bajo se registró aproximadamente a las 06:30 am con un valor de 21.02 m<sup>3</sup>/día ya que durante estas horas ya han finalizados las labores de matanza y aun no empieza el lavado de las salas las cuales inician después de las 7:00 AM que es cuando se genera más consumo de agua en el rastro municipal de León.

Estas fluctuaciones y variaciones en el caudal hacen que aumente o disminuya el tiempo de retención hidráulica en el sistema, el cual a su vez define el tiempo



**EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.**

de contacto y, por ende, la capacidad de los microorganismos que se encuentran en el humedal artificial para remover la materia orgánica presente.

**6.4 Eficiencia del humedal artificial en los porcentajes de remoción de contaminantes**

Con base a los resultados de las concentraciones promedios de los contaminantes caracterizados físico-químicamente en el afluente y efluente, utilizando la **ecuación 5.2**, se determinó la eficiencia porcentual de remoción de cada contaminante por el humedal artificial de flujo horizontal en el rastro municipal de la ciudad de León. En la **Tabla 6.6** se muestran los resultados promedios de los porcentajes de remoción.

**Tabla 6.6:** Porcentajes de remoción promedio en el humedal artificial de flujo horizontal del rastro municipal de León

PARAMETROS	UNIDAD	AFLUENTE	EFLUENTE	ECUACIÓN	% REMOCION
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	868.73	308.30	$\% \text{ Remocion} = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100$	64.51
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	213.54	108.56		49.16
Solidos Suspendido Totales	mg/L	161.81	67.00		58.59
Solidos sedimentables	ml/L	2.26	2.10		7.08
Solidos Disueltos Totales	mg/L	1162.19	947.00		18.52
Solidos Totales Volátiles	mg/L	564.00	238.75		57.67
Fosforo Total	mg/L	6.41	4.84		24.46
Nitrógeno Total	mg/L	140.32	126.82		9.62
Aceites y Grasas	mg/L	16.05	6.23		61.21

Para evaluar la eficiencia del humedal del RML se hace comparar los principales parámetros (SST, DBO<sub>5</sub>, PT, NT) con las características medias de porcentajes de remoción de un conjunto de 27 humedales, de esta modalidad empleados como tratamiento secundarios o terciarios, sometidos a seguimiento por la EPA (ver **Tabla 7**) en el año 2000 (Blázquez J. R., 2016).

**Tabla 6.7:** Características medias de las concentraciones de entrada y salida a un conjunto de Humedales Artificiales de Flujo horizontal libre (Blázquez J. R., 2016)

Parámetro	Afluente	efluente	% de reducción
Solidos suspendidos	69	15	78
DBO <sub>5</sub>	70	15	79
Nitrógeno total	12	4	67
Fosforo Total	4	2	50

- 1. Sólidos suspendidos Totales:** Para este parámetro % de remoción resultante en el humedal del RML fue del 58.59 %, al comparar con el dato de la **Tabla 6.7** el cual reporta un valor de 78% de remoción de SST, entonces podemos decir que el humedal del RML es un 19.41 % menos eficiente al reducir la concentración de SST que los reportados por la literatura.
- 2. Demanda bioquímica de oxígeno:** Para este parámetro el % de remoción resultante en el humedal del RML fue del 49.12 % al comparar con el dato de la **Tabla 6.7** el cual reporta un valor de 79 % de remoción de DBO<sub>5</sub>, entonces podemos decir que el humedal del RML es un 29.88 % menos eficiente al reducir la concentración de DBO<sub>5</sub> que los reportados por la literatura.
- 3. Fosforo Total:** Para este parámetro el % de remoción resultante en el humedal del RML fue del 24.49 %, al comparar con el dato de la **Tabla 6.7** el cual reporta un valor de 50% % de remoción de PT, entonces podemos decir que el humedal del RML es un 25.51 % menos eficiente al reducir la concentración de PT que los reportados por la literatura.
- 4. Nitrógeno Total:** Para este parámetro el % de remoción resultante en el humedal del RML fue del 9.58 %, siendo un valor muy bajo al comparar con el dato de la **Tabla 6.7** el cual reporta un valor de 67 % de remoción de NT, entonces podemos decir que el humedal del RML es un 57.42 % menos eficiente al reducir la concentración de NT que los reportados por la literatura, lo cual determina que el impacto del tratamiento en el humedal es ineficiente a la hora de remover el Nitrógeno total.

Unas de las razones de que dicho parámetro tenga un bajo porcentaje de remoción es la asimilación del nitrógeno amoniacal por las plantas del humedal, y es que numerosos estudios según (Blázquez J. R., 2016) han concluido que, mediante esta asimilación y la posterior siega de las plantas, no se llega a eliminar más allá del 15-20% del nitrógeno amoniacal presente en las aguas a tratar.

De acuerdo a la (EPA, 1998) para valores reportados de estudio (ver **Tabla 6.8**) que han sido resumidos e indican que a mayor tasa de carga hidráulica el porcentaje de remoción de nitrógeno disminuye. El valor de tasa de carga hidráulica en el humedal es de 0.34 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*día (3,400 m<sup>3</sup>/ha\*día) lo cual es un valor elevado lo que explicaría el bajo porcentaje de remoción de Nitrógeno

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.

Otro de los factores que influye en la eficacia de la eliminación de los nutrientes es el estado de estabilización y madurez tanto del sustrato como la vegetación que conforma el sistema. En este sentido podría haber una mayor inmovilización de los nutrientes en aquellas épocas en las que la macrófita estuviera en la etapa de mayor desarrollo coincidiendo en primavera y veranos (Blázquez J. R., 2016)

**Tabla 6.8:** Tasas de carga hidráulica típica de la eliminación de nitrógeno en tratamientos con jacintos de agua (EPA, 1998)

Hydraulic Loading, m <sup>3</sup> /ha-d	Total Nitrogen Reduction, %
9,350	10-35
4,675	20-55
2,340	37-75
1,560	50-90
1,170	65-90
≤ 5935	70-90

## 6.5 Alternativa técnica-económica para optimizar el funcionamiento y operación del sistema de tratamiento de aguas residuales del RML

En base a los resultados obtenidos de la concentración de los contaminantes productos de la caracterización fisicoquímico, la estimación del caudal del agua residual generado, se brindan las siguientes alternativas para optimizar el funcionamiento y operación, considerando los criterios de diseño para el dimensionamiento del humedal artificial de flujo horizontal del RML:

### 6.5.1 Dimensiones y criterios de diseño existentes del humedal artificial de flujo horizontal del rastro municipal de León.

**Tabla 6.9:** dimensiones existentes del humedal artificial de flujo horizontal del rastro municipal de la ciudad de León

DATO	SIMBOLO	UNIDAD	VALOR
Longitud del humedal	$L$	$m$	25.13
Ancho del humedal	$W$	$m$	6.50
Área superficial	$A_s$	$m^2$	163.35
Profundidad del agua en el humedal	$y$	$m$	0.34

Los cálculos de los valores que se presentan en la **Tabla 6.10** se encuentran en el **ANEXO G**:

**Tabla 6.10:** Criterios de diseño del humedal del RML

CRITERIOS	UNIDAD	VALORES RECOMENDABLE	FUENTE	VALORES DEL HUMEDAL DEL RML
Tiempo de retención	$días$	2-5 (DBO <sub>5</sub> )	(Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006)	0.77
Carga orgánica	$kg/ha*día$	< 110	(Blázquez J. R., 2016)	0.6637
	$mg/m^2*día$	-		66.37
Carga hidráulica	$In/día$	1-5	(Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006)	12.20
	$m/días$	-		0.31
Profundidad del agua en el humedal	$m$	0.06 – 0.45	(Comisión Nacional del Agua, 2019)	0.34
Pendiente hidráulica	%	0.5 – 1	(Blázquez J. R., 2016)	1

El tiempo de retención hidráulico y la carga hidráulica en humedal del RML no son criterios que estén en el rango de valores recomendables por la literatura (ver la comparación de valores en **Tabla 6.10**). Mientras la carga orgánica, la profundidad y la pendiente se maneja entre el rango de valores recomendables por la literatura (ver la comparación de valores en **Tabla 6.10**).

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.



**Figura 6.15:** medición de las dimensiones del humedal de flujo horizontal del rastro municipal de León

### 6.5.2 Caudal que debe recibir el humedal según sus dimensiones

Como se puede observar en la **Tabla 6.11** de acuerdo a las dimensiones del humedal del RML, el tiempo de retención hidráulico del agua residual en el humedal esta fuera del rango de 2-5 días, según (Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006) el tiempo de retención mínimo en el humedal debe ser de 2 días (**ver Tabla G-2: del Anexo G**), por lo que el caudal que está ingresando no es el adecuado para para las dimensiones que posee humedal.

**Tabla 6.11:** Cálculo del tiempo de retención hidráulico en humedal del rastro municipal de León con el caudal actual

DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	ECUACION	VALOR
Longitud del humedal	$L$	$m$	-	25.13
Ancho del humedal	$W$	$m$	-	6.50
Profundidad	$y$	$m$	-	0.34
Porosidad	$n$	-	-	0.65
Caudal	$Q$	$m^3/día$	-	50.77
Tiempo de retención hidráulico	$t_r$	días	$t_r = \frac{L \cdot W \cdot y \cdot n}{Q}$ (4.6)	0.77 día $\approx$ 18.48 horas

El caudal que debe recibir el humedal se determinó iterando valores de caudal en la **ecuación 5.5** hasta dar con un valor mínimo de 2 días en el tiempo de retención, (Ver el Cálculo en la **Tabla 6.12**):

**Tabla 6.12:** Cálculo del caudal que debe recibir el humedal según sus dimensiones

DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	ECUACION	VALOR
Longitud del humedal	$L$	$m$	-	25.13
Ancho del humedal	$W$	$m$	-	6.50
Profundidad	$y$	$m$	-	0.34
Porosidad	$n$	-	-	0.65
Caudal	$Q$	$m^3/día$	-	10.00
Tiempo de retención hidráulico	$t_r$	$día$	$t_r = \frac{L \cdot W \cdot y \cdot n}{Q}$ (4.6)	<b>3.60</b>

Como se puede observar el caudal que debe de recibir el humedal para las dimensiones de 25.13x6.50 m es de 10 m<sup>3</sup>/día con un tiempo de retención de 3.60 que se encuentra dentro del rango de 2-5 días recomendado por la literatura.

### 6.5.3 Dimensiones que debe tener el humedal artificial de flujo horizontal de acuerdo al caudal que actualmente ingresa

El diseño del humedal artificial de flujo horizontal se realizó ajustando su comportamiento a un modelo ideal de flujo pistón para describir la eficiencia en la reducción de DBO<sub>5</sub>. El modelo es válido para un tiempo de retención en un rango entre 2 a 5 días (Blázquez, 2006).

$$\frac{C_e}{C_o} = e^{-K_T t} \Leftrightarrow \frac{C_e}{C_o} = 0.43 * \text{Exp}(-0.26 * t_r) \quad (5.3)$$

**Donde:**

$C_e$  = Concentración de DBO<sub>5</sub> en el efluente (mg/l)

$C_o$  = Concentración de DBO<sub>5</sub> en el afluente (mg/l)

$K_T$  = Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura (día<sup>-1</sup>)

$t_r$  = Tiempo de retención hidráulico (día)

**0.43** = factor de conversión constante (P F Cooper, Green, & Shustes, 1998)

**0.26** = factor de conversión constante (P F Cooper, Green, & Shustes, 1998)

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.

Todos los cálculos que se presentan en este apartado se encuentran en el Anexo H.

- **Cálculo de la  $C_e$  de la DBO<sub>5</sub> esperada en el efluente**

Despejando  $C_e$  de la **ecuación 5.3** para conocer la concentración esperada en el efluente:

$$C_e = 0.43 * \text{Exp}(-0.26 * t_r) * C_0$$

**Tabla 6.13:** Cálculo de la concentración de DBO<sub>5</sub> en esperada en el efluente

DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	ECUACION	VALOR
Tiempo de Retención hidráulico	$t_r$	día	-	5
Concentración de DBO <sub>5</sub> en el afluente	$C_0$	mg/l	-	213.54
<b>Concentración de DBO<sub>5</sub> en el efluente</b>	$C_e$	mg/l	$C_e = 0.43 * \text{Exp}(-0.26 * t_r) * C_0$	25.02 valor Esperado

- **Cálculo de la constante de reacción de primer ( $K_T$ ) orden dependiente de la temperatura**

$K_T$  se calcula mediante la **ecuación 5.4**

$T = 27.43$  °C (Temperatura promedio del agua residual en el humedal del RML)

**Tabla 6.14:** Cálculo de la constante de reacción de primer orden

DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	ECUACION	VALOR
Temperatura promedio	$T$	°C	-	27.43
Coeficiente de Temperatura	$\theta$	-	-	1.06
Constante	$k_{20}$	dia <sup>-1</sup>	-	0.678
<b>Constante de reacción de primer orden</b>	$K_T$	dia <sup>-1</sup>	$K_T = k_{20} * \theta^{(T-20)}$ (5.4)	<b>1.05</b>

- **Caudal de diseño en el humedal artificial de flujo horizontal**

**Tabla 6.15:** Caudal de diseño

DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	ECUACION	VALOR
Caudal de ingreso en el humedal	$Q$	m <sup>3</sup> /día	$Q = \frac{Q_o + Q_e}{2}$ (5.5)	50.77

- **Cálculo del Área Superficial ( $A_s$ ) del humedal artificial de flujo horizontal**

**Tabla 6.16:** Cálculo del Área Superficial

DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	ECUACION	VALOR
Caudal	$Q$	$m^3/día$	$Q = \frac{Q_o + Q_e}{2}$ (5.5)	50.77
Concentración de DBO <sub>5</sub> en el afluente	$C_o$	$mg/l$	-	213.54
Concentración de DBO <sub>5</sub> en el efluente	$C_e$	$mg/l$	$C_e = 0.43 * Exp(-0.26 * t_r) * C_o$	25.02
constante de reacción de primer orden	$K_T$	$dia^{-1}$	$K_T = k_{20} * \theta^{(T-20)}$ (5.4)	1.05
profundidad del agua en el humedal	$y$	$m$	-	0.30
porosidad	$n$	-	-	0.65
<b>Área superficial</b>	$A_s$	$m^2$	$A_s = \frac{Q * \ln(\frac{C_o}{C_e})}{K_T * y * n}$ (5.7)	531.67

- **Calculó de la longitud del humedal**

**Tabla 6.17:** Cálculo de la longitud del humedal

DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	ECUACION	VALOR
Caudal	$Q$	$m^3/día$	$Q = \frac{Q_o + Q_e}{2}$ (5.5)	50.77
Área superficial	$A_s$	$m^2$	$A_s = \frac{Q * \ln(\frac{C_o}{C_e})}{K_T * y * n}$ (5.7)	531.67
Profundidad	$y$	$m$	-	0.30
Pendiente del fondo del lecho	$m$	%	-	0.5 %
Factor de resistencia	$a$	$s.m^{1/6}$	-	6.4
<b>Longitud del humedal</b>	$L$	$m$	$L = \left[ \frac{A_s * y^8 * m^{\frac{1}{2}} * 86400}{a * Q} \right]^{\frac{2}{3}}$ (5.8)	52.72



EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.

- **Calculó del acho del humedal ( $W$ )**

**Tabla 6.18:** Cálculo del ancho del humedal

DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	ECUACION	VALOR
Área superficial	$A_s$	$m^2$	$A_s = \frac{Q * \ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right)}{K_T * y * n}$ (5.7)	531.67
Longitud del humedal	$L$	$m$	$L = \left[ \frac{A_s * y^{\frac{8}{3}} * m^{\frac{1}{2}} * 86400}{a * Q} \right]^{\frac{2}{3}}$ (5.8)	52.72
<b>Ancho del humedal</b>	$W$	$m$	$W = \frac{A_s}{L}$ (5.9)	<b>10.1</b>

- **Cálculo de la carga Hidráulica**

**Taba 6.19:** Cálculo de la carga Hidráulica

DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	ECUACION	VALOR
Área superficial	$A_s$	$m^2$	$A_s = \frac{Q * \ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right)}{K_T * y * n}$ (5.7)	531.67
Caudal	$Q$	$m^3/día$	$Q = \frac{Q_o + Q_e}{2}$ (5.5)	50.77
<b>La carga hidráulica</b>	$C_h$	$m/día$	$C_h = \frac{Q}{A_s}$ (5.10)	0.10
		$In/día$		3.76

- **Cálculo de la carga orgánica ( $C_{org}$ )**

**Tabla 6.20:** Cálculo la carga orgánica

DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	ECUACION	VALOR
Área superficial	$A_s$	$m^2$	$A_s = \frac{Q * \ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right)}{K_T * y * n}$ (5.7)	531.67
Caudal de ingreso	$Q$	$m^3/día$	$Q = \frac{Q_o + Q_e}{2}$ (5.5)	50.77
Concentración de DBO <sub>5</sub> en el efluente	$C_o$	$mg/l$	-	213.54
<b>Carga orgánica</b>	$C_{org}$	$mg/m^2 * día$	$C_{org} = \frac{QC_o}{A_s}$ (5.11)	20.39
		$kg/ha * día$		0.20

- **Cálculo del tiempo de retención hidráulico del humedal artificial de flujo horizontal**

**Tabla 6.21:** Cálculo del tiempo de retención

DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	ECUACION	VALOR
Largo del humedal	$L$	$m$	$L = \left[ \frac{As * y^{\frac{8}{3}} * m^{\frac{1}{2}} * 86400}{a * Q} \right]^{\frac{2}{3}}$ (5.8)	52.72
Ancho del humedal	$W$	$m$	$W = \frac{As}{L}$ (5.9)	10.1
Profundidad	$y$	$m$	-	0.30
Porosidad	$n$	-	-	0.65
Caudal	$Q$	$m^3/día$	$Q = \frac{Q_o + Q_e}{2}$ (5.5)	50.77
Tiempo de retención hidráulico	$t_r$	$días$	$t_r = \frac{L.W.y.n}{Q}$ (5.6)	2.04

Como se puede observar en la **Tabla 6.22** los criterios de diseño redimensionados de acuerdo al caudal de ingreso se encuentran dentro del rango recomendado por la literatura para el diseño de un humedal artificial de flujo horizontal.

