



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE CIENCIAS**

### **ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

#### **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL CAMAL MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE MACAS CANTÓN MORONA PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO.”**

Trabajo de titulación presentado para optar el grado académico de:

### **INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORA: IVANA JAEL CHACHA CHACHA**

**TUTOR: ING. SEGUNDO HUGO CALDERÓN**

Riobamba – Ecuador

2016

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El presente trabajo: DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL CAMAL MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE MACAS CANTÓN MORONA PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO, de responsabilidad de la señorita Ivana Jael Chacha Chacha, ha sido revisado por los Miembros del Tribunal, quedando autorizada su presentación.

Ing. Hugo Calderón ..... ..

**DIRECTOR DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

Ing. Mónica Andrade ..... ..

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Ivana Jael Chacha Chacha; declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, Julio del 2016

**Ivana Jael Chacha Chacha**

C.I. 140094143-9

“Yo, IVANA JAEL CHACHA CHACHA, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de investigación, y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

---

IVANA JAEL CHACHA CHACHA

## **DEDICATORIA**

Dedico este Trabajo de Titulación especialmente a mis Angelitos y a Dios que han sido la luz que siempre ha necesitado mi vida para poder seguir adelante. A mis padres Rosa y Rafael por ese amor y apoyo incondicional que siempre han tenido para nosotros, por ser un gran ejemplo de lucha, por enseñarme a que nunca hay que abandonar los sueños por más dura que sea la vida, por sus valores y por su gran ejemplo como padres. A mis hermanos que han estado apoyándome de una u otra forma. A mis abuelitos maternos y paternos porque son un ejemplo de vida y por su amor. A mi novio, amigos, tíos, tías y familia en general que han estado a lo largo de mi vida apoyándome y teniendo los mejores deseos hacia mí.

Jael Chacha

## AGRADECIMIENTO

Primero agradezco a Dios por darme la oportunidad de culminar una etapa más de mi vida y por ser el que día a día nos regala una oportunidad para continuar.

A mis padres que siempre han tratado de dar y querer lo mejor para mí; especialmente a mi madre que ha sido mi amiga, mi compañera, mi confidente y mi inspiración para dar cada paso en mi vida, porque siempre ha tenido una palabra de aliento aun cuando me he sentido derrotada y sin ganas de continuar, sintiendo de ella el amor más grande, puro e incondicional hacia a mí.

A mis hermanos que siempre están a pesar de ser tan diferentes, siempre han tenido las palabras correctas para el momento indicado, y hemos salido adelante con el amor de hermanos y el amor que nuestros padres nos dan día a día.

A mi familia en general porque siempre han tenido para mí los mejores deseos y han estado pendiente a lo largo de toda mi vida.

A mis tres Angelitos que están junto a Dios porque él así lo decidió, por ser la luz en mi camino, por siempre protegerme en cada adversidad y por nunca dejarme sola especialmente a mi Angelita Lesly.

A mi amiga incondicional que me enseñó el verdadero significado de la amistad y que muchas veces no se necesita tener la misma sangre para llamar hermana.

A mi amigo de vida porque siempre estuvo apoyándome en cada paso que daba y siempre tenía una palabra de aliento o un abrazo cuando más lo necesitaba.

A mis amigos que de una u otra manera han estado juntos recorriendo a lo largo de mi camino, con palabras de apoyo; especialmente a aquellos que estuvieron junto a mí en los momentos que más lo necesite.

Al Ing. Hugo Calderón y a la Ing. Mónica Andrade, por el tiempo entregado a lo largo de la carrera y durante el trabajo realizado, por su paciencia y por sus enseñanzas muchas gracias.

Al Ilustre Municipio del Cantón Morona por haberme abierto las puertas para poder ejecutar mi trabajo de titulación.

A todos ellos muchas gracias y que Dios los bendiga siempre y los mejores deseos para ellos.

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XVII
ÍNDICE DE FOTOGRAFIA.....	XIX
ÍNDICE DE ANEXOS .....	XX
RESUMEN.....	XXI
SUMMARY .....	XXII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL .....	2
1.1. Camal o Matadero .....	2
1.1.1 <i>Camales en Ecuador</i> .....	2
1.1.2 <i>Proceso de Faenamiento</i> .....	2
1.1.2.1 <i>Sacrificio de Bovinos</i> .....	3
1.1.2.2 <i>Sacrificio de Porcinos</i> .....	5
1.1.3 <i>Aguas residuales</i> .....	7
1.1.3.1 <i>Tipos de aguas residuales</i> .....	7
1.1.3.2 <i>Aguas residuales de camal</i> .....	9
1.2 Muestreo de aguas residuales. ....	23
1.2.1 <i>Tipos de muestras</i> .....	23
1.2.2 <i>Toma de muestra</i> .....	24

1.2.3	<i>Conservación de muestras</i> .....	25
1.3	<b>Teoría de vertederos</b> .....	25
1.3.1	<i>Tipos de vertederos</i> .....	25
1.4	<b>Medición de caudales</b> .....	28
1.4.1	<i>Métodos para medición de caudales</i> .....	28
1.4.1.1	<i>Método volumétrico</i> .....	29
1.4.1.2	<i>Método del flotador</i> .....	29
1.4.1.3	<i>Método de trayectoria</i> .....	30
1.4.1.4	<i>Método según las estructuras o vertederos</i> .....	30
1.5	<b>Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales generadas en Camales</b>	30
1.5.1	<i>Etapas de tratamiento para aguas residuales</i> .....	31
1.5.1.1	<i>Desbaste</i> .....	31
1.5.1.2	<i>Caudal</i> 34	
1.5.1.3	<i>Canal</i> 38	
1.5.1.4	<i>Mallas porosa</i> .....	42
1.5.1.5	<i>Trampa de grasa</i> .....	45
1.5.1.6	<i>Humedales Artificiales</i> .....	46
1.5.1.7	<i>Filtro</i> 58	
1.6	<b>Legislación ambiental para descarga de aguas residuales</b> .....	65
1.6.1	<i>“Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua Libro VI Anexo 1. Tabla 10”</i> .....	66
1.6.1.1	<i>Normas de descarga de efluentes al cuerpo de agua dulce</i> .....	66
	<b>CAPÍTULO II</b> .....	69



<b>2.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>69</b>
<b>2.1</b>	<b>Parte experimental.....</b>	<b>69</b>
<b>2.1.1</b>	<b><i>Localización de la investigación.....</i></b>	<b>69</b>
<b>2.1.1.1</b>	<b><i>Bovinos .....</i></b>	<b>71</b>
<b>2.1.1.2</b>	<b><i>Porcino .....</i></b>	<b>72</b>
<b>2.1.2</b>	<b><i>Metodología.....</i></b>	<b>72</b>
<b>2.1.2.1</b>	<b><i>Medición de caudales .....</i></b>	<b>73</b>
<b>2.1.2.2</b>	<b><i>Muestreo .....</i></b>	<b>73</b>
<b>2.1.3</b>	<b><i>Caracterización del agua residual.....</i></b>	<b>74</b>
<b>2.1.3.1</b>	<b><i>Métodos.....</i></b>	<b>74</b>
<b>2.1.3.2</b>	<b><i>Técnicas .....</i></b>	<b>75</b>
<b>2.1.4</b>	<b><i>Datos experimentales .....</i></b>	<b>75</b>
<b>2.1.4.1</b>	<b><i>Caudal del agua residual.....</i></b>	<b>75</b>
<b>2.1.1.1</b>	<b><i>Caracterización inicial del agua residual .....</i></b>	<b>78</b>
<b>2.1.4.2</b>	<b><i>Parámetros de no cumplimiento con la normativa ambiental comparación de la caracterización inicial con la norma ambiental.....</i></b>	<b>79</b>
<b>2.2.</b>	<b>Pruebas de tratabilidad .....</b>	<b>81</b>
<b>2.3.</b>	<b>Dimensionamiento de la planta de tratamiento .....</b>	<b>82</b>
<b>2.4</b>	<b>Situación actual del Camal Municipal de la Ciudad de Macas .....</b>	<b>82</b>
	<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>83</b>
<b>3.</b>	<b>MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.</b>	<b>83</b>
<b>3.1.</b>	<b>Cálculos para el dimensionamiento del sistema de tratamiento.....</b>	<b>83</b>
<b>3.1.1</b>	<b><i>Dimensionamiento de sistema de rejillas para el canal actual (Punto 1)(Anexo A) ..</i></b>	<b>83</b>

3.1.1.1	<i>Sumatoria de las separaciones entre barras</i> .....	83
3.1.1.2	<i>Número de barras</i> .....	83
3.1.1.3	<i>Longitud de las barras</i> .....	84
3.1.1.4	<i>Área de espacios entre barras</i> .....	84
3.1.1.5	<i>Pérdidas de carga a través de una reja</i> .....	85
<b>3.1.2</b>	<b><i>Caudal de salida del área del proceso (Punto 2 ver anexo A)</i></b> .....	<b>86</b>
3.1.2.1	<i>Consumo de agua</i> .....	86
3.1.2.2	<i>Índice de consumo de carne</i> .....	87
3.1.2.3	<i>Calculo de la población proyectada</i> .....	88
3.1.2.4	<i>Demanda proyectada</i> .....	89
3.1.2.5	<i>Caudal proyectado</i> .....	90
<b>3.1.3</b>	<b><i>Dimensionamiento del canal de entrada (Punto 2 ver anexo A)</i></b> .....	<b>91</b>
3.1.3.1	<i>Coefficiente de Manning</i> .....	91
3.1.3.2	<i>Altura del tirante de agua</i> .....	92
3.1.3.3	<i>Altura del canal</i> .....	92
3.1.3.4	<i>Radio hidráulico</i> .....	92
3.1.3.5	<i>Velocidad media del caudal de agua</i> .....	93
<b>3.1.4</b>	<b><i>Dimensionamiento de malla porosa</i></b> .....	<b>94</b>
3.1.4.1	<i>Número de hilos por metro de ancho de canal</i> .....	94
3.1.4.2	<i>Porosidad de la malla</i> .....	95
3.1.4.3	<i>Coefficiente de perdida de carga</i> .....	95
3.1.4.4	<i>Gradiente de velocidad</i> .....	95
3.1.4.5	<i>Pérdida de carga</i> .....	96

<b>3.1.5</b>	<b><i>Dimensionamiento de trampa de grasa simple</i></b> .....	<b>97</b>
<b>3.1.6</b>	<b><i>Dimensionamiento de Humedal Artificial</i></b> .....	<b>98</b>
3.1.6.1	<i>Constante de temperatura en el humedal</i> .....	98
3.1.6.2	<i>Área superficial</i> .....	99
3.1.6.3	<i>Área vertical del humedal</i> .....	99
3.1.6.4	<i>Ancho del humedal</i> .....	100
3.1.6.5	<i>Longitud del humedal</i> .....	100
3.1.6.6	<i>Volumen de cada humedal</i> .....	101
3.1.6.7	<i>Tiempo de retención hidráulica</i> .....	101
3.1.6.8	<i>Porcentaje de remoción</i> .....	102
<b>3.1.7</b>	<b><i>Dimensionamiento de Filtro dual de medio múltiple</i></b> .....	<b>105</b>
3.1.7.1	<i>Numero de filtros</i> .....	105
3.1.7.2	<i>Caudal de diseño</i> .....	106
3.1.7.3	<i>Área del filtro</i> .....	106
3.1.7.4	<i>Coficiente de costo mínimo</i> .....	106
3.1.7.5	<i>Ancho del filtro</i> .....	107
3.1.7.6	<i>Composición del lecho filtrante</i> .....	108
3.1.7.7	<i>Volumen del filtro</i> .....	109
3.1.7.8	<i>Sistema de drenaje</i> .....	109
<b>3.2</b>	<b><i>Resultados</i></b> .....	<b>112</b>
3.2.1	<b><i>Resultados del dimensionamiento de rejas</i></b> .....	<b>112</b>
3.2.2	<b><i>Resultados de caudal</i></b> .....	<b>113</b>
3.2.3	<b><i>Resultados del dimensionamiento del sistema de tratamiento</i></b> .....	<b>113</b>

3.2.3.1	<i>Resultados del dimensionamiento del canal</i> .....	113
3.2.3.2	<i>Resultados del dimensionamiento de Malla para canal</i> .....	113
3.2.3.3	<i>Resultados del dimensionamiento de la trampa de grasa</i> .....	114
3.2.3.4	<i>Resultados del dimensionamiento de Humedal Artificial</i> .....	114
3.2.3.5	<i>Resultados del dimensionamiento del Filtro dual de medio múltiple</i> .....	115
3.2.4	<i>Resultados de la caracterización del agua residual tratada</i> .....	116
3.2.5	<i>Remoción de parámetros que estaban fuera de norma después del tratamiento biológico</i> .....	118
3.2.6	<i>Remoción de la contaminación del agua después del tratamiento final</i> .....	120
3.3	<b>Análisis de resultados</b> .....	124
3.3.1	<i>Análisis de tratamiento</i> .....	124
3.3.2	<i>Análisis de la propuesta</i> .....	125
3.4	<b>Presupuesto</b> .....	127
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	131
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	133
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	134

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1</b>	Diagrama de proceso de la línea de sacrificio de bovinos.....	3
<b>Figura 2-1</b>	Diagrama de proceso de la línea de sacrificio de porcinos.....	5
<b>Figura 3-1</b>	Aguas residuales domésticas .....	7
<b>Figura 4-1</b>	Aguas residuales industriales .....	8
<b>Figura 5-1</b>	Aguas residuales urbanas .....	8
<b>Figura 6-1</b>	Subdivisión de la materia orgánica en las aguas residuales .....	11
<b>Figura 7-1</b>	Diagrama de faena de Bovinos y sus vertidos.....	13
<b>Figura 8-1</b>	Diagrama de faena de Porcinos y sus vertidos .....	16
<b>Figura 9-1</b>	Vertedero triangular .....	26
<b>Figura 10-1</b>	Vertedero circular.....	27
<b>Figura 11-1</b>	Vertedero trapezoidal .....	27
<b>Figura 12-1</b>	Vertedero rectangular .....	28
<b>Figura 13-1</b>	Método de la trayectoria.....	30
<b>Figura 14-1</b>	Reja de barra de limpieza manual .....	32
<b>Figura 15-1</b>	Secciones transversales para canales abiertos .....	38
<b>Figura 16-1</b>	Sección trasversal canal rectangular.....	40
<b>Figura 17-1</b>	Trampa de grasa simple .....	45
<b>Figura 18-1</b>	Humedal artificial de flujo Superficial .....	48
<b>Figura 19-1</b>	Humedal de flujo subsuperficial horizontal.....	49
<b>Figura 20-1</b>	Humedal de flujo subsuerficial vertical.....	49

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1</b>	Concentraciones de los parámetros significativos de Camales .....	10
<b>Tabla 2-1</b>	Origen de los vertidos en los Camales.....	12
<b>Tabla 3-1</b>	Principales parámetros químicos de las aguas residuales del camal .....	18
<b>Tabla 4-1</b>	Índice de biodegradabilidad.....	22
<b>Tabla 5-1</b>	Información típica para el proyecto de rejillas o barras de limpieza manual y mecánica	31
<b>Tabla 6-1</b>	Consumos de agua en mataderos polivalentes.....	34
<b>Tabla 7-1</b>	Velocidades del agua medias máximas admisibles para canales abiertos revestidos	39
<b>Tabla 8-1</b>	Borde libre en función al caudal para canales abiertos.....	39
<b>Tabla 9-1</b>	Previsión de capacidad de conducción de agua en canales revestidos .....	39
<b>Tabla 10-1</b>	Coefficiente de Manning.....	42
<b>Tabla 11-1</b>	Geometría de Mallas.....	42
<b>Tabla 12-1</b>	Dimensiones de trampa de grasas de acuerdo al caudal .....	46
<b>Tabla 13-1</b>	Taxonomía de Lemna sp .....	51
<b>Tabla 14-1</b>	Taxonomía Eichhornia Crassipes .....	52
<b>Tabla 15-1</b>	Principales especies de plantas usadas en humedales artificiales.....	52
<b>Tabla 16-1</b>	Materiales empleados en el diseño y construcción de humedales artificiales .....	54
<b>Tabla 17-1</b>	Criterios de diseño.....	54
<b>Tabla 18-1</b>	Especificaciones para lechos Filtrantes .....	59
<b>Tabla 19-1</b>	Parámetros de diseño de filtro .....	59
<b>Tabla 20-1</b>	Parámetro de diseño de laterales .....	60
<b>Tabla 21-1</b>	Velocidades de diseño para tuberías del filtro.....	60

<b>Tabla 22-1</b>	Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	66
<b>Tabla 23-2</b>	Métodos utilizados en el Laboratorio de Servicios Ambientales LSA-UNACH ...	74
<b>Tabla 24-2</b>	Valores de caudal en el punto 1 (Anexo A).....	76
<b>Tabla 25-2</b>	Valores de caudal en el punto 2 (Anexo A).....	77
<b>Tabla 26-2</b>	Resultados de la caracterización del agua residual cruda. Punto 2 (Anexo A) .....	78
<b>Tabla 27-3</b>	Resultados del dimensionamiento de rejas .....	112
<b>Tabla 28-3</b>	Resultados de caudal .....	113
<b>Tabla 29-3</b>	Resultados del dimensionamiento del canal .....	113
<b>Tabla 30-3</b>	Resultados del dimensionamiento de malla para canal .....	113
<b>Tabla 31-3</b>	Resultados del dimensionamiento de la trampa de grasa .....	114
<b>Tabla 32-3</b>	Resultados del Humedal Artificial .....	114
<b>Tabla 33-3</b>	Resultados del filtro dual.....	115
<b>Tabla 34-3</b>	Resultados del agua residual después del tratamiento biológico.....	116
<b>Tabla 35-3</b>	Resultados del agua residual tratada.....	116
<b>Tabla 36-3</b>	Comparación de parámetros del agua residual inicial y agua residual tratada .....	117
<b>Tabla 37-3</b>	Remoción de carga contaminante.....	120
<b>Tabla 38-3</b>	Costo civil de la obra (Obras Preliminares).....	127
<b>Tabla 39-3</b>	Costo civil de la obra (Rejillas) .....	127
<b>Tabla 40-3</b>	Costo civil de la obra (canal de recepción).....	127
<b>Tabla 41-3</b>	Costo civil de la obra (Malla Porosa) .....	128
<b>Tabla 42-3</b>	Costo civil de la obra (Trampa de Grasas) .....	128
<b>Tabla 43-3</b>	Costo civil de la obra (Humedal Artificial) .....	128
<b>Tabla 44-3</b>	Costo civil de la obra (Filtro Dual).....	129

<b>Tabla 45-3</b>	Costo civil de la obra (Mano de Obra) .....	129
<b>Tabla 46-3</b>	Costo civil de la obra (Total).....	130



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2</b>	Variación de caudal .....	76
<b>Gráfico 2-2</b>	Variación de caudal .....	77
<b>Gráfico 3-2</b>	Parámetros que no cumplen con los parámetros establecidos en el TULSMA, 79	
<b>Gráfico 4-2</b>	Parámetros que no cumplen con los parámetros establecidos en el TULSMA, 80	
<b>Gráfico 5-2</b>	Parámetros que no cumplen con los parámetros establecidos en el TULSMA, 80	
<b>Gráfico 6-2</b>	Parámetros que no cumplen con los parámetros establecidos en el TULSMA, 81	
<b>Gráfico 7-2</b>	Diagrama del sistema de tratamiento .....	82
<b>Gráfico 8-3</b>	Rejillas .....	86
<b>Gráfico 9-3</b>	Canal de entrada.....	94
<b>Gráfico 10-3</b>	Malla porosa .....	97
<b>Gráfico 11-3</b>	Trampa de Grasa simple .....	98
<b>Gráfico 12-3</b>	Humedal artificial .....	104
<b>Gráfico 13-3</b>	Distribución de los Humedales artificiales .....	105
<b>Gráfico 14-3</b>	Filtro dual.....	112
<b>Gráfico 15-3</b>	Remoción de DBO5 y DQO después del tratamiento biológico .....	118
<b>Gráfico 16-3</b>	Remoción de Sólidos suspendidos, sedimentables y totales después del tratamiento biológico .....	119
<b>Gráfico 17-3</b>	Remoción de hierro, fosfatos, nitrógeno total, aceites y grasas después del tratamiento biológico .....	119
<b>Gráfico 18-3</b>	Remoción de coliformes fecales después del tratamiento biológico. ....	120
<b>Gráfico 19-3</b>	Remoción de DBO5 y DQO después del tratamiento final .....	121

<b>Gráfico 20-3</b>	Remoción de Sólidos suspendidos, sedimentables y totales después del tratamiento .....	122
<b>Gráfico 21-3</b>	Remoción de hierro, fosfatos, nitrógeno total, aceites y grasas después del tratamiento final.....	122
<b>Gráfico 22-3</b>	Remoción coliformes fecales después del tratamiento final.....	123
<b>Gráfico 23-3</b>	Diagrama del sistema de tratamiento.....	125

## ÍNDICE DE FOTOGRAFIA

<b>Fotografía 1-2</b>	Instalaciones del Camal Municipal de la Ciudad de Macas.....	70
<b>Fotografía 2-2</b>	Bovinos listos para consumo.....	71
<b>Fotografía 3-2</b>	Porcinos listos para consumo.....	72

## ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A** Diagrama de toma de caudales en el camal municipal de la ciudad de macas
- Anexo B** Resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos del agua residual cruda
- Anexo C** Resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos del agua residual después del tratamiento biológico
- Anexo D** Resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos del agua residual tratada
- Anexo E** Rejillas metálicas y canal de recepción.
- Anexo F** Malla porosa y canal de recepcion
- Anexo G** Desengrasador o trampa de grasas
- Anexo H** Humedales artificiales de flujo subsuperficial
- Anexo I** Distribución de los Humedales artificiales de flujo subsuperficial
- Anexo J** Filtro dual de etapas múltiples
- Anexo K** Sistema de tratamiento de aguas residuales
- Anexo L** Sistema de tratamiento de aguas residuales
- Anexo M** Sistema de tratamiento de aguas residuales

## RESUMEN

Se diseñó un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para los vertidos generados en los procesos de faena del Camal Municipal de la Ciudad de Macas, provincia de Morona Santiago; Se tomó muestras de tipo compuesta, que incluye pequeñas muestras simples recogidas desde las 19:00 hasta las 00:00 horas; la caracterización inicial de las muestras permitió identificar los parámetros que se encuentran fuera del límite permisible en la Norma de Calidad Ambiental de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, Libro VI, Anexo 1, Tabla 10 del TULSMA, siendo estos: Demanda química de oxígeno (DQO), Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), Aceites y grasas, Fosfatos, Nitrógeno total, Hierro, Sólidos suspendidos, Solidos sedimentables, Sólidos totales y Coliformes fecales. Se procedió a la toma de caudales en dos puntos basado en la medición de caudales de acuerdo a las estructuras, punto 1 vertidos del área de noqueo, desangrado, corte de patas, descuerado y partido de canales. Para realizar las pruebas de tratabilidad se tomó en cuenta el índice de biodegradabilidad que resulto 1,68 lo que indico que el efluente posee contaminantes de naturaleza orgánica muy biodegradable que puede tratarse en un sistema biológico. Se dimensionaron los equipos respectivos para el sistema de tratamiento de acuerdo a los resultados obtenidos de la degradación biológica del efluente teniéndose: un sistema de Rejas antes de la descarga en el punto 1, Canal, Malla porosa, Trampa de grasa, Humedal Artificial utilizando Lechuguines (*Eichhornia Crassipes*) y Filtro de carbón activado. La validación se demuestra con la caracterización del agua residual obtenida después del ensayo de tratabilidad, así los porcentajes de remoción de los parámetros son: DQO 99,5%, DBO 98,7%, Aceites y grasa 67,9%, Fosfatos 99,5%, Nitrógeno total 95,8 %, Sólidos suspendidos 99,2%, Solidos sedimentables 100%, Sólidos totales 99,6% y Coliformes fecales 99,99%. Con la propuesta presentada el Camal Municipal de la Ciudad de Macas cumplirá con los requerimientos establecidos en la legislación ambiental para descarga al cuerpo de agua dulce. Por lo que se recomienda que la empresa implemente el estudio realizado para minimizar el impacto ambiental generado hacia el Rio Jurumbaino y sus alrededores.

**Palabras claves:** <EFLUENTES DEL PROCESO DE FAENA> <TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES> <TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO AMBIENTE [TULSMA]> <HUMEDAL ARTIFICIAL> <LECHUGUIN (*Eichhornia Crassipes*)> <FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO>

## SUMMARY

A treatment system for wastewater discharges generated in the process of slaughtering the Municipal slaughterhouse in Macas, Morona Santiago Province was designed; type composite samples, including small simple samples collected from 19:00 to 00:00 hours was taken; the initial characterization of the samples, identifies the parameters that are outside the permissible limit in the Standard of Environmental Quality Effluent Discharge: Water Resource, Book VI, Annex 1, Table 10 TULSMA, these being: Chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BOD), oil and fats, phosphates, total nitrogen, iron, suspended solids, settleable solids, total solids and fecal coliforms.

It proceeded to take two points flow based flow measurement structures according to point 1 spill area knockback, bleeding, cut legs, skinning and party channels. To perform treatability tests took into account the level of biodegradability which was 1.68, indicating that the effluent has very biodegradable organic contaminants nature that can be treated in a biological system. equipment for the respective treatment system according to the results of biological degradation are dimensioned effluent having: a system bars before unloading at point 1, channel, porous mesh grease trap moisture using artificial lechuguines (*Eichhornia crassipes*) and activated carbon filter. Validation sample with the characterization of wastewater obtained after treatability testing and removal percentages of the parameters are: 99.5 % COD, BOD 98.7 %, oils and fats 67.9 %, phosphate 99, 5 % Total nitrogen 95.8 %, 99.2 % suspended solids, settleable solids 100 %, 99.6 % total solids and 99,99 % fecal coliforms. With the proposal, the Municipal Slaughterhouse in Macas complies with the requirements established in environmental legislation.

It is recommended that the company implements the study to minimize the environmental impact in Jurambaino river and its surroundings.

**Keywords:** <SLAUGHTER PROCESS EFFLUENT> <INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT> <UNIFIED SECONDARY LEGISLATION ENVIRONMENTAL MINISTRY (TULSUMA)> <ARTIFICIAL MOISTURE> <LECHUGUIN (*EICHHORNIA CRASSIPES*)> <ACTIVATED CARBON FILTER TEXT>

## INTRODUCCIÓN

Actualmente la sociedad ha ido tomando mayor conciencia sobre la conservación del ambiente y de los recursos naturales, que se ha ido deteriorando por algunas prácticas y tecnologías tradicionales. La industrialización de la carne, ha permitido aumentar los niveles de consumo a nivel nacional y mundial, y con ello el aumento de residuos sólidos líquidos y gaseosos generados en las distintas etapas del proceso.

La faena de animales influye directamente en la producción de grandes volúmenes de agua residuales con alta carga contaminante que se origina por la degradación de la carga orgánica y son considerados como aguas peligrosas.

Esta es la razón por la que la legislación ambiental ha dado un giro muy notable controlando la descarga de vertidos industriales, con la finalidad de conseguir efluentes menos contaminantes se recurre a la implementación de sistemas de tratamiento de las aguas residuales, para así contribuir en la reducción de la contaminación ambiental y por consiguiente a mejorar la calidad del vertido y de la vida en el planeta.

El Camal Municipal de la Ciudad de Macas presta servicios de faena de porcinos y bovinos, para llevar a cabo estos procesos se requieren de distintos recursos, siendo el agua el más utilizado, es por esta razón que se genera grandes cantidades de vertidos, los cuales no reciben un tratamiento previo a su descarga lo que influye directamente en el equilibrio del ecosistema.

De acuerdo a los análisis realizados se ha demostrado que son aguas con alto contenido de materia biodegradables, es por esta razón que se utilizan procesos biológicos con humedales artificiales con la finalidad de reducir la carga contaminante y permitir que cumpla con los límites estipulados en la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, Libro VI, Anexo 1, Tabla 10 Límites de descarga a cuerpo de agua dulce, perteneciente al Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiente (TULSMA).

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1. Camal o Matadero

Según la ley de mataderos Art 2 N° 502- C, se define como “Mataderos o Camales Frigoríficos, al establecimiento dotado de instalaciones completas y equipo mecánico adecuado para el sacrificio, manipulación, elaboración, preparación y conservación de las especies de carnicerías bajo varias formas, con aprovechamiento completo, racional y adecuado de los subproductos no comestibles, cuando la cantidad justifique su aprovechamiento industrial. Poseerán instalaciones de frío industrial proporcionales a su tamaño”. (<http://www.epmrq.gob.ec/images/lotaip/leyes/lm.pdf>)

##### 1.1.1 *Camales en Ecuador*

Actualmente Ecuador cuenta con 200 mataderos aproximadamente, distribuidos el 38 % en la Costa, 45 % en la Sierra y el 17 % en la Amazonia y Galápagos; ubicados además el 81 % de mataderos en áreas urbanas, 7 % en semiurbanas y 12 % en zonas rurales. La mayor parte es propiedad y están administrados por los distintos municipios del país. (Ruiz, S. 2011).

##### 1.1.2 *Proceso de Faenamiento*

Es un proceso higiénico de distintos animales cuya finalidad es la obtención de carne para el consumo humano; que inicia con la recepción de las especies hasta el despacho de las canales.

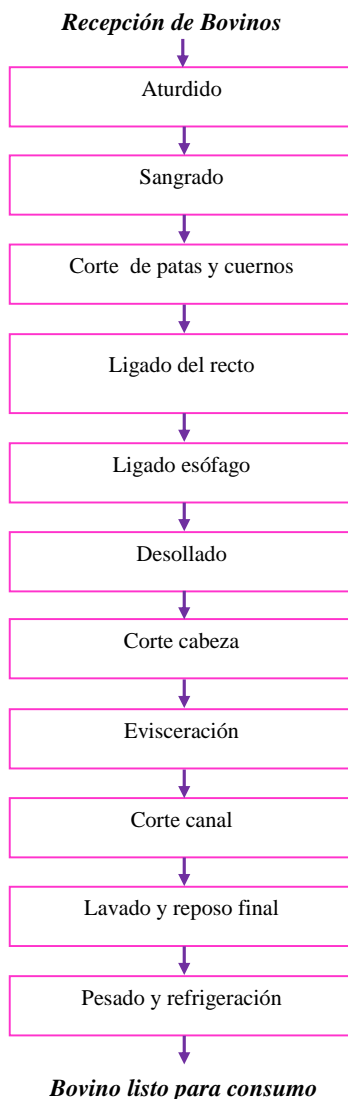
Las etapas de faenamiento dependen de la tecnología con la que cuenta la instalación, de la especie de animal que se va a faenar y de las demandas exigidas por el consumidor.

Las operaciones que influyen directamente en la calidad del producto final es en aturrido y el sangrado.



### 1.1.2.1 Sacrificio de Bovinos

A continuación se presenta un diagrama de proceso básico, que identifica cada operación que se lleva a cabo en la línea de sacrificio del bovino:



**Figura 1-1** Diagrama de proceso de la línea de sacrificio de bovinos

**Fuente:** (López, y otros, 2004)

**Realizado por:** Jael Chacha 2016

**Recepción de Bovinos:** Se recibe a los animales según documentación de Guía de Movilización emitido por AGROCALIDAD, los animales son identificados, pesados y ubicados en los corrales, para cumplir con las medidas sanitarias de prevención, durante el tiempo que determina la ley.

**Aturdido:** consiste en ocasionar la pérdida del conocimiento de los animales para facilitar y asegurar la labor de los operarios, antes de proceder a ser desangrados. Generalmente se les aplica un disparo con pistola neumática, descarga eléctrica y uso de puntillas.

Esto proceso se lo debe hacer lo más rápido posible para mejorar en desangrado y así proporcionar una carne baja en acidez.

**Sangrado:** una vez que el animal ha sido aturdido se procede a realizar el desangrado, este proceso consiste en el corte de las arterias carótidas y la vena yugular en la base del cuello, seccionando los vasos sanguíneos y así provocar la salida de la sangre y la muerte del animal.

**Corte de patas y cuernos:** una vez que ha sido aturdido y sangrado en animal, se procede al corte de las patas y cuernos antes de proceder al desollado; con ayuda de cuchillos o cizallas.

**Ligado de recto:** esta operación tiene la finalidad de la extracción del ano y en animales hembras se incluye el corte de la vulva.

**Ligado esófago:** consiste en la extracción del esófago para evitar la contaminación de la canal, y es atraído conjuntamente con el estómago.

**Desollado:** la finalidad de esta operación es descuerar, con precaución de no desgarrar músculos ni ocasionar cortes en el cuero.

La piel se retira en su totalidad con ayuda de procedimientos mecánicos o manualmente con cuchillos.

**Corte cabeza:** la cabeza es seccionada con ayuda de cuchillos, y una vez retirada la cabeza se procede a colgar para su posterior inspección veterinaria.

**Evisceración:** aquí su finalidad es separar del animal los órganos genitales, las vísceras blancas y rojas.

La evisceración consta a su vez de las siguientes operaciones:

- Apertura torácica y abdominal.
- Extracción vísceras abdominales y torácicas.
- Aspiración médula espinal.

**Corte canal:** consiste en el corte longitudinal con sierra eléctrica, a lo largo de la columna del animal, en dos partes; para llevar a cabo esta operación se lo hace de forma mecánica o manual.

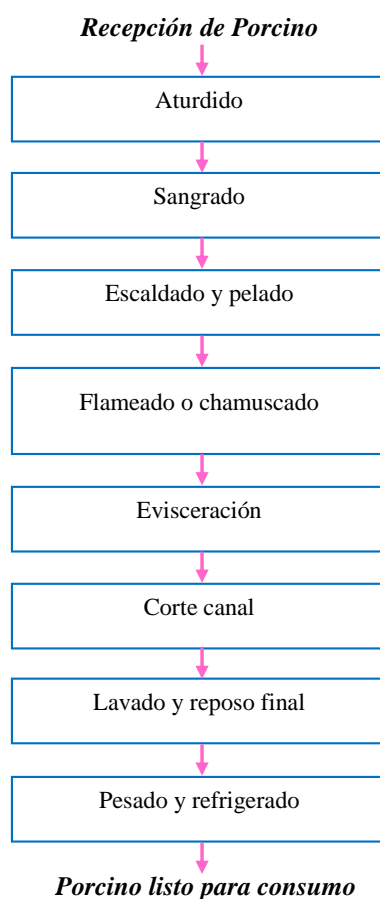
**Lavado y reposo final:** Obtenidas las canales o medias canales se procede a su limpieza con agua para eliminar restos de sangre, grasa y huesos de la canal, reduciendo el nivel de microorganismos que la contaminen de forma superficial. Se suele utilizar agua potable fría, sin determinar un volumen y tiempo de duchado.

Posteriormente, se realiza la correspondiente inspección veterinaria post mórtem, en la que se clasifican las canales en aptas o no aptas para el consumo y se las dejan reposar con la finalidad de estandarizar la presentación de las canales antes de pesarlas.

**Pesaje y refrigeración:** una vez concluido con la faena de las canales, eso son llevados a la báscula para realizar su respectivo pesado y ser llevadas a refrigeración para la conservación de los mismos.

#### 1.1.2.2 Sacrificio de Porcinos

A continuación se presenta el diagrama de proceso de la línea de operación de faena de porcinos:



**Figura 2-1** Diagrama de proceso de la línea de sacrificio de porcinos

Fuente: (López, y otros, 2004)

Realizado por: Jael Chacha 2016

**Recepción de Porcinos:** Al igual que para el ganado bovino, una adecuada estancia de los animales previa a su sacrificio influirá en la calidad de la carne. El estrés del cerdo ante mórtem tiene con demasiada frecuencia, repercusiones negativas en la calidad de la carne.

**Aturdido:** consiste en ocasionar la pérdida del conocimiento de los animales para facilitar y asegurar la labor de los operarios, antes de proceder a ser desangrados.

Esto proceso se lo debe hacer lo más rápido posible para mejorar en desagrado y proporcionar una carne baja en acidez.

**Sangrado:** Una vez realizado el aturdimiento, se procede inmediatamente al desangrado del animal. De no hacerse de esta forma, los vasos sanguíneos, que se habían dilatado durante el proceso del aturdimiento, se volverían a estrechar y la sangría sería incompleta.

**Escaldado y pelado:** esta operación tiene la finalidad de eliminar los pelos y la capa cornea de la epidermis, por lo que se requiere escaldar para ablandar la epidermis y así facilitar el desprendimiento con los pelos.

**Flameado o chamuscado:** es una operación complementaria al escaldado y pelado, ya que se carboniza los pelos restantes de la operación anterior.

Una de las ventajas que se da en esta fase, es que debido a las altas temperaturas con las que se trabajan se logran disminuir el número de gérmenes presentes en la superficie cutánea.

**Eviscerado:** consiste en la extracción de las vísceras abdominales y torácicas; se recomienda que la evisceración se haga lo más rápido posible ya que esta operación depende en gran parte de la posible contaminación de la canal, debido a que el animal una vez muerto aumenta la permeabilidad del aparato digestivo permitiendo la salida de microorganismos del mismo hacia los tejidos adyacentes provocando así contaminación.

**Corte canal:** esta operación se puede realizar antes o después de la extracción de las mantecas y consiste básicamente en la división en dos partes la canal, ya sea manual o mecánicamente.

**Lavado y reposo final:** se procede al lavado de los canales con la finalidad de eliminar la suciedad visible y las manchas de sangres, además mejorar su aspecto.

Posteriormente, se realiza la correspondiente inspección veterinaria post mórtem, en la que se clasifican las canales en aptas o no aptas para el consumo y se las dejan reposar con la finalidad de estandarizar la presentación de las canales antes de pesarlas.

**Pesaje y refrigeración:** una vez concluido con la faena de las canales, eso son llevados a la báscula para realizar su respectivo pesado y ser llevadas a refrigeración para la conservación de los mismos.

### 1.1.3 Aguas residuales

De acuerdo a la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, se define como agua residual a aquella agua de composición variable que ha sufrido degradación de su calidad inicial y que procede de descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos. (TULSMA, 2015).

#### 1.1.3.1 Tipos de aguas residuales

##### 1.1.3.1.1 Aguas residuales Domésticas

Son aguas producto de las actividades del ser humano, y el consumo de agua para sus procesos vitales, se identifican en todas las actividades del ser humano, su composición es variada de acuerdo al lugar y al aspecto socio económico de la población.



**Figura 3-1** Aguas residuales domésticas

Fuente: <http://osvyaguaysaneamiento.bligoo.com/>

##### 1.1.3.1.2 Aguas residuales Industriales

Son aguas que ha sido utilizada en procesos industriales y que han recibido subproductos contaminantes como efecto de ese uso. Su calidad es sumamente variable y prácticamente se requiere un estudio particular para cada industria. Además son enormemente variables en cuanto a caudal y composición, difiriendo las características de los vertidos, no sólo de una industria a otra, sino también dentro de un mismo tipo de industria.

Éstas tienen un mayor grado de contaminación que las aguas residuales urbanas, además, con una contaminación mucho más difícil de eliminar.



**Figura 4-1** Aguas residuales industriales

Fuente: <http://osvyaguaysaneamiento.bligoo.com/>

#### *1.1.3.1.3 Aguas residuales urbanas:*

Las aguas residuales urbanas presentan una cierta homogeneidad cuanto a composición y carga contaminante, ya que sus aportes van a ser siempre los mismos.

Pero esta homogeneidad tiene unos márgenes muy amplios, ya que las características de cada vertido urbano van a depender del núcleo de población en el que se genere, influyendo parámetros tales como el número de habitantes, la existencia de industrias dentro del núcleo, tipo de industria, etc.



**Figura 5-1** Aguas residuales urbanas

Fuente: <http://osvyaguaysaneamiento.bligoo.com/>

### 1.1.3.2 Aguas residuales de camal

El agua es un elemento indispensable para llevar a cabo los procesos de transformación y es requerida en todas las operaciones del proceso, en los camales se generan gran cantidad de aguas residuales, las mismas que dependen del tipo de planta, de su proceso de producción y del tipo de animal a faenar; generalmente presentan temperaturas un poco elevadas y contienen elementos patógenos, además de altas concentraciones de compuestos orgánicos y nitrógeno, incluyen además sangre que es la materia causante de mayor contaminación, pelos, estiércol, proteínas grasas, huesos y otros contaminantes, proporcionando el desarrollo de microorganismos y con ello la proliferación de malos olores por la descomposición de la materia orgánica.

Las aguas residuales de los mataderos son un alto activo para gérmenes, y a menudo contienen gérmenes patógenos. Desde el punto de vista higiénico epidemiológico, estas aguas deben considerarse peligrosas. Además los vertidos generados en la línea de producción proviene principalmente de las áreas como:

- Etapa de cuarentena
- Área de aturdimiento e izado
- Área de desangrado
- Área de degüello
- Área de eviscerado
- Área de lavado de vísceras y canales
- Limpieza de equipos y superficies

Un efecto de la disposición de residuos en los cuerpos de agua es que proporcionan el aumento de la demanda de oxígeno, facilitando a la eutrofización inclusive llegar a crearse condiciones anaeróbicas.

La carga contaminante se caracteriza por el elevado contenido de materia orgánica de elevada biodegradabilidad (elevada DQO y DBO5), presencia de sólidos en suspensión, aceites y grasas, compuestos nitrogenados, además existe una contaminación bacteriana. Entre los vertidos con un riesgo de primer nivel cabe destacar los siguientes:

- Vertidos de sangre, debido a su alta carga orgánica
- Vertidos con alta carga orgánica y contenido en sólidos procedentes de procesos llevados a cabo por vía húmeda (escaldado, lavado canales, etapa de cuarentena).
- Vertidos procedentes de labores de limpieza de equipos e instalaciones, con alta carga orgánica (incluyendo sólidos), presencia de detergentes y desinfectantes.

De acuerdo a lo indicado anteriormente, el proceso de faenamiento produce cantidades significativas de efluentes líquidos por lo tanto constituyen su principal fuente de contaminación. Las descargas líquidas generadas en este tipo de proceso se caracterizan principalmente por contenido elevado de DBO y DQO por la materia orgánica, hierro por la presencia de sangre y nitrógeno debido a las proteínas que se presentan.

Los parámetros más significativos de las aguas residuales generadas en un Camal en general son:

**Tabla 1-1** Concentraciones de los parámetros significativos de Camales

<b>Parámetro</b>	<b>Concentración (mg/l)</b>
DBO5	1800 – 2500
DQO	4000 – 6000
Solidos suspendidos	1500 – 3000
Grasas	100 – 200
Nitrógeno total	250 -500
Fosforo	20 – 30

**Fuente:** (González, 1995)

**Realizado por:** Jael Chacha

Estos son valores que varían en función de la periodicidad del sistema de lavado, de los sistemas de filtrado, del tipo de ganado sacrificado, de vaciado y lavado de las tripas y estómagos, etc.

#### *1.1.3.2.1 Composición general de aguas residuales*

Los efluentes generados en la faena de animales son principalmente aguas de lavado, con contenidos de sangre y algunas partículas gruesas de cueros y huesos y en el caso de procesamiento de porcinos, son aguas calientes con gran cantidad de pelo. Además la relación promedio de DQO: DBO5: N en un camal es de 12:4:1.

A continuación se exponen las características generales de aguas residuales de cada etapa del proceso de sacrificio:

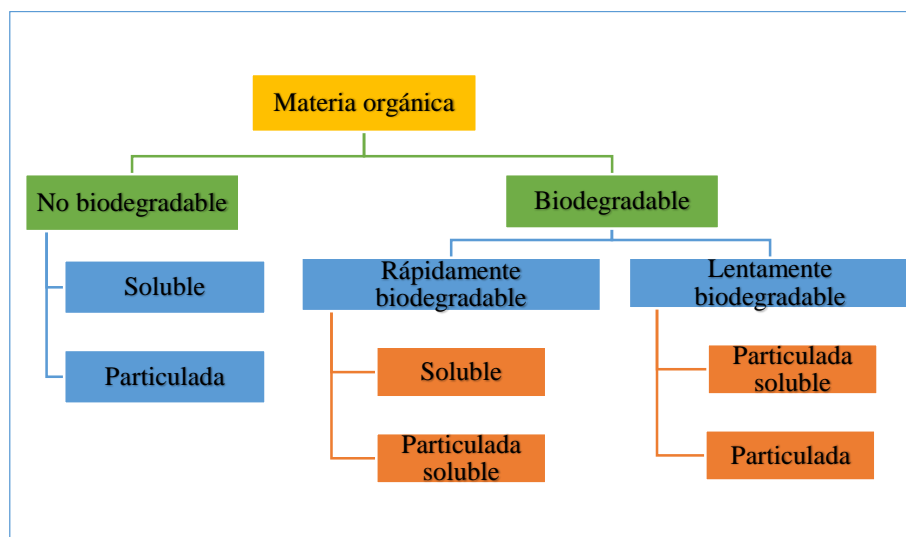
- **Recepción de animales:** las aguas contienen principalmente desinfectantes y materia orgánica procedentes de la orina y estiércol.
- **Estabulación:** aguas residuales con alto contenido de compuestos nitrogenados debido a la gran presencia de orina y estiércol.
- **Aturdido:** hay gran presencia de orina originando aguas con alto contenido de compuestos nitrogenados.



- Desangrado: debido al contenido de sangre se obtiene aguas con gran cantidad de materia orgánica. Teniendo la sangre del animal un DBO de 200000 mg/l.
- Escaldado (porcino): las aguas residuales originadas en esta etapa obtienen gran cantidad de sólidos en suspensión, sangre, proteínas, grasa, excremento y otros compuestos orgánicos.
- Depilado (porcino): se caracteriza principalmente por ser un agua con temperaturas altas, además lleva restos de pelos incrementando por lo tanto la materia orgánica (DBO y DQO).
- Chamuscado (porcino): las aguas residuales generadas en esta etapa se caracterizan por tener elevada carga orgánica por la presencia de pelos, escamas de piel, etc.
- Eviscerado y lavado: aguas con alto contenido de carga orgánica.
- Triperías: las aguas residuales en esta etapa presentan gran cantidad de materia orgánica y grasas.
- Lavado: esta agua se distingue por el contenido de sustancias orgánicas, grasas, detergentes y desinfectantes.
- Biodegradabilidad elevada.

La valoración de los parámetros de DQO y de DBO<sub>5</sub> puede estimarse de 200000 mg/l y de 80000 mg/l respectivamente, en vertidos generados por la faena de bovinos y porcinos.

Los vertidos de la industria cárnica son efluentes de carácter altamente orgánico, cabe recalcar que la materia orgánica de las aguas residuales puede dividirse según su biodegradabilidad como se muestra en la Figura 6-1.



**Figura 6-1** Subdivisión de la materia orgánica en las aguas residuales

Fuente: (Osorio, y otros, 2010)

### 1.1.3.2.2 Origen de las aguas residuales

Considerando su origen y el tipo de contaminante, los vertidos de aguas residuales que se generan en los camales, es la siguiente:

**Tabla 2-1** Origen de los vertidos en los Camales

Origen del vertido	Definición	Características
Aguas de limpieza de instalaciones y equipos	Son aguas residuales generadas en operaciones de limpieza de equipos e instalaciones.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH variados</li> <li>• Sólidos en suspensión</li> <li>• Materia orgánica</li> <li>• Aceites y grasas</li> <li>• Detergentes.</li> </ul> <p>Se estima que entre el 25% - 55% del total de la carga contaminante de los vertidos de los mataderos, medida en DBO5, son arrastradas por las aguas de limpieza.</p>
Aguas procedentes de aseos y sanitarios	Son aguas generadas en las instalaciones adicionales de la planta de faenamiento, como por ejemplo áreas de aseo del personal, área de servicios higiénicos entre otros.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materia orgánica</li> <li>• Sólidos en suspensión</li> <li>• Amoniac</li> <li>• Detergentes</li> </ul>
Aguas pluviales	Son aguas de lluvia que fluye a través de la superficie de la tierra, llevando consigo una variedad de contaminantes y sedimentos de la tierra.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólidos en suspensión</li> <li>• Materia sedimentables.</li> </ul>
Aguas del escaldado y lavado	Son aguas que se generan es la operación de escaldado de porcinos y el lavado tanto de vísceras como del animal ya sea porcino y bovino.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólidos en suspensión</li> <li>• Materia orgánica</li> </ul>

**Fuente:** (Industrial, 2008)

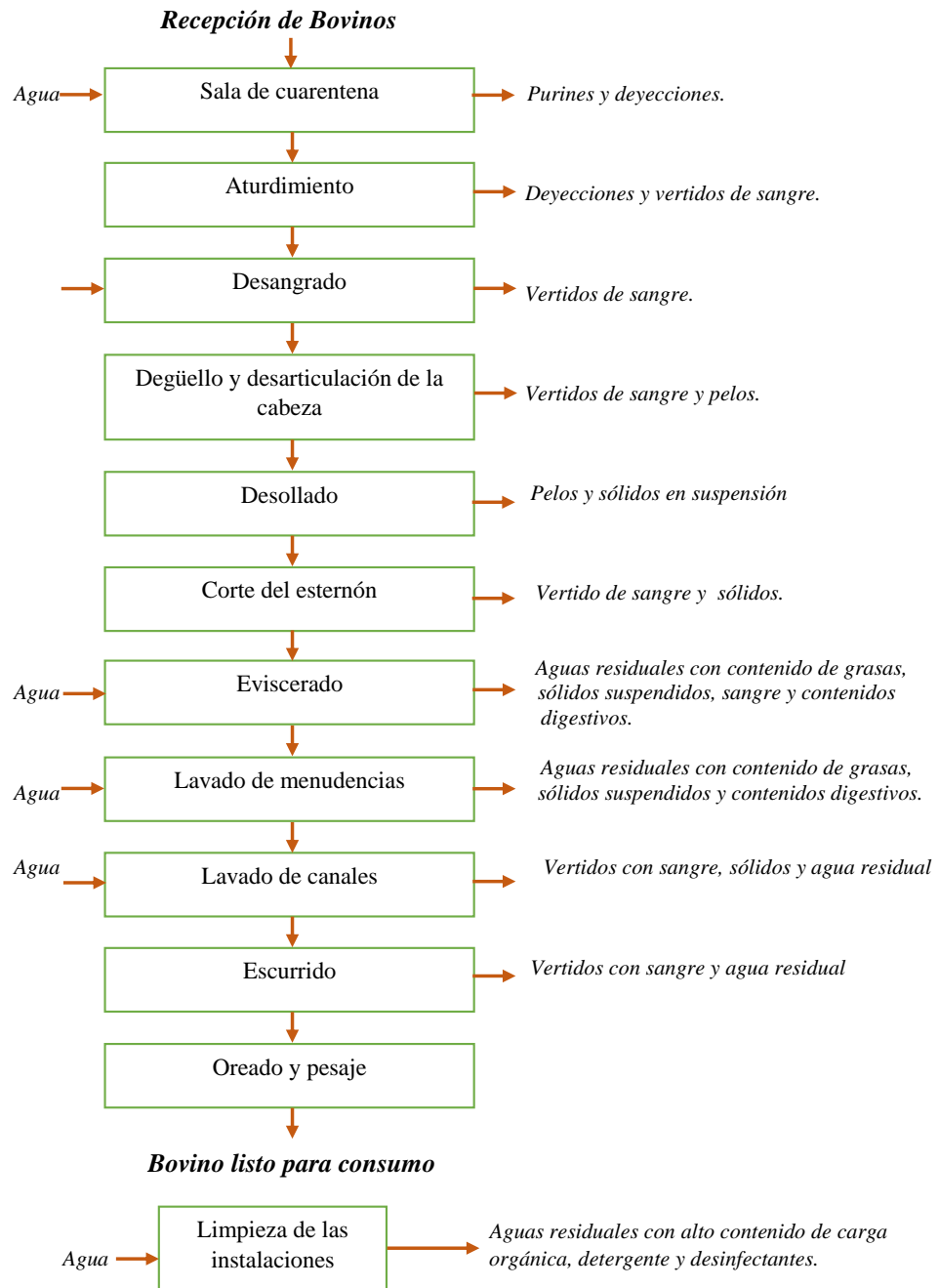
**Realizado por:** Jael Chacha 2016

### 1.1.3.2.3 Generación de aguas residuales en el proceso de faenamiento

La generación de vertidos de aguas residuales, se deriva fundamentalmente de la operación de escaldado y lavado de canales, así como de la limpieza de equipos e instalaciones. Estas aguas tienen una carga orgánica y de nutrientes significativa, con un contenido importante de sólidos en suspensión, grasas y aceites.

### 1.1.3.2.3.1 Faena de bovino

Los vertidos que se generan en la faena de ganado bovino se indican junto a cada una de las operaciones que generan dichos efluentes líquidos en el siguiente diagrama:



**Figura 7-1** Diagrama de faena de Bovinos y sus vertidos

Realizado por: Jael Chacha 2016

- **Sala de cuarentena**

En el área de cuarentena o estabulación, se producen cantidades importantes de purines y deyecciones siendo estos, factores que contribuyen a la contaminación de las aguas con contenidos nitrogenados.

- **Aturdimiento**

La principal característica de esta operación es la pérdida de sensibilidad del animal, la misma que va a permitir que en animal genere gran cantidad de orinas o deyecciones, lo que conlleva a una contaminación del agua con compuestos nitrogenados.

- **Desangrado**

Pese a los métodos de recolección de sangre, hay pérdidas por goteo, confiriéndole al agua un alto contenido de materia orgánica y nitrogenada. La eliminación de la sangre del efluente es la medida correctora más importante para disminuir la contaminación de las aguas residuales que se generan en los camales.

- **Degiello y desarticulación de la cabeza**

Debido al degiello y la desarticulación de la cabeza se generan pelos y sangre por goteo, que son arrastradas para formar parte del vertido final.

- **Desollado**

En esta etapa se generan vertidos con alta carga orgánica y alto volumen, al ser una operación de pelado de la res el vertido contendrá gran cantidad de pelo y sólidos en suspensión. Además debido a la característica de la operación anterior el agua arrastrará residuos orgánicos como sangre y grasa superficial.

- **Corte del esternón**

El corte del esternón se lo realiza con una cierra eléctrica lo que genera la caída de sólidos y sangre por goteo, que son arrastrados en la limpieza de las instalaciones, siendo así parte del vertido final.

- **Eviscerado**

En esta fase se produce un vertido con gran cantidad de sólidos en suspensión tales como trozos de vísceras, grasas, sangre y contenidos digestivos. El volumen generado en esta fase es bajo en comparación con el resto de las fases.

- **Lavado de menudencias**

Es esta etapa el consumo de agua es mayor que en las anteriores, es por esta razón que se genera altos volúmenes de aguas residuales que se caracteriza por su gran concentraciones de materia orgánica y sólidos en suspensión

- **Lavado de canales**

Las aguas residuales de esta etapa se caracteriza por sus contenidos de sangre, grasa y huesos, además se generan altos volúmenes de vertido.

- **Ecurrido**

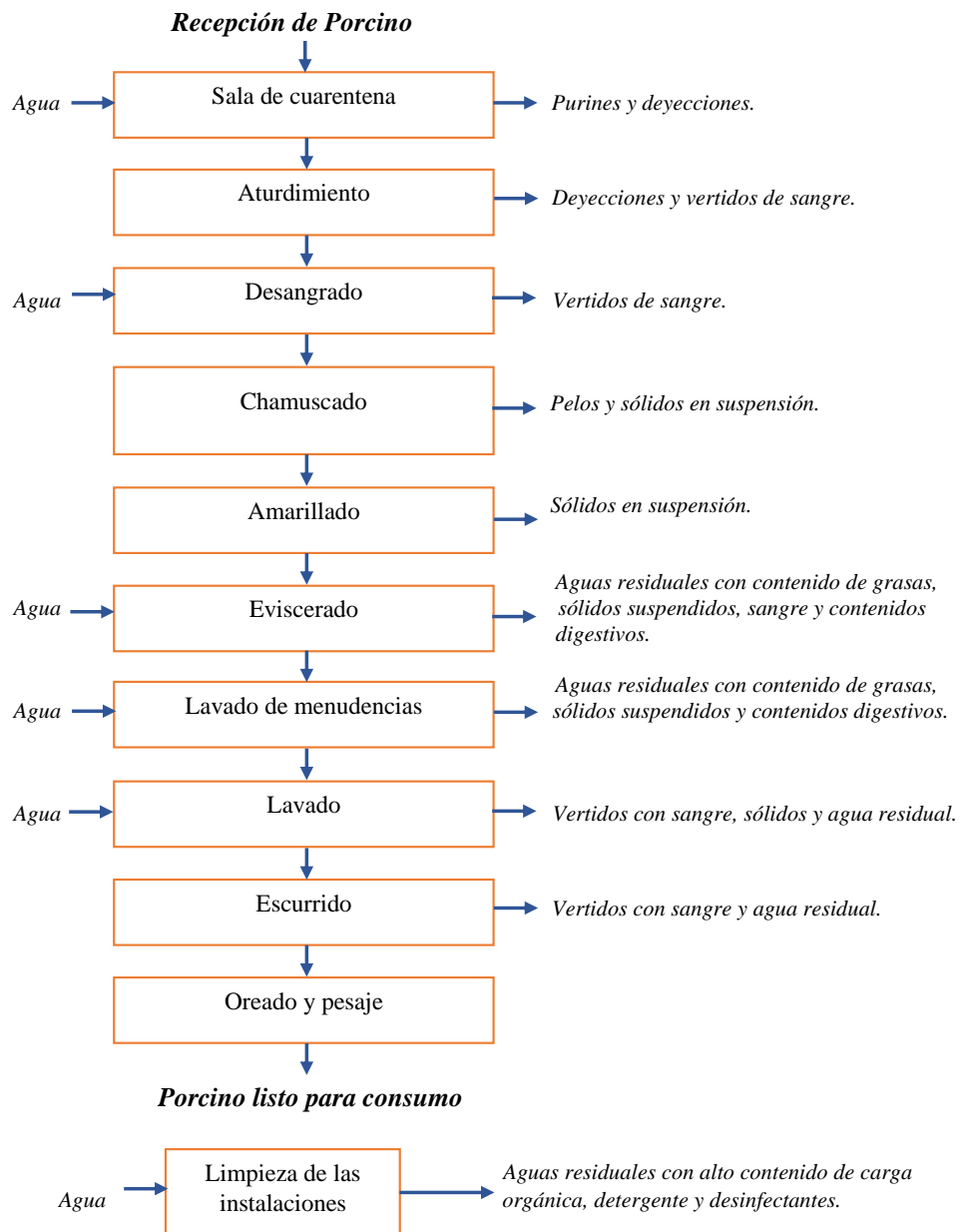
Son mínimas cantidades de aguas residuales que se dan por goteo, que traen consigo sangre y grasa principalmente, además en menos concentración sólidos en suspensión.

- **Limpieza de las instalaciones**

La limpieza de las instalaciones genera un vertido con elevada carga orgánica y de alto volumen. Además presentan concentraciones significativas de detergentes y desinfectantes que pueden afectar en el tratamiento posterior (pueden formar espumas).

#### *1.1.3.2.3.2 Faena de porcino*

Los efluentes líquidos producidos debido a la faena de porcinos se indican a continuación:



**Figura 8-1** Diagrama de faena de Porcinos y sus vertidos

Realizado por: Jael Chacha 2016

- **Sala de cuarentena**

En esta etapa las aguas residuales contiene principalmente restos de productos de limpieza con resto orgánicos procedentes de la orina y deyecciones de los animales. Además la gran contaminación que generan los vertidos en esta etapa se da debido al lavado que se da al porcino para quitar la suciedad adherida a la piel.

- **Aturdimiento**

Los vertidos que se genera en esta etapa se caracterizan por el contenido de compuestos nitrogenados, debido a la presencia de orinas y deyecciones.

- **Desagrado**

Se originan vertidos con gran contenido de sangre, factor que contribuye en las concentraciones elevadas de carga orgánica y nitrogenada presente en el vertido final.

- **Chamuscado**

En esta etapa no se usa directamente agua, sino un soplete para chamuscar el cuero del porcino lo que genera sólidos en suspensión y pelos que son enviados a los canales adheridos para formar parte del vertido final.

- **Amarillado**

Se generan gran cantidad de sólidos suspendidos que va directamente a formar parte del vertido final.

- **Eviscerado**

Las aguas residuales generadas en esta etapa se caracterizan por tener gran cantidad de carga orgánica.

- **Lavado de menudencias**

En esta etapa se obtienen aguas residuales con gran cantidad de materia orgánica y grasas que se generan en el raspado de la tripa al eliminar la capa de mucosa y serosa de los intestinos.

- **Lavado**

Se genera gran cantidad de aguas residuales que contienen sangre, grasa y sólidos en suspensión.

- **Ecurrido**

El volumen de vertidos que se generan son pequeños, y se caracterizan por su contenido de sangre, grasa y sólidos en suspensión.

- **Limpieza de las instalaciones**

Es una de las etapas en las que se generan la mayor cantidad de aguas residuales, la misma que se caracteriza por gran cantidad de materia orgánica, sólidos en suspensión y grasas, además se presentan concentraciones de detergentes y desinfectantes.

#### 1.1.3.2.4 Características de las aguas residuales

Las aguas residuales de camales tiene un contenido de materia orgánica comprendido entre 1,5 y 2,2 g/l de DBO y nitrógeno en concentraciones que van de 120 a 180 mg/l; y los principales parámetros que definen las características químicas de los vertidos que se generan en los camales son:

**Tabla 3-1** Principales parámetros químicos de las aguas residuales del camal

Parámetro	Principales fuentes
Materia orgánica	Sangre, aguas de escaldado, contenidos estomacales, estiércol.
Sólidos en suspensión	Restos de carne, estiércol, contenidos estomacales, pelos.
Aceites y grasas	Aguas de escaldado y lavado de canales.
Amonio y urea	Estiércol y sangre.
Fosfatos, nitrógenos y sales.	Sangre, estiércol, productos de detergentes y desinfectantes, contenidos estomacales.
Detergentes y desinfectantes	Productos detergentes y desinfectantes.
Conductividad eléctrica	En los camales con tratamiento y preparación de las tripas podría haber elevada conductividad si se perdieran cantidades importantes de la sal que se usa para salar estas o si se salaran pieles del vacuno sacrificado.