**Tabla 6.22:** Criterios de diseño del humedal del RML redimensionados

CRITERIOS	UNIDAD	VALORES RECOMENDABLES	FUENTE	VALORES DEL HUMEDAL DEL RML
Tiempo de retención	$días$	2-5 (DBO <sub>5</sub> )	(Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006)	2.04
Carga orgánica	$kg/ha*día$	< 110	(Blázquez J. R., 2016)	0.20
	$mg/m^2*día$	-	-	20.39
Carga hidráulica	$In/día$	1-5	(Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006)	3.76
	$m/día$	-	-	0.10
Profundidad del agua en el humedal	$m$	0.06 – 0.45	(Comisión Nacional del Agua, 2019)	0.30
Pendiente hidráulica	%	0.5 – 1	(Blázquez J. R., 2016)	0.5

Las dimensiones que debe tener el humedal del rastro municipal de león para 50  $m^3/día$  de caudal que ingresa es de: 52.72  $m$  de largo x 10.1  $m$  de ancho con una profundidad de 0.30  $m$  y que de acuerdo con los criterios de diseños calculados se encontrarían con los recomendados por la literatura (ver la comparativa de los criterios de diseños en la **Tabla 6.22**).

#### 6.5.4 Alternativa técnica-económica propuesta para optimizar el funcionamiento y operación del sistema de tratamiento del RML

Las dimensiones que debe tener el humedal del rastro municipal de león para 50 m<sup>3</sup>/día de caudal que ingresa es de: 52.72 m de largo x 10.1 m de ancho con una profundidad de 0.30 m, pero por la falta de área requerida para la construcción del humedal con esas dimensiones, se propone: que al humedal con las dimensiones existentes actuales ingrese un caudal de 10 m<sup>3</sup>/día instalando una válvula PVC de 4 Ø4"y realizando el aforo para que solo se permita ingresar dicha cantidad al humedal

Para los 40 m<sup>3</sup>/día restantes del caudal se diseñó un humedal con las dimensiones que a continuación se describen (ver **Tablas 6.23, 6.24, 6.25 y 6.27**) haciendo uso de la relación largo ancho para dar solución a la falta de espacio disponible en el RML.

**Tabla 6.23:** Calculo del área superficial

DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	ECUACION/OBSERVACIONES	VALOR
Caudal	$Q$	m <sup>3</sup> /día	-	40.77
Concentración de DBO5 en el efluente	$C_e$	mg/l	$C_e = 0.43 * Exp(-0.26 * t_r) * C_0$	25.02
Concentración de DBO5 en el afluente	$C_0$	mg/l	-	213.54
Constante de reacción de primer orden	$K_T$	día-1	$K_T = k_{20} * \theta^{(T-20)}$ (5.4)	1.05
Profundidad del agua en el humedal	$y$	m	$y = 0.45$ m el cual se encuentra entre el rango como criterio de diseño (Comisión Nacional del Agua, 2019).	0.45
Porosidad	$n$	-	$n = 0.65$ el cual se encuentra entre el rango como criterio de diseño (Comisión Nacional del Agua, 2019).	0.65
<b>Área superficial</b>	$A_s$	m <sup>2</sup>	$A_s = \frac{Q * \ln\left(\frac{C_0}{C_e}\right)}{K_T * y * n}$ (5.7)	<b>284.63</b>

**Tabla 6.24:** Cálculo de la longitud del humedal

DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	ECUACION	VALOR
Caudal	$Q$	m <sup>3</sup> /día	-	40.77
Área superficial	$A_s$	m <sup>2</sup>	$A_s = \frac{Q * \ln\left(\frac{C_0}{C_e}\right)}{K_T * y * n}$ (5.7)	284.63
Relación largo ancho	-	-	$L = 0.5$ a $1.2$ (B) (manual ASTEC, Biomasa UNI, 2005)	1.2
Ancho del humedal	$B$	m	Asumido	17
<b>Longitud del humedal</b>	$L$	m	$L = 1.2 * (B)$	<b>20.4</b>

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.

**Tabla 6.25:** Cálculo del tiempo de retención hidráulico teórico

DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	ECUACION	VALOR
Ancho del humedal	$B$	$m$	Asumido	17
Longitud del humedal	$L$	$m$	$L = 1.2 * (B)$ (manual ASTEC, Biomasa UNI, 2005)	20.4
Profundidad	$y$	$m$	(Comisión Nacional del Agua, 2019)	0.45
Porosidad	$n$	-	(Comisión Nacional del Agua, 2019)	0.65
Caudal	$Q$	$m^3/día$	-	40.77
Tiempo de Retención hidráulico	$t_r$	$días$	$t_r = \frac{L.W.y.n}{Q}$ (5.6)	<b>2.49</b>

**Tabla 6.26:** Cálculo del tiempo de la carga hidráulica

DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	ECUACION	VALOR
Área superficial	$A_s$	$m^2$	$A_s = L * B$	346.80
Caudal	$Q$	$m^3/día$	-	40.77
Carga hidráulica	$Ch$	$m/día$	$C_h = \frac{Q}{A_s}$	0.12
		$In/día$		<b>4.63</b>

**Tabla 6.27:** Cálculo del tiempo de la carga orgánica

DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	ECUACION	VALOR
Área superficial	$A_s$	$m^2$	$A_s = L * B$	346.80
Caudal de ingreso	$Q$	$m^3/día$	Determinado en campo	40.77
Concentración de DBO5 en el afluente	$C_o$	$mg/l$	Resultado de análisis	213.54
Carga orgánica	$C_{org}$	$mg/m^2*día$	$C_{org} = \frac{QC_o}{A_s}$	25.10
		$kg/ha*día$		<b>0.25</b>

**Tabla 6.28:** Criterios de diseño del humedal de 40.77 m<sup>3</sup>/día del RML

CRITERIOS	UNIDAD	VALORES RECOMENDABLES	FUENTE	VALORES DEL HUMEDAL DEL RML
Tiempo de retención hidráulico	$días$	2-5 (DBO <sub>5</sub> )	(Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006)	2.49
Carga orgánica	$kg/ha*día$	< 110	(Blázquez J. R., 2016)	0.25
	$mg/m^2*día$	-	-	25.10
Carga hidráulica	$In/día$	1-5	-	4.63
	$m/día$	-	(Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006)	0.12
Profundidad del agua en el humedal	$m$	0.06 – 0.45	(Comisión Nacional del Agua, 2019)	0.45
Pendiente hidráulica	%	0.5 – 1	(Blázquez J. R., 2016)	0.5

**EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.**

Como se puede observar en la **Tabla 6.28** los criterios de diseño redimensionados de acuerdo al caudal de ingreso se encuentran dentro del rango recomendado por la literatura para el diseño de un humedal artificial de flujo horizontal.

**6.5.4.1 Costo económico para la alternativa técnica propuesta**

En la tabla 6.29 Costo económico para la construcción del humedal para las dimensiones de 20.4 de largo x 17 de ancho x 0.45 m de profundidad.

**Tabla 6.29:** Presupuesto para la alternativa de construcción de un nuevo humedal en RML

Concepto	unidad	valores	C. Unitario	Total
Cemento	Bolsa	498.00	350.00	174,300.00
Arena	m <sup>3</sup>	40.00	350.00	14,000.00
Piedra triturada	m <sup>3</sup>	44.00	850.00	37,400.00
Piedra cantera	pieza	100.00	85.00	8,500.00
Hierro liso de 1/4"	qq	26.00	1,250.00	32,500.00
Hierro corrugado de 3/8"	qq	9.00	1,500.00	13,500.00
Alambre de amarre	lb	100.00	30.00	3,000.00
Tabla de 1*8*5	pieza	15.00	300.00	4,500.00
Reglas de 1*3*5	pieza	10.00	150.00	1,500.00
Cuartones 2*2*5	pieza	6.00	200.00	1,200.00
Clavos de 3"	lb	50.00	30.00	1,500.00
Tubería de PVC SDR 41 de Ø6"	pieza	5.00	2,500.00	12,500.00
Tubería de PVC SDR 41 de Ø4"	pieza	3.00	1,250.00	3,750.00
Tapon de PVC de Ø4"	pieza	1.00	125.00	125.00
Válvula de Ø 4" de PVC	pieza	1.00	1,525.00	1,525.00
Excavación	m <sup>3</sup>	102.00	120.00	12,240.00
				322,040.00
Mano de Obra				96,612.00
Transporte				16,102.00
<b>Total, del Biofiltro</b>				<b>434,754.00</b>

**EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.**

**Tabla 6.30:** Presupuesto para la construcción de la caja de recolección en el humedal

<b>Caja de Recolección</b>	<b>unidad</b>	<b>valores</b>	<b>C. Unitario</b>	<b>Total</b>
Mampostería	m <sup>2</sup>	4.00	375.00	1,500.00
Cemento	Bolsa	4.00	350.00	1,400.00
Arena de camión de 5 m3	M <sup>3</sup>	0.50	600.00	300.00
P. Triturada de 1/2"	M <sup>3</sup>	0.25	850.00	212.50
Hierro corrugado de 3/8"	qq	0.50	1,750.00	875.00
Hierro liso de 1/4"	qq	0.30	1,500.00	450.00
Alambre de Amarre N° 18	qq	0.05	25.00	1.25
Formaleta	m <sup>2</sup>	3.50	12.50	43.75
Repello	m <sup>2</sup>	6.00	35.00	210.00
Fino	m <sup>2</sup>	6.00	35.00	210.00
Unión combinada de PVC de 4"	pieza	1.00	250.00	250.00
Adaptador Macho de PVC de 4"	pieza	1.00	250.00	250.00
Codo Liso de PVC de 4"	pieza	1.00	105.00	105.00
Total, de Materiales	global			5,807.50
Transporte	global			871.13
Excavación	m <sup>3</sup>	1.00	120.00	120.00
Mano de Obra	Global			2,032.63
Total, de Servicios				3,023.75
<b>Total de Mat. + M.O.</b>				<b>8,831.25</b>

**Tabla 6.31:** Costo tola de la construcción del humedal

<b>Total, en córdobas</b>	<b>Total, en Dolares</b>
443,585.25	12,673.86

## VII. CONCLUSIONES

Al realizar la evaluación del Humedal artificial de flujo horizontal del rastro municipal de la ciudad de León, se concluye:

1. Los parámetros que están en cumplimiento con lo establecido en el artículo 22 del decreto 21-2017 son: pH, temperatura, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, DQO, DBO, fosforo total y los aceites y grasa, el nitrógeno total no cumple con la normativa.
2. Los porcentajes de remoción en el humedal son: DBO<sub>5</sub>: 49.16 %, DQO: 64.51 %, Sólidos Suspendidos totales: 58.59 %, sólidos sedimentables: 7.08 %, sólidos disueltos totales 18.52 %, sólidos totales volátiles 57.67 %, fosforo total 24.49 %, grasas y aceites 61 % y fosforo: 9.61 %. Estos % de remoción reflejan la baja eficiencia en el humedal.
3. El tiempo de retención hidráulico en el humedal actualmente (0.77 día), está muy por debajo del que se especifica en la literatura de 2 a 5 días, lo que explica porque en el humedal los porcentajes de remoción de la materia orgánica son bajos.
4. El caudal promedio obtenido en el afluente y efluente del humedal es de: 50.77 m<sup>3</sup>/día y 42.66 m<sup>3</sup>/día.
5. El caudal de 50.77 m<sup>3</sup>/día que ingresa al humedal actualmente, sobrepasa las dimensiones existentes de **L x W x y**: 25.13 m x 6.50 m x 0.34 m, las dimensiones apropiadas del humedal para ese caudal deben de ser de 54.67m x 9.00m x 0.30m. con las dimensiones actuales puede operar únicamente para una capacidad de 10 m<sup>3</sup>/día.
6. De los 50.77 m<sup>3</sup>/día de caudal generado se concluye que 10 m<sup>3</sup>/día deben ingresar al humedal colocando una válvula que permita el ingreso de dicho caudal y para los 40.77 m<sup>3</sup>/día se diseñó un humedal con las dimensiones de 20.4 de L x 17 m de B x 0.45 m de y.

## VIII. RECOMENDACIONES

Al concluir esta evaluación sobre el humedal artificial en la ciudad de León se recomiendan las actividades siguientes, sumadas a la alternativa técnico-económica de mejoras expuestas en el acápite anterior:

1. Realizar una evaluación adicional que contemple época de verano, para determinar el comportamiento y desempeño del humedal una vez implementada la alternativa técnica-económica propuesta en este trabajo.
2. Poblar la superficie del humedal con los jacintos de agua en el área donde se encuentran ubicados los deflectores para que se genere un mejor desempeño del humedal para degradar la materia orgánica.
3. Se debe mejorar el servicio operación y mantenimiento
  - Mantener el área superficial del humedal limpia, libre de materiales plásticos, o cualquier otro material que impida el desarrollo o afecte la salud de la vegetación.
  - Las plantas secas dentro del humedal, deben ser removidas para evitar la acumulación del residuo vegetal.
  - Capacitar al personal de las bondades que ofrece el uso de humedal artificial al medioambiente, para garantizar su correcta operación y funcionamiento.



## IX. GLOSARIO

**AFLUENTE:** Agua residual u otro líquido que ingresa a un reservorio o unidad de tratamiento o proceso.

**AGUA RESIDUAL:** Son aquellas procedentes de actividades domésticas comerciales, industriales y agropecuarias que presentan características físicas, químicas o biológicas que causen daño a la calidad del agua, suelo, biota y la salud humana.

**AIREACIÓN:** Proceso de transferencia de oxígeno del aire al agua por medios naturales (flujo natural cascadas, etc.) o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido).

**ANAERÓBICO:** Proceso bioquímico que no requiere oxígeno libre. Anaerobio estricto: Organismo que no puede vivir en presencia de oxígeno, se le denomina anaerobio obligado.

**ANAEROBIO FACULTATIVO:** Organismo que soporta pequeñas cantidades de oxígeno, se le denomina aerobio discrecional.

**AMONIFICACIÓN:** Proceso en el que las bacterias (amonificantes) del suelo transforman compuestos orgánicos nitrogenados en amoníaco, en una parte del ciclo del nitrógeno.

**ANAERÓBICO:** Proceso en sistemas de tratamiento de aguas residuales que tiene lugar en ausencia de oxígeno disuelto y recurre al oxígeno molecular disponible en la descomposición de compuestos.

**ANÓXICO:** Sin oxígeno libre.

**ASIMILACIÓN DE NITRÓGENO:** Proceso de transformación de nitrógeno inorgánico (nitratos, nitritos o amoníaco) para incorporarlo a las moléculas de los seres vivos, forma parte del ciclo del nitrógeno.

**AUTÓTROFO:** Que se nutre por sí mismo (planta provista de clorofila). Que vive exclusivamente de alimentos minerales, sin necesitar el concurso de otros organismos. Tipo de reacciones que por lo general sólo requieren reactivos inorgánicos, por ejemplo, la nitrificación.

**BIODEGRADACIÓN:** Descomposición generalmente por la acción de microorganismos o por el sol, en sus componentes orgánicos, en un corto plazo.

**BIOMASA:** Es la cantidad total de material vivo, incluyendo las plantas y los animales, en una unidad de volumen.

**BACTERIAS:** Pequeños microorganismos unicelulares, que se producen por la fisión de esporas.

**BIODEGRADACIÓN:** Proceso de descomposición de sustancias orgánicas por medio de micro-organismos en sustancias más simples como bióxido de carbono, agua y amoniaco que pueden ser incorporados a los ciclos biológicos de materiales en los sistemas ecológicos.

**BIOPELÍCULAS:** Población de varios microorganismos, contenidos en una capa de productos de extracción, unida a una superficie.

**CARGA:** Al producto de la concentración promedio por el caudal promedio determinado en el mismo sitio; se expresa en Kilogramos por día (Kg. / día).

**CAUDAL PROMEDIO:** Es el valor promedio estadístico de la cantidad de agua que pasa por un punto dado en un periodo de tiempo estimado como punto del estudio.

**CAUDAL:** Volumen de agua que pasa a través de una sección transversal de un cuerpo de agua en una unidad de tiempo.

**CUERPO RECEPTOR:** Es parte del medio ambiente en el cual pueden ser vertidos directa o indirectamente cualquier tipo de efluentes tratados o no tratados provenientes de actividades contaminantes o potencialmente contaminantes, tales como: cursos de aguas, drenajes naturales, lagos, lagunas, ríos, embalses y el océano.

**DESNITRIFICACIÓN:** Proceso mediante el que determinadas bacterias (desnitrificantes) del suelo transforman a los nitratos en nitrógeno gaseoso mediante la eliminación de oxígeno. Forma parte del ciclo del nitrógeno.

**DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO):** Es la cantidad de oxígeno disuelta en el agua y utilizada por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica.

**DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO):** Medida de capacidad de consumo de oxígeno por la materia orgánica presente en el agua o agua residual se expresa como la cantidad de oxígeno consumido por la oxidación química.

**EFLUENTE:** La salida o flujos salientes de cualquier sistema que despacha flujos de agua. Este es el agua producto dad por el sistema.

**EVAPOTRANSPIRACIÓN:** Pérdida de agua a la atmósfera por evaporación de la superficie del agua y por transpiración de las plantas.

**FISIÓN CELULAR:** Reproducción de microorganismos por división celular.

**FOTOSÍNTESIS:** es la conversión de la luz solar en materia orgánica por las plantas a través de un proceso de combinación de dióxido de carbono y agua en presencia de clorofila y luz, lo que libera oxígeno como subproducto.

**HIDRÓFILO:** Que tiene afinad por el agua.

**LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE:** Se entenderá por límite máximo permisible a los valores, rangos y concentraciones de los parámetros que debe cumplir el responsable de la descarga, en función de análisis de muestras compuestas de las aguas residuales provenientes de las descargas domesticas e industriales.

**NITRIFICACIÓN:** conversión biótica de nitrógeno amoniacal a nitrito y nitrato-nitrógeno a través de la adición de oxígeno.

**NITRÓGENO TOTAL (NT):** suma de todas las formas de nitrógeno, incluyendo nitrato, nitrito, amonio y nitrógeno orgánico en las aguas residuales y habitualmente se expresa en miligramos por litro (mg/L)

**OXÍGENO DISUELTO (OD):** medida del oxígeno disuelto en el agua, expresado normalmente en ppm (partes por millón). La solubilidad del oxígeno en el agua depende de la temperatura: a mayor temperatura menos oxígeno se disuelve. Por otra parte, si el agua está contaminada tiene muchos microorganismos y materia orgánica y la gran actividad respiratoria disminuye el oxígeno disuelto. Un nivel alto de OD indica que el agua es de buena calidad.

**PLANTA ACUÁTICA FLOTANTE:** se encuentra comúnmente en sistemas de cuencas cubiertas poco profundas como las de flujo superficial.

**TIEMPO DE CONTACTO:** La longitud de tiempo que una sustancia está en contacto con un líquido, antes de ser eliminada por filtración o por la presencia de un cambio químico.

**TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA:** Tiempo medio teórico que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento. Usualmente se expresa como la razón entre el caudal y el volumen útil.

**TRATAMIENTO ANAERÓBICO:** Estabilización de un desecho por acción de microorganismos en ausencia de oxígeno.

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.

**TRATAMIENTO BIOLÓGICO:** Proceso de tratamiento que intensifica la acción de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente.

## X. NOMENCLATURA

As:	Área superficial
Co:	Concentración de contaminantes en el afluente
Ce:	Concentración de contaminantes en el efluente
CO <sub>2</sub> :	Dióxido de carbono
CH <sub>4</sub> :	Metano
DBO <sub>5</sub> :	Demanda biológica de oxígeno
DQO:	Demanda química de oxígeno
FT:	Fósforo total
y:	Profundidad del agua en humedal
K <sub>T</sub> :	Constante de degradación
L:	Largo del humedal
NTK:	Nitrógeno total
n:	Porosidad
pH:	Potencial de Hidrógeno
Q:	Caudal de diseño
SST:	Sólidos Suspendidos Totales
t:	Tiempo de retención
W:	Ancho del humedal
gr de DBO/m <sup>2</sup> día:	Gramos de DBO <sub>5</sub> por día
RML:	Rastro Municipal de León
Q <sub>e</sub> :	Caudal de entrada
Q <sub>o</sub> :	Caudal de salida

## XI. BIBLIOGRAFÍA

- Cáceres Antón, D. V. (julio de 2000). INFORME DE CONSTRUCCION DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEON.
- Cáceres Antón, D. V. (8 de abril de 2016). DISEÑO DE SISTEMA DE SANEAMIENTO Y ALCANTARILLADO SANITARIO (BIOFILTRO COMO ALTERNATIVA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES). Managua, Nicaragua.
- Cáceres Miranda, M. M., & González Ñamendy, M. J. (Mayo de 2008). EVALUACION DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE BIOFILTRO CONSTRUIDOS EN NICARAGUA. Managua, Nicaragua.
- GONZALEZ RESTREPO, D. (2015). REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO VERTICAL SEMBRADOS CON *Heliconia Psittacorum* Y ALIMENTADOS CON DIFERENTES FRECUENCIAS. PEREIRA: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.
- Martelo, J., & Lara–Borrero, J. A. (2012). Macrofitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revision del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia, ing. cienc.*, 224-225.
- AGENCIA DE DESARROLLO ECONOMICO LOCAL, FONDO DE INICIATIVA PARA LAS AMERICAS EL SALVADOR, & MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. (11 de marzo de 2015). *issuu*. Obtenido de [https://issuu.com/andyubiraci/docs/caracterizaci\\_\\_n\\_del\\_jacinto\\_de\\_agua](https://issuu.com/andyubiraci/docs/caracterizaci__n_del_jacinto_de_agua)
- akvopedia.org*. (11 de junio de 2015). Obtenido de Humedal Artificial de Flujo Superficial Libre: [https://akvopedia.org/wiki/Humedal\\_Artificial\\_de\\_Flujo\\_Superficial\\_Libre](https://akvopedia.org/wiki/Humedal_Artificial_de_Flujo_Superficial_Libre)
- ALCALDIA MUNICIPAL DE LEON. (2009). *ESTUDIO DIAGNOSTICO DEL SISTEMA DE. LEON*.
- ASTACIO MORALES, M. J., ESTRADA LÓPEZ, A. I., & SILVA GUTIÉRREZ, L. (diciembre de 2017). PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS EN EL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN-NICARAGUA. Leon, Nicargua.
- Blázquez, J. R. (junio de 2016). Análisis de los modelos de diseño de los sistemas naturales de depuración. *Universidad de Alicante*, 7. Obtenido de <https://iuaca.ua.es/es/master-agua/documentos/-gestadm/trabajos-fin-de-master/tfm10/tfm10-jorge-rabat-blazquez.pdf>
- BORDA. (2014). *Nicargagua Patente nº 1*.
- BORDA (Dirección). (2018). *BORDA-Testauracion DEI Rastro Municipal De Leon* [Película].

**EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.**

BORDA Las Américas. (16 de marzo de 2016). Obtenido de youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=azX-Vimzo1c>

C., Vera, L., Salvato, M., Borin, M., & Vidal, G. (2014). Consideraciones para la eliminación de nitrógeno en humedales artificiales. *Plaza de los Reyes*, 40-41.

Castellon Martinez, J. L., & Vanegas Corrales, T. d. (2009). *Diseño del Sistema de Tratamiento de las Aguas Residuales del Recinto Universitario UNI-Norte, Estelí*. Managua.

Comisión Nacional del Agua. (2014). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Diseño de Plantas de Tratamiento de aguas residuales: Humedales artificiales*. México, D.F.: Distribución gratuita.

Delgadillo, O., Camacho, A., Perez, L. F., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochamba-Bolivia: Nelson Antequera Durán.

Equipo Tecnico CPmL-N. (agosto de 2008). DIAGNOSTICO TECNICO DE PRODUCCION MAS LIMPIA EN EL RASTRO MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE LEON. Leon, Nicaragua.

ESTRADA GALLEGO, I. Y. (2010). *MONOGRAFIA SOBRE HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL (HAFSS) PARA REMOCION DE METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES*.

Hierbajos inolvidables. (19 de abril de 2013). Obtenido de [hierbajosinolvidables.blogspot.com](http://hierbajosinolvidables.blogspot.com):<http://hierbajosinolvidables.blogspot.com/2013/04/enea-y-carrizo.html>

<https://www.google.com.ni/maps>. (2 de abril de 2019). Obtenido de <https://www.google.com.ni/maps/place/Rastro+Municipal/@12.4240047,-86.902601,2279a,35y,90h,39.18t/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x8f711ff19d3ab3b1:0xf70d959afa03bc0!8m2!3d12.4290044!4d-86.8879278!5m1!1e4?hl=es-419>

<https://www.google.com.ni/maps>. (2 de abril de 2019). Obtenido de <https://www.google.com.ni/maps/dir/12.1313246,86.2706126/Rastro+Municipal,+Le%C3%B3n/@12.2460568,86.8591962,93268m/data=!3m2!1e3!4b1!4m17!1m6!3m5!1s0x8f711ff19d3ab3b1:0xf70d9589afa03bc0!2sRastro+Municipal!8m2!3d12.4290044!4d-86.8879278!4m9!1m1!4e1!1m5!1>

<https://www.google.com.ni/maps>. (2 de abril de 2019). Obtenido de <https://www.google.com.ni/maps/place/Rastro+Municipal/@12.428842,86.8869872,250m/data=!3m1!1e3!4m9!1m3!11m2!2sLaakV21hmq8Pm5ZN7BARx9FTdNOUzQ!3e1!3m4!1s0x8f711ff19d3ab3b1:0xf70d9589afa03bc0!8m2!3d12.4290044!4d-86.8879278?hl=es-419>

**EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.**

LA GACETA DIARIO OFICIAL. (30 de noviembre de 2017). *asamblea*. Obtenido de <http://digesto.asamblea.gob.ni:http://digesto.asamblea.gob.ni/consultas/util/pdf.php?type=rdd&rdd=OzErY86d4u0%3D>

Malaver, M. A. (2013). Evaluación de un Humedal artificial de flujo superficial empleando lenteja de agua (*Lemna minor*) para el tratamiento de aguas residuales generadas por la industria de curtiembres. *UNIVERSIDAD LIBRE (FACULTAD DE INGENIERIA, INGENIERIA AMBIENTAL)*, 28-29. Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/9999/Evaluaci%C3%B3n%20de%20un%20Humedal%20artificial%20de%20flujo%20superficial%20empleando%20lenteja%20de%20agua%20%28Lemna%20minor%29%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

OLIVER, R. N. (Tulio de 2017). Estudio de los Humedales Artificiales del tancat de la pipa como instrumento para la restauración ambiental del lago l'Albafera de Valencia. *UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA (DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA Y MEDIO AMBIENTE)*, 23-24. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/90400/OLIVER%20-%20Estudio%20de%20los%20Humedales%20Artificiales%20de%20Flujo%20Superficial%20del%20Tancat%20de%20la%20Pipa%20como%20in....pdf?sequence=1>

scielo. (3 de agosto de 2009). *Revista internacional de contaminación ambiental*. Obtenido de [scielo.org.mx: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992009000300004](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992009000300004)

seobirdlife. (15 de abril de 2013). *seobirdlife*. Obtenido de [seo.org](http://seo.org):

Silva V, J. P. (2009). *HUMEDALES CONSTRUIDOS*. Colombia: Universidad del Valle (Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente).

Valencia G, E., Silva G, I. J., & Narvaez R, C. P. (2010). Sistemas Descentralizados Integrados y Integrados para el Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas. *Facultad de Ingeniería Universidad Surcolombiana*, 66. Obtenido de [file:///C:/Users/PC/Downloads/Dialnet-SistemasDescentralizadosIntegradosYSosteniblesPara-5432296%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/PC/Downloads/Dialnet-SistemasDescentralizadosIntegradosYSosteniblesPara-5432296%20(2).pdf)

WEF, Shair, R. B., AWWA, A. D., & Rice. APHA, E. W. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition*. Washington, DC 20001-3710: American Public Health Association 800 I Street, NW.

[www.google.com/maps](https://www.google.com/maps/@12.4289269,-86.8877065,271m/data=!3m1!1e3?hl=es-419). (10 de abril de 2019). *Google*. Obtenido de <https://www.google.com/maps/@12.4289269,-86.8877065,271m/data=!3m1!1e3?hl=es-419>



## XII. ANEXOS.

**ANEXO A:** Métodos usados en la caracterización físico-química del Agua residual.

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

El método empleado fue la titulación yodométrica (*modificación acida*) y se expresa en mg/L (**referencia:** Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017, 5210-B).

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

El método empleado fue el de reflujo cerrado (colorimétrico) y se expresa en mg/L (**referencia:** Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017, 5220-D).

- **Sólidos suspendidos totales (SST)**

El método empleado fue el Método Gravimétrico y se expresa en mg/L (**referencia:** Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017, 2540-D).

- **Sólidos sedimentables (SSD)**

El método empleado fue el gravimétrico y su resultado se expresa en mL/L (**referencia:** Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017, 2540-F).

- **Sólidos volátiles (SV)**

El método empleado fue el Gravimétrico y se expresa en mg/L (**referencia:** Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017, 2540-E).

- **Sólidos disueltos totales (SDT)**

El método empleado fue el gravimétrico y su resultado se expresa en mg/L (**referencia:** Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017, 2540-C).

- **Nitrógeno total**

El método empleado fue el Titulométrico (Método Macro-Kjeldahl) y se expresa en mg/L (**referencia:** Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017, 4500-B).

- **Fosforo total**

El método empleado fue el método de espectrofotometría o método de digestión por colorimetría por ácido vanadomolibdosforico expresado en mg/L (*referencia:* Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017, 4500-C).

- **Temperatura**

La temperatura se determinó con un sensor térmico °C (*referencia:* Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017, 2550-B)

- **Potencial de hidrogeno (pH)**

El método empleado fue el Potenciométrico (*referencia:* Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017, 4500-B).

- **Aceites y grasas**

El método empleado fue el gravimétrico (*referencia:* Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017, 5520-B)

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.

ANEXO B: Resultados de la caracterización físico-química del agua residual.



Universidad Nacional de Ingeniería  
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo  
Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente  
Managua, Nicaragua



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

AR-1909-0093

CLIENTE		DIRECCIÓN		TELEFONO	
Juan Ortiz / Henry Robleto		UNI		NR	
ATENCIÓN		CARGO		EMAIL	
Juan Ortiz / Henry Robleto		Tesis		Juanortiz03@gmail.com	
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					
INGRESO	INICIO DE ANALISIS	FINAL DE ANALISIS	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA	NUMERO DE MUESTRAS
27/09/2019	27/09/2019	09/10/2019	10/09/2019	3641	Dos (02)
Fecha y Hora de Muestreo			26-27/09/2019 ; 12 horas		
Muestreado por			Juan Ortiz / Henry Robleto		
Supervisor de Muestreo en Campo			NR		
Fuente			Afluente		
Tipo de muestra			Agua Residual Compuesta Afluente		
Observaciones de Ubicación			Rastro Municipal León		
Coordenadas			NR		
Codificación PIENSA			LA-1909-0834		
METODO SM y EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	UNIDAD	VALOR DE CONCENTRACION	Rango o valor máximo permisible o recomendado	
			PUNTO DE MUESTREO 1	Art. 32*	
4500-B	Potencial de Hidrógeno	pH	7.13	6-9	
2550-B	Temperatura	°C	13.50	NE	
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	944.12	300	
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	150.83	150	
2540-D	Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	222.58	180	
2540-F	Sólidos Sedimentables	mL/L	4.50	1	
2540-C	Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1,171.42	NE	
2540-E	Sólidos Totales Volátiles	mg/L	584.00	NE	
4500-C	Fósforo Total	mg/L	6.27	NE	
4500-B	Nitrógeno Total	mg/L	143.61	50	
5520-B	Aceites y Grasas	mg/L	20.48	30	

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva. Abreviaturas y símbolos: S al Límite de Detección que se especifica por parámetro, NE= No especificada en la Norma, NR= No Reporta. Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017. EPA = Environmental Protection Agency.

\*Decreto N° 21-2017 Reglamento en el que se establecen las Disposiciones para el vertido de Aguas Residuales.

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

  
Ing. María Lidia Gómez  
Coordinadora de Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

0001498

Dirección: (505) 2278-1462 • Áreas Académica: 2270-5613 y 8866-6702 (M) • Atención al Cliente: 8496-8568 (C) y 8152-7314 (M)  
Coordinación de Laboratorios: 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.



Universidad Nacional de Ingeniería  
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo  
Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente  
Managua, Nicaragua



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

AR-1909-0093

CLIENTE			DIRECCIÓN		TELÉFONO
Juan Ortiz / Henry Robleto			UNI		NR
ATENCIÓN			CARGO	EMAIL	CELULAR
Juan Ortiz / Henry Robleto			Tesistas	Juanortiz03@gmail.com	8545-3895
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					
INGRESO	INICIO DE ANALISIS	FINAL DE ANALISIS	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA	NUMERO DE MUESTRAS
27/09/2019	27/09/2019	09/10/2019	10/09/2019	3641	Dos (02)
Fecha y Hora de Muestreo			26-27/09/2019 ; 12 horas		
Muestreado por			Juan Ortiz / Henry Robleto		
Supervisor de Muestreo en Campo			NR		
Fuente			Efluente		
Tipo de muestra			Agua Residual Compuesta Efluente		
Observaciones de Ubicación			Rastro Municipal León		
Coordenadas			NR		
Codificación PIENSA			LA-1909-0835		
METODO SM / EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	UNIDAD	VALOR DE CONCENTRACION	Rango o valor máximo permisible o recomendado	
			PUNTO DE MUESTREO 2	Art. 32*	
4500-B	Potencial de Hidrógeno	pH	7.36	6-9	
2550-B	Temperatura	°C	13.40	NE	
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	264.46	300	
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	60.75	150	
2540-D	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	26.00	180	
2540-F	Sólidos Sedimentables	mL/L	< 0.10	1	
2540-C	Sólidos Disueltos Totales	mg/L	875.00	NE	
2540-E	Sólidos Totales Volátiles	mg/L	172.00	NE	
4500-C	Fósforo Total	mg/L	4.05	NE	
4500-B	Nitrógeno Total	mg/L	137.20	50	
5520-B	Aceites y Grasas	mg/L	13.40	30	

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva. Abreviaturas y símbolos: ≤ al Límite de Detección que se especifica por parámetro, NE= No especificada en la Norma, NR= No Reporta Métodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017 EPA = Environmental Protection Agency

\*Decreto N° 21-2017 Reglamento en el que se establecen las Disposiciones para el vertido de Aguas Residuales.