**Fuente:** (Industrial, 2008)

**Realizado por:** Jael Chacha

Además según la naturaleza de las impurezas, las aguas residuales se caracterizan por:

- Naturaleza física

El tamaño de los materiales físico que contienen este tipo de aguas residuales es muy diverso, pudiendo encontrar partículas sólidas grandes que flotan o pequeñas que se hunden y viceversa, además otras que por su naturaleza se presentan en forma coloidal.

Este tipo de partículas están conformadas por restos de huesos, pelos, colágeno, pellejos entre otros; que generalmente se recomienda eliminar antes de que las aguas ingresen a la etapa secundaria del tratamiento, por lo que normalmente se utiliza sistema de rejillas o trampas.



- Naturaleza química

Las impurezas coloidales y disueltas en las aguas residuales se dividen en orgánicas e inorgánicas. Las impurezas orgánicas se caracterizan por el alto contenido de sustancias de carbohidratos y compuestos nitrogenados.

Los contaminantes con pH elevado o muy bajo, influyen en la fauna acuática y los microorganismo, por lo que es recomendable regular la acides y la alcalinidad del agua.

Otro problema de gran importancia es la que generan las aguas de la limpieza de las instalaciones, ya que la presencia de desinfectantes y detergentes influye en la degradación por parte de las bacterias haciendo que la misma sea demasiado lenta.

- Naturaleza biológica

Los agentes contaminantes de las aguas residuales de los camales son de carácter orgánico y logran descomponerse por medio de la degradación biológica.

#### *1.1.3.2.4.1 Características organolépticas*

**Color:** Las aguas presentan una tonalidad variable que depende de diversas circunstancias principalmente del tipo de materia vegetal que se encuentra disueltas en ella. Además este parámetro constituye una característica de orden estético y su acentuada concentración puede causar cierto rechazo.

Se clasifica al color como aparente y verdadero; el color aparente es producido por un material en suspensión y el color verdadero se obtiene después de remover la turbiedad. Cuando hay turbidez, el agua presenta un color evidente y para obtener el color verdadero se recurre a algún mecanismo técnico.

**Olor:** La presencia de compuestos químicos, como los fenoles, cloro, materias orgánicas en descomposición o ciertos organismos causan distintos olores en el agua. Cuando los olores son fuertes o desagradables se debe a la liberación de esencias en pequeñas cantidades por organismos vivos como hongos y algas presentes en el agua.

#### *1.1.3.2.4.2 Características físicas*

**Sólidos:** Uno de los parámetros más significativos del grado de contaminación del agua residual es la cantidad de material sólido que contiene una muestra de la misma.

- *Sólidos totales.* Los sólidos totales se definen como el residuo después de evaporación a 103-105 ° C del agua y constituyen el contenido de partículas contaminantes. Se expresa en mg/l. Los sólidos totales se dividen en sólidos disueltos y sólidos suspendidos. (Cerro, 2014, <http://www.olivacordobesa.es/COMPOSICON%20CUALITATIVA%20AGUAS%20RESIDUALES.pdf>)
- *Sólidos disueltos.* Los sólidos disueltos se encuentran principalmente en el agua como sales y gases. Se determinan a través del filtrado de una muestra de agua. Además incluyen coloides que son de tamaño 0.001 a 1 µm. Se expresa en mg/l.
- *Sólidos disueltos fijos y disueltos volátiles.* La muestra filtrada se somete a 600 °C en una mufla obteniéndose un residuo el cual representa a los sólidos disueltos fijos. Por diferencia se determinan los sólidos disueltos volátiles. Se expresa en mg/l.
- *Sólidos suspendidos.* La presencia de sólidos suspendidos indica el contenido de sólidos heterogéneos que lleva el agua; además indica contaminación orgánica o inorgánica, pero en el caso de camales son fundamentalmente contaminación orgánica.
- *Sólidos suspendidos fijos y volátiles.* Los sólidos suspendidos fijos y suspendidos volátiles se determinan de forma análoga a los sólidos disueltos fijos y disueltos volátiles. Se expresa en mg/l.
- *Sólidos sedimentables.* Es aquel material que se sedimenta en el fondo de un recipiente conforme en el transcurso de una hora. Se expresan en ml/l medidos en el cono Imhoff.

**Turbiedad:** Se define como turbiedad a la presencia de impurezas que se encuentran suspendidas en el agua que dificultan el paso de la luz. Las impurezas pueden ser material en suspensión y/o material coloidal. Se utiliza el aparato conocido como nefelómetro o turbidímetro que mide la intensidad de la luz a 90 grados. Se expresa en NTU.

**Temperatura:** La temperatura influye en la viscosidad y en la cinética de las reacciones químicas. El aumento de temperatura tiene un efecto directamente proporcional en la solubilidad y la actividad metabólica de los microorganismos. Se expresa en °C.

**Conductividad:** El agua pura no presenta conductividad, pero la presencia de las sales disueltas en ella, puede presentar un carácter conductor, es por esta razón que la conductividad da una idea del contenido de sales en el agua. Además se considera como una medida indirecta de los sólidos disueltos. Se expresa en micromhos/cm o Siemens/cm.

#### 1.1.3.2.4.3 Características químicas

**Potencial de hidrógeno:** El pH es un parámetro que determina las condiciones ácidas y básicas en el agua. Su medición se realiza a través de un instrumento electrónico denominado pH metro.

- **Acidez:** Las aguas que presentan un pH inferior a 8,5 son consideradas como ácidas. Los vertidos industriales muestran acidez mineral debido a la presencia de ácidos fuertes.
- **Alcalinidad:** La alcalinidad puede definirse como la presencia de sustancias de naturaleza básica en el agua. Contribuyen a la alcalinidad los iones bicarbonato, carbonato y oxhidrilo asociados con los iones Na, K, Ca y Mg. Se le conoce también como dureza que se expresa en mg CaCO<sub>3</sub>/l.

**Componentes orgánicos:** Aquellos que proceden de materia orgánica, vegetal y/o animal, pertenecen a este grupo las proteínas, los carbohidratos, los aceites y las grasas. También se incluyen a las moléculas orgánicas sintéticas como los agentes tenso-activos y a los fenoles, que son responsables del olor y sabor desagradable de las aguas.

- *Carbohidratos.* Los carbohidratos son sustancias biodegradables que se encuentran en forma de azúcares, almidones, celulosas, fibras, entre otras. Se expresa en mg/l.
- *Aceites y grasas.* Los aceites y las grasas son compuestos presentes en las aguas residuales provenientes de camales debido al contenido de grasa del animal. La presencia de grasas en el agua puede impedir procesos biológicos importantes como fotosíntesis, respiración y transpiración de algunos seres vivos. Se expresa en mg/l.

**Componentes inorgánicos:** Aquellos compuestos de origen mineral que pueden presentarse en las aguas residuales como sales minerales, lodos, gravas, arcillas, arenas, sulfatos, cianuros, etc.

- *Nitrógeno total Kjeldalh.* es la suma del nitrógeno orgánico más el nitrógeno amoniacal producto de la descomposición del nitrógeno orgánico. Es uno de los nutrientes más importantes del agua pero si sus concentraciones son elevadas impide la vida piscícola. Su medición se expresa en mg/l.
- *Fósforo.* Es un compuesto indispensable junto con el nitrógeno para el crecimiento de microorganismo. Igualmente es causante de la eutrofización debido a que está presente en la materia orgánica. Su medición se expresa en mg/l.

**Indicadores de contaminación orgánica:** Se les considera a los parámetros que determinan el contenido de materia orgánica de una muestra de agua. Se aprovecha la capacidad de algunas sustancias de combinarse con el oxígeno.

- *Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).* Determina la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos (bacterias principalmente) para degradar, oxidar, estabilizar, etc. la materia de contenido orgánico. se expresan en mg/l de oxígeno consumido.
- *Demanda química de oxígeno (DQO).* Mide la materia orgánica oxidada utilizando un agente químico como oxidante que es el dicromato de potasio,  $K_2Cr_2O_7$ . Indica la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación de los compuestos químicos presentes en el agua. Se expresa en mg/l.
- **Índice de biodegradabilidad**

Se llama biodegradabilidad la capacidad que tiene la materia orgánica a sufrir la degradación de una materia orgánica bajo la acción de los microorganismos que viven en el medio receptor de esta materia. (<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/6024/Article03.pdf>)

**Tabla 4-1** Índice de biodegradabilidad

Relación	Información
$DBO/DQO < 0,2$	Contaminantes de naturaleza no biodegradable, tratamientos físicos-químicos.
$DBO/DQO > 0,4$	Contaminantes de naturaleza biodegradable
$DQO/DBO = 1,5$	Materia orgánica muy degradable.
$DQO/DBO = 2$	Materia orgánica moderadamente degradable.
$DQO/DBO = 10$	Materia orgánica poco degradable.
$DQO/DBO_5 < 2,5$	Efluente o compuesto biodegradable, pudiéndose utilizar sistemas biológicos como lodos activados o lechos bacterianos.
$2,5 < DQO/DBO_5 < 5$	Biodegradable siendo recomendable el empleo de lechos bacterianos.

**Fuente:** (Cisterna & Peña, 2015, <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf>)

**Realizado por:** Jael Chacha 2016

- *Oxígeno disuelto.* El oxígeno disuelto representa la concentración de oxígeno medida en el agua. Este parámetro indica la cantidad de material procedente de la descomposición de

vegetación, el crecimiento microbiano y sus actividades metabólicas, y también de compuestos químicos.

#### *1.1.3.2.4.4 Características biológicas*

Los aspectos biológicos envuelven el conocimiento de los microorganismos más importantes que se encuentran en aguas residuales y que son perjudiciales para la salud como son las bacterias, virus, algas, hongos y algunos protozoos.

Debido a la amplia gama de agentes patógenos presentes en las aguas se tomó como indicador de la calidad bacteriológica del agua, a un grupo de microorganismos denominados bacterias coliformes.

- **Indicadores de contaminación fecal**

Los métodos bacteriológicos para la detección de bacterias coliformes son la técnica de filtro membranas y la técnica de tubos múltiples de fermentación; ambas técnicas se encuentran estandarizadas al igual que los métodos de muestreo y análisis. Se expresan en UFC/100ml.

- *Coliformes totales*: Estas bacterias son Gram negativas aeróbicas y anaeróbicas facultativas, de forma redonda y que no forman esporas.
- *Coliformes fecales*: En su gran mayoría son *Escherichia coli* y algunas especies de *Klesbiella*. Además son capaces de tolerar altas temperaturas y se reproducen en gran cantidad por condiciones favorables de pH, temperatura, etc.

## **1.2 Muestreo de aguas residuales.**

El muestreo de aguas se define como la técnica en la cual se toma una cantidad representativas de una masa total de agua, cuya finalidad es realizar los análisis para determinar las características físicas, químicas y biológicas que la misma presenta.

### *1.2.1 Tipos de muestras*

Dependiendo de la necesidad y del tipo del agua que se muestrea, existes dos clases de muestras que se pueden tomar:

- **Muestras simples**

Este tipo de muestra proporciona información sobre la calidad en un punto y momento tomado.

Se usan generalmente cuando:

- Flujo de agua es intermitente
- El caudal y la composición son parcialmente constante
- Cuando las muestras compuestas ocultan condiciones extremas del agua como la temperatura y el pH.

El volumen a considerar para este tipo de muestras es de 1 a 2 litros, además son preferibles para el análisis de temperatura, cloro, alcalinidad, grasas y aceite, coliformes, oxígeno disuelto y pH.

- **Muestras compuestas**

Son muestras que se caracterizan por ser la composición de varias muestras simples tomadas en el mismo lugar pero en diferentes tiempos.

La cantidad de muestra simple debe ser proporcional al flujo del caudal en el momento que la muestra fue tomada y para que la muestra compuesta sea preparada es necesario conocer la cantidad requerida de muestra simple por lo que se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$V_i = \frac{Q_i \times V}{Q_p \times N_o}$$

**Ecuación 1**

Donde:

$V_i$ = Volumen de cada alícuota de cada muestra (mL)

$Q_i$ = Caudal instantáneo de cada muestra (m<sup>3</sup>/s)

$Q_p$ = Caudal promedio durante el periodo de muestreo (m<sup>3</sup>/s)

$N_o$ = Numero de muestras que se van a tomar para construir la muestra compuesta

$V$ = volumen final total de la muestra compuesta (mL)

### **1.2.2 Toma de muestra**

La muestra que se toma para la respectiva caracterización debe ser representativa en volumen, por lo que lo más recomendable es 2 litros de muestra y para su toma se debe tomar en cuenta la variación del caudal y carga contaminante.

Para evitar datos erróneos de los distintos parámetros a analizar se debe evitar la contaminación de la muestra, por lo que es recomendable utilizar envases (de plástico o vidrio) esterilizados el cual tiene un espacio alrededor de 1 % de su capacidad para permitir la expansión térmica.

### **1.2.3 Conservación de muestras**

Con la finalidad de reducir al máximo la posible volatilización o biodegradación de la muestra, la misma se debe mantener a la menor temperatura posible de 4 °C sin que llegue a congelarse.

Se recomienda que se realicen los más pronto posibles los distintos análisis de las muestras; además se hace uso de conservantes químicos solo si se ha demostrado que no van a influir en los resultados.

## **1.3 Teoría de vertederos**

Pueden ser definidos como simples aberturas, sobre los cuales fluye un líquido. El término se aplica también a obstáculos en el paso de la corriente y a las excedencias de los embalses. Los vertederos son orificios sin el borde superior que tiene las siguientes ventajas en la medición del agua:

- Precisión en los aforos
- La construcción de la estructura es sencilla
- No se obstruyen por materiales que flotan en el agua
- El tiempo de vida útil es relativamente larga

Son utilizados en la medición del caudal de pequeños cursos de agua y conductos libres, así como en el control del flujo en galerías y canales.

### **1.3.1 Tipos de vertederos**

Existen distintas clases de vertederos:

- **Vertedero triangular**

Son vertederos cuya abertura es triangular y permite obtener medidas más precisas de las alturas de carga correspondientes a los caudales reducidos.

Con la fórmula de Thomson se determina el caudal:

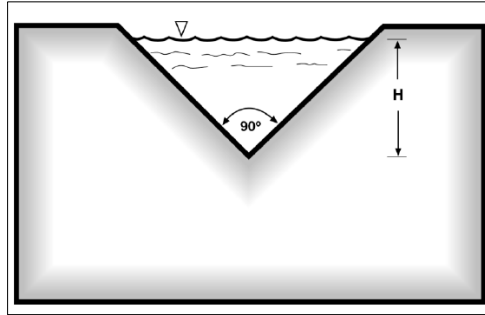
$$Q = 1,4 \times H^{5/2}$$

## Ecuación 2

Donde:

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

H: Carga del vertedero (m)



**Figura 9-1** Vertedero triangular

Fuente: (Lux, 2010)

- **Vertedero circular**

Este tipo de vertederos son usados en caso especiales, una de las ventajas es la facilidad de construcción.

Para esta clase de vertedero De Azevedo y Acosta plantean la siguiente ecuación para determinar el caudal:

$$Q = 1,518 \times D^{0,693} \times H^{1,807}$$

## Ecuación 3

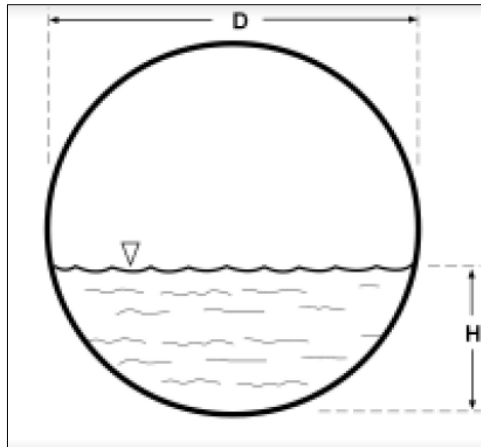
Donde:

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

D: Diámetro del vertedero (m)

H: Carga del vertedero (m)





**Figura 10-1** Vertedero circular

Fuente: (Lux, 2010)

- **Vertedero trapezoidal**

Se caracteriza por tener una forma trapezoidal la abertura; presenta desventaja en cuanto a su construcción puesto que es más dificultosa, por lo que es uno de los vertederos menos utilizados.

Para determinar el caudal se utiliza la fórmula de Francis que se indica a continuación:

$$Q = 1,859 \times L \times H^{3/2}$$

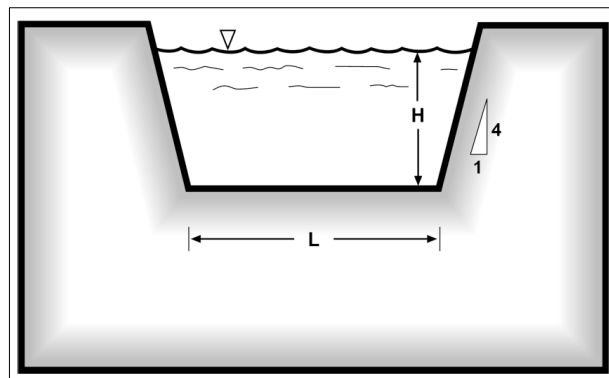
**Ecuación 4**

Donde:

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

L: Ancho de la cesta (m)

H: Carga del vertedero (m)



**Figura 11-1** Vertedero trapezoidal

Fuente: (Lux, 2010)

- **Vertedero rectangular**

Es uno de los vertederos más fáciles de construir y además es el más usado. Las lecturas que se toman en este tipo de vertederos presentan errores que varían entre de 3-5 %

Francis presenta la siguiente ecuación para calcular el caudal:

$$Q = 1,84(L - 0,2H)H^{3/2}$$

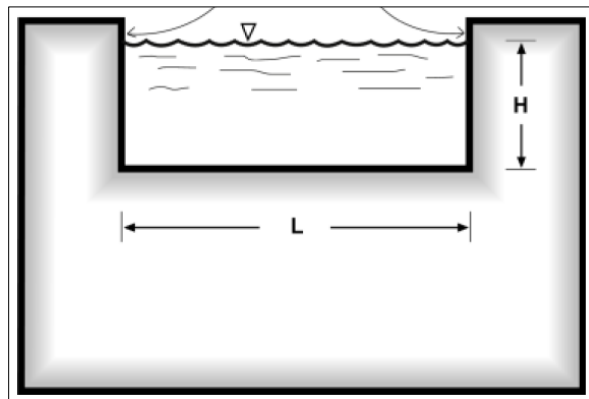
**Ecuación 5**

Donde:

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

L: Ancho de la cesta (m)

H: Carga del vertedero (m)



**Figura 12-1** Vertedero rectangular

Fuente: (Lux, 2010)

## 1.4 Medición de caudales

Se define al caudal como la cantidad de volumen de líquido que pasa por una sección normal de una corriente de agua en una unidad de tiempo. (Cadavid, 2006)

La finalidad de la medición de caudal es conocer la cantidad promedios de los contaminantes presentes en el agua residual durante la producción.

### 1.4.1 Métodos para medición de caudales

Distintos son los métodos que existen para la medición de caudales, los mismos que dependen de la calidad y cantidad de los registros de caudales necesarios en un estudio hidrológico.

A continuación se describen los distintos métodos:

#### 1.4.1.1 Método volumétrico

Utilizado netamente cuando los caudales son pequeños, como son los de surcos de riego o pequeñas acequias.

Para su determinación se requiere de un depósito (balde) de volumen conocido; en el cual se toma en cuenta el tiempo que tarda en llenar el mismo. Se recomienda realizar varias veces la determinación de tiempos, con la finalidad de obtener un valor promedio de caudal.

Mediante la siguiente ecuación se determina el caudal una vez conocido el tiempo y el volumen

$$Q = \frac{V}{t}$$

**Ecuación 6**

Donde:

Q: Caudal (l/s)

V: Volumen conocido (l)

t: tiempo que tarda en llenar el depósito (s)

#### 1.4.1.2 Método del flotador

Este método da resultados aproximados, se utilizan para canales y acequias; y relaciona el área de la sección que conduce el agua y la velocidad.

Una vez conocida la velocidad del agua y el área del canal, se aplica la siguiente ecuación para determinar el caudal:

$$Q = A \times V \times 850$$

**Ecuación 7**

Donde:

Q: Caudal (L/s)

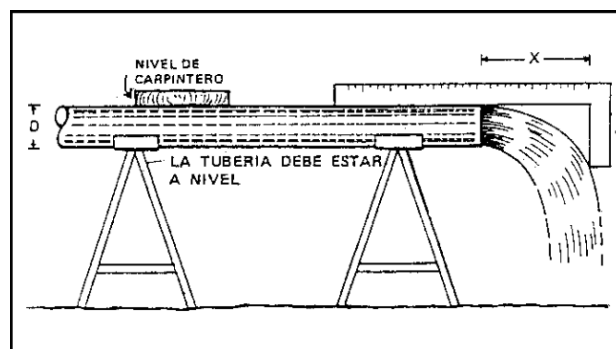
A: Área del canal (m<sup>2</sup>)

V: Velocidad del agua (m/s)

### 1.4.1.3 Método de trayectoria

Este método es usado cuando existe la necesidad de conocer los caudales en tuberías y bombas; es muy fácil y rápida de operar.

“La energía del agua que fluye por una tubería se manifiesta por la trayectoria que describe al salir por su extremo libre. La trayectoria tiene dos componentes X e Y, con ellos es posible obtener una aproximación aceptable cuando se usa en forma adecuada. La ventaja que presenta es su fácil y rápida operación, como se indica en la figura 6-1. (Inia, 2010)



**Figura 13-1** Método de la trayectoria

Fuente: (Villavicencio, 2010)

### 1.4.1.4 Método según las estructuras o vertederos

Uno de los métodos que da resultados con mayor eficiencia y exactitud son aquellos que utilizan estructuras especiales o vertederos.

Se conoce como vertederos a las estructuras con simples aberturas, sobre los cuales fluye un líquido por lo que el caudal está relacionado directamente con el tipo de vertedero que tiene la descarga.

## 1.5 Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales generadas en Camales

El tratamiento de las aguas residuales tiene como propósito disminuir y/o evitar la contaminación física, química, bioquímica, biológica, microbiológica y radioactiva de los cuerpos de agua receptores.

Además consta de una cadena de operaciones unitarias que son métodos en donde predominan fenómenos físicos, hasta procesos unitarios aquellos que promueven la eliminación de los contaminantes en base a procesos químicos o biológicos. (Hammeken & Romero, 2005, pp. 34-37)

En la actualidad, estas operaciones y procesos unitarios se congregan para componer cuatro etapas que comprenden el sistema de tratamiento de aguas residuales y son tratamiento preliminar, primario, secundario y terciario o avanzado.

### 1.5.1 Etapas de tratamiento para aguas residuales

#### 1.5.1.1 Desbaste

El desbaste consiste en la eliminación de los sólidos de tamaño superior a 1-2 mm (trozos de cueros, trapos, coágulos de sangre, piltrafas, etc.) para impedir el deterioro y/o bloqueo de los equipos mecánicos obstruyendo así el paso del flujo de agua. Utiliza barrotes o rejas con diversas separaciones y pueden ser de limpieza manual o limpieza automática.

A continuación se muestran las características de cada tipo de reja y los factores a considerar para el proyecto de instalación.

**Tabla 5-1** Información típica para el proyecto de rejas o barras de limpieza manual y mecánica

Características	Limpieza manual	Limpieza mecánica	Valor típico
Tamaño de la barra:			
Anchura, mm	5-15	5-15	10
Profundidad, mm	25-37,5	25-37,5	30
Separación entre barras, mm	25-50	15-75	30
Pendiente en relación a la vertical, grados	30-45	0-30	35
Velocidad de aproximación, m/s	0,3-0,6	0,6-1,1	0,3
Velocidad mínima, m/s	0,3-0,6	0,6-1,1	0,6
Pérdida de carga admisible, mm	150	150	

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

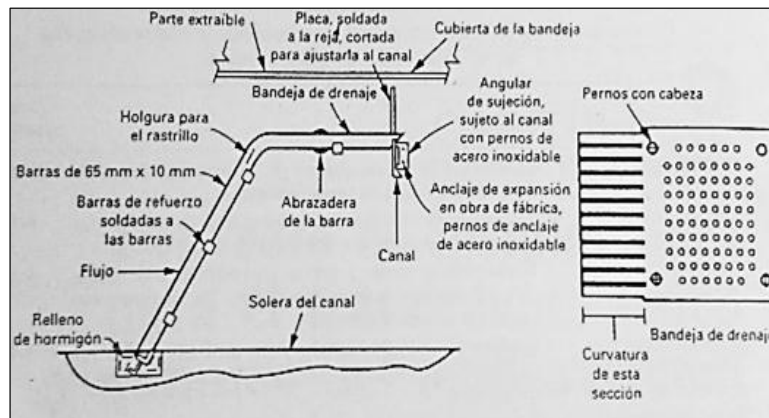
Realizado por: Jael Chacha

#### 1.5.1.1.1 Dimensionamiento para rejas de limpieza manual

El dimensionamiento de rejas o barras requiere del conocimiento de la velocidad del efluente que va a ingresar al sistema de tratamiento, para establecer una comparación de los parámetros de velocidad y abertura de dichas rejas de acuerdo a las referencias bibliográficas.

Al utilizar rejas de limpieza manual, la longitud de las mismas no debe exceder los 3 metros para permitir su correcta limpieza. Además las barras que integran la reja no suelen exceder los 10 mm de anchura por 50 mm de profundidad. En la parte superior de la reja es recomendable colocar una placa perforada para que los objetos extraídos para que los materiales retenidos se almacenen temporalmente hasta su drenaje. (Metcalf & Eddy, 1995)

En la siguiente figura se muestra una reja de limpieza manual típica.



**Figura 14-1** Reja de barra de limpieza manual

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

#### 1.5.1.1.1 Sumatoria de las separaciones entre rejas

$$b_g = \left( \frac{b - e}{s + e} + 1 \right) e$$

**Ecuación 8**

En donde:

$b_g$ : Sumatoria de las separaciones entre rejas, mm.

$b$ : Ancho del canal, mm.

$e$ : Separación entre barras, mm. Tabla 5-1

$s$ : Espesor de las barras, mm. Tabla 5-1

#### 1.5.1.1.2 Número de barras

$$n' = \frac{b_g}{e} - 1$$

**Ecuación 9**

En donde:

$n'$ : Número de barras

$b_g$ : Sumatoria de las separaciones entre rejas, mm.

$e$ : Separación entre barras, mm. Tabla 5-1

#### 1.5.1.1.1.3 Longitud de las barras

$$l_b = \frac{H}{\text{sen } \theta}$$

**Ecuación 10**

En donde:

$l_b$ : Longitud de barras, mm.

$H$ : Profundidad del canal, m.

$\theta'$ : Pendiente en relación a la vertical, grados. Tabla 5-1

#### 1.5.1.1.1.4 Área de espacios entre barras

$$A_{sb} = b_g \times l_b$$

**Ecuación 11**

En donde:

$A_{sb}$ : Área de espacios entre barras, m<sup>2</sup>.

$b_g$ : Sumatoria de las separaciones entre rejas, m.

$l_b$ : Longitud de barras, m.

#### 1.5.1.1.1.5 Pérdidas de carga a través de una reja

Existen pérdidas hidráulicas en el uso de rejas, aquellas que se encuentran en función de la velocidad de aproximación del fluido y de la velocidad del flujo a través de los barrotes.

$$h_l = k \left( \frac{V^2 - v^2}{2 \times g} \right)$$

**Ecuación 12**

En donde:

$h_l$ : Pérdida de carga, m.

$k = 1/0,7$ : Coeficiente empírico que incluye pérdidas por turbulencia y formación de sólidos.

(Metcalf & Eddy, 1995)

$V$ : Velocidad del flujo través del espacio entre barras de la reja, m/s. Tabla 5-1

$v$ : Velocidad de aproximación del fluido, m/s. Tabla 5-1

$g$ : Aceleración de la gravedad, m/s<sup>2</sup>.

### 1.5.1.2 Caudal

Se define al caudal como el volumen del líquido que pasa por una sección normal de una corriente de agua en una unidad de tiempo. <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan3/041225/041225-04.pdf>)

#### 1.5.1.2.1 Consideraciones de diseño

Un factor importante para el dimensionamiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales generadas en camales, es la cantidad de agua por unidad de animal requerida para la faena.

##### a. Consumo de agua

Para realizar los procesos de trabajo de un matadero, así como para mantener las condiciones higiénicas, es necesario un consumo elevado de agua, que podría establecerse en aproximadamente unos cinco litros de agua por kilo de peso vivo del animal.

Otros autores indican los siguientes intervalos de consumos de agua en camales (PÚBLICOS O PRIVADOS) de acuerdo con el número y clase de animales a beneficiar, así:

**Tabla 6-1** Consumos de agua en mataderos polivalentes

Consumo medio de agua	
Clase de animal	Dotación diaria (L/animal)
Bovinos	500-1000
Porcinos	250-550

Fuente: (Limpia, 2006)

Realizado por: Jael Chacha

#### 1.5.1.2.2 Determinación del caudal de diseño



#### 1.5.1.2.2.1 Consumo de agua

Según datos bibliográficos se conoce que por cada quilogramo de animal vivo se consumen nueve litros de agua (Industrial, 2008) entonces viene dado por la siguiente ecuación:

$$CA_b = 5 \frac{l}{kg} \times kg_b \times N^{\circ} \text{bovino faenado}$$

**Ecuación 13**

$$CA_p = 5 \frac{l}{kg} \times kg_p \times N^{\circ} \text{porcinos faenado}$$

**Ecuación 14**

En donde:

CA<sub>b</sub>: Consumo de agua de bovino (l/bov)

kg<sub>b</sub>: Kilogramos totales de bovino (kg/bov)

CA<sub>p</sub>: Consumo de agua de porcino (l/por)

kg<sub>p</sub>: Kilogramos totales de porcino (kg/por)

#### 1.5.1.2.2.2 Índice de consumo de carne

Para determinar el ICC de para una población se determina mediante la siguiente ecuación:

$$ICC'_b = N^{\circ} \text{bovino faenado} \times \text{Peso promedio}$$

**Ecuación 15**

$$ICC'_p = N^{\circ} \text{porcino faenado} \times \text{Peso promedio}$$

**Ecuación 16**

Donde:

ICC'<sub>b</sub>: Índice de consumo de carne de bovinos

ICC'<sub>p</sub>: Índice de consumo de carne de porcinos

ICC: Índice de consumo de carne

Además en consumo por habitante se puede determinar de acuerdo a la siguiente expresión:

$$ICC_b = \frac{ICC'_b}{\text{pobacion actual}}$$

**Ecuación 17**

$$ICC_p = \frac{ICC'_p}{pobacion\ actual}$$

**Ecuación 18**

Donde:

ICC: Índice de consumo de carne (lb)

ICC<sub>b</sub>: Índice de consumo de carne de bovinos

ICC<sub>p</sub>: Índice de consumo de carne de porcinos

#### 1.5.1.2.2.3 *Calculo de la población proyectada*

Existen distintos métodos para realizar el cálculo de la población futura, pero se ha escogido el método para crecimiento geométrico; debido a que este se lo usa cuando la población es proporcional al tamaño de la misma y además da valores más acordes a la realidad, entonces así tenemos:

$$P_f = P_a(1 + rn)$$

**Ecuación 19**

Donde:

P<sub>f</sub>: Población proyectada

P<sub>a</sub>: Población actual

r: Tasa de crecimiento actual (CENSO)

n: Periodo de tiempo (año futuro – año actual)

#### 1.5.1.2.2.4 *Demanda proyectada*

La demanda futura o proyectada se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$D_b = \frac{P_f \times ICC'_b}{peso\ promedio}$$

**Ecuación 20**

$$D_p = \frac{P_f \times ICC'_p}{\text{peso promedio}}$$

**Ecuación 21**

Donde:

$D_b$ : Demanda proyectada de bovinos

$D_p$ : Demanda proyectada de porcino

$P_f$ : Población proyectada

$ICC'_b$ : Índice de consumo de carne de bovinos

$ICC'_p$ : Índice de consumo de carne de porcinos

#### 1.5.1.2.2.5 Caudal proyectado

El caudal requerido a futuro se puede determinar de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Q'_b = D_b \times CA_b$$

**Ecuación 22**

$$Q'_p = D_p \times CA_p$$

**Ecuación 23**

$$Q_p = Q'_b + Q'_p$$

**Ecuación 24**

Donde:

Donde:

$Q_p$ : Caudal proyectado ( $m^3/s$ )

$D_b$ : Demanda proyectada de bovinos

$D_p$ : Demanda proyectada de porcino

$CA_b$ : Consumo de agua de bovinos (L/bov)

$CA_p$ : Consumo de agua de porcinos (L/por)

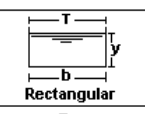

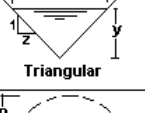
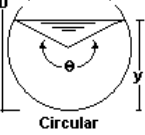
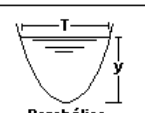
### 1.5.1.3 Canal

Se conoce como canales a los conductos cerrados o abiertos en donde circula el agua sin presión alguna por efecto de la gravedad, debido a que la superficie del líquido se encuentra en contacto con la atmósfera.