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

Ing. María Lidia Gómez  
Coordinadora de Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

0001499

Dirección: (505) 2278-1462 • Área Académica: 2270-5613 y 8866-6702 (M) • Atención al Cliente: 8496-8568 (C) y 8152-7314 (M)  
Coordinación de Laboratorios: 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.



Universidad Nacional de Ingeniería  
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo  
Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente  
Managua, Nicaragua



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

AR-1910-0106

CLIENTE		DIRECCIÓN			TELEFONO
Juan Ortiz / Henry Robleto		UNI			NR
ATENCIÓN		CARGO	EMAIL		CELULAR
Juan Ortiz / Henry Robleto		Tesistas	Juan.ortiz03@gmail.com		8545-3895
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO				FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA
INGRESO	INICIO DE ANALISIS	FINAL DE ANALISIS			NUMERO DE MUESTRAS
16/10/2019	17/10/2019	28/10/2019	04/11/2019	3676	Dos (02)
Fecha y Hora de Muestreo			16/10/2019 : 12 horas		
Muestreado por			Juan Ortiz / Henry Robleto		
Supervisor de Muestreo en Campo			NR		
Fuente			Afluente		
Tipo de muestra			Agua Residual Compuesta Afluente		
Observaciones de Ubicación			Rastro Municipal León		
Coordenadas			NR		
Codificación PIENSA			LA-1910-0915		
METODO SM # EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	UNIDAD	VALOR DE CONCENTRACION PUNTO DE MUESTREO 1		Art. 22*
4500-B	Potencial de Hidrógeno	pH	6.97		6-9
2550-B	Temperatura	°C	24.50		50
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	426.38		900
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	195.00		400
2540-D	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	231.66		400
2540-F	Sólidos Sedimentables	mL/L	0.60		10
2540-C	Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1,179.34		NE
2540-E	Sólidos Totales Volátiles	mg/L	697.00		NE
4500-C	Fósforo Total	mg/L	6.21		12
4500-B	Nitrógeno Total	mg/L	132.08		60
5520-B	Aceites y Grasas	mg/L	22.20		100

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva. Abreviaturas y símbolos: S al Límite de Detección que se especifica por parámetro, NE= No especificado en el Decreto, NR= No Reporta Métodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017 EPA = Environmental Protection Agency \*Decreto N° 21-2017 Reglamento en el que se establecen las Disposiciones para el vertido de Aguas Residuales. Nota: Temperatura medida en condiciones de laboratorio

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

Ing. María Edla Gómez  
Coordinadora de Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

000164E

Reservamos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

Dirección: (505) 2278-1462 • Área Académica: 2270-5613 y 8868-6702 (M) • Atención al Cliente: 8496-8568 (C) y 8152-7314 (M)  
Coordinación de Laboratorios: 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.



Universidad Nacional de Ingeniería  
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo  
Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente  
Managua, Nicaragua



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

AR-1910-0106

CLIENTE		DIRECCIÓN			TELÉFONO
Juan Ortiz / Henry Robleto		Comarca el bosque, Km 112.5 Carretera León - Chinandega			NR
ATENCIÓN		CARGO	EMAIL		CELULAR
Juan Ortiz / Henry Robleto		Tesistas	Juan.ortiz03@gmail.com		8545-3895
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO				FECHA DE EMISIÓN DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA
INGRESO	INICIO DE ANALISIS	FINAL DE ANALISIS			NUMERO DE MUESTRAS
16/10/2019	17/10/2019	28/10/2019	04/11/2019	3676	Dos (02)
Fecha y Hora de Muestreo		16/10/2019 ; 12 horas			
Muestreado por		Juan Ortiz / Henry Robleto			
Supervisor de Muestreo en Campo		NR			
Fuente		Efluente			
Tipo de muestra		Agua Residual Compuesta Efluente			
Observaciones de Ubicación		Rastro Municipal León			
Coordenadas		NR			
Codificación PIENSA		LA-1910-0916			
METODO SM / EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	UNIDAD	VALOR DE CONCENTRACION	Rango o valor máximo permisible o recomendado	
			PUNTO DE MUESTREO 2	Art. 22*	
4500-B	Potencial de Hidrógeno	pH	7.28	6-9	
2550-B	Temperatura	°C	24.50	50	
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	158.29	900	
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	81.50	400	
2540-D	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	74.00	400	
2540-F	Sólidos Sedimentables	mL/L	0.20	10	
2540-C	Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1,038.00	NE	
2540-E	Sólidos Totales Volátiles	mg/L	450.00	NE	
4500-C	Fósforo Total	mg/L	5.23	12	
4500-B	Nitrógeno Total	mg/L	117.87	60	
5520-B	Aceites y Grasas	mg/L	6.10	100	

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.  
Abreviaturas y símbolos: ≤ al Límite de Detección que se especifica por parámetro, NE= No especificado en el Decreto, NR= No Reporta  
Métodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017  
EPA = Environmental Protection Agency  
\*Decreto N° 21-2017 Reglamento en el que se establecen las Disposiciones para el vertido de Aguas Residuales.  
Nota: Temperatura medida en condiciones de laboratorio

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

Ing. María Lidia Gómez  
Coordinadora de Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

0001649

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

Dirección: (505) 2278-1462 • Área Académica: 2270-5613 y 8966-6702 (M) • Atención al Cliente: 8496-8568 (C) y 8152-7314 (M)  
Coordinación de Laboratorios: 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.



Universidad Nacional de Ingeniería  
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo  
Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente  
Managua, Nicaragua



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

AR-1911-0112

CLIENTE		DIRECCIÓN			TELEFONO
Borda de Nicaragua		Universidad Nacional de Ingeniería			NR
ATENCIÓN		CARGO	EMAIL	CELULAR	
Juan Carlos Mayorga		Asistente de Proyecto	mayorga@borda-la.com	8423-6310	
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					
INGRESO	INICIO DE ANALISIS	FINAL DE ANALISIS	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA	NUMERO DE MUESTRAS
#####	14/11/2019	27/11/2019	27/11/2019	3707	Tres (03)
Fecha y Hora de Muestreo			13/11/2019 ; 12 horas		
Muestreado por			Juan Ortiz / Henry Robieto		
Supervisor de Muestreo en Campo			NR		
Fuente			Entrada Humedal		
Tipo de muestra			Agua Residual Compuesta Afluente		
Observaciones de Ubicación			Rastro Municipal León		
Coordenadas			NR		
Codificación PIENSA			LA-1911-1009		
METODO SM # EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	UNIDAD	VALOR DE CONCENTRACION	Rango o valor máximo permisible o recomendado	
			PUNTO DE MUESTREO 2	Art. 22*	
4500-B	Potencial de Hidrógeno	pH	7.48	6-9	
2550-B	Temperatura	°C	27.00	50	
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	405.50	900	
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	208.33	400	
2540-D	Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	107.00	400	
2540-F	Sólidos Sedimentables	mL/L	0.70	10	
2540-C	Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1,024.00	NE	
2540-E	Sólidos Totales Volátiles	mg/L	361.00	NE	
4500-C	Fósforo Total	mg/L	5.25	12	
4500-B	Nitrógeno Total	mg/L	133.83	60	
5520-B	Aceites y Grasas	mg/L	13.40	100	

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva. Abreviaturas y símbolos: S al Límite de Detección que se especifica por parámetro, NE= No especificado en el Decreto, NR= No Reporta Métodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017 EPA = Environmental Protection Agency

\*Decreto N° 21-2017 Reglamento en el que se establecen las Disposiciones para el vertido de Aguas Residuales.

Nota: La temperatura indicada es el promedio de los datos proporcionados por el cliente.

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

  
Ing. María Lidia Gómez  
Coordinadora de Laboratorios Ambientales  


Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza confidencialidad e imparcialidad del informe.

0001748

Dirección: (505) 2278-1462 • Área Académica: 2270-5613 y 8866-6702 (M) • Atención al Cliente: 8496-8568 (C) y 8152-7314 (M)  
Coordinación de Laboratorios: 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.



Universidad Nacional de Ingeniería  
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo  
Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente  
Managua, Nicaragua



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

AR-1911-0112

CLIENTE		DIRECCIÓN		TELÉFONO	
Borda de Nicaragua		Universidad Nacional de Ingeniería		NR	
ATENCIÓN		CARGO		EMAIL	
Juan Carlos Mayorga		Asistente de Proyecto		mayorga@borda-la.com	
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO		FECHA DE EMISIÓN DE CERTIFICADO DE ANÁLISIS		CADENA CUSTODIA	
INGRESO	INICIO DE ANÁLISIS	FINAL DE ANÁLISIS			NUMERO DE MUESTRAS
13/11/2019	14/11/2019	27/11/2019	27/11/2019	3707	Tres (03)
Fecha y Hora de Muestreo		13/11/2019 ; 12 horas			
Muestreado por		Juan Ortiz / Henry Robleto			
Supervisor de Muestreo en Campo		NR			
Fuente		Salida Humedal			
Tipo de muestra		Agua Residual Compuesta Efluente			
Observaciones de Ubicación		Rastro Municipal León			
Coordenadas		NR			
Codificación PIENSA		LA-1911-1010			
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	UNIDAD	VALOR DE CONCENTRACION PUNTO DE MUESTREO 3		Art. 22*
4500-B	Potencial de Hidrógeno	pH	7.73		6-9
2550-B	Temperatura	°C	26.00		50
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	144.50		900
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	102.00		400
2540-D	Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	30.00		400
2540-F	Sólidos Sedimentables	mL/L	< 0.10		10
2540-C	Sólidos Disueltos Totales	mg/L	870.00		NE
2540-E	Sólidos Totales Volátiles	mg/L	61.00		NE
4500-C	Fósforo Total	mg/L	3.02		12
4500-B	Nitrógeno Total	mg/L	111.44		60
5520-B	Aceites y Grasas	mg/L	5.10		100

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva. Abreviaturas y símbolos: S al Límite de Detección que se especifica por parámetro, NE= No especificado en el Decreto, NR= No Reporta Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017 EPA = Environmental Protection Agency

\*Decreto N° 21-2017 Reglamento en el que se establecen las Disposiciones para el vertido de Aguas Residuales.

Nota: La temperatura indicada es el promedio de los datos proporcionados por el cliente.

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente.



0001749

Declaro que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

Dirección: (505) 2278-1462 • Área Académica: 2270-5613 y 8866-6702 (M) • Atención al Cliente: 8495-8568 (C) y 8152-7314 (M)  
Coordinación de Laboratorios: 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni



EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.



Universidad Nacional de Ingeniería  
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo  
Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente  
Managua, Nicaragua



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

AR-1911-0130

CLIENTE		DIRECCIÓN			TELEFONO
Borda de Nicaragua		Universidad Nacional de Ingeniería			NR
ATENCIÓN		CARGO	EMAIL		CELULAR
Juan Carlos Mayorga		Asistente de Proyecto	mayorga@borda-la.co		8423-6310
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					
INGRESO	INICIO DE ANALISIS	FINAL DE ANALISIS	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA	NUMERO DE MUESTRAS
27/11/2019	28/11/2019	12/12/2019	13/12/2019	3740	Tres (03)
Fecha y Hora de Muestreo			26-27/11/2019 ; 14 horas		
Muestreado por			Juan Ortiz / Henry Robleto		
Supervisor de Muestreo en Campo			NR		
Fuente			Entrada Humedal		
Tipo de muestra			Agua Residual Compuesta Afluente		
Observaciones de Ubicación			Rastro Municipal León		
Coordenadas			NR		
Codificación PIENSA			LA-1911-1118		
METODO SM # EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	UNIDAD	VALOR DE CONCENTRACION PUNTO DE MUESTREO 2		Art. 22*
4500-B	Potencial de Hidrógeno	pH	7.20		6-9
2550-B	Temperatura	°C	27.80		50
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	1,698.92		900
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	300.00		400
2540-D	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	86.00		400
2540-F	Sólidos Sedimentables	mL/L	1.00		10
2540-C	Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1,274.00		NE
2540-E	Sólidos Totales Volátiles	mg/L	604.00		NE
4500-C	Fósforo Total	mg/L	6.90		12
4500-B	Nitrógeno Total	mg/L	151.76		60
5520-B	Aceltes y Grasas	mg/L	8.20		100

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva. Abreviaturas y símbolos: S al Límite de Detección que se especifica por parámetro, NE= No especificado en el Decreto, NR= No Reporta Métodos, Normas y/o Decreto empleados; SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017 EPA = Environmental Protection Agency

\*Decreto N° 21-2017 Reglamento en el que se establecen las Disposiciones para el vertido de Aguas Residuales.

Nota: La temperatura indicada es el promedio de los datos proporcionados por el cliente.

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

Ing. María Lida Gómez  
Coordinadora de Laboratorios Ambientales PIENSA-UN

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio se compromete a la confidencialidad e imparcialidad del informe.

000199E

Dirección: (505) 2278-1462 • Área Académica: 2270-5613 y 8866-6702 (M) • Atención al Cliente: 8496-8568 (C) y 8152-7314 (M)  
Coordinación de Laboratorios: 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.



Universidad Nacional de Ingeniería  
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo  
Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente  
Managua, Nicaragua



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

AR-1911-0130

CLIENTE		DIRECCIÓN		TELÉFONO	
Borda de Nicaragua		Universidad Nacional de Ingeniería		NR	
ATENCIÓN		CARGO		EMAIL	
Juan Carlos Mayorga		Asistente de Proyecto		mayorga@borda_la.co m	
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO		FECHA DE EMISIÓN DE CERTIFICADO DE ANALISIS		CADENA CUSTODIA	
INGRESO	INICIO DE ANALISIS	FINAL DE ANALISIS			NUMERO DE MUESTRAS
27/11/2019	28/11/2019	12/12/2019	13/12/2019	3740	Tres (03)
Fecha y Hora de Muestreo		28-27/11/2019 : 14 horas			
Muestreado por		Juan Ortiz / Henry Robleto			
Supervisor de Muestreo en Campo		NR			
Fuente		Salida Humedal			
Tipo de muestra		Agua Residual Compuesta Efluente			
Observaciones de Ubicación		Rastro Municipal León			
Coordenadas		NR			
Codificación PIENSA		LA-1911-1119			
METODO SM # EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	UNIDAD	VALOR DE CONCENTRACION PUNTO DE MUESTREO 3		Art. 22*
4500-B	Potencial de Hidrógeno	pH	7.41		6-9
2550-B	Temperatura	°C	27.00		50
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	709.68		900
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	200.00		400
2540-D	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	139.00		400
2540-F	Sólidos Sedimentables	ml/L	4.00		10
2540-C	Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1,005.00		NE
2540-E	Sólidos Totales Volátiles	mg/L	272.00		NE
4500-C	Fósforo Total	mg/L	7.06		12
4500-B	Nitrógeno Total	mg/L	140.77		60
5520-B	Aceites y Grasas	mg/L	0.30		100

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.  
Abreviaturas y símbolos: S al Límite de Detección que se especifica por parámetro, NE= No especificado en el Decreto, NR= No Reporta  
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017  
EPA = Environmental Protection Agency  
\*Decreto N° 21-2017 Reglamento en el que se establecen las Disposiciones para el vertido de Aguas Residuales.  
Nota: La temperatura indicada es al promedio de los datos proporcionados por el cliente.

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

Ing. María Lidia Gómez  
Coordinadora de Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

000199€

Dirección: (505) 2278-1462 • Área Académica: 2270-5613 y 8866-6702 (M) • Atención al Cliente: 8496-8568 (C) y 8152-7314 (M)  
Coordinación de Laboratorios: 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.