De acuerdo al origen se tienen:

- *Canales naturales*: Los cursos de agua naturales que puede ser arroyuelos, ríos pequeños y grandes, arroyos, lagunas, lagos y algunas corrientes subterráneas. La sección transversal de un canal natural es de forma irregular y variable en todo su trayecto.
- *Canales artificiales*: Aquellos construidos por el hombre como canal de riego, de control de lluvias, de alcantarillado, de navegación, sanitario, entre otros. Estos son diseñados en forma geométrica con secciones transversales invariables y pendientes de fondo constantes. Las secciones transversales frecuentes son: trapezoidal, rectangular, parabólica y triangular.

La selección de la sección transversal depende de la clase de canal a construir; así trapezoidal para canales revestidos, rectangular para canales revestidos con material estable, parabólico y circular para colectores y túneles, y triangular para canales pequeños como cunetas. (Rodríguez, 2008)

Sección	Área hidráulica A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Espejo de agua T
 Rectangular	$by$	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	$b$
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b + 2zy$
 Triangular	$zy^2$	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$(\frac{\text{sen}\theta}{2})D$ ó $2\sqrt{y(D-y)}$
 Parabólica	$\frac{2}{3}Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T + 8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

**Figura 15-1** Secciones transversales para canales abiertos

Fuente: (Rodríguez, 2008)

Realizado por: Jael Chacha 2016

La velocidad media del agua en canales abiertos se relaciona con su profundidad y la distancia de sus paredes, por lo tanto dependerá del tipo de material de revestimiento. A continuación se presentan velocidades máximas admisibles para canales.

**Tabla 7-1** Velocidades del agua medias máximas admisibles para canales abiertos revestidos

Tipo de revestimiento	Velocidad media máxima admisible del agua (m/s)
Hormigón de cemento moldeado en obra	2,5
Hormigón de cemento prefabricado	2.0
Ladrillos	1,4-1,6
Bloques de cemento	1,6

Fuente: ()

Realizado por: Jael Chacha 2016

Los canales deben tener cierto espacio entre la superficie libre del agua y sus bordes como margen de seguridad debido a niveles extraordinarios de caudal, para seleccionar dicho borde del libre del canal se puede relacionar este en función al caudal, como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 8-1** Borde libre en función al caudal para canales abiertos

Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Borde libre(m)
Menor a 0,50	0,30
Mayor a 0,50	0,40

Fuente: (Rojas Rubio)

Realizado por: Jael Chacha 2016

**Tabla 9-1** Previsión de capacidad de conducción de agua en canales revestidos

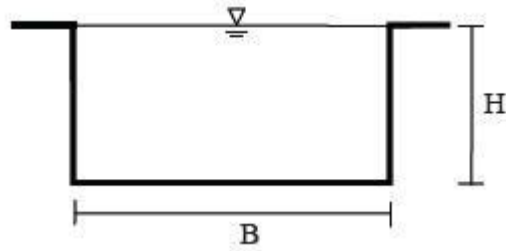
Parámetro	Unidad	Valor	Valor típico
Ancho del canal	m	0,3-0,8	0,7
Pendiente	%	0,05-5	0,05

Fuente: UTPL, 2010

Realizado por: Jael Chacha 2016

#### 1.5.1.3.1 Dimensionamiento del canal

En el dimensionamiento de rejas es necesario el diseño de un canal, aquel que guiará el agua a tratar al sistema de tratamiento. La geometría de la sección transversal del canal bajo el nivel del agua será en este caso rectangular:



**Figura 16-1** Sección transversal canal rectangular

**Fuente:**

**Realizado por:** Jael Chacha 2016

#### 1.5.1.3.1.1 *Coficiente de Manning*

Permite evidenciar la velocidad con la que el agua atraviesa el canal

$$K = \frac{Q * n}{b^{8/3} * S^{1/2}}$$

**Ecuación 25**

Donde:

K: Coficiente de Manning (adimensional)

Q<sub>med</sub>: Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)

n: Coficiente de rugosidad de Manning (adimensional). Tabla 10-1

b: Base del canal (m). Tabla 9-1

S: Pendiente del canal (m/m). Tabla 9-1

#### 1.5.1.3.1.2 *Altura del tirante de agua*

Es la altura que va a tener el agua dentro del canal.

$$h = 1,6624 * K^{0,74232} * b$$

**Ecuación 26**

Donde:

h: Altura del tirante de agua en el canal (m)

K: Coficiente de Manning (adimensional)

b: Base del canal (m). Tabla 9-1

#### 1.5.1.3.1.3 *Altura del canal*

Para la profundidad del canal se considera un factor de seguridad se tiene:

$$H = h + h_s$$

**Ecuación 27**

En donde:

$H$ : Profundidad del canal, m.

$h$ : Altura del tirante de agua, m.

$h_s$ : Borde libre del canal, m. Tabla 8-1

#### 1.5.1.3.1.4 Radio hidráulico

$$R_h = \frac{b \times h}{b + 2h}$$

**Ecuación 28**

En donde:

$R_h$ : Radio hidráulico, m.

$h$ : Altura del canal, m.

$b$ : Ancho del canal, m. Tabla 9-1

#### 1.5.1.3.1.5 Velocidad del agua

La *ecuación de Manning* relaciona la capacidad de conducción y la forma, el gradiente efectivo o pérdida de carga, y la rugosidad de las paredes del canal.

$$v = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S'^{1/2}$$

**Ecuación 29**

En donde:

$v$ : Velocidad media del agua en el canal, m/s.

$n$ : Coeficiente de rugosidad Manning de las paredes del canal. Tabla 10-1

$R_h$ : Radio hidráulico del canal, m.

$S'$ : Pendiente m/m (0,05 para canal rectangular revestido Tabla 9-1

**Tabla 10-1** Coeficiente de Manning

Material	Coeficiente de Manning
Hormigón simple	0,013
Asbesto cemento	0,011
Latón	0,011
Hierro fundido	0,012
Acero corrugado	0,022
Acero galvanizado	0,016
Plomo	0,011
Plástico (PVC)	0,090
Madera (duelas)	0,012

**Fuente:** (Crites, y otros, 2000)

**Realizado por:** Jacel Chacha 2016

#### 1.5.1.4 Mallas porosa

La malla consiste en una superficie con aberturas de un tamaño determinado por el usuario. Estas aberturas pueden tener distintas geometrías, dependiendo del uso que se desee dar a la malla y de la forma geométrica del material a clasificar. Los tipos de aberturas más usadas son los de geometría cuadrada o rectangular.

##### 1.5.1.4.1 Criterios de diseño

Para el dimensionamiento de debe tomar en cuenta tanto la geometría de la malla como las características hidráulicas. Las características geométricas de las mallas se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 11-1** Geometría de Mallas

Parámetro	Valores	Valor típico
Grosor de los hijos (mm)	1-3	2
Espaciamiento entre hijos (mm)	0,25-2,5	2

**Fuente:** Manual de diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales. Tomo I y II

**Realizado por:** Jael Chacha 2016

Para las características hidráulicas se considerará una velocidad en el canal entre 0,3 a 0,6 m/s y se determinarán el número de hilos por metro de ancho de canal, la porosidad de la malla, el



coeficiente de pérdida de carga, el gradiente de velocidad producido al paso del flujo a través de la malla y la pérdida de carga producida.

#### 1.5.1.4.2 Dimensionamiento de la Malla

##### 1.5.1.4.2.1 Número de hilos por metro de ancho de canal

Como su nombre lo indica es el número de hilos que se encuentran por cada metro del ancho del canal, éste se determina mediante la siguiente expresión:

$$N = \frac{b}{e}$$

**Ecuación 30**

En donde:

N: Número de hilos por metro de ancho del canal (hilos/m)

b: Ancho del canal (cm)

e: Espaciamiento entre hilos (cm). Tabla 11-1

##### 1.5.1.4.2.2 Porosidad de la malla

La porosidad o fracción de huecos es el tamaño y número de los poros de un filtro, malla o de una membrana semipermeable, y es una fracción del volumen de huecos sobre el volumen total, la cual varía entre 0-1, o como un porcentaje entre 0-100%. Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\epsilon = (1 - Nd)^2$$

**Ecuación 31**

En donde:

€: Porosidad (adimensional)

N: Número de hilos por metro de ancho del canal (hilos/m)

d: Grosor de los hilos (m). Tabla 11-1

##### 1.5.1.4.2.3 Coeficiente de perdida de carga

EL coeficiente de pérdida de carga se abrevia mediante la letra K, y es un coeficiente cuyo valor es constante y hace referencia a la forma de los hilos, los cuales en general son circulares. Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$K = \frac{0,55(1 - \epsilon^2)}{\epsilon^2}$$

**Ecuación 32**

En donde:

K: Coeficiente de pérdida de carga (adimensional)

€: Porosidad (adimensional)

#### 1.5.1.4.2.4 *Gradiente de velocidad*

Es el gradiente de velocidad producido al paso del flujo a través de la malla, se mide en s<sup>-1</sup> y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$G = 350 \sqrt{\frac{K}{e}} \times v^{1,5}$$

**Ecuación 33**

En donde:

G: Gradiente de velocidad ( s<sup>-1</sup>)

K: Coeficiente de pérdida de carga (adimensional)

e: Espaciamiento entre hilos (cm). Tabla 11-1

v: Velocidad del canal (m/s)

#### 1.5.1.4.2.5 *Pérdida de carga*

La pérdida de carga producida por la malla debe ser menor a 15 m para que no se produzca el atascamiento del canal y el fluido pueda seguir su curso a los largo del canal una vez que pase por las mallas.

$$h_c = \frac{K \cdot v^2}{2 \cdot g}$$

En donde:

$h_c$ : Pérdida de carga (m)

K: Coeficiente de pérdida de carga (adimensional)

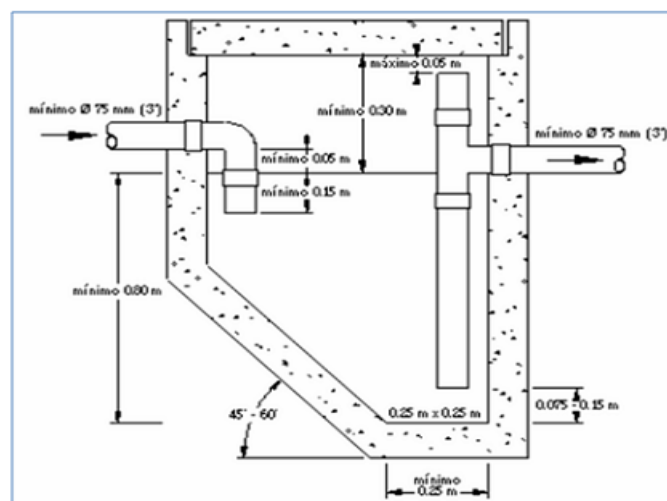
v: Velocidad del canal (m/s)

g: Gravedad ( $m/s^2$ )

### 1.5.1.5 Trampa de grasa

Las trampas de grasa son tanques de flotación natural, en donde los aceites y las grasas, con una densidad inferior a la del agua, se mantienen en la superficie del tanque para ser fácilmente retenidos y retirados. El objetivo es remover sustancias que pueden ser de origen natural o sintético conocidas como grasas (sólidos o pastas) y aceites (líquidos), así como espumas y otras materias flotantes más ligeras que el agua, que pueden provocar distorsiones en los tratamientos posteriores.

La trampa de grasas se forma por dos compartimentos, los cuales se encuentran separados por una rejilla que no permite el paso de sólidos. Los líquidos ingresan por el compartimiento más grande en donde los sólidos disueltos, la grasa, es separada debido a que posee una menor densidad que el agua. El funcionamiento de una trampa de grasa se debe a la diferencia de densidades, no separando los aceites emulsionados.



**Figura 17-1** Trampa de grasa simple

Fuente: (UNATSABAR, 2013)

### 1.5.1.5.1 Dimensionamiento de una trampa de grasa

Estas unidades se diseñan en función de la velocidad de flujo o el tiempo de retención hidráulica. En el Tabla 14-1 se muestran las dimensiones de las trampas grasas de acuerdo a los rangos de volumen de agua proyectados.

**Tabla 12-1** Dimensiones de trampa de grasas de acuerdo al caudal

Rango de caudales (l/s)	Dimensiones estimadas (m)		
	Profundidad H	Ancho A	Largo L
0-1	1,0	1,0	1,8
0-1	1,5	0,67	1,2
1-2	1,5	1,33	2,4
2-3	2,0	1,50	2,7
3-4	2,0	2,00	3,6
4-5	2,0	1,50	2,7

Fuente: (UNATSABAR, 2013)

Realizado por: Jael Chacha 2016

$$V_T = Q \times Tr_T$$

**Ecuación 35**

En donde:

$V_T$ : Volumen efectivo de la trampa de grasa, L. Tabla 12-1

$Q$ : Caudal, L/s.

$Tr_T$ : Tiempo de retención en la trampa de grasa, m.

### 1.5.1.6 Humedales Artificiales

Los humedales artificiales son sistemas de fitodepuración de aguas residuales; consiste en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado. La acción de las macrófitas hace posible una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual afluyente es depurada progresiva y lentamente.

Son tres funciones principales que tienen los humedales lo que hacen que su aplicación sea eficiente para el tratamiento de aguas residuales, y estas son:

- Fijan los contaminantes y la materia orgánica en la superficie del suelo.

- Utilizan y transforman los elementos por intermedio de los microorganismos presentes.
- Logran niveles de tratamiento con bajo consumo de energía y mantenimiento.

“Los humedales artificiales son utilizados para tratar distintas clases de aguas residuales como:

- Aguas industriales (fabricación de papel, productos químicos y farmacéuticos, cosméticos, alimentación, refinerías y mataderos entre otros).
- Aguas de extracciones mineras.
- Aguas de escorrentía superficial agrícola y urbana.
- Tratamiento de fangos de depuradoras convencionales.” (Delgadillo, y otros, 2010)

#### *1.5.1.6.1 Clasificación de los humedales artificiales*

“Se clasifican dependiendo del tipo de macrófitas que se empleen para su depuración y estos pueden ser:

- **Sistemas de tratamiento basado en macrófitas de hojas flotantes**

Los órganos reproductores son flotantes o aéreos; y las principales especies utilizadas para los tratamientos son el Jacinto de agua y la lenteja de agua.

- **Sistemas de tratamiento basados en macrófitas sumergidas**

Los órganos reproductores son aéreos, flotantes o sumergidos; las macrófitas más utilizadas para construir este tipo de sistemas son los helechos, musgos y carófitas.

- **Sistemas de tratamiento basados en macrófitas enraizadas emergentes**

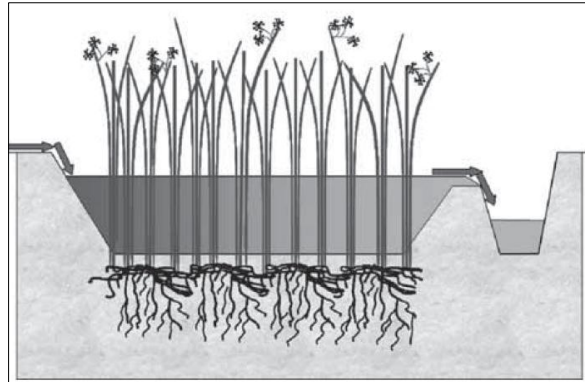
Las macrófitas que conforman este tipo de sistemas son perennes, con órganos reproductores aéreos.” (Delgadillo, y otros, 2010)

#### *1.5.1.6.2 Tipos de humedales artificiales*

##### *1.5.1.6.2.1 Humedales de flujo Superficial*

Los sistemas de flujo superficial son aquellos donde el agua circula directamente a través de los tallos de las plantas y se expone directamente a la atmósfera. Este tipo de humedales se conoce como una modificación de las lagunas de oxidación, con la diferencia que para su operación no

requiere profundidades mayores a 0,6 m, y además requiere de plantas para que ayuden a la degradación de los contaminantes. (Figura 14-1).



**Figura 18-1** Humedal artificial de flujo Superficial

**Fuente:** (Delgadillo, y otros, 2010)

#### 1.5.1.6.2.2 *Humedales de flujo Subsuperficial*

La característica principal de este tipo de humedales es que el agua circula a través del medio granular y en contacto con los rizomas y las raíces de las macrófitas, teniendo la misma una profundidad de agua cercana a los 0,6 m. se conoce como una modificación de los sistemas de infiltración de terreno, formando parte de los sistemas naturales de depuración basados en la acción del terreno.

Los humedales de flujo subsuperficial pueden ser de dos tipos según el sentido de circulación del agua:

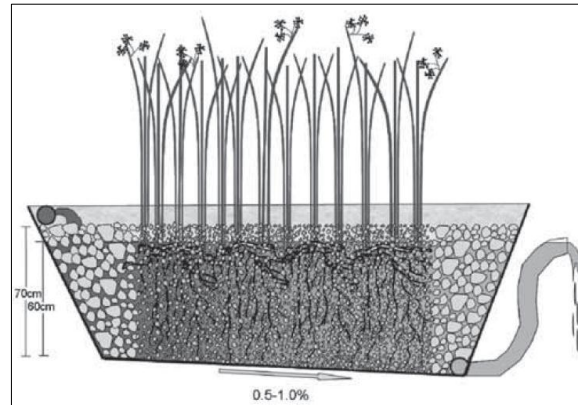
- **Humedales de flujo subsuperficial horizontal**

Este tipo de sistemas constan principalmente de una cama (tierra, arena o grava) plantada con macrófitas acuáticas (caña común o carrizo) y funciona permanentemente inundados, aunque hay algunos sistemas que son intermitentes.

El agua residual es tratada a medida que fluye lateralmente a través de un medio poroso, no ingresa directamente al medio granular principal, sino que existe una zona de amortiguación generalmente formada por grava de mayor tamaño. La profundidad del lecho varía entre 0,45 m a 1 m y tiene una pendiente de entre 0,5 % a 1 %

Es recomendable que para obtener mejores resultados el agua residual que ingresa al sistema se mantenga en un nivel inferior a la superficie (5-10 cm) y además que su recorrido o tiempo de

contacto vaya de 3 a 5 días para que los microorganismos cumplan correctamente con la función de depuración. (Figura 15-1)



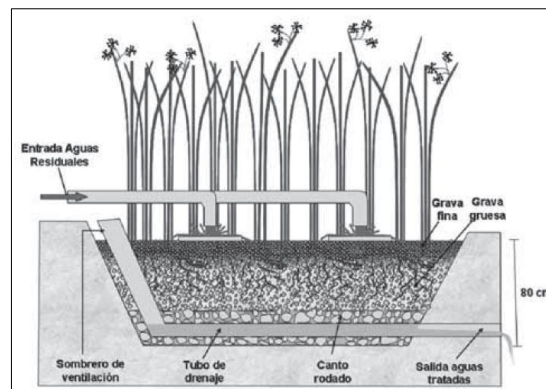
**Figura 19-1** Humedal de flujo subsuperficial horizontal.

Fuente: (Delgadillo, y otros, 2010)

- **Humedales de flujo subsuperficial vertical.**

Los sistemas verticales con flujo subsuperficial son construidos para que su funcionamiento sea de forma intermitentemente por lo que presentan fases de llenado, reacción y vertido.

Son conocidos también como filtros intermitentes, ya que este tipo de humedales recibe las aguas residuales de arriba hacia abajo, a través de un sistema de tuberías de aplicación de agua. (Figura 16-1)



**Figura 20-1** Humedal de flujo subsuperficial vertical

Fuente: (Delgadillo, y otros, 2010)

### 1.5.1.6.3 Ventajas y desventajas de los humedales artificiales

Al igual que cualquier otro tipo de tratamiento para depurar aguas residuales, los humedales artificiales también presenta ventajas y desventajas que se detallan a continuación:

- **Ventajas**

- El consumo de energía es mínimo y en ocasiones nulo.
- Su operación es muy fácil, por lo que requiere bajo número de operarios y con poca experiencia laboral.
- Los residuos generados durante la operación son mínimos, los cuales se pueden limpiar a los generados por el pre-tratamiento y el tratamiento primario.
- Los costos en cuanto a explotación y mantenimiento son bajos.
- Se aplican a aguas residuales de tipo doméstico, industrial, agrícola o mine, ya que la depuración es muy eficiente.
- Su impacto ambiental es mínimo en cuando a lo sonoro, y además la integración en el medio ambiente es muy buena ya que da un valor paisajista y estético.

- **Desventajas**

- No existe ningún factor de control durante la operación, ya que en muchos casos lo único que se controla es la profundidad del agua.
- Los errores cometidos en el diseño y construcción son muy difíciles de corregir.

#### *1.5.1.6.4 Macrófitas utilizadas en los humedales artificiales*

Existe una gran variedad de macrófitas que se utilizan para la depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales, los cuales deben cumplir con ciertas características para que su aplicación sea eficiente y cumpla con su función de depuración sin ningún problema; a continuación se describen de forma general:

- La planta o macrófita debe ser de preferencia nativa de la zona donde se va a aplicar los humedales artificiales para que su manejo sea fácil.
- Debe poseer gran capacidad de asimilar los contaminantes a tratar, alta productividad y además su crecimiento debe ser de forma progresiva.
- Debe tener la capacidad de adaptarse a cualquier cambio climático.
- Soportar a altas concentraciones de contaminantes.

##### *1.5.1.6.4.1 Lemna sp*

Es una macrófita flotante conocida como lenteja de agua, hierba de agua, lenteja acuática, lentejuelas de agua, tiene forma de taloide por lo que no se diferencia el tallo de las hojas. Su tamaño es muy reducido, teniendo de 2 a mm de longitud y 2mm de ancho.



Se considera además como una planta monoica con flores unicelulares y su forma de reproducción es asexual. A continuación se presenta la taxonomía:

**Tabla 13-1** Taxonomía de Lemna sp

<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Fanerógamas
<b>Clase</b>	Liliopsida
<b>Orden</b>	Arel
<b>Familia</b>	Lemnaceae
<b>Género</b>	Lemna
<b>Especie</b>	Lemna minuta

Fuente: (Jaramilo, y otros, 2012)

Realizado por: Jael Chacha, 2016

- **Características**

- En muy resistente a los cambios climáticos.
- Su crecimiento es muy rápido en partes calmadas y ricas en nutrientes como nitrógeno y fósforo
- Soportan pH elevados
- Es rica en aminoácidos esenciales por los que posee una proteína de calidad.
- Es muy eficiente para reducir altos niveles de nitratos
- Asimila nutrientes que son liberados en la descomposición de materia orgánica.
- Su porcentaje de depuración de aguas puede llegar hasta el 90% y con rápida efectividad.
- Su mantenimiento es muy fácil de manejar y controlar.
- La planta puede desarrollarse en un rango amplio de temperatura que varía entre 5° y 30° C, con un crecimiento óptimo entre los 15° y 18° C. Se adapta bien a cualquier condición de iluminación.

#### 1.5.1.6.4.2 *Eichhornia Crassipes*

Se conoce también como Jacinto de agua, violeta de agua, camalote, lampazo o lechuguin es una planta acuática perenne de flotación libre y sus raíces son sumergibles; además su crecimiento se puede dar en zonas frías o calientes. Su tamaño puede varias de 0,5 a 1,5 metros de altura.

Su habitad puede ser en aguas dulces de ligero movimiento o tranquilas, canales, presas, arroyos, rios y pantanos; son considerados como maleza acuática. A continuación se describe la taxonomía:

**Tabla 14-1** Taxonomía Eichhornia Crassipes

<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Liliopsida
<b>Orden</b>	Lilidae
<b>Familia</b>	Pontederiaceae
<b>Género</b>	Eichhornia
<b>Especie</b>	E. crassipes

Fuente: (López, 2012)

Realizado por: Jael Chacha, 2016

- **Características**

- Gran capacidad para la retención de sustancias tóxicas y metales pesados; debido a su habilidad para absorber nutrientes.
- Es una de las más estudiadas por su capacidad de depuración y la facilidad de proliferación.
- Posee un sistema de raíces por lo que los microorganismos son favorecidos para la depuración.
- Su capacidad para detener los niveles de DBO y solidos suspendidos es muy eficiente.
- Tiene una gran capacidad de adaptabilidad ante cualquier cambio de clima; pero tu temperatura óptima de crecimientos varía entre 20-24 °C.
- Su crecimiento es óptimo en aguas con gran cantidad de nitrógenos, fosforo y potasio.

Otras de las especies más utilizadas se detallan en la tabla 14-1:

**Tabla 15-1** Principales especies de plantas usadas en humedales artificiales.

<b>Nombre Científico</b>	<b>Familia</b>	<b>Nombre Común</b>	<b>Características</b>
Thypha spp	Tifácea	Espadaña, anea, anea, junco, bayón, bayunco, maza de agua, junco de	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es capaz de crecer ante cualquier tipo de medio ambiente.</li> <li>• Su capacidad de propagación es alta.</li> </ul>

		pasión, henea, bohordo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiene una alta capacidad de producir biomasa</li> <li>• Tiene la capacidad de remover nitrógeno y fósforo a través de la poda y la cosecha en pequeñas cantidades.</li> </ul>
Scirpus spp	Ciperácea	Totora	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Son plantas perennes</li> <li>• Pueden adaptarse a aguas costeras, interiores, solares y humedales.</li> <li>• Pueden alcanzar una altura que va de 5cm a 3m de profundidad</li> </ul>
Phragmites spp	Gramínea	Carrizo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Son unas de las plantas más usadas para la depuración de aguas residuales.</li> <li>• Son más eficientes para la transferencia de oxígeno debido a que sus rizomas penetran verticalmente y a mayor profundidad.</li> <li>• Sus costos alimenticios son muy bajos.</li> </ul>

**Fuente:** (Delgadillo, y otros, 2010)

**Realizado por:** Jacel Chacha, 2016

#### 1.5.1.6.5 Criterios de diseño

Para el diseño de los humedales artificiales se debe tomar en cuenta las siguientes sugerencias:

- La disponibilidad del agua debe ser continua, con la finalidad de mantener las plantas y microorganismos vivos.
- Los flujos grandes (causado por la lluvia torrencial) puede agobiar el sistema, y debe ser desaguado en el caso de una tormenta grande hasta que el agua esté debajo de la superficie de tierra
- La fluidez de las agua deben ser de manera natural.
- El tiempo de contacto que deben tener las plantas con el agua para que la depuración sea efectiva debe ser de 2 a 10 días dependiendo del tipo de agua a tratar.
- Para evitar la proliferación de insectos y malos olores, se recomienda no superar el tiempo de contacto requerido.

En la tabla 15-1 se muestra las características principales de los substratos usados en los humedales:

**Tabla 16-1** Materiales empleados en el diseño y construcción de humedales artificiales

Tipo de material	Tamaño efectivo (mm)	Conductividad hidráulica(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d)	Porosidad (%)
Arena gruesa	2	100-1000	28-32
Arena gravosa	8	500-5000	30-35
Grava fina	16	1000-10000	35-38
Grava media	32	10000-50000	36-40
Roca gruesa	128	50000-250000	38-45

Fuente: (Delgadillo, y otros, 2010)

Realizado por: Jael Chacha 2016

Otras características de diseño son la profundidad del humedal y la pendiente, en la tabla 16-1 se muestran valores típicos:

**Tabla 17-1** Criterios de diseño

Parámetro	Valor	Valor típico
Profundidad (m)	0,3-1	0,6
Pendiente (%)	0,1-1	0,5
Relación largo-ancho	2:1-7:1	4:1
<b>Distribución del medio granular</b>		
Profundidad (cm)	50-80	60
Grava fina (mm)	2-8	
Profundidad grava fina (cm)	10-15	15
Arena (mm)	1-4	
Profundidad arena (cm)	≥ 30	30
Grava (mm)	20-40	
Profundidad grava (cm)	10-20	15

Fuente: (Delgadillo, y otros, 2010)

Realizado por: Jael Chacha 2016

#### 1.5.1.6.6 Dimensionamiento para Humedales Artificiales.

##### 1.5.1.6.6.1 Constante de temperatura en el humedal

Se determinó la constante de temperatura del humedal aplicando la ecuación:

$$k_T = 1,104(1,06^{T_2-20})$$

## Ecuación 36

En donde:

$k_T$ : Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura

$T_2$ : Temperatura del agua (°C). Tabla 26-2

### 1.5.1.6.6.2 Área superficial

El cálculo del área superficial se realiza en función al parámetro contaminante que se desea disminuir o remover, generalmente los diseños se realizan para disminución de las concentraciones de DBO5; y se calcula a través de la ecuación:

$$A_s = \frac{Q \cdot \ln(C^o/C)}{k_T \cdot h \cdot \eta}$$

## Ecuación 37

En donde:

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

$Q$ : Caudal del afluente (m<sup>3</sup>/d)

$C_o$ : Concentración de DBO5 del afluente (mg/l). Tabla 26-2

$C$ : Concentración de DBO5 del efluente (mg/l). Tabla 35-3

$k_T$ : Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura

$h$ : Profundidad del humedal (m). Tabla 17-1

$\eta$ : Porosidad del medio granular. Tabla 16-1

### 1.5.1.6.6.3 Área vertical del humedal

Se determina aplicando el Principio de Darcy para flujo en medios porosos, mediante la siguiente ecuación:

$$A_c = \frac{Q}{k_s \cdot S}$$

## Ecuación 38

En donde:

$A_c$ : Área vertical (m<sup>2</sup>)

$Q$ : Caudal del afluente (m<sup>3</sup>/s)

$k_s$ : Conductividad hidráulica (m/s)

S: Pendiente (m/m). Tabla 17-1

#### 1.5.1.6.6.4 Ancho del humedal

El ancho del humedal (m) se determina en función al área vertical y la profundidad del nivel de agua a tratar:

$$W = \frac{A_c}{h}$$

**Ecuación 39**

En donde:

W: Ancho del humedal (m)

$A_c$ : Área vertical (m<sup>2</sup>)

h: Profundidad del humedal (m). Tabla 17-1

#### 1.5.1.6.6.5 Longitud del humedal

El largo del humedal se determina en función al ancho y al área superficial:

$$L = \frac{A_s}{W}$$

**Ecuación 40**

En donde:

L: Longitud del humedal (m)

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

W: Ancho del humedal (m)

#### 1.5.1.6.6.6 Volumen del humedal

Es el espacio que ocupará el humedal.

$$V_{HFL} = L \times W \times h$$

**Ecuación 41**

Donde:

$V_{HFL}$ : Volumen del humedal ( $m^3$ )

$L_H$ : Longitud del humedal (m)

$W_H$ : Ancho del humedal

h: Profundidad del humedal (m). Tabla 17-1

#### 1.5.1.6.6.7 *Tiempo de retención hidráulica*

Es el Tiempo de permanencia del agua residual en el sistema y se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$TRH = \frac{A_s \cdot h \cdot \eta}{Q}$$

**Ecuación 42**

En donde:

TRH: Tiempo de retención hidráulica (h)

$A_s$ : Área superficial ( $m^2$ )

h: Profundidad del humedal (m)

$\eta$ : Porosidad del medio granular. Tabla 16-1

Q: Caudal del afluente ( $m^3/d$ )

#### 1.5.1.6.6.8 *Porcentaje de remoción*

##### 1.5.1.6.6.8.1 *Remoción de DBO5*

$$\%R_{DBO5} = \frac{DBO5_a - DBO5_e}{DBO5_a} \times 100$$

**Ecuación 43**

En donde:

$\%R_{DBO5}$ : Porcentaje de remoción de DBO5 (%)

$DBO5_a$ : Demanda bioquímica del afluente (mg/l). Tabla 26-2

$DBO5_e$ : Demanda bioquímica del efluente (mg/l). Tabla 35-3.

##### 1.5.1.6.6.8.2 *Remoción DQO*

$$\%R_{DQO} = \frac{DQO_a - DQO_e}{DQO_a} \times 100$$

**Ecuación 44**

En donde:

$\%R_{DQO}$ : Porcentaje de remoción de DQO (%)

$DQO_a$ : Demanda química del afluente (mg/l). Tabla 26-2

$DQO_e$ : Demanda química del efluente (mg/l). Tabla 35-3

#### 1.5.1.6.6.9 Caudal de salida del humedal

Hace referencia a la reducción del caudal que existe a la salida del humedal, debido a la evaporación e infiltración que se da en el mismo. Mediante la ecuación podemos determinar:

$$Q_{SH} = Q_E - Q_p$$

**Ecuación 45**

En donde:

$Q_{SH}$ : Caudal de salida del humedal (L/s)

$Q_E$ : Caudal de entrada al humedal (L/s)

$Q_p$ : Caudal perdido en el humedal (L/s)

#### 1.5.1.7 Filtro

Un filtro es un equipo de operaciones unitarias por medio del cual se realiza la filtración. El medio filtrante es el medio que permite que pase el líquido mientras retiene la mayor parte de sólidos. Dicho medio puede ser una pantalla, una tela, papel o un lecho sólido. El líquido que pasa a través del medio filtrante se conoce como filtrado.

La filtración es la separación de una mezcla de sólidos y fluidos que incluye el paso de la mayor parte del fluido a través de un medio poroso, que retiene la mayor parte de las partículas sólidas contenidas en la mezcla.

Los filtros más útiles son los que se construyen con grava y arena. Pero en el siguiente diseño se tomó en cuenta un filtro de medio dual. La filtración inicia con la entrada del efluente proveniente de los humedales artificiales por encima del filtro y por gravedad el agua pasa a través del lecho filtrante la cual retiene las impurezas o turbiedad residual que quedó en la etapa anterior.



#### 1.5.1.7.1 Medios Filtrantes

La selección de un medio filtrante se determina por la durabilidad requerida, el grado deseado de purificación, la duración de la carrera del filtro y la facilidad deseable de su lavado.

- **Arena:** Es el medio filtrante más usado, por ser el más económico. La arena para filtros debe tener una solubilidad en ácido clorhídrico 1:1 menor del 5%, una densidad relativa mayor de 2,5 y debe ser limpia.
- **Antracita:** En ocasiones se usa carbón de antracita triturado en vez de arena como medio granular filtrante. La antracita para filtros debe ser limpia, dura, con dureza mayor a 2,7, con una densidad relativa mayor a 1,4, solubilidad en ácido menor al 5% y coeficiente de uniformidad igual o menor a 1,7.
- **Grava:** El lecho de grava ideal es en el cual ésta es casi esférica en forma y existe incremento uniforme en tamaño desde el techo hasta el fondo. La grava debe ser dura, redondeada, con una densidad relativa promedio no menor de 2,5.

#### 1.5.1.7.2 Criterios de diseño

En las tablas que se muestran a continuación se establecen los criterios de diseño complementarios, para llevar a cabo el dimensionamiento del filtro deseado.

**Tabla 18-1** Especificaciones para lechos Filtrantes

Lechos	Valor	Valor Típico
Carbón activado Espesor de la capa (cm)	20-50	40
Arena Espesor de la capa (cm)	20-40	25
Grava Espesor de la capa (cm)	5-15	10

Fuente: (INEN, 1992)

Realizado por: Jael Chacha 2016

**Tabla 19-1** Parámetros de diseño de filtro

Parámetro	Valor	Valor típico
Tasa de filtración (m/d)	2-12	9
Altura de agua sobre el lecho (m)	1-1,5	1,25

Altura de drenaje(m)	0,4-0,7	0,55
----------------------	---------	------

Fuente: (ROMERO, 1999)

Realizado por: Jael Chacha 2016

**Tabla 20-1** Parámetro de diseño de laterales

Parámetro	Valor	Valor típico
Espaciamiento de los laterales (m)	1,5 – 2,0	1,5
Diámetro de los orificios de los laterales (mm)	2 - 4	4
Espaciamiento de los orificios de los laterales (cm)	10 - 30	20
Velocidad en orificio(m/s)	0,3	0,3

Fuente: (VIGNESWARAN, 1995)

Realizado por: Jael Chacha 2016

**Tabla 21-1** Velocidades de diseño para tuberías del filtro

Parámetro	Velocidad (m/s)	Valor típico
Afluente	0,15-3	2
Efluente	0,4-0,9	0,65

Fuente: (ROMERO, 1999)

Realizado por: Jael Chacha 2016

### 1.5.1.7.3 Dimensionamiento del filtro

#### 1.5.1.7.3.1 Numero de filtros

De acuerdo con Mcrill y Wallace, el número de filtros puede estimarse a partir de la siguiente ecuación:

$$n = 0,044\sqrt{Q}$$

**Ecuación 46**

En donde:

n: Número de filtros

Q: Caudal del afluente (m<sup>3</sup>/d). Se toma en cuenta la perdida generada en la etapa anterior.

#### 1.5.1.7.3.2 Caudal de diseño

El cálculo del caudal de diseño se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$Q_d = \frac{Q}{n}$$

**Ecuación 47**

En donde:

$Q_d$ : Caudal de diseño ( $m^3/d$ ).

$n$ : Número de filtros

$Q$ : Caudal del afluente ( $m^3/d$ ). Se toma en cuenta la pérdida generada en la etapa anterior.

#### 1.5.1.7.3.3 Área del filtro

El área del filtro se calcula por la expresión:

$$A_f = \frac{Q_d}{T_f}$$

**Ecuación 48**

En donde:

$A_f$ : Área del filtro ( $m^2$ )

$Q_d$ : Caudal de diseño ( $m^3/d$ ).

$T_f$ : Tasa de filtración ( $m/d$ ). Tabla 19-1

#### 1.5.1.7.3.4 Coeficiente de costo mínimo

Una relación entre la longitud y el ancho del filtro,  $k_c$ , puede definirse como:

$$k_c = \frac{2 \cdot n}{n + 1}$$

**Ecuación 49**

En donde:

$k_c$ : Coeficiente de costo mínimo

$n$ : Número de filtros

#### 1.5.1.7.3.5 Ancho del filtro

Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$a_f = \sqrt{\frac{A_f}{5}}$$

**Ecuación 50**

En donde:

$a_f$ : Ancho del filtro (m)

$A_f$ : Área del filtro (m<sup>2</sup>)

#### 1.5.1.7.3.6 Largo del filtro

El filtro será de forma rectangular por lo tanto la longitud del filtro será:

$$L_F = 5 \cdot a_f$$

**Ecuación 51**

En donde:

$L_f$ : Largo del filtro (m)

$a_f$ : Ancho del filtro (m)

#### 1.5.1.7.3.7 Composición del lecho filtrante

##### 1.5.1.7.3.7.1 Altura del lecho filtrante

El lecho filtrante estará compuesto por carbón-antracita, arena y grava con las especificaciones dadas en la tabla 18-1.

Entonces la altura del lecho filtrante se puede determinar mediante a siguiente ecuación:

$$HLF = e_c + e_a + e_g$$

**Ecuación 52**

En donde:

HLF: Altura del lecho filtrante (m)

e<sub>c</sub>: Espeso de capa de carbón-antracita (m). Tabla 18-1

e<sub>a</sub>: Espeso de capa de arena (m) . Tabla 18-1

e<sub>g</sub>: Espeso de capa de grava (m) . Tabla 18-1

#### 1.5.1.7.3.8 *Altura del filtro*

Para el cálculo de la altura en cuenta se toma en cuenta un factor de seguridad para evitar derrames, siendo este el 10%; entonces se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Z_f = f_s(C_a + HLF + C_s + F_c)$$

**Ecuación 53**

En donde:

Z<sub>f</sub>: Altura del filtro (m)

f<sub>s</sub>: Factor de seguridad

C<sub>a</sub>: Altura de la capa de agua (m). Tabla 19-1

HLF: Altura del lecho filtrante (m)

C<sub>s</sub>: Altura de la capa de soporte-grava (m). Tabla 18-1

F<sub>c</sub>: Altura de drenaje (m). Tabla 19-1

#### 1.5.1.7.3.9 *Volumen del filtro*

Es el volumen que tendrá en filtro.

$$V_f = Z_s \times L_s \times a_c$$

**Ecuación 54**

En donde:

V<sub>f</sub>: Volumen del filtro (m<sup>3</sup>)

Z<sub>f</sub>: Altura del filtro (m)

L<sub>f</sub>: Largo del filtro (m)

a<sub>f</sub>: ancho del filtro (m)

#### 1.5.1.7.3.10 *Sistema de drenaje*

La función más importante del drenaje del filtro consiste en proveer una distribución uniforme del agua de lavado, además sirve para recoger el agua filtrada

#### 1.5.1.7.3.10.1 Área de orificios laterales

El área de los orificios laterales se determina por la siguiente ecuación:

$$A_o = \frac{\pi \cdot D_o^2}{4}$$

**Ecuación 55**

En donde:

$A_o$ : Área de los orificios ( $m^2$ )

$D_o$ : Diámetro del orificio (m). Tabla 20-1

#### 1.5.1.7.3.10.2 Caudal que ingresa a cada orificio

El caudal que ingresa cada orificio viene dado por:

$$Q_o = A_o \cdot V_o$$

**Ecuación 56**

En donde:

$Q_o$ : Caudal que ingresa en cada orificio ( $m^3/s$ )

$A_o$ : Área de los orificios ( $m^2$ )

$V_o$ : Velocidad en orificio (m/s). Tabla 20-1

#### 1.5.1.7.3.10.3 Numero de laterales

El número de laterales viene dado por la siguiente ecuación:

$$N_l = n_l \cdot \frac{L_f}{e_l}$$

**Ecuación 57**

En donde:

$N_l$ : Número de laterales

$n_l$ : Número de laterales por lado.

$L_f$ : Largo del filtro (m)

$e_l$ : Separación entre laterales (m)

#### 1.5.1.7.3.10.4 Diámetro que entra al filtro

La tubería de entrada al filtro se diseña con base en criterios de velocidad y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$D_t = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_d}{\pi \cdot V_t}}$$

**Ecuación 58**

En donde:

$D_t$ : Diámetro de entrada al filtro (m)

$Q_d$ : Caudal de diseño ( $m^3/s$ ).

$V_t$ : Velocidad de la tubería afluyente (m/s). Tabla 20-1

#### 1.5.1.7.3.10.5 Diámetro de salida del filtro

La tubería salida del filtro se diseña con base en criterios de velocidad y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$D_t = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_d}{\pi \cdot V_s}}$$

**Ecuación 59**

En donde:

$D_t$ : Diámetro de entrada al filtro (m)

$Q_d$ : Caudal de diseño ( $m^3/s$ ).

$V_s$ : Velocidad de la tubería efluente (m/s). Tabla 21-1

## 1.6 Legislación ambiental para descarga de aguas residuales

**1.6.1 “Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua Libro VI Anexo 1. Tabla 10”**

**1.6.1.1 Normas de descarga de efluentes al cuerpo de agua dulce.**

Los municipios tendrán la facultad de definir las cargas máximas permisibles a los cuerpos receptores de los sujetos de control. Estas cargas máximas serán aprobadas y validadas por la Autoridad Ambiental Nacional y estarán consignadas en los permisos de descarga.

Ante la inaplicabilidad para un caso específico de algún parámetro establecido en la presente norma o ante la ausencia de un parámetro relevante para la descarga bajo estudio, la Autoridad Ambiental Nacional deberá establecer los criterios de calidad en el cuerpo receptor para los caudales mínimos y cargas contaminantes futuras. La carga máxima permisible que deberá cumplir el sujeto de control será determinada mediante balance de masa del parámetro en consideración.

En condiciones especiales de ausencia de estudios del cuerpo receptor, falta de definición de usos del agua (como es el caso de pequeñas municipalidades que no pueden afrontar el costo de los estudios), se utilizarán los valores de la TABLA 10 del TULSMA Recurso del agua, que trata sobre las limitaciones a las descargas a cuerpos de agua dulce, en forma temporal, con el aval de la Autoridad Ambiental Competente.” (TULSMA, 2015)

Toda descarga al cuerpo de agua dulce deberá cumplir, al menos, con los valores establecidos en la siguiente tabla:

**Tabla 22-1** Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Time	Sustancias solubles en hexano	mg/l	30
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02



Cianuro total	CN <sup>-</sup>	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. Carnon cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	10000
Color real	Color real	Unidades de color	Inapresiabile en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Como hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O <sub>5</sub> .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visible		<b>Ausencia</b>
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	50,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	40
Compuestos organoclorados	Organoclorados totals	mg/l	0,05

Compuestos organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	Ph		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	130
Sólidos totales		mg/l	1 600
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	mg/l	1000
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

**Fuente:** TULSMA. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua: Libro VI Anexo 1 Tabla 10

**Realizado por:** Jael Chacha

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1 Parte experimental

##### 2.1.1 *Localización de la investigación*

El trabajo de investigación se realizó en el Camal Municipal de la Ciudad de Macas situada en la provincia de Morona Santiago, región Amazónica del Ecuador, en su cabecera cantonal la ciudad de Macas.

Las instalaciones se encuentran localizadas específicamente en el barrio “El Rosario” de la Ciudad de Macas, limitando al norte con la carretera la Hermita al Sur con terrenos dedicados a la Agricultura y al Río Jurumbaino. En el lindero oeste se encuentra el río Jurumbaino y al este limita con la avenida 29 de mayo.

En la actualidad, el camal cuenta con una área total de terreno de 2 hectárea aproximadamente de los cuales 400.86 m<sup>2</sup> destinados a la planta industrial y sus instalaciones anexas (oficina administrativa y técnica), patios de maniobra y vías de acceso.

Adicionalmente el camal cuenta con un corral para la recepción de animales localizado en la parte posterior de la planta industrial.



**Figura 1-2** Ubicación del Camal Municipal de la Ciudad de Macas

**Fuente:** (Ilustre Municipio del Cantón Morona)



**Fotografía 1-2** Instalaciones del Camal Municipal de la Ciudad de Macas

**Realizado por:** Jael Chacha 2016

El personal que opera en el Camal Municipal de la Ciudad de Macas trabaja de 7:00pm a 01:00am, el horario de trabajo se da debido a que el camal no cuenta con un cuarto frío para la refrigeración

de los animales faenados; por lo que una vez que los animales están listos para consumo los mismo son entregados a sus respectivos dueños. Además cabe recalcar que al tratarse de alimentos de primera necesidad las operaciones de la planta se realizan de domingo a domingo.

#### *2.1.1.1 Bovinos*

Los bovinos listos para consumos se entregan a los propietarios en las condiciones que se muestran en la siguiente figura:



**Fotografía 2-2** Bovinos listos para consumo

Realizado por: Jael Chacha 2016

Además el camal procesa un promedio de 10 bovinos siendo los días sábados los días de mayor demanda.

### 2.1.1.2 Porcino

De acuerdo a las necesidades de los propietarios los porcinos listos para consumo se entregan en distintas condiciones, las mismas que se muestran en las siguientes figuras:



**Fotografía 3-2** Porcinos listos para consumo

**Realizado por:** Jael Chacha 2016

Además el camal procesa un promedio de 8 porcinos, siendo los días viernes los días de mayor demanda.

### 2.1.2 Metodología

Para la evaluación de las diferentes características del agua residual del Camal Municipal de la Ciudad de Macas se tomó como punto de partida el reconocimiento de las distintas operaciones que se llevan a cabo para la faena de los animales que se procesan.

Identificando que para la recolección de todos los vertidos que se generan en las líneas de producción de la planta se realiza en un solo vertedero, el cual se dirige al cuerpo receptor ciente este el Rio Jurumbaino.

Una vez identificado el vertido final, se procede a la recolección de la muestra y a la respectiva caracterización inicial del agua residual para así comparar con los parámetros que se establecen en la norma para la descarga a un cuerpo de agua dulce perteneciente al TULSMA, con la finalidad de identificar las características que se encuentran fuera del límite permisible.

Según las características de los contaminantes del agua residual se procede a realizar las pruebas de tratabilidad de dicho efluente, empezando por pruebas con tratamientos físicos, químicos y por último biológicos. La caracterización final del agua residual que ha sido tratada debe arrojar valores de parámetros que se encuentren dentro de los límites establecidos por la normativa ambiental, de esta manera se puede escoger el tratamiento conveniente para el efluente.

La validación del sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto en el presente trabajo se demuestra a través de los resultados obtenidos en la caracterización del efluente tratado.

#### *2.1.2.1 Medición de caudales*

La medición del caudal se realizó mediante el método de estructuras.

La medición fue realizada durante cinco días, desde las 19:30 hasta las 00:00, en intervalos de media hora, obteniéndose 10 mediciones al día; y un total de 50 mediciones para la determinación apropiada de caudales representativos.

En la medición se utilizó un flexómetro para determinar la altura de vertido que pasa atreves del vertedero de salida. Se determinaron los caudales en dos puntos de la planta.

El punto 1 se trata de un vertedero rectangular y mediante la aplicación de la ecuación 6 se estableció el caudal del agua residual

El otro punto en el que se tomó el caudal fue a la salida del vertido final, el cual se lo hace ha tomado en cuenta que su descarga se hace a través de un vertedero circular y mediante la aplicación de la ecuación 4 se determina el caudal final que desemboca en el cuerpo receptor:

#### *2.1.2.2 Muestreo*

#### 2.1.2.2.1 *Recolección de muestras*

Los procesos de faena de porcinos y bovinos, así como la limpieza de los equipos e instalaciones producen descargas de vertidos, los cuales son transportados en varias tuberías desembocando en un vertedero, en el cual se realizó muestreo de las aguas residuales industriales.

El tipo de muestra a utilizar en el presente trabajo de investigación es la muestra compuesta, esta comprende de la combinación de varias muestras instantáneas recolectadas en el mismo punto de muestreo a diferentes tiempos. Cada muestra fue recolectada desde las 19:00 hasta las 00:00, en intervalos de dos horas, teniendo así 4 muestras en el día para obtener la muestra compuesta representativa.

En el transcurso del muestreo se midió la temperatura in situ, con la ayuda de un termómetro. Los recipientes fueron debidamente rotulados y transportados en hieleras para que las muestras no sufran alteración hasta la realización de los respectivos análisis.

#### 2.1.3 *Caracterización del agua residual*

Las caracterización de las aguas residuales se realizaron en el laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias ubicado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo y en el Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH ubicado en la Universidad Nacional de Chimborazo, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo.

##### 2.1.3.1 *Métodos*

La caracterización del agua residual en el Laboratorio de Servicios Ambientales es realizada de acuerdo a los métodos detallados a continuación:

**Tabla 23-2** Métodos utilizados en el Laboratorio de Servicios Ambientales LSA-UNACH

<b>Parámetros</b>	<b>Método/ procedimiento</b>
Potencial de hidrógeno	PE-LSA-01
Conductividad eléctrica	PE-LSA-02
Sólidos Totales	PE-LSA-04
Sólidos Suspendedos	STANDARD METHODS 2540 D
Sulfatos	STANDARD METHODS 4500 SO <sub>4</sub> -E



Fosfatos	STANDARD METHODS 4500 -P-E
Nitratos	STANDARD METHODS 4500 NO <sub>3</sub> -E mod
Sólidos Sedimentables	STANDARD METHODS 2540 -F
Aceites y Grasas	EPA 418,1
Turbiedad	STANDARD METHODS 2130 B
DBO5	STANDARD METHODS 5210 -B
DQO	STANDARD METHODS 5220 -D mod
Coliformes Fecales	STANDARD METHODS 9221 c

**Fuente:** Laboratorios de Servicios Ambientales LSA-UNACH.

**Realizado por:** Jael Chacha, 2016

### 2.1.3.2 Técnicas

En el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias las técnicas utilizadas para las pruebas de caracterización se fundamentan en:

- Manual “Standar Methods for Examination of Water and Wastewater” (Métodos Normalizados para el análisis de Agua Potable y Residuales).
- Manual de Métodos HACH.

### 2.1.4 Datos experimentales

#### 2.1.4.1 Caudal del agua residual

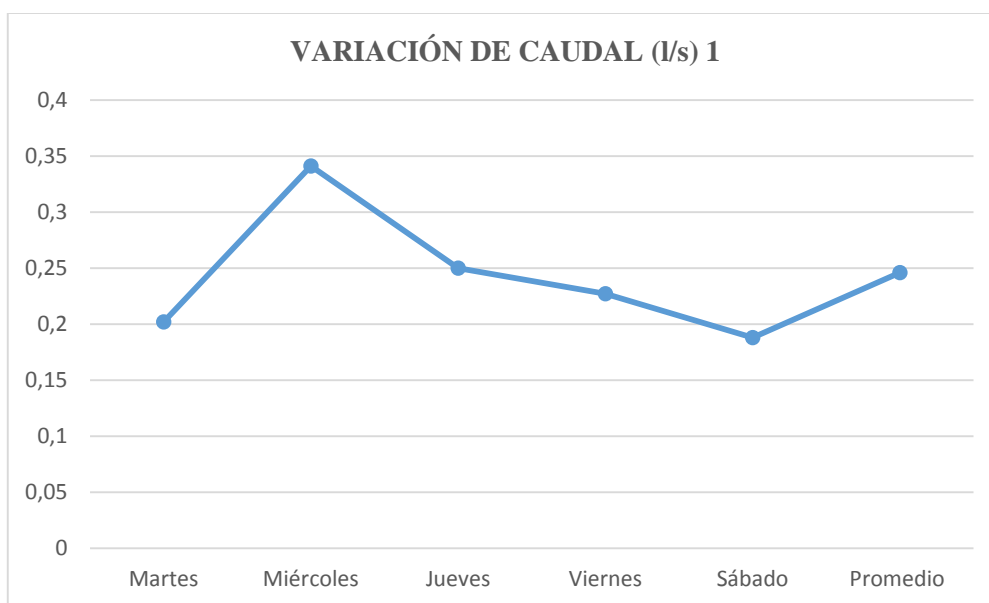
El caudal registrado del agua residual proveniente de las distintas áreas de proceso en el Camal Municipal de la Ciudad de Macas se tomó durante cinco días, desde las 19:00 horas hasta 00:00 horas. Tomándose en cuenta dos puntos, siendo el primero (Punto 1) las aguas que proceden de áreas de desangrado, descuerado, noqueo y partido de canales; y el segundo (Punto 2) es el que recoge el vertido final que se descarga al cuerpo receptor; mediante la utilización del método de estructuras de medida se presenta a continuación:

**Tabla 24-2** Valores de caudal en el punto 1 (Anexo A)

Hora	Caudal (l/s)				
	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
19:30	0,131	0,316	0,316	0,094	0,094
20:00	0,265	0,217	0,094	0,217	0,094
20:30	0,094	0,547	0,173	0,265	0,131
21:00	0,094	0,547	0,131	0,265	0,061
21:30	0,173	0,610	0,094	0,173	0,217
22:00	0,131	0,265	0,316	0,265	0,316
22:30	0,173	0,316	0,426	0,265	0,265
23:00	0,217	0,094	0,369	0,094	0,316
23:30	0,485	0,131	0,265	0,316	0,173
00:00	0,316	0,426	0,316	0,316	0,217
<b>Promedio</b>	<b>0,202</b>	<b>0,341</b>	<b>0,250</b>	<b>0,227</b>	<b>0,188</b>
<b>Promedio total</b>	<b>0,241</b>				

Realizado por: Jael Chacha 2016

La siguiente figura muestra la variación del caudal en el Camal Municipal de la Ciudad de Macas:



**Gráfico 1-2** Variación de caudal

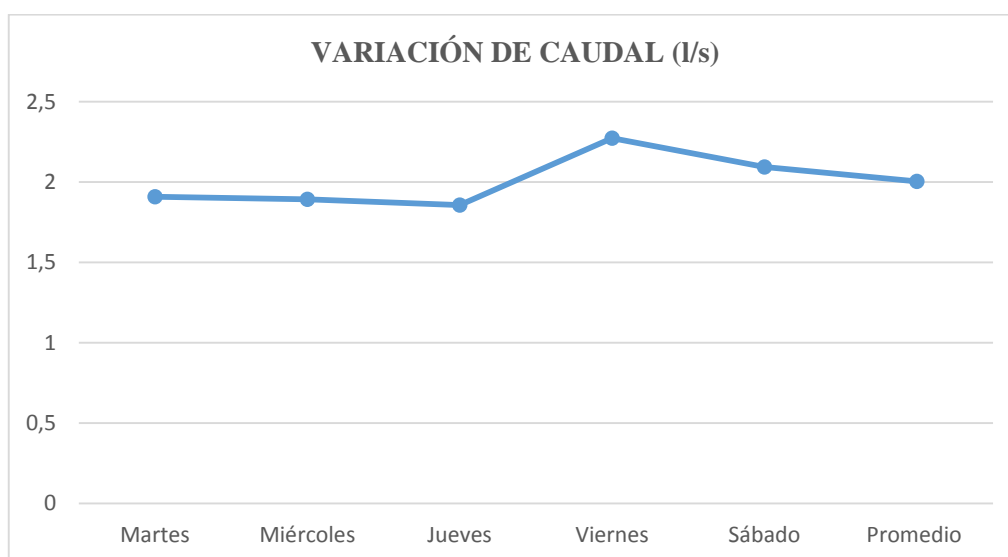
Realizado por: Jael Chacha 2016

**Tabla 25-2** Valores de caudal en el punto 2 (Anexo A)

Hora	Caudal (l/s)				
	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
19:30	1,666	1,887	1,775	1,887	1,775
20:00	1,559	2,120	1,775	2,002	1,775
20:30	1,775	2,120	1,666	2,120	2,120
21:00	1,775	1,887	1,887	2,493	2,493
21:30	2,493	1,357	1,775	2,623	2,623
22:00	1,261	1,775	1,887	2,493	1,775
22:30	2,623	1,887	1,666	2,120	2,120
23:00	2,493	2,002	2,002	2,493	2,120
23:30	1,775	1,775	2,002	2,002	1,887
00:00	1,666	2,120	2,120	2,493	2,241
<b>Promedio</b>	<b>1,908</b>	<b>1,893</b>	<b>1,856</b>	<b>2,273</b>	<b>2,093</b>
<b>Promedio total</b>	<b>2,005</b>				

Realizado por: Jael Chacha 2016

La siguiente figura muestra la variación del caudal en el punto 2 en el Camal Municipal de la Ciudad de Macas:



**Gráfico 2-2** Variación de caudal

Realizado por: Jael Chacha 2016

De acuerdo a los valores que se muestran en la tabla 25-2, se puede reconocer como valor promedio o caudal promedio semanal 2,005 l/s. 0,002005 m<sup>3</sup>/s

### 2.1.1. Caracterización inicial del agua residual

Los parámetros fundamentales utilizados para el diseño de plantas de tratamiento son DQO, DBO<sub>5</sub>; por tratarse de descargas con una gran cantidad de compuestos orgánicos de biodegradabilidad elevada.

La temperatura fue el único parámetro tomado in situ, obteniéndose como valor mínimo 18°C y como valor máximo 24°C.