**ANEXO C:** Resultados horarios de los parámetros de campo en el Afluente y el afluyente.

*Tabla C-1: Resultados horarios del pH en el Afluente*

POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)					
FECHA	27/09/2019	16/10/2019	13/11/2019	27/11/2019	PROMEDIO
HORA	MUESTREO I	MUESTREO II	MUESTREO III	MUESTREO IV	
12:00 AM	7.00	7.00	7.30	7.30	7.15
1:00 AM	7.00	7.00	7.30	7.30	7.15
2:00 AM	7.00	7.00	7.30	7.20	7.13
3:00 AM	7.00	7.00	7.20	7.20	7.10
4:00 AM	7.00	7.00	7.20	7.20	7.10
5:00 AM	7.00	7.00	7.20	7.20	7.10
6:00 AM	7.00	7.00	7.20	7.20	7.10
7:00 AM	7.00	7.00	7.20	7.30	7.13
8:00 AM	7.00	7.00	7.20	7.30	7.13
9:00 AM	7.00	7.00	7.20	7.20	7.10
10:00 AM	7.00	7.00	7.30	7.60	7.23
11:00 AM	7.00	7.00	7.30	7.20	7.13

*Tabla C-2: Resultados horarios del pH en el Efluente*

POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)					
FECHA	27/11/2019	16/10/2019	13/11/2019	27/11/2019	PROMEDIO
HORA	MUESTREO I	MUESTREO II	MUESTREO III	MUESTREO IV	
12:00 AM	7.00	7.00	7.70	7.80	7.38
1:00 AM	7.00	7.00	7.70	7.70	7.35
2:00 AM	7.00	7.00	7.70	7.70	7.35
3:00 AM	7.00	7.00	7.80	7.70	7.38
4:00 AM	7.00	7.00	7.70	7.60	7.33
5:00 AM	7.00	7.00	7.70	7.70	7.35
6:00 AM	7.00	7.00	7.00	7.80	7.20
7:00 AM	7.00	7.00	7.60	7.70	7.33
8:00 AM	7.00	7.00	7.80	7.70	7.38
9:00 AM	7.00	7.00	7.70	7.70	7.35
10:00 AM	7.00	7.00	7.70	7.60	7.33
11:00 AM	7.00	7.00	7.70	7.50	7.30

**EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.**

**Tabla C-3: Resultados horarios de la Temperatura en el Afluente**

TEMPERATURA (°C)					
FECHA	27/11/2019	16/10/2019	13/11/2019	27/11/2019	PROMEDIO
HORA	MUESTREO I	MUESTREO II	MUESTREO III	MUESTREO IV	
12:00 AM	27.00	27.00	27.20	27.40	27.15
1:00 AM	27.00	27.00	27.20	27.40	27.15
2:00 AM	27.00	27.00	27.20	27.30	27.13
3:00 AM	27.00	27.00	27.20	27.50	27.18
4:00 AM	27.00	27.00	27.30	27.30	27.15
5:00 AM	27.00	27.00	27.30	27.00	27.08
6:00 AM	27.00	27.00	27.30	27.00	27.08
7:00 AM	27.00	27.00	27.40	27.90	27.33
8:00 AM	28.00	27.00	27.50	28.70	27.80
9:00 AM	28.00	27.00	27.40	28.60	27.75
10:00 AM	28.00	27.00	27.40	28.90	27.83
11:00 AM	29.00	27.00	27.80	29.50	28.33

**Tabla C-4: Resultados horarios de la Temperatura en el Efluente**

TEMPERATURA (°C)					
FECHA	27/11/2019	16/10/2019	13/11/2019	27/11/2019	PROMEDIO
HORA	MUESTREO I	MUESTREO II	MUESTREO III	MUESTREO IV	
12:00 AM	26.00	26.00	25.20	26.70	25.98
1:00 AM	26.00	26.00	25.20	26.30	25.88
2:00 AM	26.00	26.00	25.20	26.00	25.80
3:00 AM	26.00	26.00	25.10	26.40	25.88
4:00 AM	26.00	26.00	25.10	26.40	25.88
5:00 AM	26.00	26.00	25.20	26.50	25.93
6:00 AM	26.00	26.00	25.40	26.80	26.05
7:00 AM	27.00	26.00	26.50	25.80	26.33
8:00 AM	26.00	26.00	26.00	26.90	26.23
9:00 AM	27.00	27.00	27.30	24.70	26.50
10:00 AM	26.00	26.00	27.10	27.90	26.75
11:00 AM	27.00	27.00	27.20	28.60	27.45

**EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.**

**Tabla C-5: Resultados horarios de los sólidos sedimentables en el Afluente**

<b>SOLIDOS SEDIMENTABLES (ml/l)</b>					
<b>FECHA</b>	<b>27/11/2019</b>	<b>16/10/2019</b>	<b>13/11/2019</b>	<b>27/11/2019</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>HORA</b>	<b>MUESTREO I</b>	<b>MUESTREO II</b>	<b>MUESTREO III</b>	<b>MUESTREO IV</b>	
12:00 AM	7.50	1.00	1.00	0.80	2.58
1:00 AM	4.50	1.00	0.70	1.00	1.80
2:00 AM	5.00	1.00	1.00	0.70	1.93
3:00 AM	7.50	1.50	1.00	0.50	2.63
4:00 AM	4.50	1.00	0.80	0.50	1.70
5:00 AM	2.00	1.00	0.70	0.50	1.05
6:00 AM	3.50	1.10	0.60	0.50	0.73
7:00 AM	5.50	0.60	0.90	0.50	1.88
8:00 AM	1.50	0.80	0.40	0.70	0.85
9:00 AM	1.50	0.60	0.90	0.90	0.98
10:00 AM	6.00	0.90	0.50	0.50	1.98
11:00 AM	10.00	0.70	0.70	6.00	4.35

**Tabla C-6: Resultados horarios de los sólidos sedimentables en el Efluente**

<b>SOLIDOS SEDIMENTABLES (ml/l)</b>					
<b>FECHA</b>	<b>27/11/2019</b>	<b>16/10/2019</b>	<b>13/11/2019</b>	<b>27/11/2019</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>HORA</b>	<b>MUESTREO I</b>	<b>MUESTREO II</b>	<b>MUESTREO III</b>	<b>MUESTREO IV</b>	
12:00 AM	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.50	0.20
1:00 AM	< 0.1	< 0.1	< 0.1	1.00	0.33
2:00 AM	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.70	0.25
3:00 AM	< 0.1	< 0.1	< 0.1	3.00	0.83
4:00 AM	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.50	0.20
5:00 AM	< 0.1	< 0.1	< 0.1	2.00	0.58
6:00 AM	< 0.1	< 0.1	< 0.1	6.60	1.73
7:00 AM	< 0.1	< 0.1	< 0.1	4.50	1.20
8:00 AM	< 0.1	< 0.1	< 0.1	8.00	2.08
9:00 AM	< 0.1	< 0.1	< 0.1	1.50	0.45
10:00 AM	< 0.1	< 0.1	< 0.1	6.50	1.70
11:00 AM	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.50	0.20

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.

**ANEXO D:** Medición de caudal a la entrada y salida del humedal durante los muestreos.

**Tabla D-1:** Medición de caudal del muestreo I

FECHA	De jueves 26/09/2019 a viernes 27/09/2019			
HORA	Caudal de entrada (Q <sub>o</sub> )		Caudal de salida (Q <sub>e</sub> )	
	Q <sub>o</sub> (L/S)	Q <sub>o</sub> (m <sup>3</sup> /día)	Q <sub>e</sub> (L/S)	Q <sub>e</sub> (m <sup>3</sup> /día)
0.00	1.06	46.01	1.21	52.17
0.30	0.76	32.93	1.18	50.94
1.00	0.71	30.81	0.91	39.52
1.30	0.55	23.59	0.90	38.95
2.00	0.41	17.52	0.69	30.00
2.30	0.38	16.44	0.58	24.87
3.00	0.36	15.36	0.55	23.61
3.30	0.76	32.70	0.60	25.71
4.00	0.59	25.53	0.62	26.98
4.30	1.24	53.40	0.70	30.04
5.00	0.82	35.41	0.79	33.94
5.30	0.33	14.36	0.70	30.25
6.00	0.25	10.91	0.48	20.95
6.30	0.17	7.49	0.40	17.30
7.00	0.45	19.44	0.40	17.09
7.30	0.55	23.63	0.45	19.23
8.00	0.47	20.30	0.50	21.51
8.30	0.67	28.88	0.49	21.23
9.00	0.62	26.57	0.58	24.88
9.30	1.04	44.81	0.60	25.85
10.00	2.28	98.41	0.85	36.70
10.30	1.29	55.74	1.43	61.71
11.00	2.66	114.89	1.59	68.57
11.30	2.16	93.10	1.89	81.82

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.

**Tabla D-2: Medición de caudal muestreo II**

FECHA	De martes 15/10/2019 a miércoles 16/10/2019			
Hora	Caudal de entrada (Q <sub>o</sub> )		Caudal de salida (Q <sub>e</sub> )	
	Q <sub>o</sub> (L/S)	Q <sub>o</sub> (m <sup>3</sup> /día)	Q <sub>e</sub> (L/S)	Q <sub>e</sub> (m <sup>3</sup> /día)
0.00	1.46	62.97	1.23	53.14
0.30	1.52	65.85	1.26	54.34
1.00	1.30	56.10	1.31	56.47
1.30	1.45	62.70	1.37	59.18
2.00	1.29	55.53	1.44	62.16
2.30	1.04	44.91	1.41	61.02
3.00	0.99	42.56	1.33	57.29
3.30	0.77	33.46	1.27	54.82
4.00	1.27	54.68	1.35	58.14
4.30	1.11	47.79	1.36	58.78
5.00	0.86	37.05	1.28	55.31
5.30	0.81	34.92	1.29	55.89
6.00	0.81	35.12	1.32	56.92
6.30	0.78	33.54	1.20	51.74
7.00	0.80	34.53	1.19	51.37
7.30	0.67	28.80	1.18	50.94
8.00	1.19	51.43	1.15	49.88
8.30	1.33	57.37	1.20	51.92
9.00	1.61	69.34	1.15	49.48
9.30	2.42	104.35	1.13	48.65
10.00	2.24	96.64	1.27	55.03
10.30	1.38	59.67	1.31	56.54
11.00	1.12	48.59	1.32	57.22
11.30	0.72	30.90	1.39	60.25

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.

**Tabla D-3: Medición de caudal muestreo III**

FECHA	De Martes 15/10/2019 a Miércoles 16/10/2019			
Hora	Caudal de entrada (Q <sub>o</sub> )		Caudal de salida (Q <sub>e</sub> )	
	Q <sub>o</sub> (L/S)	Q <sub>o</sub> (m <sup>3</sup> /día)	Q <sub>e</sub> (L/S)	Q <sub>e</sub> (m <sup>3</sup> /día)
0.00	1.41	61.02	0.88	38.10
0.30	1.39	60.25	0.89	38.26
1.00	1.10	47.73	0.89	38.26
1.30	1.16	49.94	0.85	36.58
2.00	1.20	51.86	0.90	38.99
2.30	1.01	43.72	0.91	39.17
3.00	0.99	42.69	0.95	41.22
3.30	1.52	65.75	0.97	41.78
4.00	1.39	59.92	1.00	43.33
4.30	1.01	43.50	0.99	42.60
5.00	0.78	33.83	1.04	45.05
5.30	0.69	29.92	0.99	42.60
6.00	0.70	30.15	0.99	42.56
6.30	0.57	24.71	0.89	38.57
7.00	0.50	21.41	0.87	37.57
7.30	0.47	20.37	0.87	37.44
8.00	0.62	26.68	0.84	36.24
8.30	0.81	35.09	0.80	34.75
9.00	2.38	102.86	0.80	34.67
9.30	2.47	106.67	0.89	38.50
10.00	3.17	137.14	0.96	41.38
10.30	2.20	95.15	1.09	47.26
11.00	1.55	67.08	1.12	48.48
11.30	0.87	37.66	1.11	48.16



EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.

**Tabla D-4: Medición de caudal muestreo IV**

FECHA	De martes 15/10/2019 a miércoles 16/10/2019			
HORA	Caudal de entrada (Q <sub>o</sub> )		Caudal de salida (Q <sub>e</sub> )	
	Q <sub>o</sub> (L/S)	Q <sub>o</sub> (m <sup>3</sup> /día)	Q <sub>e</sub> (L/S)	Q <sub>e</sub> (m <sup>3</sup> /día)
0.00	1.70	73.47	0.73	31.53
0.30	1.42	61.19	0.90	39.06
1.00	1.32	56.92	0.71	30.77
1.30	1.39	60.00	0.84	36.18
2.00	1.42	61.28	0.92	39.63
2.30	1.52	65.45	0.92	39.60
3.00	1.36	58.78	1.07	46.10
3.30	1.27	54.82	0.97	41.82
4.00	1.16	50.12	1.03	44.40
4.30	1.43	61.63	1.12	48.38
5.00	0.99	42.90	1.07	46.10
5.30	0.66	28.69	1.07	46.20
6.00	0.54	23.34	1.00	43.24
6.30	0.42	18.33	0.97	41.98
7.00	0.39	16.97	1.12	48.21
7.30	0.37	15.90	1.00	42.99
8.00	0.47	20.18	1.00	43.03
8.30	0.80	34.64	0.91	39.20
9.00	2.30	99.54	0.80	34.64
9.30	2.38	102.61	0.76	32.78
10.00	2.95	127.43	0.80	34.39
10.30	2.74	118.36	0.90	38.99
11.00	2.62	113.39	0.91	39.13
11.30	1.76	76.19	1.10	47.47

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.

*Tabla D-5: Caudales promedio horario por día*

<b>CAUDALES PROMEDIO A LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL</b>				
<b>HORA</b>	<b>Caudal de entrada (Q<sub>o</sub>)</b>		<b>Caudal de salida (Q<sub>e</sub>)</b>	
	<b>Q<sub>o</sub> (L/S)</b>	<b>Q<sub>o</sub> (m<sup>3</sup>/día)</b>	<b>Q<sub>e</sub> (L/S)</b>	<b>Q<sub>e</sub> (m<sup>3</sup>/día)</b>
0.00	1.21	60.87	1.51	43.73
0.30	1.40	54.89	1.53	45.65
1.00	1.31	48.42	1.57	41.26
1.30	1.62	49.06	1.59	42.72
2.00	1.83	46.55	1.61	42.70
2.30	1.69	42.63	1.62	41.16
3.00	1.73	39.85	1.61	42.06
3.30	0.97	46.69	1.60	41.03
4.00	1.42	47.56	1.60	43.21
4.30	1.01	51.58	1.60	44.95
5.00	0.99	37.30	1.61	45.10
5.30	1.65	26.97	1.63	43.74
6.00	2.06	24.88	1.65	40.92
6.30	2.80	21.02	1.61	37.40
7.00	1.31	23.09	1.53	38.56
7.30	1.07	22.18	1.41	37.65
8.00	1.58	29.65	1.31	37.67
8.30	1.37	39.00	1.21	36.78
9.00	1.61	74.58	1.07	35.92
9.30	1.69	89.61	0.94	36.45
10.00	1.48	114.91	0.76	41.88
10.30	1.13	82.23	0.62	51.13
11.00	1.15	85.99	0.58	53.35
11.30	0.92	59.46	0.53	59.43

ANEXO E: Graficas

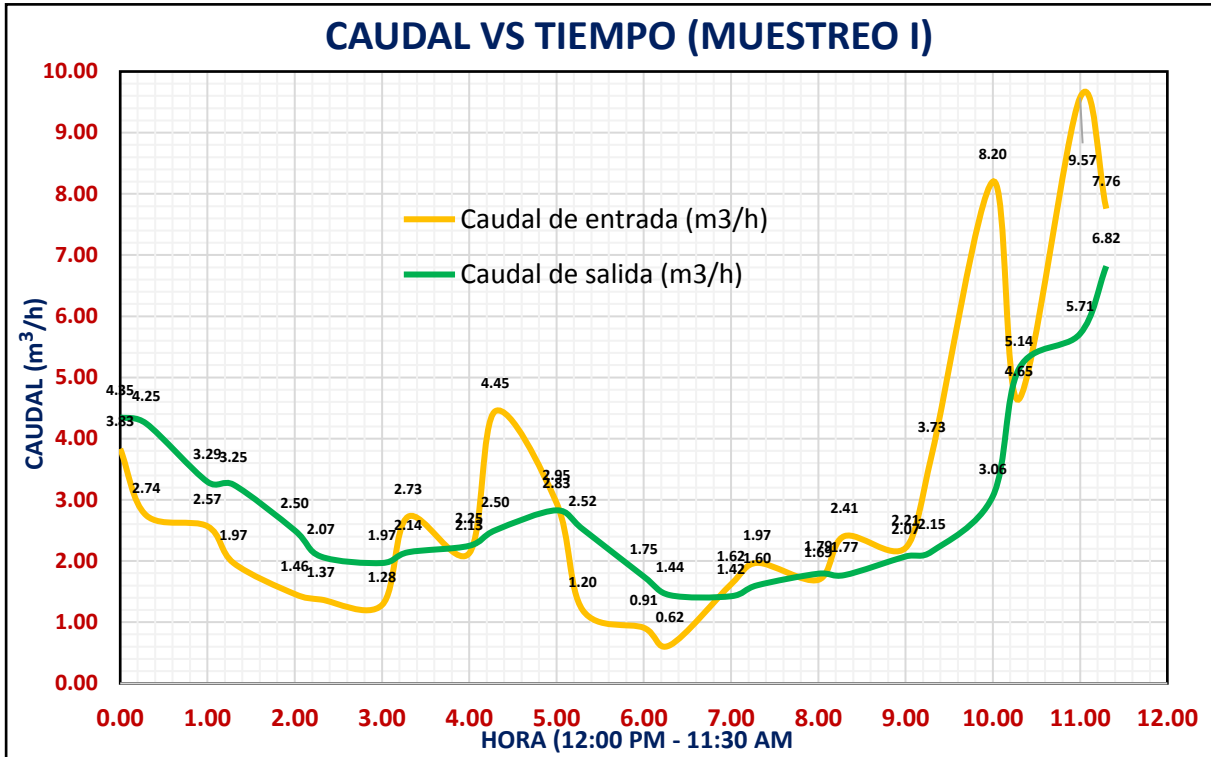


Figura E-1: Comportamiento del caudal residual a la entrada y salida del humedal

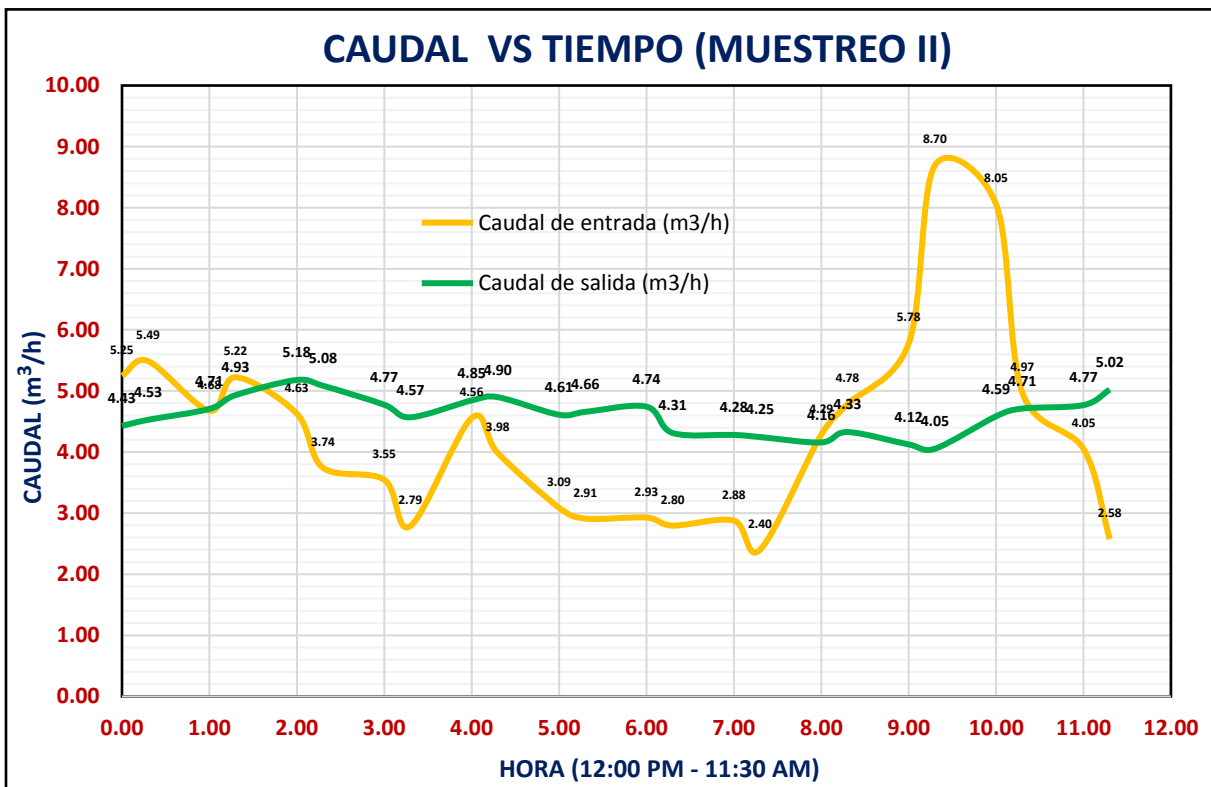


Figura E-2: Comportamiento del caudal residual a la entrada y salida del humedal

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.

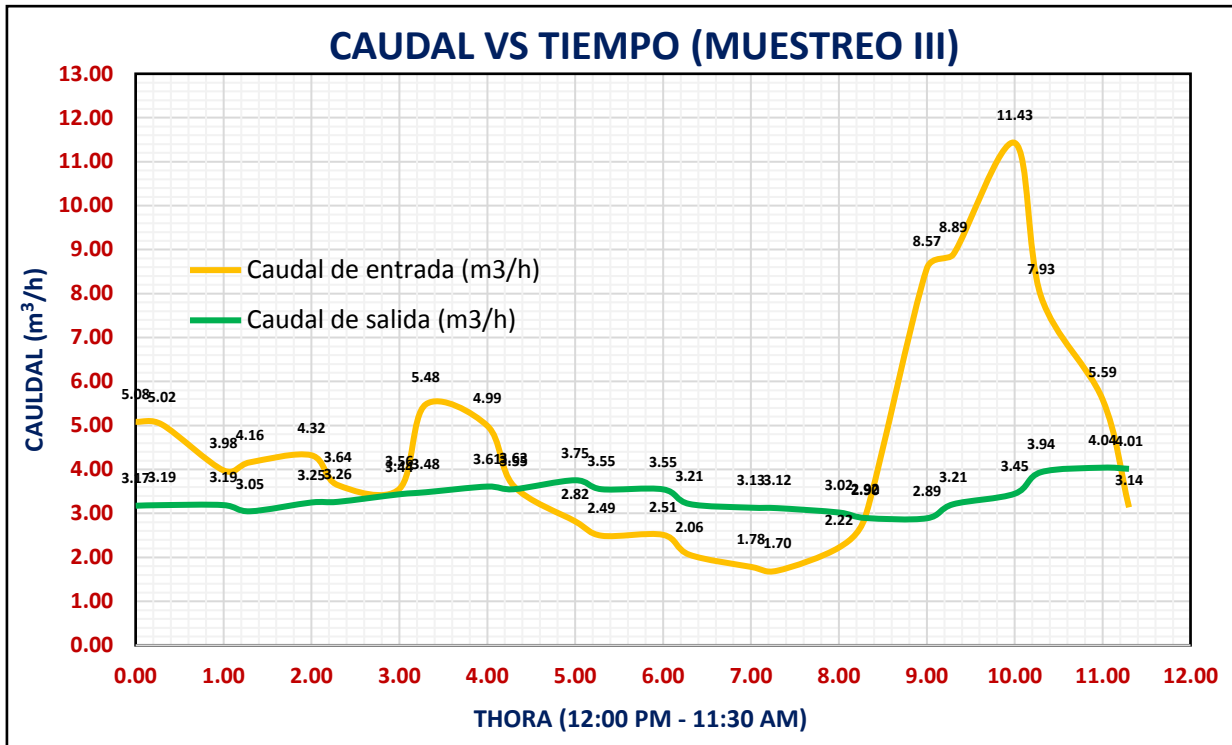


Figura E-3: Comportamiento del caudal residual a la entrada y salida del humedal

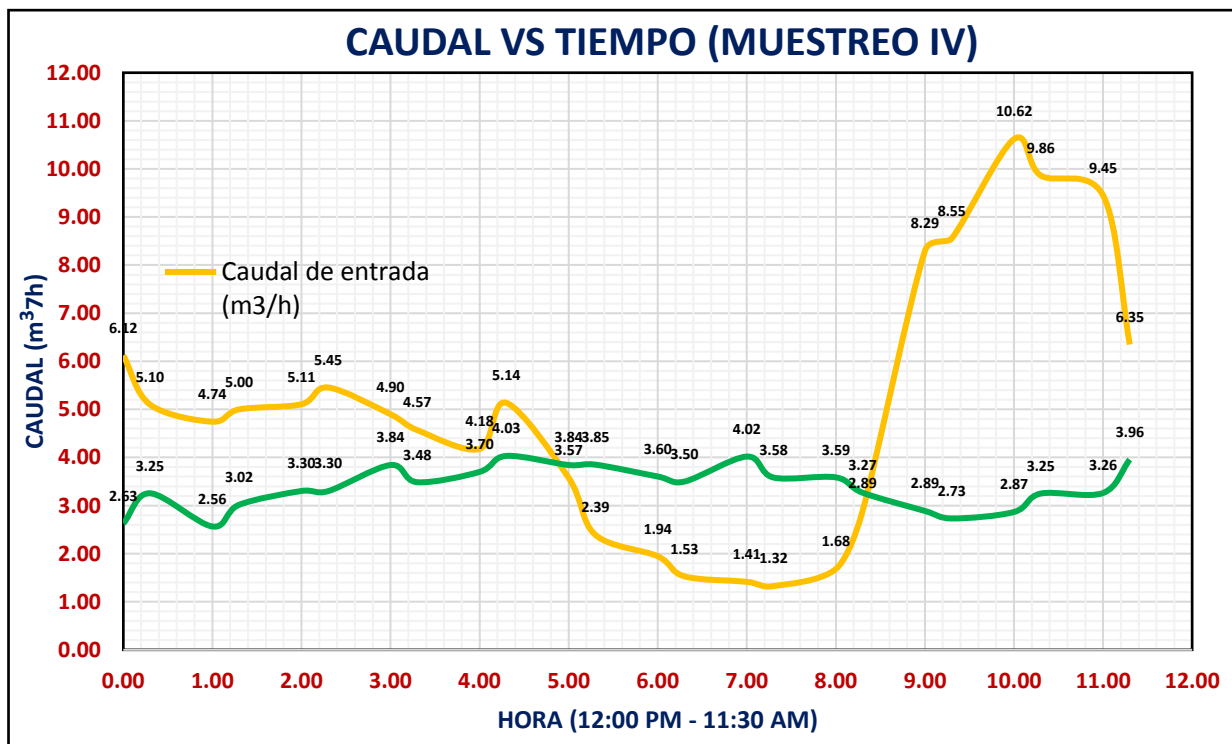
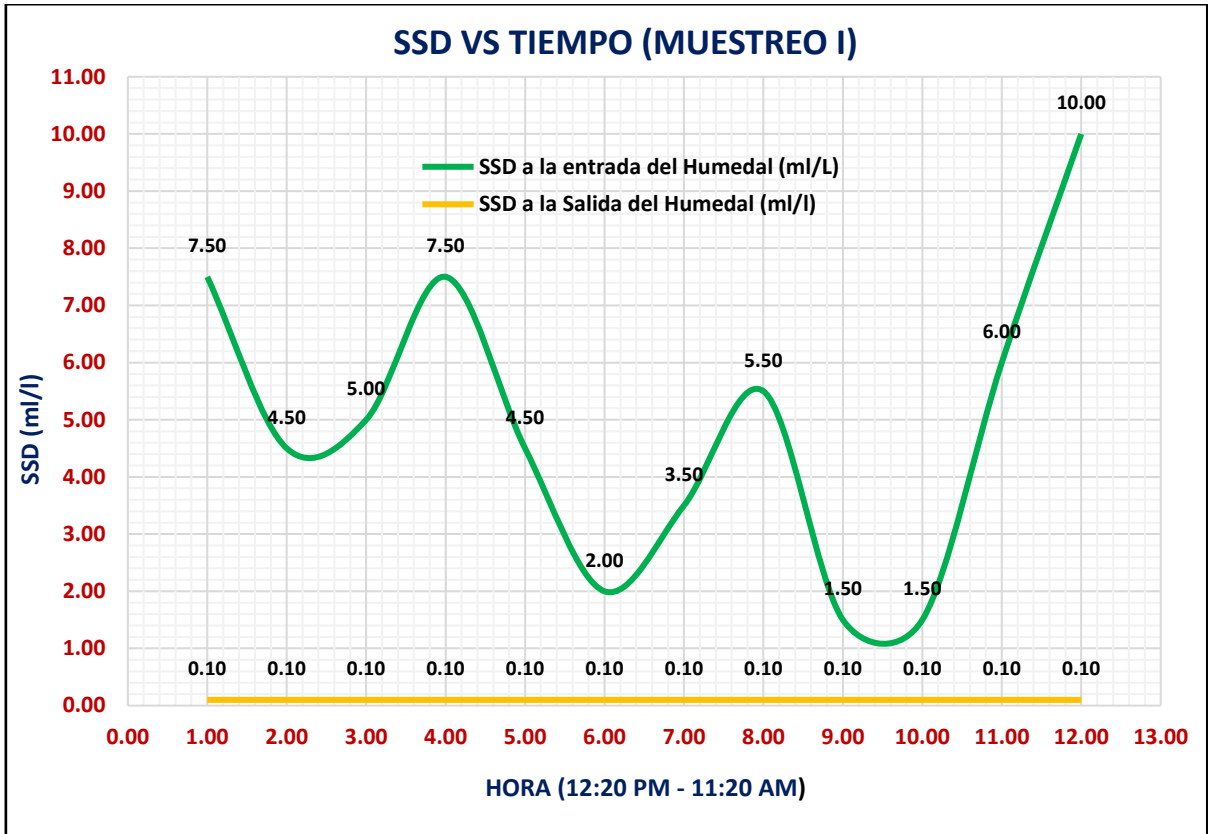
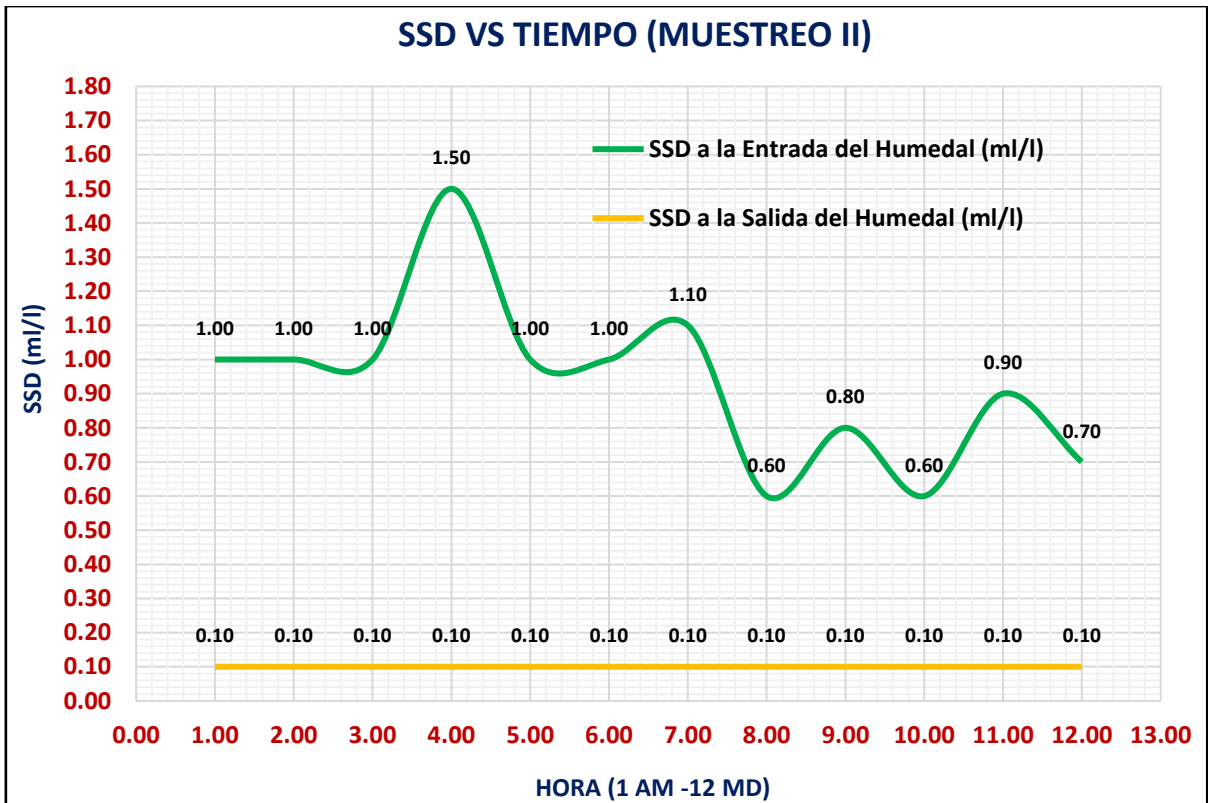


Figura E-4: Comportamiento del caudal residual a la entrada y salida del humedal

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.