Las pruebas de caracterización de las muestras de agua residual obtenidas arrojaron los siguientes resultados:

**Tabla 26-2** Resultados de la caracterización del agua residual cruda. Punto 2 (Anexo A)

Parámetro	Unidad	Resultados			Promedio	*Límite permisible TULSMA
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3		
Ph	-	6,91	7,47	6,98	7,12	6—9
Temperatura	°C	24	18	22	21,33	
Conductividad	µS/cm	522	1210	1040	924	-
Sólidos totales	mg/l	898	3560	6144	3534	1600
Sólidos suspendidos	mg/l	298	1084	2432	1271,33	130
Sulfatos	mg/l	100	1000	1050	716,67	1000
Fosfatos	mg/l	30,6	61,5	79	57,03	10
Nitrógeno total	mg/l	320	360	200	293,33	50
Hierro	mg/l	18	19	21,5	19,5	10
Sólidos sedimentables	mg/l	4,3	28	74	35,43	1
Aceites y grasas	mg/l	68,4	22	22	37,47	30
Turbiedad	FTU-NTU	216	1920	1432	1189,33	-

<b>DBO</b>	mg	972	6200	5400	4190,67	100
<b>DQO</b>	mg/l	1170	10300	9600	7023,33	200
<b>Coliformes Fecales</b>	UFC/100 ml	9400	5x10 <sup>7</sup>	6,1x10 <sup>8</sup>	2,2x10 <sup>8</sup>	10000

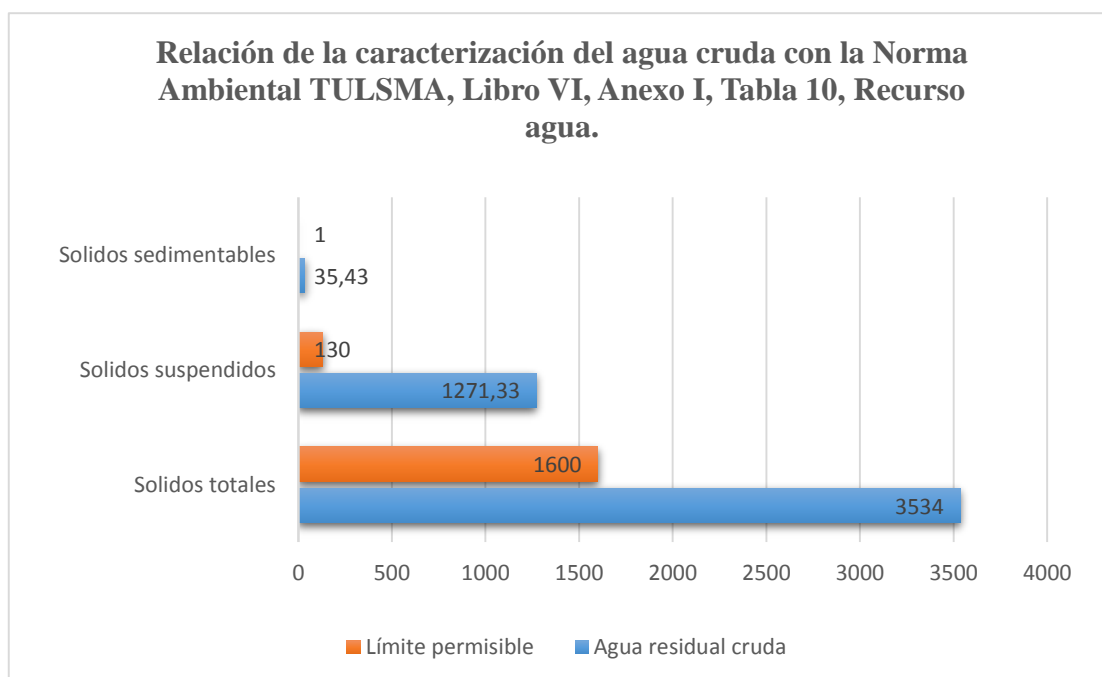
\*Tabla 10 de Límite de descarga a un cuerpo de agua dulce del TULSMA Libro VI Anexo I

**Fuente:** Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias y Laboratorio de Servicios Ambientales LSA-UNACH

**Realizado por:** Jael Chacha 2016

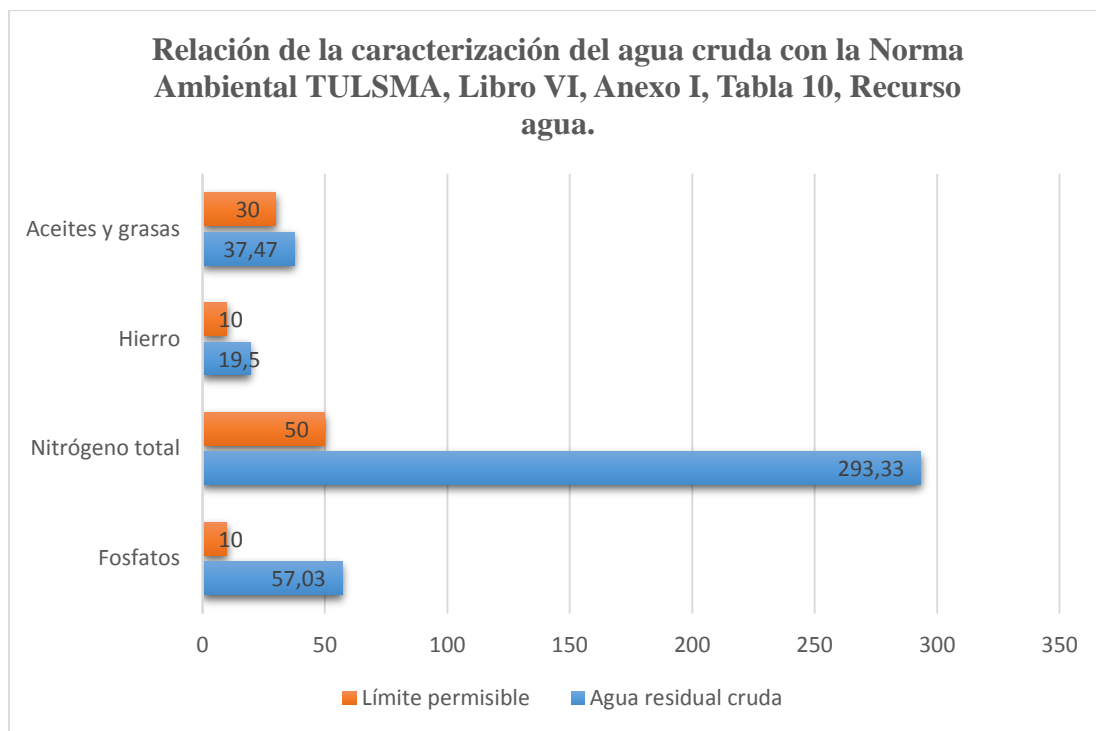
La tabla 26-2 indica que la mayoría de los parámetros analizados se encuentran fuera del límite permisible establecido en la normativa ambiental; los valores de pH, conductividad, turbiedad y sulfatos son los únicos parámetros que se encuentran dentro del rango establecido.

2.1.4.2 *Parámetros de no cumplimiento con la normativa ambiental comparación de la caracterización inicia con la norma ambiental.*



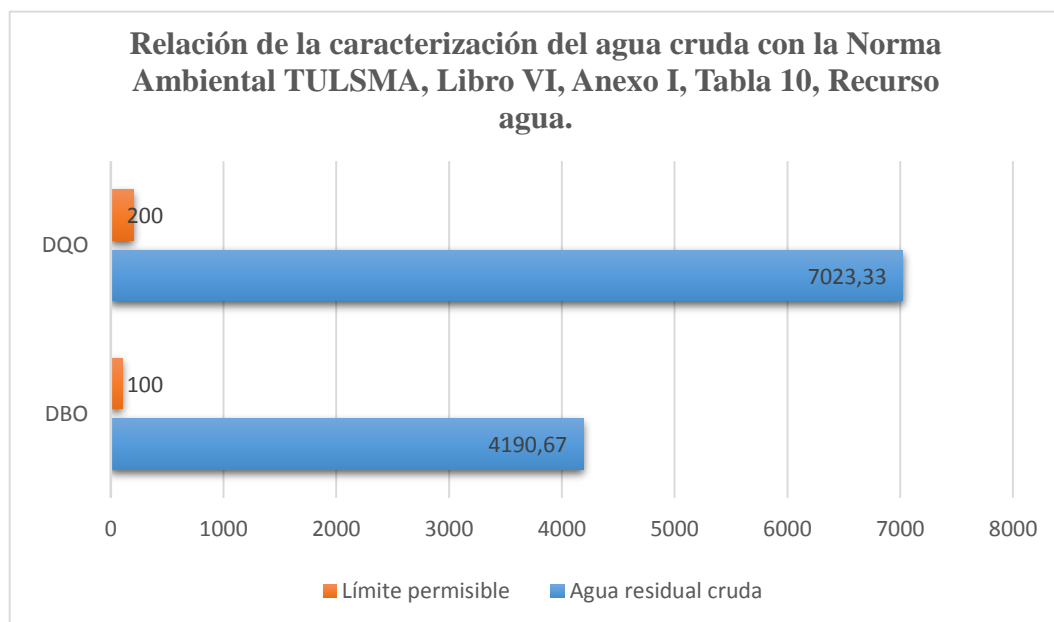
**Gráfico 3-2** Parámetros que no cumplen con los parámetros establecidos en el TULSMA, Libro VI, Anexo I, Tabla 10, Recurso agua .

**Fuente:** Jael Chacha, 2016



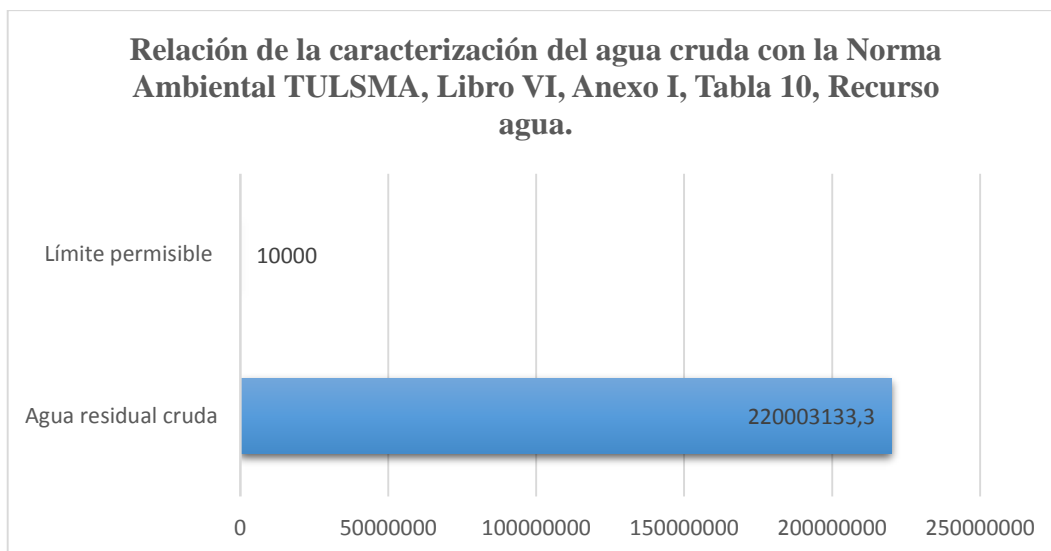
**Gráfico 4-2** Parámetros que no cumplen con los parámetros establecidos en el TULSMA, Libro VI, Anexo I, Tabla 10, Recurso agua .

Fuente: Jael Chacha, 2016



**Gráfico 5-2** Parámetros que no cumplen con los parámetros establecidos en el TULSMA, Libro VI, Anexo I, Tabla 10, Recurso agua .

Fuente: Jael Chacha, 2016



**Gráfico 6-2** Parámetros que no cumplen con los parámetros establecidos en el TULSMA, Libro VI, Anexo I, Tabla 10, Recurso agua .

Fuente: Jael Chacha, 2016

## 2.2. Pruebas de tratabilidad

Como punto de partida para las pruebas de tratabilidad se tomó en cuenta el índice de biodegradabilidad:

Los valores de DQO y DBO a considerar para determinar la biodegradabilidad del efluente son aquellos valores de la caracterización del agua residual de la tabla 26-2.

- DQO: 7023,33 mg/l
- DBO<sub>5</sub>: 4190,67 mg/l

Teniendo así que la relación de DQO/DBO<sub>5</sub> es:

$$\frac{7023,33}{4190,67} = 1,68$$

De acuerdo a la tabla 4-1 el valor indica que el efluente posee contaminantes de naturaleza orgánica muy biodegradables. Además como **1,68 < 2,5** valor que indica que el efluente puede tratarse en un **sistema biológico**.

Entonces se procedió a seleccionar el tratamiento biológico para tratar el agua residual proveniente del Camal Municipal de la Ciudad de Macas. Unos de los tratamientos biológicos más utilizados es el sistema de lodos o fangos activos, pero en la actualidad el tratamiento con

**humedales artificiales** ha tomado gran incidencia debido a sus ventajas y resultados muy eficientes y eficaces; por lo que se ha optado tomar en cuenta para tratar los vertidos.

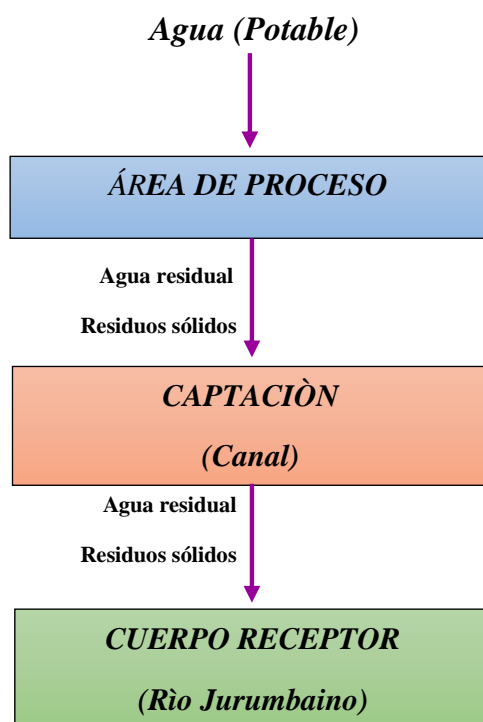
### 2.3. Dimensionamiento de la planta de tratamiento

El Camal de la Ciudades de Macas procesa un promedio de 11 bovinos y 9 porcinos diarios. Las aguas residuales provenientes de las diferentes operaciones del proceso y de limpieza de las instalaciones se recogen en un solo vertedero, que posteriormente desemboca en el Rio Jurumbaino que es el cuerpo receptor; sin recibir un tratamiento previo adecuado ya que no cuenta con una planta de tratamiento de efluentes.

El dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales tiene como dato fundamental para los cálculos de diseño, el caudal volumétrico correspondiente al vertido de dichas aguas, además se toman en cuenta sus características físicas, químicas y microbiológicas.

Una vez que el agua residual ha sido tratada debe cumplir con la normativa ambiental del TULSMA, Libro VI, Anexo I, Tabla 10, Recurso del agua; para que pueda ser descargada al cuerpo receptor.

### 2.4 Situación actual del Camal Municipal de la Ciudad de Macas



**Gráfico 7-2** Diagrama del sistema de tratamiento

Realizado por: Jael Chacha 2016



## CAPÍTULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.1. Cálculos para el dimensionamiento del sistema de tratamiento

##### 3.1.1 Dimensionamiento de sistema de rejillas para el canal actual (Punto 1)(Anexo A)

Con la finalidad de mejorar el vertido final y que la presencia de sólidos no afecten a las etapas de tratamiento se ha optado por diseñar rejillas en el canal que actualmente existe el Canal Municipal de la Ciudad de Macas, y recoge las aguas residuales generadas en el área de noqueo, desangrado, descuerado y partido de canales (Punto 1).

##### 3.1.1.1 Sumatoria de las separaciones entre barras

De acuerdo a la ecuación 8 se tiene:

$$b_g = \left( \frac{b - e}{s + e} + 1 \right) e$$

$$b_g = \left( \frac{203 \text{ mm} - 30 \text{ mm}}{10 \text{ mm} + 30 \text{ mm}} + 1 \right) 30 \text{ mm}$$

$$b_g = 159,75 \text{ mm}$$

$$\mathbf{b_g = 0,1598 \text{ m}}$$

En donde:

$b_g$ : Sumatoria de las separaciones entre rejillas, mm.

$b$ : Ancho del canal, mm.

$e$ : Separación entre barras, mm. Tabla 5-1.

$s$ : Espesor de las barras, mm. Tabla 5-1.

##### 3.1.1.2 Número de barras

Con la ecuación 9 determinamos el número de barras:

$$n' = \frac{b_g}{e} - 1$$

$$n' = \frac{159,75\text{mm}}{30\text{ mm}} - 1$$

$$n' = 4,325$$

$$n' \approx 4 \text{ barras}$$

En donde:

$n'$ : Número de barras

$b_g$ : Sumatoria de las separaciones entre rejillas, mm.

$e$ : Separación entre barras, mm. Tabla 5-1

### 3.1.1.3 Longitud de las barras

El valor de la pendiente en relación a la vertical,  $\theta = 30$  se toma de la Tabla 5-1 y con la ecuación 10 se tiene:

$$l_b = \frac{H}{\text{sen } \theta}$$

$$l_b = \frac{0,36\text{ m}}{\text{sen } 30}$$

$$l_b = 0,72\text{ m}$$

En donde:

$l_b$ : Longitud de barras, mm.

$H$ : Profundidad del canal, m.

$\theta'$ : Pendiente en relación a la vertical, grados. Tabla 5-1.

### 3.1.1.4 Área de espacios entre barras

Mediante la ecuación 11 calculamos lo siguiente:

$$A_{eb} = b_g \times l_b$$

$$A_{eb} = 0,1598 \text{ m} \times 0,72 \text{ m}$$

$$A_{eb} = \mathbf{0,115 \text{ m}^2}$$

En donde:

$A_{eb}$ : Área de espacios entre barras,  $\text{m}^2$ .

$b_g$ : Sumatoria de las separaciones entre rejas, m.

$l_b$ : Longitud de barras, m.

### 3.1.1.5 Pérdidas de carga a través de una reja

El coeficiente empírico que incluye pérdidas por turbulencia y formación de sólidos es  $k = \frac{1}{0,7}$  (Metcalf & Eddy, 1995) y mediante la ecuación 12 tenemos:

$$h_l = k \left( \frac{V^2 - v^2}{2 \times g} \right)$$

$$h_l = \frac{1}{0,7} \left( \frac{[0,6 \text{ m/s}]^2 - [0,3 \text{ m/s}]^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2} \right)$$

$$h_l = \mathbf{0,020 \text{ m}}$$

En donde:

$h_l$ : Pérdida de carga, m.

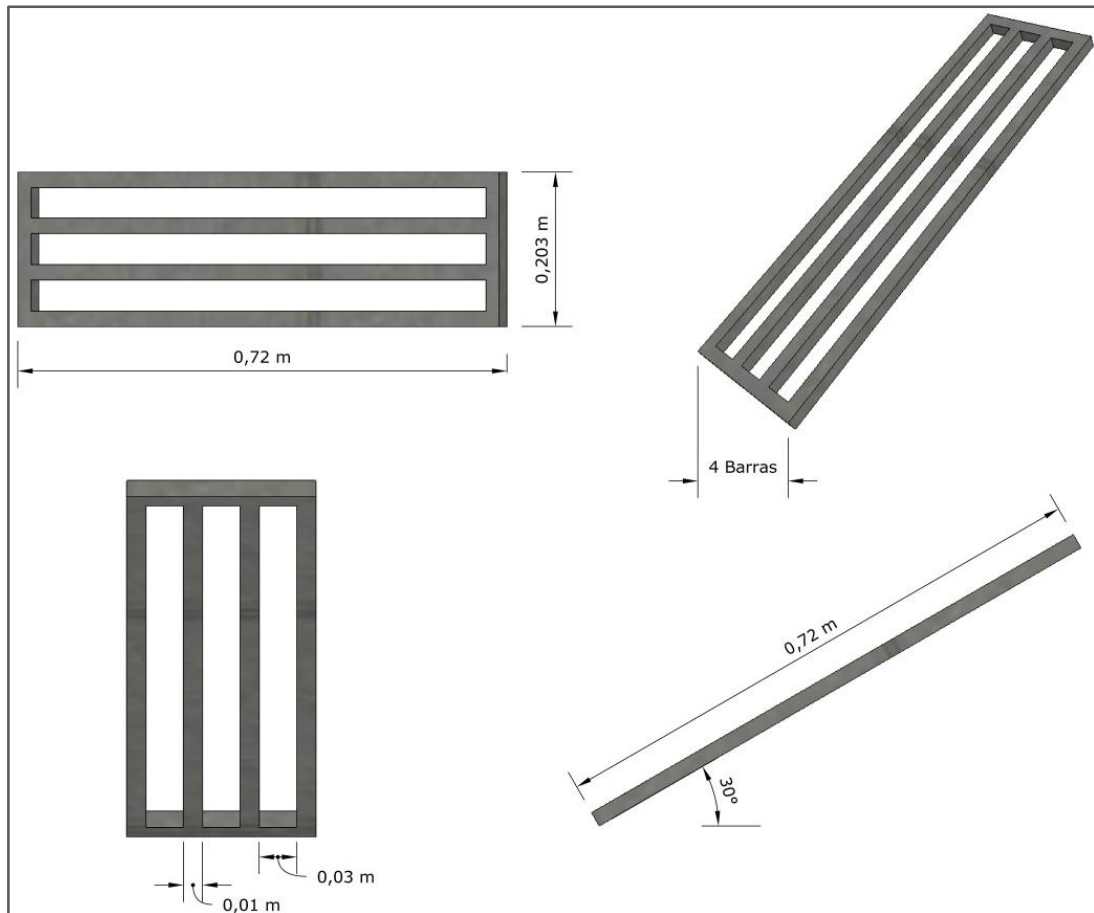
$k = 1/0,7$ : Coeficiente empírico que incluye pérdidas por turbulencia y formación de sólidos. (Metcalf & Eddy, 1995).

$V$ : Velocidad del flujo a través de los barrotes, m/s. Tabla 5-1

$v$ : Velocidad de aproximación del fluido, m/s. Tabla 5-1

$g$ : Aceleración de la gravedad,  $\text{m/s}^2$ .

Este resultado no sobrepasa el parámetro de 150 mm para pérdida de carga permisible estipulado en la Tabla 5-1. Esto nos indica que las rejas deben ser limpiadas periódicamente para evitar la reducción de la velocidad del flujo del agua por la presencia de acumulación de sólidos.



**Gráfico 8-3** Rejillas

Fuente: Jael Chacha 2016

**3.1.2 Caudal de salida del área del proceso (Punto 2 ver anexo A)**

**3.1.2.1 Consumo de agua**

Con la ecuación 13 y 14 procedemos a calcular el consumo de agua de bovinos y porcinos respectivamente:

$$CA_b = 9 \frac{l}{kg} \times kg_b \times n^{\circ} \text{ de bovinos faenados}$$

$$CA_b = 9 \frac{l}{kg} \times 119,22 \frac{kg}{bov} \times 10$$

$$CA_b = 10\,729,8 \text{ l/bov}$$

$$CA_p = 8 \frac{l}{kg} \cdot kg_p$$

$$CA_p = 9 \frac{l}{kg} \times 66,35 \frac{kg}{por} \times 8$$

$$CA_p = 4\,777,2 \text{ l/por}$$

En donde:

CA<sub>b</sub>: Consumo de agua de bovino (l/bov)

kg<sub>b</sub>: Kilogramos totales de bovino (kg/bov)

CA<sub>p</sub>: Consumo de agua de porcino (l/por)

kg<sub>p</sub>: Kilogramos totales de porcino (kg/por)

### 3.1.2.2 Índice de consumo de carne

Para determinar el ICC de para una población se determina mediante la siguiente ecuación 15, 16, 17 y 18.

Además según el último CENSO en la Ciudad de Macas hay 45 649 habitantes

$$ICC'_b = N^{\circ} \text{bovino faenado} \times \text{Peso promedio}$$

$$ICC'_b = 10 \frac{\text{bov}}{d} \times 262,28 \frac{\text{lb}}{\text{bov}}$$

$$ICC'_b = 2622,84 \text{ lb/d}$$

$$ICC'_p = N^{\circ} \text{porcino faenado} \times \text{Peso promedio}$$

$$ICC'_p = 8 \frac{\text{poc}}{d} \times 145,97 \frac{\text{lb}}{\text{poc}}$$

$$ICC'_p = 1167,76 \text{ lb/d}$$

Donde:

ICC'<sub>b</sub>: Índice de consumo de carne de bovinos

ICC'<sub>p</sub>: Índice de consumo de carne de porcinos

ICC: Índice de consumo de carne

Además en consumo por habitante calculado el año 2016, se puede determinar de acuerdo a la siguiente expresión:

$$ICC_b = \frac{ICC'_b}{pobacion\ actual}$$

$$ICC_b = \frac{2622,84\ lb/d}{45649\ hab}$$

$$ICC_b = 0,057 \frac{lb}{d.hab}$$

$$ICC_p = \frac{ICC'_p}{pobacion\ actual}$$

$$ICC_p = \frac{1167,76\ lb/d}{45649\ hab}$$

$$ICC_p = 0,026 \frac{lb}{d.hab}$$

Donde:

ICC: Índice de consumo de carne (lb/d.hab)

ICC<sub>b</sub>: Índice de consumo de carne de bovinos

ICC<sub>p</sub>: Índice de consumo de carne de porcinos

### 3.1.2.3 *Calculo de la población proyectada*

El último CENSO realizado en nuestro país 2010, indica que la tasa de crecimiento de la Ciudad de Macas es de 1,82 y el número de habitantes es de 41 155 entonces mediante la ecuación 19 obtenemos la población proyectada para el 2016:

$$P_f = P_a(1 + rn)$$

$$P_f = 41155(1 + 0,0182 \times 20)$$

$$P_f = 45\ 649\ hab$$

Posteriormente con la ecuación 19 calculamos la población proyectada para el año 2036:

$$P_f = P_a(1 + rn)$$

$$P_f = 45649(1 + 0,0182 \times 20)$$

$$P_f = 62\ 265\ hab$$

Donde:

P<sub>f</sub>: Población proyectada

P<sub>a</sub>: Población actual

r: Tasa de crecimiento actual

n: Periodo de tiempo (año futuro – año actual)

### 3.1.2.4 Demanda proyectada

La demanda futura o proyectada se puede determinar mediante la ecuación 20 y 21:

$$D_b = \frac{P_f \times ICC_b}{\text{peso promedio}}$$

$$D_b = \frac{62265\ hab \times 0,057 \frac{lb}{d.hab}}{262,28 \frac{lb}{bov}}$$

$$D_b = 13,532 \frac{bov}{d}$$

$$D_p = \frac{P_f \times ICC_p}{\text{peso promedio}}$$

$$D_p = \frac{62265\ hab \times 0,026 \frac{lb}{d.hab}}{145,97 \frac{lb}{por}}$$

$$D_p = 11,091 \frac{por}{d}$$

Donde:

D<sub>p</sub>: Demanda proyectada

P<sub>f</sub>: Población proyectada

ICC<sub>b</sub>: Índice de consumo de carne de bovinos

IC<sub>p</sub>: Índice de consumo de carne de porcinos

### 3.1.2.5 Caudal proyectado

El caudal requerido a futuro se puede determinar de acuerdo ecuación 22, 23 y 24:

$$Q'_b = D_b \times CA_b$$

$$Q'_b = 13,532 \frac{bov}{d} \times 10\,729,8 \text{ l/bov}$$

$$Q'_b = 145\,195,654 \text{ l/d}$$

$$Q'_p = D_p \times CA_p$$

$$Q'_p = 11,091 \frac{por}{d} \times 4\,777,2 \text{ l/por}$$

$$Q'_p = 52\,983,925 \text{ l/d}$$

$$Q_p = Q'_b + Q'_p$$

$$Q_p = 145\,195,654 \frac{l}{d} + 52\,983,925 \frac{l}{d}$$

$$Q_p = 198\,179,579 \frac{l}{d}$$

$$Q_p = 2,294 \frac{l}{s}$$

$$Q_p = 0,002294 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_p = 198,179 \frac{m^3}{d}$$

Donde:

Q<sub>p</sub>: Caudal proyectado (m<sup>3</sup>/s)



$D_b$ : Demanda proyectada de bovinos  
 $D_p$ : Demanda proyectada de porcino  
 $C_{Ab}$ : Consumo de agua de bovinos (L/bov)  
 $C_{Ap}$ : Consumo de agua de porcinos (L/por)

El caudal real tomado de forma experimental mediante el método de estructuras fue de 2,005 l/s en el cual se incluye la demanda de porcinos y bovinos diarios, para el diseño del sistema de tratamiento se requiere determinar un caudal proyectado con la finalidad de que la planta dentro de 20 años aun de resultados de remoción de contaminantes óptimos, aun a pesar del aumento de caudal.

Al tratarse de una micro empresa de industrias cárnicas se relacionada directamente con el índice de consumo de carne en la zona y la demanda que tendrá, por tanto para determinar el caudal proyectado se toma en cuenta estos dos parámetros obteniendo así 2,294 l/s, teniendo relación directa con el caudal actual, debido a que mientras los años pasan, la población y el índice de consumo de carne en la zona aumenta y esto influye directamente en el incremento de caudal.

### 3.1.3 Dimensionamiento del canal de entrada (Punto 2 ver anexo A)

#### 3.1.3.1 Coeficiente de Manning

Con la ecuación 25 determinamos:

$$K = \frac{Q_p * n}{\frac{8}{b^3} * S^{\frac{1}{2}}}$$

$$K = \frac{0,002294 \times 0,013}{0,70^{8/3} \times 0,0005^{1/2}}$$

$$K = 0,0035$$

Donde:

K: Coeficiente de Manning (adimensional)

$Q_p$ : Caudal ( $m^3/s$ )

n: Coeficiente de rugosidad de Manning (adimensional). Tabla 10-1

b: Base del canal (m). Tabla 9-1

S: Pendiente del canal (m/m). Tabla 9-1

### 3.1.3.2 *Altura del tirante de agua*

Mediante a ecuación 26 se determina:

$$h = 1,6624 * K^{0,74232} * b$$

$$h = 1,6624 \times 0,0035^{0,74232} \times 0,70$$

$$\mathbf{h = 0,017 m}$$

$$\mathbf{h = 1,7 cm}$$

Donde:

h: Altura del tirante de agua en el canal (m)

K: Coeficiente de Manning (adimensional)

b: Base del canal (m). Tabla 9-1

### 3.1.3.3 *Altura del canal*

Mediante la ecuación 27 se tiene:

$$H = h + h_s$$

$$H = 0,017 m + 0,30 m$$

$$\mathbf{H = 0,317 m}$$

En donde:

H: Profundidad del canal, m.

h: Altura de tirante de agua, m.

$h_s$ : Borde libre del canal, m. Tabla 8-1

### 3.1.3.4 *Radio hidráulico*

Se toma de la Tabla 9-1, para canal rectangular revestido un ancho de 0,50 m y mediante la ecuación 28 tenemos:

$$R_h = \frac{b \times H}{b + 2H}$$

$$R_h = \frac{0,7 \text{ m} \times 0,317 \text{ m}}{0,7 \text{ m} + (2 \times 0,317 \text{ m})}$$

$$R_h = 0,166 \text{ m}$$

En donde:

$R_h$ : Radio hidráulico, m.

$h$ : Altura del canal, m.

$b$ : Ancho del canal, m. Tabla 9-1.