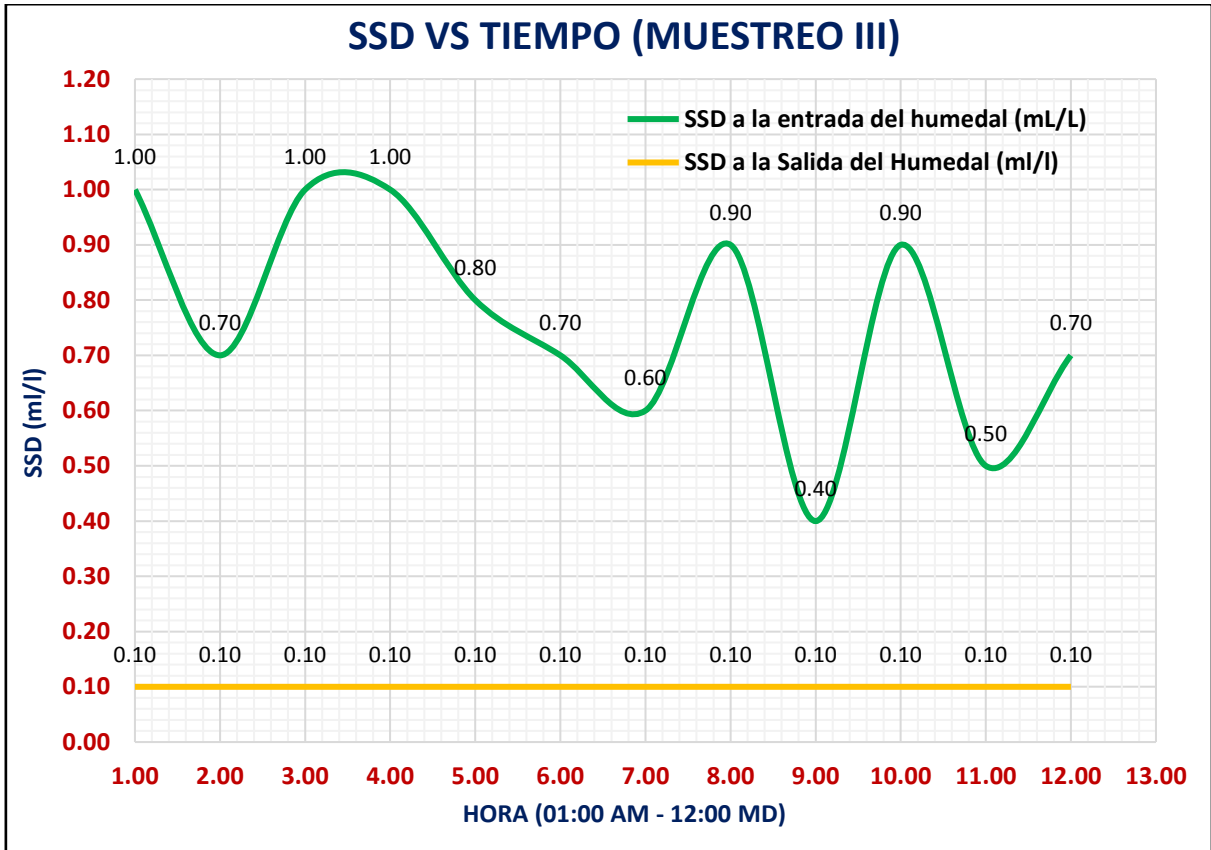


**Figura E-5:** Comportamiento horario de los sólidos sedimentables a la entrada y salida del humedal

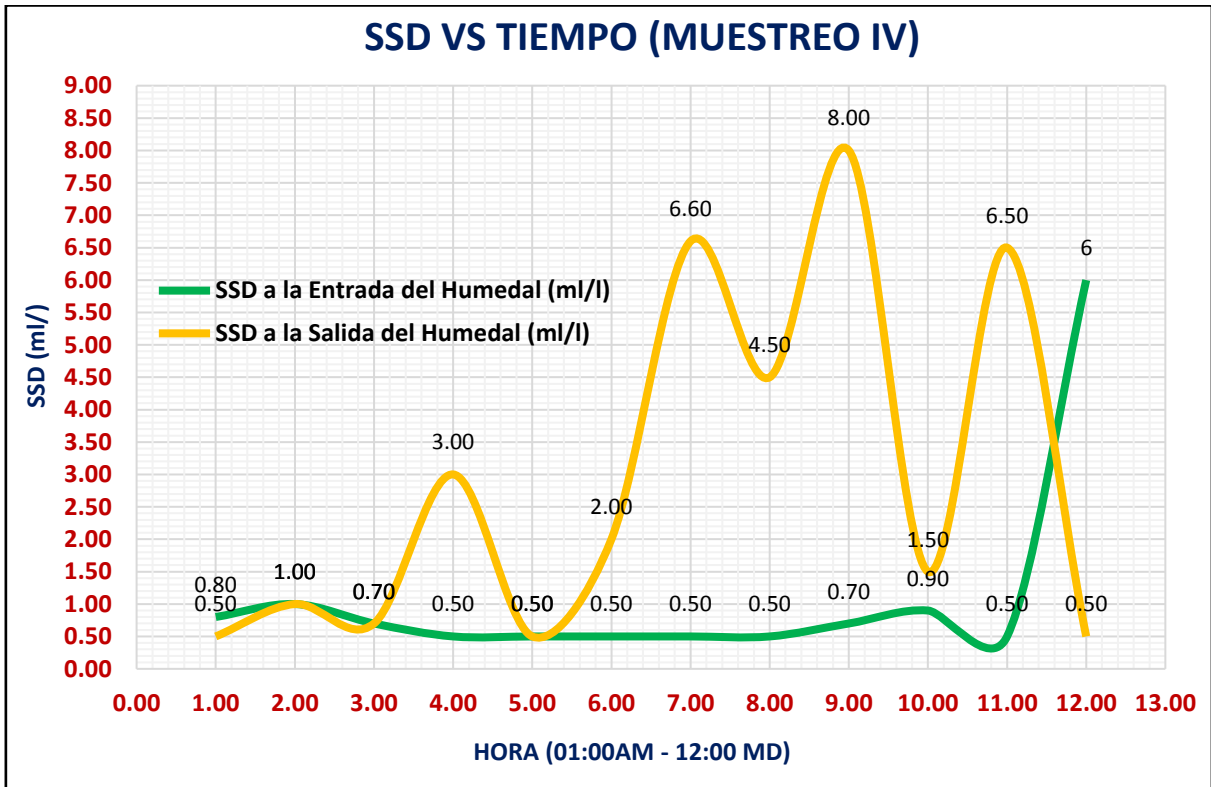


**Figura E-6:** Comportamiento horario de los sólidos sedimentables a la entrada y salida del humedal

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.



*Figura E-7: Comportamiento horario de los sólidos sedimentables a la entrada y salida del humedal*



*Figura E-8: Comportamiento horario de los sólidos sedimentables a la entrada y salida del humedal*

**ANEXO F:** Cálculos de porcentajes de remoción promedio de la carga contaminante en el humedal artificial de flujo horizontal libre.

$$\% \text{ Remocion} = \frac{\text{Concentracion}_{\text{inicial}} - \text{Concentracion}_{\text{final}}}{\text{Concentracion}_{\text{inicial}}} * 100$$

✓ **DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO<sub>5</sub>)**

$$\% \text{ de Remocion (DBO}_5) = \left( \frac{213.14 \frac{\text{mg}}{\text{l}} - 108.56 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{13.14 \frac{\text{mg}}{\text{l}}} \right) * 100 \% = 49.16 \%$$

✓ **DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)**

$$\% \text{ de Remocion (DQO)} = \left( \frac{868.13 \frac{\text{mg}}{\text{l}} - 308.30 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{868.13 \frac{\text{mg}}{\text{l}}} \right) * 100 \% = 64.51 \%$$

✓ **SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)**

$$\% \text{ de Remocion (SST)} = \left( \frac{161.81 \frac{\text{mg}}{\text{l}} - 67.00 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{161.81 \frac{\text{mg}}{\text{l}}} \right) * 100 \% = 58.59 \%$$

✓ **SOLIDOS SEDIMENTABLES (SSD)**

$$\% \text{ de Remocion (SSD)} = \left( \frac{2.26 \frac{\text{mg}}{\text{l}} - 2.10 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{2.26 \frac{\text{mg}}{\text{l}}} \right) * 100 \% = 7.08 \%$$

✓ **SOLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT)**

$$\% \text{ de Remocion (SDT)} = \left( \frac{1162.19 \frac{\text{mg}}{\text{l}} - 947.00 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{1162.19 \frac{\text{mg}}{\text{l}}} \right) * 100 \% = 18.52 \%$$

✓ **SOLIDOS TOTALES VOLÁTILES (STV)**

$$\% \text{ de Remocion (STV)} = \left( \frac{564.00 \frac{\text{mg}}{\text{l}} - 238.75 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{564.00 \frac{\text{mg}}{\text{l}}} \right) * 100 \% = 57.67 \%$$

✓ **FOSFORO TOTAL (PT)**

$$\% \text{ de Remocion (PT)} = \left( \frac{6.41 \frac{\text{mg}}{\text{l}} - 4.84 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{6.41 \frac{\text{mg}}{\text{l}}} \right) * 100 \% = 24.46 \%$$

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.

✓ **NITROGENO TOTAL (NT)**

$$\% \text{ de Remocion (NT)} = \left( \frac{140.32 \frac{mg}{l} - 126.82 \frac{mg}{l}}{140.32 \frac{mg}{l}} \right) * 100 \% = 9.62 \%$$

✓ **ACEITES Y GRASAS (A y G)**

$$\% \text{ de Remocion (A y G)} = \left( \frac{16.05 \frac{mg}{l} - 6.23 \frac{mg}{l}}{16.05 \frac{mg}{l}} \right) * 100 \% = 61.21 \%$$



**ANEXO G:** Cálculos de los criterios de diseño del humedal artificial de flujo horizontal del rastro municipal de León

✓ **Cálculo del tiempo de retención en el humedal**

Usando la **ecuación 5.6:**

$$t_r = \frac{LWyn}{Q} \quad (5.6)$$

**Tabla G-1:** Datos para el cálculo del tiempo de retención hidráulico

DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	VALOR
Longitud del humedal	<i>L</i>	<i>m</i>	25.13
Ancho del humedal	<i>W</i>	<i>m</i>	6.50
Profundidad	<i>y</i>	<i>m</i>	0.34
Porosidad	<i>n</i>	<i>adimensional</i>	0.65
Caudal	<i>Q</i>	<i>m<sup>3</sup>/día</i>	50.77

$$t_r = \frac{(25.13 \text{ m})(6.50 \text{ m})(0.34 \text{ m})(0.65)}{46.73 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}} = 0.77 \text{ días} = 18.48 \text{ horas}$$

Como se puede observar basado en las dimensiones del humedal (25.13x6.50 m) y al caudal que ingresa, el tiempo de retención esta fuera del rango de 2-5 días. Según (Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006), al menos debe tener al menos un tiempo de retención de 2 días, por lo que el caudal que ingresa no es el adecuado para el humedal:

**Tabla G-2:** Typical Design Criteria and Expected Effluent Quality for Free Water Surface Constructed Wetlands (Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006)

Item	Unit	Value
<i>Design parameter:</i>		
Detention time	d	2-5 (BOD) 7-14 (N)
BOD loading rate	lb/ac·d	<100
Hydraulic loading rate	in/d	1-5
Water depth	ft	0.2-1.5
Minimum size	ac/mgd	5-10
Aspect ratio	—	2:1 to 4:1
Mosquito control	—	Required
Harvesting interval	yr	3-5
<i>Expected effluent quality:<sup>a</sup></i>		
Biochemical oxygen demand (BOD <sub>5</sub> )	mg/L	<20
Total suspended solids (TSS)	mg/L	<20
Total nitrogen (TN)	mg/L	<10
Total phosphorus (TP)	mg/L	<5
<sup>a</sup> Expected effluent quality based on a BOD loading equal to or less than 100 lb/ac·d and typical settled municipal wastewater.		

El tiempo de retención en el humedal debe estar en un rango de entre 2 o 5 días.

✓ **Cálculo del área superficial ( $A_s$ )**

Despejando  $A_s$  de la **ecuación 5.9**

$$W = \frac{A_s}{L} \quad (5.9) \quad \Leftrightarrow \quad A_s = L * W$$

**Donde:**

$L$  = Longitud del Humedal

$W$  = Ancho del Humedal

$$A_s = (25.13 \text{ m}) (6.50 \text{ m}) = 163.35 \text{ m}^2$$

✓ **Cálculo de la carga hidráulica ( $C_h$ )**

Usando la ecuación siguiente:

$$C_h = \frac{Q}{A_s} \quad (4.10)$$

**Tabla G-3:** Datos para el cálculo de la carga hidráulica

DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	VALOR
Área superficial	$A_s$	$m^2$	163.35
Caudal	$Q$	$m^3/día$	50.77

$$C_h = \frac{50.77 \frac{m^3}{día}}{163.35 \text{ m}^2} = 0.31 \frac{m}{día}$$

$$C_h = \left(0.31 \frac{m}{día}\right) \left(\frac{1 \text{ in}}{0.0254 \text{ m}}\right) = 12.20 \frac{\text{in}}{\text{día}}$$

✓ **Cálculo de la carga orgánica ( $C_{org}$ )**

La carga orgánica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$C_{org} = \frac{QC_o}{A_s} \quad (4.11)$$

**Tabla G-4:** Datos para el cálculo de la carga orgánica

DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	VALOR
Área superficial	$A_s$	$m^2$	163.35
Caudal de ingreso	$Q$	$m^3/día$	50.77
Concentración de $DBO_5$ en el afluente	$C_o$	$mg/l$	213.54

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.

$$C_{org} = \frac{\left(50.77 \frac{m^3}{día}\right) \left(213.54 \frac{mg}{l}\right)}{(163.35 m^2)} = 66.37 \frac{mg}{m^2 * día}$$

$$C_{org} = \left(66.37 \frac{mg}{m^2 * día}\right) \left(\frac{1kg}{1,000,000 mg}\right) \left(\frac{10,000 m^2}{1 ha}\right) = 0.6637 \frac{kg}{ha * día}$$

**ANEXO H:** Cálculo del caudal que debe ingresar al humedal de acuerdo a al tiempo de retención

El caudal que debe recibir el humedal se determinó iterando valores de caudal hasta dar un valor mínimo de 2 días en el tiempo de retención, para ello se utilizó la **ecuación 4.6** asignando un valor en el caudal de 18 m<sup>3</sup>/día (Ver el cálculo en la **Tabla 6.1**):

$$t_r = \frac{L.W.y.n}{Q} \quad (4.11)$$

**Donde:**

**Tabla H-1:** Datos para determinar el caudal que debe recibir el humedal del RML de acuerdo al tiempo de retención

DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	VALOR
Longitud del humedal	<i>L</i>	<i>m</i>	25.13
Ancho del humedal	<i>W</i>	<i>m</i>	6.50
Profundidad	<i>y</i>	<i>m</i>	0.34
Porosidad	<i>n</i>	-	0.65
Caudal	<i>Q</i>	<i>m<sup>3</sup>/día</i>	10.00

$$t_r = \frac{(25.13 m)(6.50 m)(0.34 m)(0.65)}{10.00 \frac{m^3}{día}} = 3.60 \text{ días}$$

Como se puede observar el caudal que debe de recibir el humedal con las dimensiones existentes actuales del humedal (25.13 m de *L* x 6.50 m de *B* x 0.34 m de *y*) y así poder cumpla con el criterio de 2-5 días de tiempo de retención hidráulico, el caudal debe ser de 10 m<sup>3</sup>/día.

**ANEXO I:** Cálculo de las dimensiones que debe tener el humedal de acuerdo al caudal que ingresa.

Diseño del humedal artificial de flujo horizontal ajustando su comportamiento al de flujo pistón para describir la eficiencia en la reducción de DBO<sub>5</sub>. Modelo para un tiempo de retención en un rango entre 2 a 5 días (P F Cooper, Green, & Shustes, 1998).

$$\frac{C_e}{C_o} = e^{-K_T t} \quad \Leftrightarrow \quad \frac{C_e}{C_o} = 0.43 * \text{Exp}(-0.26 * t_r) \quad (4.3)$$

**Donde:**

$C_e$  = Concentración de DBO<sub>5</sub> en el efluente (mg/l)

$C_o$  = Concentración de DBO<sub>5</sub> en el afluente (mg/l)

$K_T$  = Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura (día<sup>-1</sup>)

$t_r$  = Tiempo de retención hidráulico (días)

**0.43** = Factor de conversión constante (P F Cooper, Green, & Shustes, 1998)

**-0.26** = Factor de conversión constante (P F Cooper, Green, & Shustes, 1998)

✓ **Cálculo de la  $C_e$  de la DBO<sub>5</sub> esperada en el efluente**

Despejando  $C_e$  de la **Ecuación 4.3** para conocer la concentración esperada en el efluente:

Se utiliza un  $t_r = 5$  (Criterio de diseño típico de humedales según Blázquez, 2006)

**Tabla I-1:** Datos para el cálculo de la  $C_e$  de DBO<sub>5</sub> esperada en el efluente

DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	VALOR
Tiempo de Retención hidráulico	$t_r$	días	5
Concentración de DBO <sub>5</sub> en el afluente	$C_o$	mg/l	213.54

$$C_e = 0.43 * \text{Exp}(-0.26 * t_r) * 213.54 \frac{mg}{L}$$

$$C_e = 25.02 \frac{mg}{L} \text{ de DBO}_5 \text{ Esperada a la salida del humedal}$$

✓ **Cálculo de la constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura**

La constante dependiente de la Temperatura “ $K_T$ ” se calculó utilizando la siguiente ecuación (Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006):

$$K_T = k_{20} * \theta^{(T-20)} \quad (4.4)$$

**Donde:**

$T = 27.43$  °C (Temperatura promedio del agua residual en el humedal)

$\theta = 1.06$  coeficiente de Temperatura (Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006)

$k_{20} = 0.678 \text{ dia}^{-1}$  constante (Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006)

**Tabla I-2:** Datos para el cálculo de la constante dependiente de la Temperatura “ $K_T$ ”

DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	VALOR
Temperatura promedio	$T$	°C	27.43
Coeficiente de Temperatura	$\theta$	-	1.06
Constante	$k_{20}$	$\text{dia}^{-1}$	0.678

$$K_T = (0.678 \text{ d}^{-1}) * (1.06)^{(27.47-20)} = 1.05 \text{ d}^{-1}$$

$$K_T = 1.05 \text{ d}^{-1}$$

✓ **Caudal de diseño**

Según (Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006) para compensar las pérdidas o ganancias de agua causadas por filtración, evapotranspiración, ganancia por la lluvia o precipitaciones a través del humedal, se calcula el caudal promedio mediante la ecuación 4.5:

$$Q = \frac{Q_o + Q_e}{2} \quad (4.5)$$

El cálculo asume que no existen pérdidas por filtración y adopta una estimación razonable de las pérdidas por evapotranspiración y ganancias por lluvias. Por lo general se asume que el caudal de entrada y salida son los mismos (Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006).