### 3.1.3.5 Velocidad media del caudal de agua

Utilizando la ecuación 29 se tiene:

$$v = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S'^{1/2}$$

$$v = \frac{1}{0,013} (0,166 \text{ m})^{2/3} (0,0005)^{1/2}$$

$$v = 0,519 \text{ m/s}$$

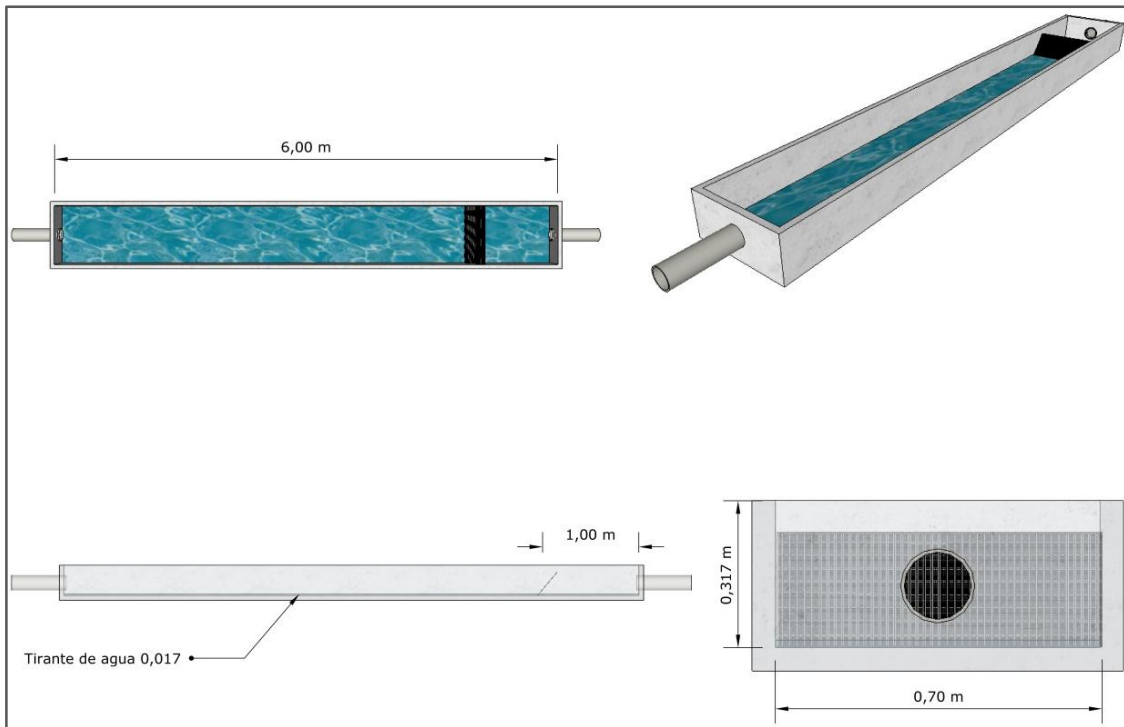
Donde:

$v$ : Velocidad media del agua en el canal, m/s.

$n$ : Coeficiente de rugosidad Manning de las paredes del canal. Tabla 10-1.

$R_h$ : Radio hidráulico del canal, m.

$S'$ : Pendiente m/m (0,02 para canal rectangular revestido Tabla 9-1).



**Gráfico 9-3** Canal de entrada

Fuente: Jael Chacha 2016

### 3.1.4 Dimensionamiento de malla porosa

#### 3.1.4.1 Número de hilos por metro de ancho de canal

El número de hilos se determina mediante la ecuación 30:

$$N = \frac{b}{e}$$

$$N = \frac{70 \text{ cm}}{0,2 \text{ cm}}$$

$$N = 350 \text{ hilos/m}$$

En donde:

N: Número de hilos por metro de ancho del canal (hilos/m)

b: Ancho del canal (cm)

e: Espaciamiento entre hilos (cm). Tabla 11-1.

### 3.1.4.2 Porosidad de la malla

Se determina mediante la ecuación 31:

$$\epsilon = (1 - Nd)^2$$

$$\epsilon = (1 - (350 \times 0,002))^2$$

$$\epsilon = \mathbf{0,09}$$

En donde:

$\epsilon$ : Porosidad (adimensional)

N: Número de hilos por metro de ancho del canal (hilos/m)

d: Grosor de los hilos (m). Tabla 11-1.

### 3.1.4.3 Coeficiente de pérdida de carga

EL coeficiente de pérdida de carga hace referencia a la forma de los hilos. Se determina mediante la ecuación 32:

$$K = \frac{0,55(1 - \epsilon^2)}{\epsilon^2}$$

$$K = \frac{0,55(1 - 0,09)}{0,09^2}$$

$$K = \mathbf{61,790}$$

En donde:

K: Coeficiente de pérdida de carga (adimensional)

$\epsilon$ : Porosidad (adimensional)

### 3.1.4.4 Gradiente de velocidad

Es el gradiente de velocidad producido al paso del flujo a través de la malla, se mide en s-1 y se calcula mediante la siguiente ecuación 33:

$$G = 350 \sqrt{\frac{K}{e}} \times v^{1,5}$$

$$G = 350 \sqrt{\frac{61,790}{0,002}} \times 0,519 \text{ m/s}^{1,5}$$

$$\mathbf{G = 23\ 001,872\ s^{-1}}$$

En donde:

G: Gradiente de velocidad ( s<sup>-1</sup>)

K: Coeficiente de perdida de carga (adimensional)

e: Espaciamiento entre hilos (cm). Tabla 11-1

v: Velocidad del canal (m/s)

### 3.1.4.5 Pérdida de carga

La pérdida de carga producida por la malla debe ser menor a 15 m (Moroto, Juan; 2013) para que no se produzca el atascamiento del canal y el fluido pueda seguir su curso a los largo del canal una vez que pase por las mallas. Y mediante la ecuación 34 se tiene:

$$h_c = \frac{K \cdot v^2}{2 \cdot g}$$

$$h_c = \frac{61,790 \times (0,519 \text{ m/s})^2}{2 \cdot g}$$

$$\mathbf{h_c = 0,849\ m}$$

En donde:

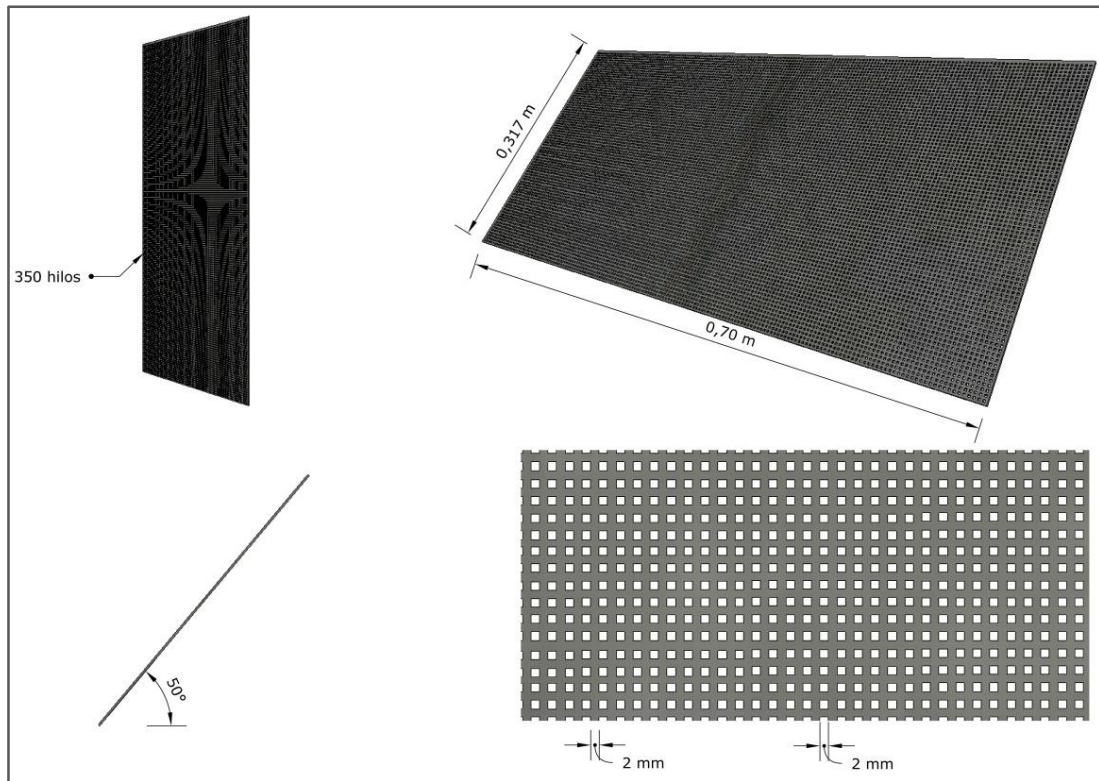
h<sub>c</sub>: Perdida de carga (m)

K: Coeficiente de perdida de carga (adimensional)

v: Velocidad del canal (m/s)

g: Gravedad (m/s<sup>2</sup>)

La pérdida de carga es menor a 15m por los que nos indica que no habrá atascamiento den el canal.



**Gráfico 10-3** Malla porosa

Fuente: Jael Chacha 2016

### 3.1.5 Dimensionamiento de trampa de grasa simple

Estas unidades se diseñan en función de la velocidad de flujo o el tiempo de retención hidráulica. El caudal de diseño es de 2,294 l/s.

De acuerdo a los datos de la tabla a la Tabla 12-1 se tiene que:

Rango de caudales (l/s)	Volumen de trampa de grasa (m <sup>3</sup> )	Dimensiones estimadas (m)		
		Profundidad H	Ancho A	Largo L
2-3	8,1	2,0	1,50	2,7

El tiempo de retención en la trampa de grasa se determina mediante la ecuación 35:

$$Tr_T = \frac{V_T}{Q_P}$$

$$Tr_T = \frac{8,1m^3}{8,258 \frac{m^3}{h}}$$

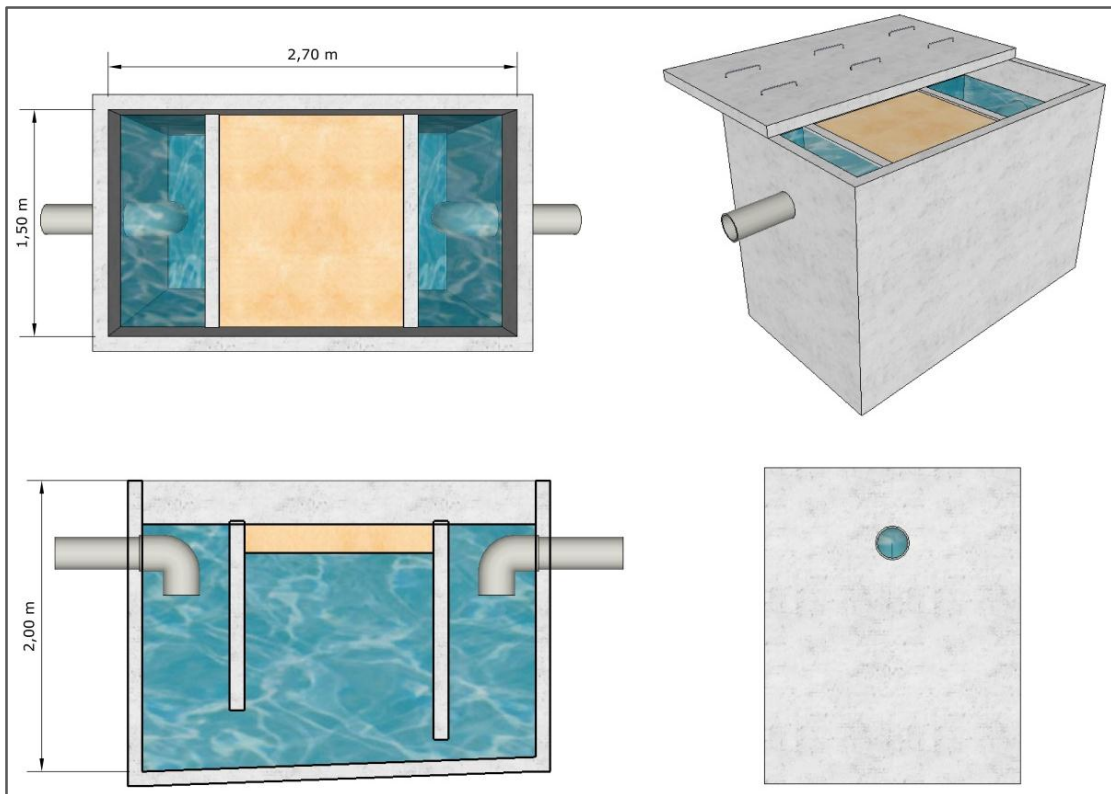
$$Tr = 0,981 h$$

En donde:

$V_T$ : Volumen efectivo de la trampa de grasa, L. Tabla 12-1.

$Q_P$ : Caudal, L/s.

$Tr_T$ : Tiempo de retención en la trampa de grasa, m.



**Gráfico 11-3** Trampa de Grasa simple

**Fuente:** Jael Chacha 2016

### 3.1.6 Dimensionamiento de Humedal Artificial

#### 3.1.6.1 Constante de temperatura en el humedal

Se determinó la constante de temperatura del humedal aplicando la ecuación 36:



$$k_T = 1,104(1,06^{T_2-20})$$

$$k_T = 1,104(1,06^{21,33-20})$$

$$k_T = 1,193$$

En donde:

$k_T$ : Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura

$T_2$ : Temperatura del agua (°C). Tomado de la tabla 26-2

### 3.1.6.2 Área superficial

El cálculo del área superficial se realiza en función al parámetro contaminante que se desea disminuir o remover, generalmente los diseños se realizan para disminución de las concentraciones de DBO5; y se calcula a través de la ecuación 37:

$$A_S = \frac{Q_p \cdot \ln(C_o/C)}{k_T \cdot h \cdot \eta}$$

$$A_S = \frac{198,179 \cdot \ln(4190,67/85)}{1,193 \cdot 0,6 \cdot 0,35}$$

$$A_S = 3\,083,442\,m^2 = 0,308\,ha$$

En donde:

$A_S$ : Área superficial ( $m^2$ )

$Q_p$ : Caudal del afluente ( $m^3/d$ )

$C_o$ : Concentración de DBO5 del afluente (mg/l). Tabla 26-2.

$C$ : Concentración de DBO5 del efluente (mg/l). Tabla 35-3.

$k_T$ : Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura

$h$ : Profundidad del humedal (m). Tabla 17-1.

$\eta$ : Porosidad del medio granular. Tabla 16-1

### 3.1.6.3 Área vertical del humedal

Se determina aplicando el Principio de Darcy para flujo en medios porosos, mediante la siguiente ecuación 39:

$$A_c = \frac{Q}{k_s \cdot S}$$

$$A_c = \frac{0,002294 \text{ m}^3/\text{s}}{0,058 \text{ m}/\text{s} \cdot 0,005 \text{ m}/\text{m}}$$

$$A_c = 7,910 \text{ m}^2$$

En donde:

$A_c$ : Área vertical ( $\text{m}^2$ )

$Q$ : Caudal del afluente ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$k_s$ : Conductividad hidráulica ( $\text{m}/\text{s}$ ). Tabla 16-1

$S$ : Pendiente ( $\text{m}/\text{m}$ ). Tabla 16-1

#### 3.1.6.4 Ancho del humedal

El ancho del humedal está en función del al área vertical y la profundidad del nivel de agua a tratar, entonces con la ecuación 40 se determina:

$$W = \frac{A_c}{h}$$

$$W = \frac{7,910 \text{ m}^2}{0,6 \text{ m}}$$

$$W = 13,183 \text{ m}$$

En donde:

$W$ : Ancho del humedal ( $\text{m}$ )

$A_c$ : Área vertical ( $\text{m}^2$ )

$h$ : Profundidad del humedal ( $\text{m}$ ). Tabla 16-1.

#### 3.1.6.5 Longitud del humedal

El largo del humedal se determina en función al ancho y al área superficial:

$$L = 4 \times W$$

$$L = 4 \times 13,183 \text{ M}$$

$$L = 52,732 \text{ m}$$

En donde:

L: Longitud del humedal (m)

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

W: Ancho del humedal (m)

Para mayor facilidad del control de las humedades, se recomienda que se diseñen dos o más humedales, en base a la relación largo-ancho por lo que se recomienda que mientras mayor sea esta relación será mucho mejor la depuración de las aguas por ellos se toma la relación 4:1 entonces:

$$W = 13,183 \text{ m}$$

$$L = 13,183 \text{ m}$$

#### 3.1.6.6 Volumen de cada humedal

Con la ecuación 41 se termina el volumen que tendrá el humedal:

$$V_{HFL} = L \times W \times h$$

$$V_{HFL} = 13,183 \text{ m} \times 13,183 \text{ m} \times 0,6 \text{ m}$$

$$V_{HFL} = 104,275 \text{ m}^3$$

Donde:

$V_{HFL}$ : Volumen del humedal (m<sup>3</sup>)

$L_H$ : Longitud del humedal (m)

$W_H$ : Ancho del humedal

h: Profundidad del humedal (m). Tabla 17-1

#### 3.1.6.7 Tiempo de retención hidráulica

Es el Tiempo de permanencia del agua residual en el sistema y se obtiene mediante la ecuación 42:

$$TRH = \frac{A_s \cdot h \cdot \eta}{Q_p}$$

$$TRH = \frac{3\,083,442\ m^2 \cdot 0,6\ m \cdot 0,35}{198,179\ m^3/d}$$

$$TRH = 3,267\ d = 78,41\ h$$

En donde:

TRH: Tiempo de retención hidráulica (días)

A<sub>s</sub>: Área superficial (m<sup>2</sup>)

h: Profundidad del humedal (m)

η: Porosidad del medio granular. Tabla 16-1

Q<sub>p</sub>: Caudal del afluente (m<sup>3</sup>/d)

### 3.1.6.8 Porcentaje de remoción

#### 3.1.6.8.1 Remoción de DBO5

Mediante la ecuación 43 tenemos:

$$\%R_{DBO5} = \frac{DBO5_a - DBO5_e}{DBO5_a} \times 100$$

$$\%R_{DBO5} = \frac{4190,67 - 85}{4190,67} \times 100$$

$$\%R_{DBO5} = 97,972\ \%$$

En donde:

%R<sub>DBO5</sub>: Porcentaje de remoción de DBO5 (%)

DBO5<sub>a</sub>: Demanda bioquímica del afluente (mg/l). Tabla 26-2

DBO5<sub>e</sub>: Demanda bioquímica del efluente (mg/l). Tabla 35-3

#### 3.1.6.8.2 Remoción DQO

Se calcula mediante la ecuación 44:

$$\%R_{DQO} = \frac{DQO_a - DQO_e}{DQO_a} \times 100$$

$$\%R_{DQO} = \frac{7023,33 - 110}{7023,33} \times 100$$

$$\%R_{DQO} = \mathbf{98,434 \%}$$

En donde:

$\%R_{DBO5}$ : Porcentaje de remoción de DBO5 (%)

DBO5<sub>a</sub>: Demanda bioquímica del afluente (mg/l). Tabla 26-2

DBO5<sub>e</sub>: Demanda bioquímica del efluente (mg/l). Tabla 35-3

### 3.1.6.8.3 Caudal de salida de humedal

El tratamiento con humedales artificiales siempre generar perdida de volumen y en consecuencia de caudal, debido a la infiltración, absorción o evaporación; es por esta razón que se debe tomar en cuenta las pérdidas para el proceso siguiente; en nuestro caso se sometió a tratamiento 20 litros de agua residual y luego de 4 días en reposo con las plantas usadas, el volumen obtenido fue de 16 litros aproximadamente; entonces:

$$20 \text{ L} \longrightarrow 100 \%$$

$$16 \text{ L} \longrightarrow X$$

$$X = \frac{16 \text{ L} * 100\%}{20 \text{ L}}$$

$$X = \mathbf{80 \%}$$

$$\% \text{ Pérdida} = 100 \% - 80 \%$$

$$\% \text{ Pérdida} = \mathbf{20 \%}$$

El caudal de entrada es  $Q_P = 198,179 \text{ m}^3/\text{d}$

$$198,179 \text{ m}^3/\text{d} \longrightarrow 100 \%$$

$$Q_x \longrightarrow 20 \%$$

$$Q_x = \frac{198,179 \text{ m}^3/\text{d} * 20 \%}{100 \%}$$

$$Q_x = 39,636 \text{ m}^3/\text{d}$$

Mediante la ecuación 45 determinamos:

$$Q_{SH} = Q_P - Q_x$$

$$Q_{SH} = 198,179 - 39,636$$

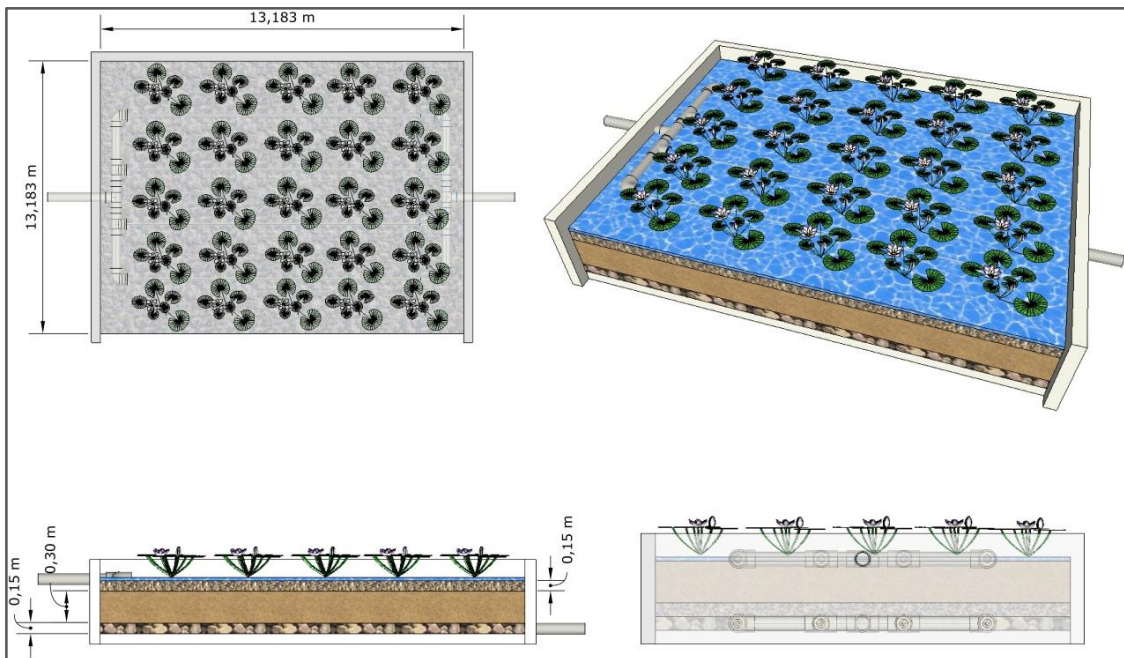
$$Q_{SH} = 158,543 \text{ m}^3/\text{d}$$

En donde:

$Q_{SH}$ : Caudal de salida del humedal ( $\text{m}^3/\text{d}$ )

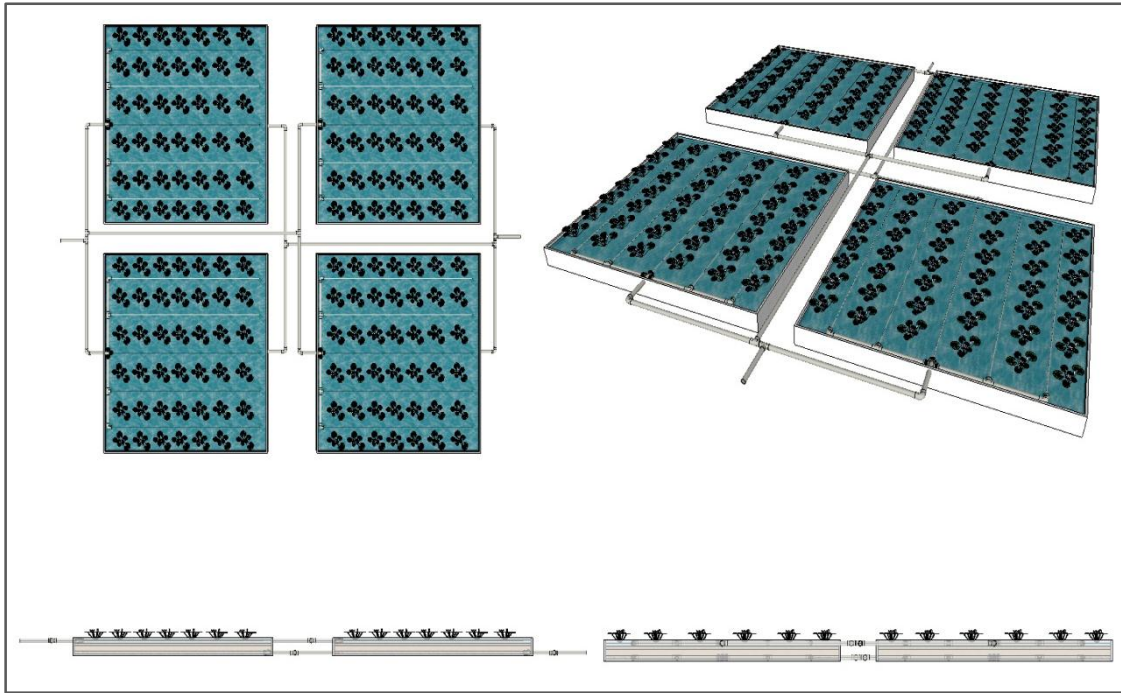
$Q_E$ : Caudal de entrada al humedal ( $\text{m}^3/\text{d}$ )

$Q_P$ : Caudal perdido en el humedal ( $\text{m}^3/\text{d}$ )



**Gráfico 12-3** Humedal artificial

**Fuente:** Jael Chacha



**Gráfico 13-3** Distribución de los Humedales artificiales

Fuente: Jael Chacha 2016

### 3.1.7 Dimensionamiento de Filtro dual de medio múltiple

#### 3.1.7.1 Numero de filtros

El número de filtros puede estimarse a partir de la ecuación 46:

$$n = 0,044\sqrt{Q_{SH}}$$

$$n = 0,044\sqrt{158,543 \text{ m}^3/d}$$

$$n = 0,554 \approx 1$$

En donde:

n: Número de filtros

$Q_{SH}$ : Caudal del afluente ( $\text{m}^3/d$ ). Se toma en cuenta la pérdida generada en la etapa anterior.

De acuerdo a bibliografías se recomienda construir dos o más filtros (<http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/agua/174esp-diseno-FiME.pdf>) para facilitar su operación y para nuestro dimensionamiento tomaremos en cuenta dos filtros (**n=2**)

### 3.1.7.2 Caudal de diseño

El cálculo del caudal de diseño se realiza mediante la ecuación 47:

$$Q_d = \frac{Q_{SH}}{n}$$
$$Q_d = \frac{158,543 \text{ m}^3/\text{d}}{2}$$
$$Q_d = 79,272 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

En donde:

$Q_d$ : Caudal de diseño ( $\text{m}^3/\text{d}$ ).

$n$ : Número de filtros

$Q_{SH}$ : Caudal del afluente ( $\text{m}^3/\text{d}$ ).

### 3.1.7.3 Área del filtro

Tomando en cuenta la ecuación 48 tenemos:

$$A_f = \frac{Q_d}{T_f}$$
$$A_f = \frac{79,272 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{7 \text{ m}/\text{d}}$$
$$A_f = 11,325 \text{ m}^2$$

En donde:

$A_f$ : Área del filtro ( $\text{m}^2$ )

$Q_d$ : Caudal de diseño ( $\text{m}^3/\text{d}$ ).

$T_f$ : Tasa de filtración ( $\text{m}/\text{d}$ ). Tabla 19-1

### 3.1.7.4 Coeficiente de costo mínimo

Está definida por la ecuación 49:



$$k_c = \frac{2 \cdot n}{n + 1}$$

$$k_c = \frac{2 \cdot 2}{2 + 1}$$

$$k_c = 1,333$$

En donde:

$k_c$ : Coeficiente de consto mínimo

$n$ : Número de filtros

### 3.1.7.5 Ancho del filtro

Se determina mediante la ecuación 50:

$$a_f = \sqrt{\frac{A_f}{k_c}}$$

$$a_f = \sqrt{\frac{11,325 \text{ m}^2}{1,333}}$$

$$a_f = 2,915 \text{ m}$$

En donde:

$a_f$ : Ancho del filtro (m)

$A_f$ : Área del filtro (m<sup>2</sup>)

#### 3.1.7.5.1.1.1 Largo del filtro

El filtro será de forma rectangular con una relación de ancho a largo de 1 a 5 (Delgadillo, y otros, 2010), por lo tanto la longitud del filtro será:

$$L_F = \sqrt{k \times A_f}$$

$$L_F = \sqrt{1,333 \times 11,325 \text{ m}}$$

$$L_F = 3,885 \text{ m}$$

En donde:

$L_f$ : Largo del filtro (m)

$a_f$ : Ancho del filtro (m)

### 3.1.7.6 Composición del lecho filtrante

#### 3.1.7.6.1 Altura del lecho filtrante

El lecho filtrante estará compuesto por carbón activado, arena y grava para mejorar la calidad el filtrado.

Entonces la altura del lecho filtrante se puede determinar mediante la ecuación 52:

$$HLF = e_c + e_a + e_g$$

$$HLF = 0,40 + 0,25 + 0,10$$

$$\mathbf{HLF = 0,75 m}$$

En donde:

HLF: Altura del lecho filtrante (m)

$e_c$ : Espeso de capa de carbón-antracita (m). Tabla 18-1

$e_a$ : Espeso de capa de arena (m) . Tabla 18-1

$e_g$ : Espeso de capa de grava (m) . Tabla 18-1

#### 3.1.7.6.1.1.1 Altura del filtro

Para el cálculo de la altura en cuenta se toma en cuenta un factor de seguridad para evitar derrames, siendo este el 10% (Asfapl) entonces se determina mediante la ecuación 53:

$$Z_f = f_s(C_a + HLF + C_s + F_c)$$

$$Z_f = 1,10(1,25 + 0,75 + 0,10 + 0,55)$$

$$\mathbf{Z_f = 2,915 m}$$

En donde:

$Z_f$ : Altura del filtro (m)

$f_s$ : Factor de seguridad

$C_a$ : Altura de la capa de agua (m). Tabla 19-1

HLF: Altura del lecho filtrante (m)

$C_s$ : Altura de la capa de soporte-grava (m). Tabla 18-1

$F_c$ : Altura de drenaje (m). Tabla 19-1

### 3.1.7.7 Volumen del filtro

Mediante la ecuación 54 se determina el volumen del filtro:

$$V_f = Z_f \times L_f \times a_f$$

$$V_f = 2,915 \text{ m} \times 3,885 \text{ m} \times 2,915 \text{ m}$$

$$V_f = 33,012 \text{ m}^3$$

En donde:

$V_f$ : Volumen del filtro ( $\text{m}^3$ )

$Z_f$ : Altura del filtro (m)

$L_f$ : Largo del filtro (m)

$a_f$ : ancho del filtro (m)

### 3.1.7.8 Sistema de drenaje

#### 3.1.7.8.1 Área de orificios laterales

De acuerdo a la ecuación 55 se tiene que:

$$A_o = \frac{\pi \cdot D_o^2}{4}$$

$$A_o = \frac{\pi \cdot (0,004\text{m})^2}{4}$$

$$A_o = 1,2557 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

En donde:

$A_o$ : Área de los orificios ( $m^2$ )

$D_o$ : Diámetro del orificio (m). Tabla 20-1

### 3.1.7.8.2 Caudal que ingresa a cada orificio

El caudal que ingresa cada orificio viene dado por la ecuación 56:

$$Q_o = A_o \cdot V_o$$

$$Q_o = 1,2557 \times 10^{-5} m^2 \cdot 0,3 m/s$$

$$Q_o = 3,77 \times 10^{-6} m^3/s$$

En donde:

$Q_o$ : Caudal que ingresa en cada orificio ( $m^3/s$ )

$A_o$ : Área de los orificios ( $m^2$ )

$V_o$ : Velocidad en orificio (m/s). Tabla 20-1

### 3.1.7.8.3 Numero de laterales

El número de laterales viene dado por la ecuación 57:

$$N_l = n_l \cdot \frac{L_f}{e_l}$$

$$N_l = 2 \cdot \frac{3,885 m}{1,5m}$$

$$N_l = 5,18 \approx 5$$

En donde:

$N_l$ : Número de laterales

$n_l$ : Número de laterales por lado.