**Tabla I-3:** Caudal de diseño

DATO	SÍMBOLO	UNIDAD	VALOR
Caudal de ingreso en el humedal (Determinado en Campo)	$Q$	$\text{m}^3/\text{día}$	50.77

✓ **Cálculo del Área Superficial ( $A_s$ ) en el humedal**

El área superficial se calcula con la **ecuación 4.7**

$$A_s = \frac{Q * \ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right)}{K_T * y * n} \quad (4.7)$$

**Tabla I-4:** parámetros de diseño de los humedales con flujo libre (Comisión Nacional del Agua, 2019).

Parámetros de diseño	Unidad	Valor
Tiempo de retención hidráulica	d	2-5 (DBO)
		7-14 (N)
Velocidad de carga orgánica	kg/hd	<110
Profundidad del agua	m	0.06-0.45
Porosidad		0.65-0.75 (Reed et al., 1995)
Tamaño mínimo	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> d	5.3-10.7
Relación L:W		2:1-4:1
Control de mosquitos		Requerido
Intervalo de cosecha	año	3-5

Valor de profundidad ( $y = 0.30 \text{ m}$ ) seleccionado para calcular el Área superficial del humedal, el cual se encuentra entre el rango como criterio de diseño.

Valor de porosidad ( $n = 0.65$ ) seleccionado para calcular el Área superficial del humedal.

**Tabla I-5:** Datos para el cálculo del área superficial del humedal

DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	VALOR
Caudal	$Q$	m <sup>3</sup> /día	50.77
Concentración de DBO <sub>5</sub> en el afluente	$C_o$	mg/l	213.54
Concentración de DBO <sub>5</sub> en el efluente	$C_e$	mg/l	25.02
Constante de reacción de primer orden	$K_T$	día <sup>-1</sup>	1.05
Profundidad del agua en el humedal	$y$	m	0.30
Porosidad	$n$	-	0.65

$$A_s = \frac{\left(50.77 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}\right) * \ln\left(\frac{213.54 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{25.02 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}\right)}{(1.05 \text{d}^{-1}) * (0.30 \text{ m}) * (0.65)}$$

$$A_s = 531.67 \text{ m}^2$$

✓ **Calculó de la longitud del humedal**

Por medio de la **ecuación 4.8** se calcula de manera directa la longitud máxima deseable del humedal (Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006).

$$L = \left[ \frac{As * y^{\frac{8}{3}} * m^{\frac{1}{2}} * 86400}{a * Q} \right]^{2/3} \quad (4.8)$$

Donde “**a**” es el factor de resistencia que varía dependiendo de la densidad de la vegetación en el humedal y la profundidad.

**a** = 6.4 s.m<sup>1/6</sup> para vegetación muy densa y capa de residuos, en humedales (Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006).

La pendiente del fondo del humedal varía de 0.5 a 2% “se seleccionó el valor de pendiente de **m** = 0.5 % (Blázquez, 2006)”.

**Tabla I-6: Datos para el cálculo de la longitud del humedal**

DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	VALOR
Caudal	<i>Q</i>	<i>m</i> <sup>3</sup> /día	50.77
Área superficial	<i>As</i>	<i>m</i> <sup>2</sup>	531.67
Profundidad	<i>y</i>	<i>m</i>	0.30
Pendiente del fondo del lecho	<i>m</i>	%	0.50
Factor de resistencia	<i>a</i>	s.m <sup>1/6</sup>	6.40

$$L = \left[ \frac{(531.67 \text{ m}^2) * (0.30 \text{ m})^{\frac{8}{3}} * (0.005)^{\frac{1}{2}} * 86400}{(6.4 \text{ s} * \text{m}^{\frac{1}{6}}) * \left(46.73 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}\right)} \right]^{2/3}$$

$$L = 52.72 \text{ m}$$

✓ **Calculó del ancho del humedal**

El ancho “**W**” del humedal se calcula de despejar **W** de la **ecuación 4.9**:

$$W = \frac{As}{L} \quad (4.9)$$

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.

**Tabla I-7:** Datos para el cálculo del ancho del humedal

DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	VALOR
Área superficial	$A_s$	$m^2$	531.67
Longitud del humedal	$L$	m	52.72

$$W = \frac{531.67 m^2}{52.77 m}$$

$$W = 10.10 m$$

✓ **Cálculo de la carga Hidráulica**

La carga hidráulica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$C_h = \frac{Q}{A_s} \quad (4.10)$$

**Tabla I-8:** Datos para el cálculo la carga hidráulica

DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	VALOR
Área superficial	$A_s$	$m^2$	531.67
Caudal	$Q$	$m^3/día$	50.77

$$C_h = \frac{50.77 \frac{m^3}{día}}{531.67 m^2} = 0.10 \frac{m}{día}$$

$$C_h = \left(0.10 \frac{m}{día}\right) \left(\frac{1 in}{0.0254 m}\right) = 3.76 \frac{in}{día}$$

✓ **Cálculo de la carga orgánica (Corg)**

La carga orgánica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$C_{org} = \frac{QC_o}{A_s} \quad (4.11)$$

**Tabla I-9:** Datos para el cálculo la carga orgánica

DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	VALOR
Área superficial	$A_s$	$m^2$	531.67
Caudal	$Q$	$m^3/día$	50.77
Concentración de DBO <sub>5</sub> en el efluente	$C_o$	$mg/l$	213.54



EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.

$$C_{org} = \frac{\left(50.77 \frac{m^3}{día}\right) \left(213.54 \frac{mg}{l}\right)}{(531.67 m^2)} = 20.39 \frac{mg \text{ de } DBO_5}{día * m^2}$$

$$C_{org} = \left(20.39 \frac{mg \text{ de } DBO_5}{día * m^2}\right) \left(\frac{1 kg}{1,000,000 mg}\right) \left(\frac{10,000 m^2}{1 ha}\right)$$

$$C_{org} = 0.2039 \frac{kg}{ha * día}$$

✓ **Cálculo del tiempo de retención teórico del humedal artificial de flujo horizontal**

El tiempo de retención hidráulico “ $t_r$ ” en el humedal se calculó por medio de la **ecuación 3.3**:

$$t_r = \frac{L.W.y.n}{Q} \quad (4.6)$$

El valor de “ $y$ ” y “ $n$ ” corresponden a los valores seleccionados de la **Tabla 10.1**

**Tabla I-10:** Datos para el cálculo del tiempo de retención teórico en el humedal

DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	VALOR
Largo del humedal	$L$	$m$	52.72
Ancho del humedal	$W$	$m$	10.10
Profundidad	$y$	$m$	0.30
Porosidad	$n$	-	0.65
Caudal	$Q$	$m^3/día$	50.77

$$t_r = \frac{(52.72 m)(10.10 m)(0.30 m)(0.65)}{50.77 \frac{m^3}{día}} = 2.04 \text{ días}$$

ANEXO J: Art. 22 Decreto 21-2017.

## CAPÍTULO IV

### De los Vertidos a la Red de Alcantarillado Sanitario

Artículo 22. Rangos y Valores Máximos Permisibles para los Vertidos a la Red de Alcantarillado Sanitario. Los vertidos de aguas residuales de origen domésticos, industriales, comerciales, agroindustriales y de servicio autorizados, de acuerdo a sus características, que sean descargados al alcantarillado sanitario, deberán cumplir los rangos y valores máximos permisibles siguientes (*LA GACETA DIARIO OFICIAL, 2017*):

Parámetro	Rangos y Valores Máximos Permisibles
Temperatura °C	50
Color (UC)	20
pH	6 – 9
Conductividad eléctrica (µS/cm)	5000
Sólidos Totales (mg/l)	1,500
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	400
Sólidos Sedimentables (ml/l)	10
Aceites y Grasas Totales (mg/l)	100
Aceites y Grasas Minerales (mg/l)	20
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	400
DQO (mg/l)	900
Fósforo Total (mg/l)	12
Nitrógeno Total Kjeldahl (mg/l)	60
Mercurio (mg/l)	0,02
Manganeso (mg/l)	10
Arsénico (mg/l)	0,50
Cadmio (mg/l)	0,75
Cromo Hexavalente (mg/l)	0,5
Cobre (mg/l)	3
Plomo(mg/l)	1
Fenoles(mg/l)	0,5
Níquel (mg/l)	3
Zinc (mg/l)	3
Plata(mg/l)	1
Selenio (mg/l)	1
Sulfuros(mg/l)	1
Sulfatos (mg/l)	500
Hierro(mg/l)	10
Cloruro (mg/l)	1,000
Fluoruro (mg/l)	10

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.

**ANEXO K:** Fotografía del humedal artificial de flujo horizontal de tratamiento de agua residual municipal bajo estudio.



*Figura K-1: Medición de caudal en Afluentes*



*Figura K-2: Afluente del humedal*

**EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.**



**Figura K-3: Medición de caudal en Afluentes**



**Figura K-4: Recolección de muestra en el Afluyente**



**Figura K-5: Medición de caudal en efluentes**

**EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.**



***Figura K-6: Medición de caudal en efluentes***



***Figura K-7: Recolección de muestra en el efluente***



***Figura K-8: Medición de sólidos sedimentables***

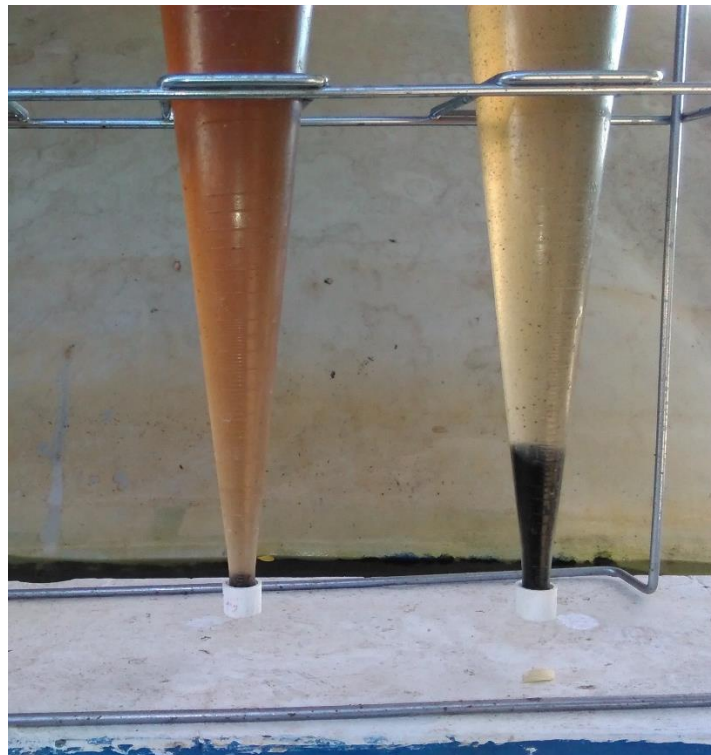
EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.



**Figura K-9:** Medición de sólidos sedimentables en el Afluente



**Figura K-10:** Medición de sólidos sedimentables en el Efluente



**Figura K-11:** Medición de sólidos sedimentables

**EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.**



**Figura K-12: Medición de pH y Temperatura en el Afluente**



**Figura K-13: Medición de pH y Temperatura en el Efluente**

**EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.**



**Figura K-14:** Jacinto de agua empleadas en Humedal artificial



**Figura K-15:** Humedal Artificial de flujo horizontal en el rastro municipal de León



**EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.**

**ANEXO L: Memoria de cálculo de diseño del Humedal artificial de flujo horizontal para 40.77 m<sup>3</sup>/día**

DISEÑO DEL HUMEDAL DE FLUJO HORIZONTAL DEL RML PARA UN CAUDAL DE 40.77 m <sup>3</sup> /día				
CALCULOS				
Cálculo de la constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura				
DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	ECUACION	VALOR
Temperatura promedio	$T$	°C	Temperatura del agua en el humedal	27.43
Coefficiente de Temperatura	$\theta$	-	(Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006)	1.06
Constante	$k_{20}$	dia-1	(Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006)	0.678
<b>Constante de reacción de primer orden</b>	<b><math>K_T</math></b>	<b>dia-1</b>	<b><math>K_T = k_{20} * \theta^{(T-20)}</math></b>	<b>1.05</b>
Cálculo de la Ce de la DBO5 esperada en el efluente				
DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	ECUACION	VALOR
Tiempo de Retención hidráulico	$t_r$	dia	Se utiliza un $t_r$ en un rango de 2 a 5 días (utilizaremos un $t_r = 5$ como criterio de diseño típico de humedales según Blázquez, 2006)	5
Concentración de DBO5 en el afluente	$C_0$	mg/l	RESULTADO DE ANALISIS	213.54
<b>Concentración de DBO5 esperada en el efluente</b>	<b><math>C_e</math></b>	<b>mg/l</b>	<b><math>\frac{C_e}{C_0} = 0.43 * Exp(-0.26 * t_r)</math></b> <b>Despejando Ce de la ecuacion</b> $C_e = 0.43 * Exp(-0.26 * t_r) * C_0$	<b>25.02</b>
Cálculo del Área Superficial (As)				
DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	ECUACION/OBSERVACIONES	VALOR
Caudal	$Q$	m <sup>3</sup> /día	DETERMINA EN AFORO	40.77
Concentración de DBO5 en el efluente	$C_e$	mg/l	VALOR ESPERADO	25.02
Concentración de DBO5 en el afluente	$C_0$	mg/l	$C_e = 0.43 * Exp(-0.26 * t_r) * C_0$	213.54
Constante de reacción de primer orden	$K_T$	dia-1	$K_T = k_{20} * \theta^{(T-20)}$	1.05
Profundidad del agua en el humedal	$y$	m	$y = 0.45$ m el cual se encuentra entre el rango como criterio de diseño (Comisión Nacional del	0.45
Porosidad	$n$	-	$n = 0.65$ el cual se encuentra entre el rango como criterio de diseño (Comisión Nacional del	0.65
<b>Área superficial</b>	<b><math>A_s</math></b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b><math>A_s = \frac{Q * \ln(\frac{C_0}{C_e})}{K_T * y * n}</math></b>	<b>284.63</b>
Cálculo de la longitud del humedal				
DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	ECUACION	VALOR
Caudal	$Q$	m <sup>3</sup> /día		40.77
Área superficial	$A_s$	m <sup>2</sup>	$A_s = \frac{Q * \ln(\frac{C_0}{C_e})}{K_T * y * n}$	284.63
Profundidad	$y$	m	Dentro del rango como criterio de diseño (Comisión Nacional del Agua, 2019).	0.45
Pendiente del fondo del lecho (expresado en % como decimal)	$m$	%	Se seleccionó un valor de pendiente de 0.5 % (Blázquez, 2006)".	0.50%
Factor de resistencia	$a$	s.m1/6	Para vegetación muy densa y capa de residuos, en humedales (Crites, Middlebrooks, & Reed, 2006)	6.4
Relación largo ancho			$L = 0.5$ a $1.2$ (B)	1.2
Ancho del humedal	$B$	m	Asumido	17
Longitud del humedal	$L$	m	$L = 1.2 * (B)$	20.4

**EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL RASTRO MUNICIPAL DE LEÓN.**

Cálculo del tiempo de retención hidráulico teórico				
DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	ECUACION	VALOR
Ancho del humedal	<i>B</i>	<i>m</i>	Asumido	17
Longitud del humedal	<i>L</i>	<i>m</i>	$L = 1.2 * (B)$	20.4
Profundidad	<i>y</i>	<i>m</i>	$y = 0.45$ m el cual se encuentra entre el rango como criterio de diseño (Comisión Nacional del Agua, 2019)	0.45
Porosidad	<i>n</i>	-	$n = 0.65$ el cual se encuentra entre el rango como criterio de diseño (Comisión Nacional del Agua, 2019)	0.65
Caudal	<i>Q</i>	<i>m3/día</i>	-	40.77
<b>Tiempo de Retención</b>	<b><i>t<sub>r</sub></i></b>	<b><i>días</i></b>	$t_r = \frac{L \cdot W \cdot y \cdot n}{Q}$	<b>2.49</b>
Cálculo de la carga hidráulica (Ch)				
DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	ECUACION	VALOR
Área superficial	<i>As</i>	<i>m2</i>	$As = L * B$	346.80
Caudal	<i>Q</i>	<i>m3/día</i>	RESULTADO DE ANALISIS	40.77
<b>Carga hidráulica</b>	<b><i>Ch</i></b>	<b><i>m/día</i></b>	$C_h = \frac{Q}{As}$	<b>0.12</b>
		<b><i>In/día</i></b>		<b>4.63</b>
Cálculo de la carga organica (Corg)				
DATOS	SÍMBOLO	UNIDAD	ECUACION	VALOR
Área superficial	<i>As</i>	<i>m2</i>	$As = L * B$	346.80
Caudal de ingreso		<i>m3/día</i>	-	40.77
Concentración de DBO5 en el afluente		<i>mg/l</i>	RESULTADO DE ANALISIS	213.54
<b>Carga organica</b>	<b><i>Corg</i></b>	<b><i>mg de DBO5/m2*día</i></b>	$C_{org} = \frac{QC_o}{As}$	<b>25.10</b>
		<b><i>kg/ha*día</i></b>		<b>0.25</b>

**ANEXO M:** Planos con las actuales dimensiones del humedal artificial de flujo horizontal del rastro municipal de la ciudad de León

**ANEXO N:** Planos de diseño para un humedal artificial de flujo horizontal de 40.77 m<sup>3</sup>/día para el rastro municipal de la ciudad de León