$L_f$ : Largo del filtro (m)

$e_l$ : Separación entre laterales (m)

### 3.1.7.8.4 Diámetro que entra al filtro

La tubería de entrada al filtro se diseña con base en criterios de velocidad y se calcula mediante la ecuación 57:

$$D_t = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_d}{\pi \cdot V_t}}$$

$$D_t = \sqrt{\frac{4 \times 9,175 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \cdot 2 \text{ m/s}}}$$

$$\mathbf{D_t = 0,024 \text{ m}}$$

En donde:

D<sub>t</sub>: Diámetro de entrada al filtro (m)

Q<sub>d</sub>: Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s).

V<sub>t</sub>: Velocidad de la tubería afluyente (m/s). Tabla 19-1

#### 3.1.7.8.5 Diámetro de salida del filtro

La tubería salida del filtro se diseña con base a la ecuación 58:

$$D_t = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_d}{\pi \cdot V_s}}$$

$$D_t = \sqrt{\frac{4 \times 9,175 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \cdot 0,65 \text{ m/s}}}$$

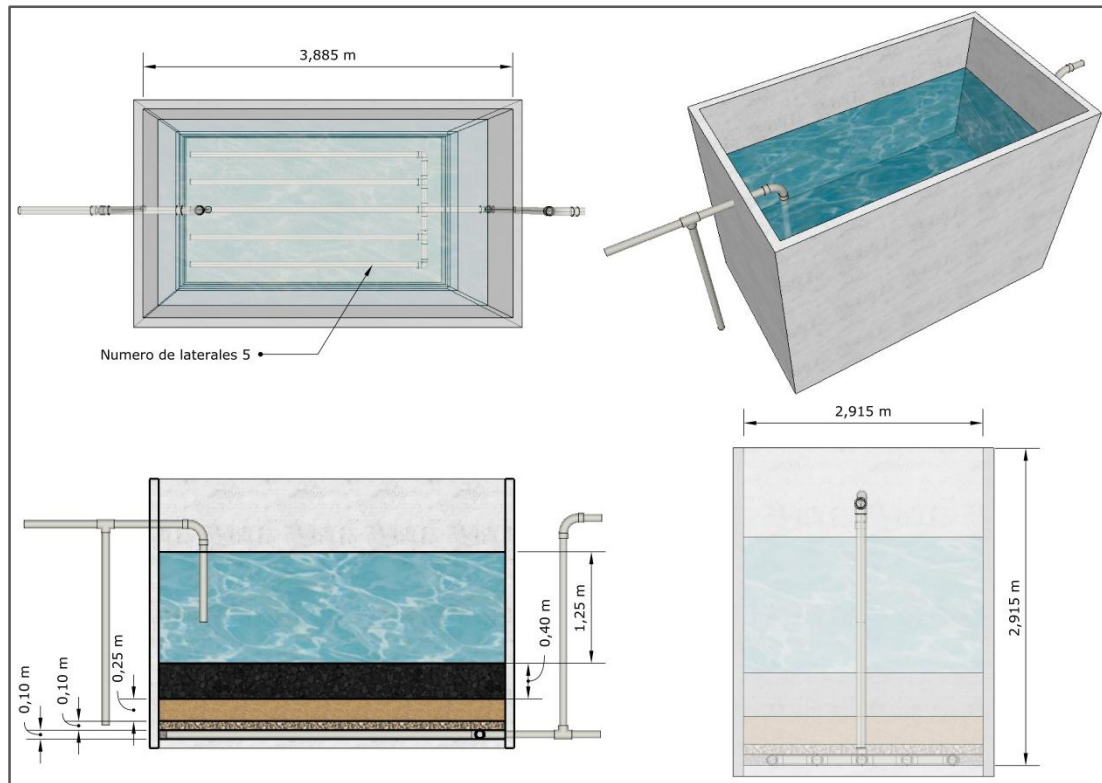
$$\mathbf{D_t = 0,042 \text{ m}}$$

En donde:

D<sub>t</sub>: Diámetro de entrada al filtro (m)

Q<sub>d</sub>: Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s).

V<sub>s</sub>: Velocidad de la tubería efluente (m/s). Tabla 20-1.



**Gráfico 14-3** Filtro dual

Fuente: Jael Chacha 2016

### 3.2 Resultados

#### 3.2.1 Resultados del dimensionamiento de rejás

**Tabla 27-3** Resultados del dimensionamiento de rejás

Parámetro	Unidad	Valor
Espesor de barras	M	0,010
Longitud de barras	M	0,72
Numero de barras	Unidad	4
Separación entre barras	M	0,03
Sumatoria de separaciones entre rejás	M	0,1598

Realizado por: Jael Chacha 2016

### 3.2.2 Resultados de caudal

Para este tipo de aguas residuales el caudal está relacionado con el índice de consumo de carne, entonces a continuación se presentan los resultados:

**Tabla 28-3** Resultados de caudal

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
Caudal proyectado	l/s	2,294

Realizado por: Jael Chacha

### 3.2.3 Resultados del dimensionamiento del sistema de tratamiento

#### 3.2.3.1 Resultados del dimensionamiento del canal

**Tabla 29-3** Resultados del dimensionamiento del canal

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Altura del canal	M	0,317
Altura del tirante de agua	M	0,017
Ancho del canal	M	0,7
Radio hidráulico	M	0,166
Largo de canal	M	6,00

Realizado por: Jael Chacha

#### 3.2.3.2 Resultados del dimensionamiento de Malla para canal

**Tabla 30-3** Resultados del dimensionamiento de malla para canal

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Grosor de hilos	Mm	2,00
Espacio entre hilos	Mm	2,00
Numero de hilos	adimensional	350

Porosidad	adimensional	0,09
Coficiente de perdida de carga	adimensional	6,60
Gradiente de velocidad	s <sup>-1</sup>	6980,965
Perdida de carga	M	0,082

**Realizado por:** Jael Chacha 2016

### 3.2.3.3 Resultados del dimensionamiento de la trampa de grasa

**Tabla 31-3** Resultados del dimensionamiento de la trampa de grasa

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Ancho	M	1,50
Largo	M	2,70
Profundidad	M	2,00
Tiempo de retención	H	0,981
Volumen de la trampa	m <sup>3</sup>	8,10

**Realizado por:** Jael Chacha 2016

### 3.2.3.4 Resultados del dimensionamiento de Humedal Artificial

Se dimensionaran 4 humedales artificiales con la finalidad de facilitar su operación y obtener una mejor remoción de los contaminantes.

**Tabla 32-3** Resultados del Humedal Artificial

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Área superficial	m <sup>2</sup>	3083,442
Numero de Humedales	-	4
Profundidad	M	0,6
Ancho	M	13,183
Longitud	M	13,183



Volumen	m <sup>3</sup>	104,275
Profundidad del sustrato	cm	60
Profundidad grava fina	cm	15
Profundidad arena	cm	30
Profundidad grava gruesa	cm	15
Tiempo de retención hidráulica	D	3,267
Remoción de DBO5	%	97,972
Remoción de DQO	%	98,434
Caudal de salida del humedal	m <sup>3</sup> /d	158,543

Realizado por: Jael Chacha 2016

### 3.2.3.5 Resultados del dimensionamiento del Filtro dual de medio múltiple.

Por facilidad de operación y mantenimiento se van a diseñar dos filtros.

**Tabla 33-3** Resultados del filtro dual

Parámetro	Unidad	Valor
Número de filtros	-	2
Caudal de diseño	m <sup>3</sup> /d	79,272
Área del filtro	m <sup>2</sup>	11,325
Longitud del filtro	M	3,885
Ancho del filtro	M	2,915
Altura del filtro	M	2,915
Volumen del filtro	m <sup>3</sup>	33,012
Altura del lecho filtrante	M	0,75
Área de los orificios laterales	m <sup>2</sup>	1,257x10 <sup>-5</sup>
Caudal que ingresa a cada orificio	l/s	0,00377

Número de laterales		5
Diámetro de la tubería de entrada al filtro	M	0,024
Diámetro de la tubería de salida del filtro	M	0,042

**Realizado por:** Jael Chacha

### 3.2.4 Resultados de la caracterización del agua residual tratada

Los resultados de la caracterización del agua residual obtenida después del tratamiento al que fue sometido se muestran a continuación:

**Tabla 34-3** Resultados del agua residual después del tratamiento biológico

Parámetros	Unidad	Análisis		Valores Promedio	*Límite permisible TULSMA
		1	2		
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	72	148	110	200
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/l	44	126	85	100
Sólidos Suspendidos	mg/l	24	-	24	130
Sólidos totales	mg/l	468	-	468	1600
Aceite y grasas	mg/l	18	-	18	30
Fosfatos	mg/l	6,9	-	6,9	10
Nitrógeno Total	mg/l	7	26	16,5	50
Hierro	mg/l	1,7	-	1,7	10
Sólidos sedimentables	mg/l	24	-	24	1
Coliformes fecales	UFC/100ml	2300	1100	1700	10000

\*Tabla 10 de Límite de descarga al sistema de alcantarillado público del TULSMA

**Fuente:** Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias y Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo.

**Realizado por:** Jael Chacha 2016

**Tabla 35-3** Resultados del agua residual tratada

Parámetros	Unidad	Análisis		Valores Promedio	*Límite permisible TULSMA
		1	2		
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	9	50	29,5	200
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/l	6	98	52	100
Sólidos Suspendidos	mg/l	10	-	10	130
Sólidos totales	mg/l	12	-	12	1600
Aceite y grasas	mg/l	12	-	12	30
Fosfatos	mg/l	0,27	-	0,27	10
Nitrógeno Total	mg/l	6,6	15	10,8	50
Hierro	mg/l	1,7	-	1,7	10
Sólidos sedimentables	mg/l	0	0	0	1
Coliformes fecales	UFC/100ml	200	121	160	10000

\*Tabla 10 de Límite de descarga al sistema de alcantarillado público del TULSMA

**Fuente:** Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias y Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo.

**Realizado por:** Jael Chacha 2016

**Tabla 36-3** Comparación de parámetros del agua residual inicial y agua residual tratada

Parámetros	Unidad	Agua residual cruda	Agua residual tratada	*Límite permisible TULSMA
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	7023,33	29,5	200
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/l	4190,67	52	100
Sólidos Suspendidos	mg/l	1271,33	10	130
Sólidos totales	mg/l	3534	12	1600
Aceite y grasas	mg/l	37,47	12	30
Fosfatos	mg/l	57,03	0,27	10
Nitrógeno Total	mg/l	293,33	10,8	50

Hierro	mg/l	19,5	1,7	10
Solidos sedimentables	mg/l	35,43	0	1
Coliformes fecales	UFC/100ml	220003133	160	10000

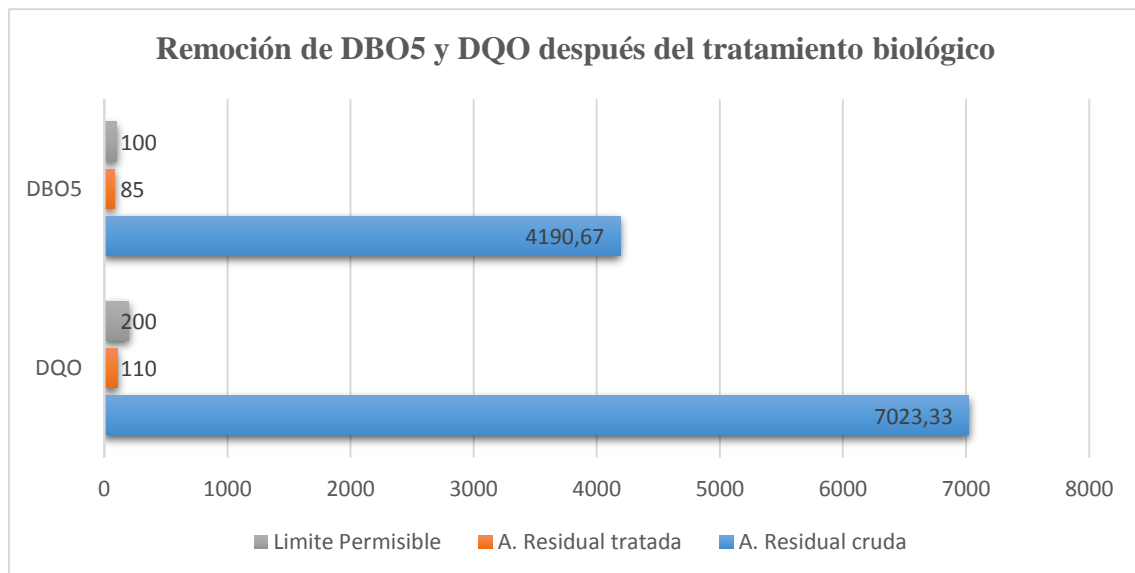
\*Tabla 11 de Límite de descarga al sistema de alcantarillado público del TULSMA

**Fuente:** Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias y Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo.

**Realizado por:** Jael Chacha 2016

### 3.2.5 Remoción de parámetros que estaban fuera de norma después del tratamiento biológico

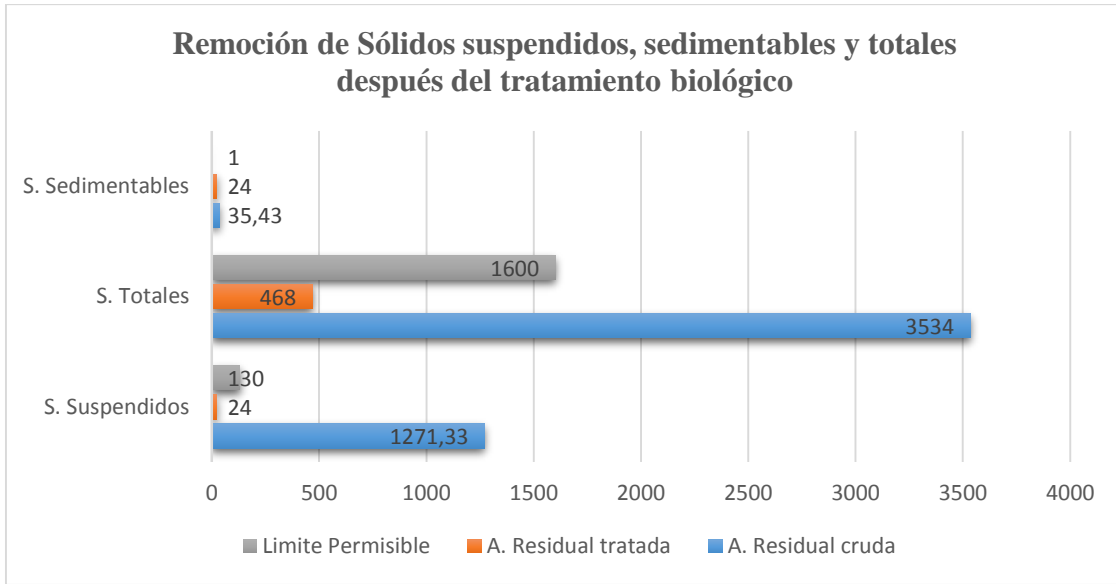
#### 3.2.5.1 Remoción de DQO y DBO5



**Gráfico 15-3** Remoción de DBO5 y DQO después del tratamiento biológico

**Realizado por:** Jael Chacha 216

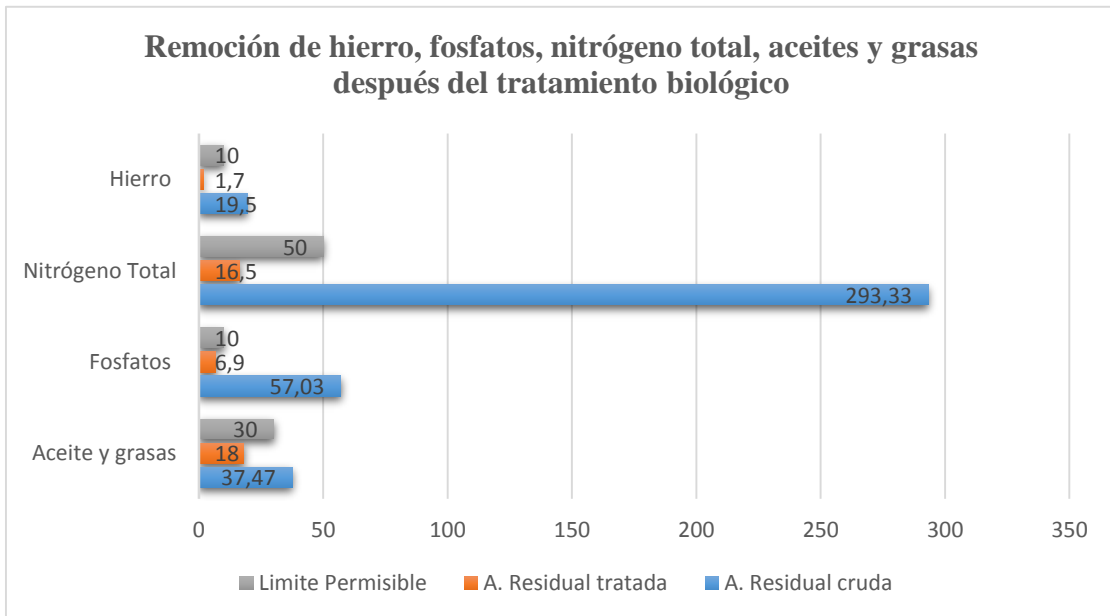
#### 3.2.5.1.1 Remoción de solidos suspendidos, sedimentables y totales



**Gráfico 16-3** Remoción de Sólidos suspendidos, sedimentables y totales después del tratamiento biológico

Realizado por: Jael Chacha 2016

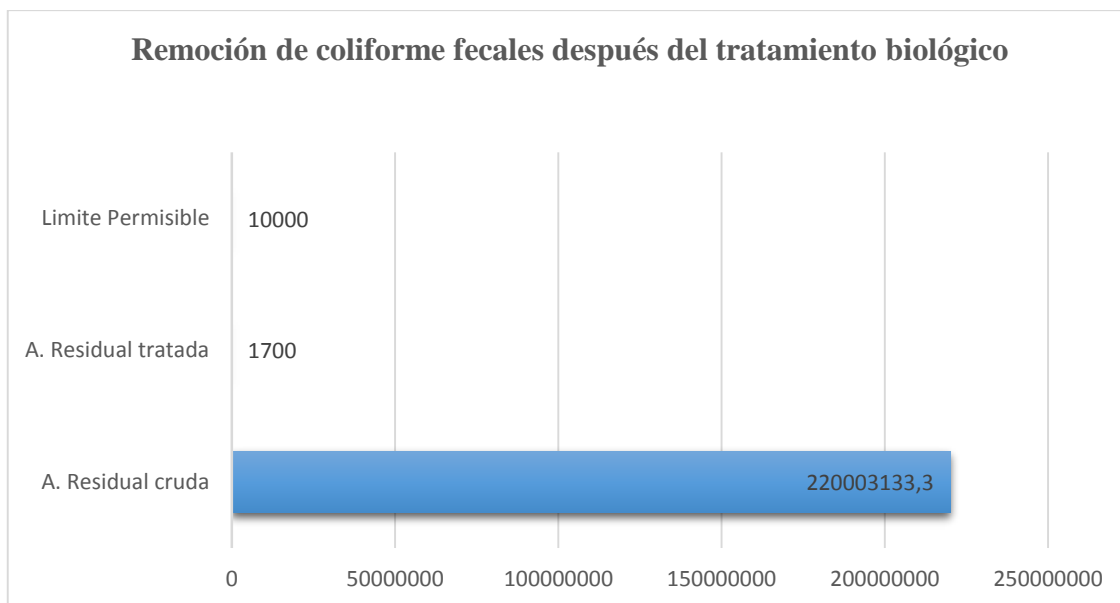
3.2.5.1.2 Remoción de hierro, fosfatos, nitrógeno total, aceites y grasas



**Gráfico 17-3** Remoción de hierro, fosfatos, nitrógeno total, aceites y grasas después del tratamiento biológico

Realizado por: Jael Chacha 2016

### 3.2.5.1.3 Remoción de coliformes fecales.



**Gráfico 18-3** Remoción de coliformes fecales después del tratamiento biológico.

Realizado por: Jael Chacha 2016

### 3.2.6 Remoción de la contaminación del agua después del tratamiento final.

#### 3.2.6.1 Porcentaje de remoción

Mediante la ecuación 63 se demuestra el porcentaje de remoción de la carga contaminante después del tratamiento dado al efluente proveniente del Camal Municipal de la Ciudad de Macas.

$$E_r = \frac{S_o - S}{S_o} \times 100$$

**Ecuación 60**

En donde:

$E_r$ : Porcentaje de remoción del proceso, %.

$S_o$ : Parámetro de entrada, mg/l.

$S$ : Parámetro de salida, mg/l.

A continuación se presenta los resultados de la remoción del agua residual tratada:

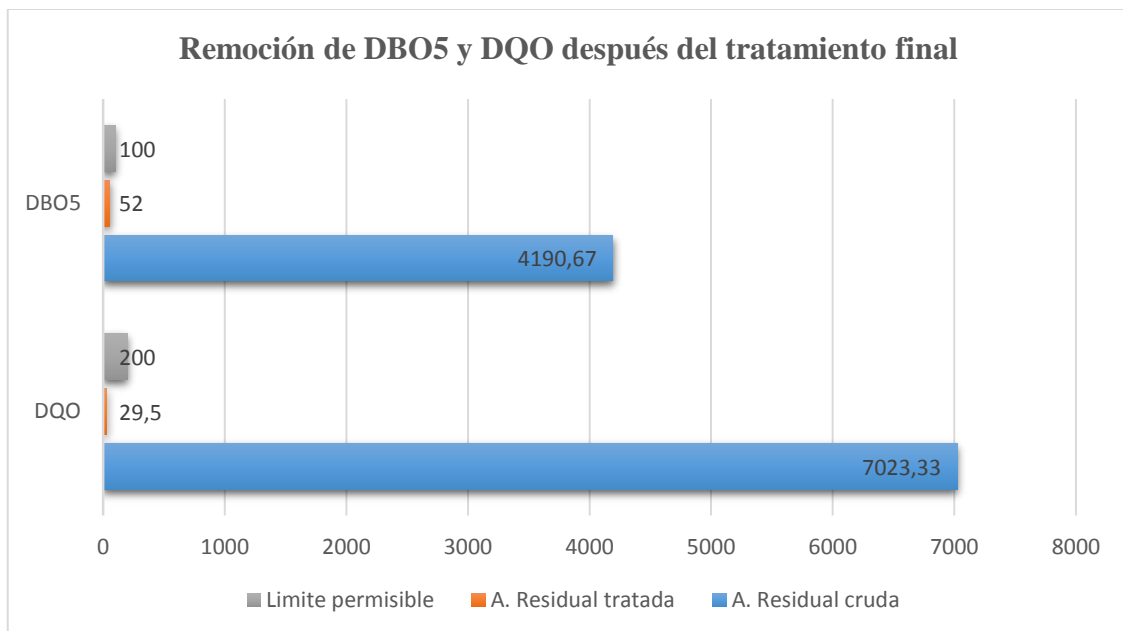
**Tabla 37-3** Remoción de carga contaminante

Parámetros	Unidades	Valor de entrada	Valor de salida	% Remoción
------------	----------	------------------	-----------------	------------

Demanda química de oxígeno	mg/l	7023,33	29,5	99,58
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	mg/l	4190,67	52	98,76
Sólidos suspendidos	mg/l	1271,33	10	99,21
Sólidos totales	mg/l	3534	12	99,66
Sólidos sedimentables	mg/l	35,43	0	100
Aceite y grasas	mg/l	37,47	12	67,97
Fosfatos	mg/l	57,03	0,27	99,53
Nitrógeno Total	mg/l	293,33	10,8	96,32
Hierro	mg/l	19,5	1,7	91,28
Coliformes fecales	UFC/100 ml	220003133	160	99,99

Realizado por: Jael Chacha 2016

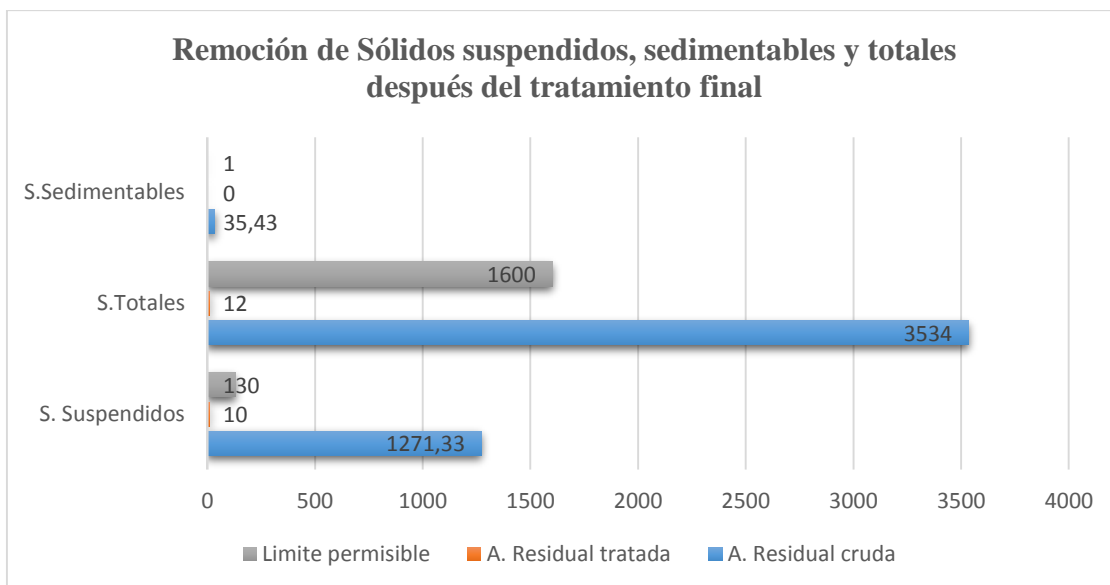
### 3.2.6.2 Remoción de DQO y DBO5



**Gráfico 19-3** Remoción de DBO5 y DQO después del tratamiento final

Realizado por: Jael Chacha 2016

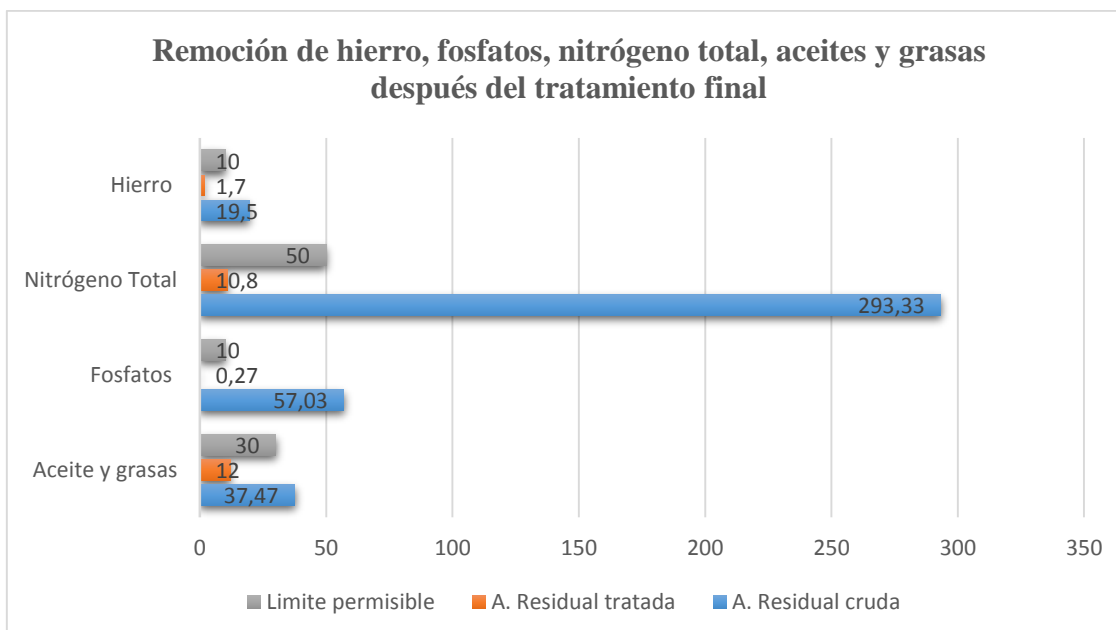
3.2.6.2.1 Remoción de sólidos suspendidos, sedimentables y totales



**Gráfico 20-3** Remoción de Sólidos suspendidos, sedimentables y totales después del tratamiento final

Realizado por: Jael Chacha 216

3.2.6.2.2 Remoción de hierro, fosfatos, nitrógeno total, aceites y grasas

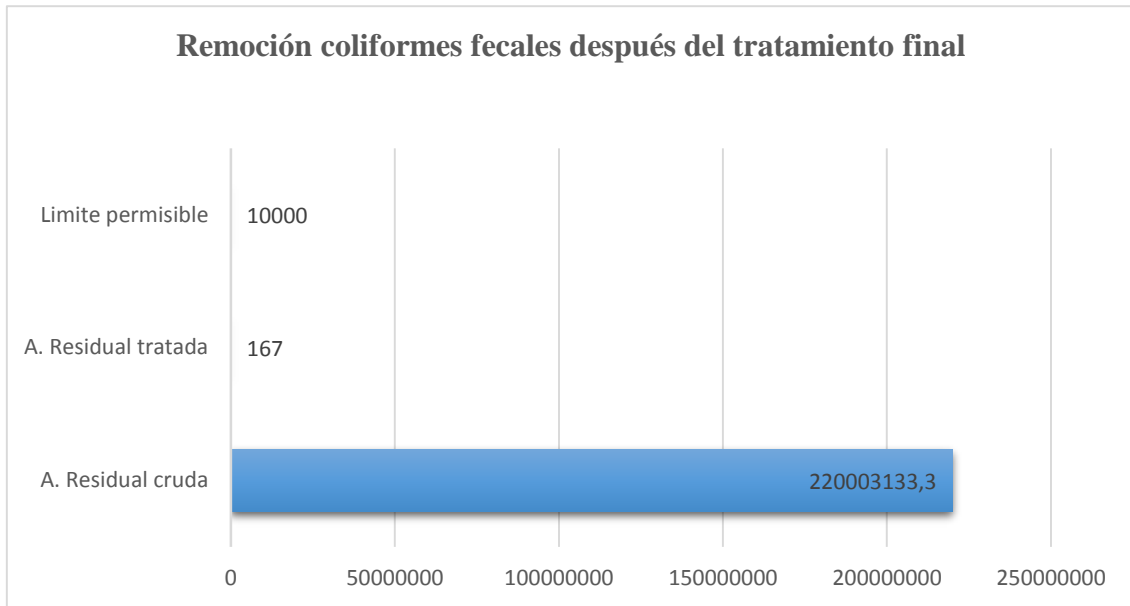


**Gráfico 21-3** Remoción de hierro, fosfatos, nitrógeno total, aceites y grasas después del tratamiento final

Realizado por: Jael Chacha 2016



3.2.6.2.3 *Remoción de coliformes fecales.*



**Gráfico 22-3** Remoción coliformes fecales después del tratamiento final

Realizado por: Jael Chacha 2016

### **3.3 Análisis de resultados**

#### **3.3.1 Análisis de tratamiento**

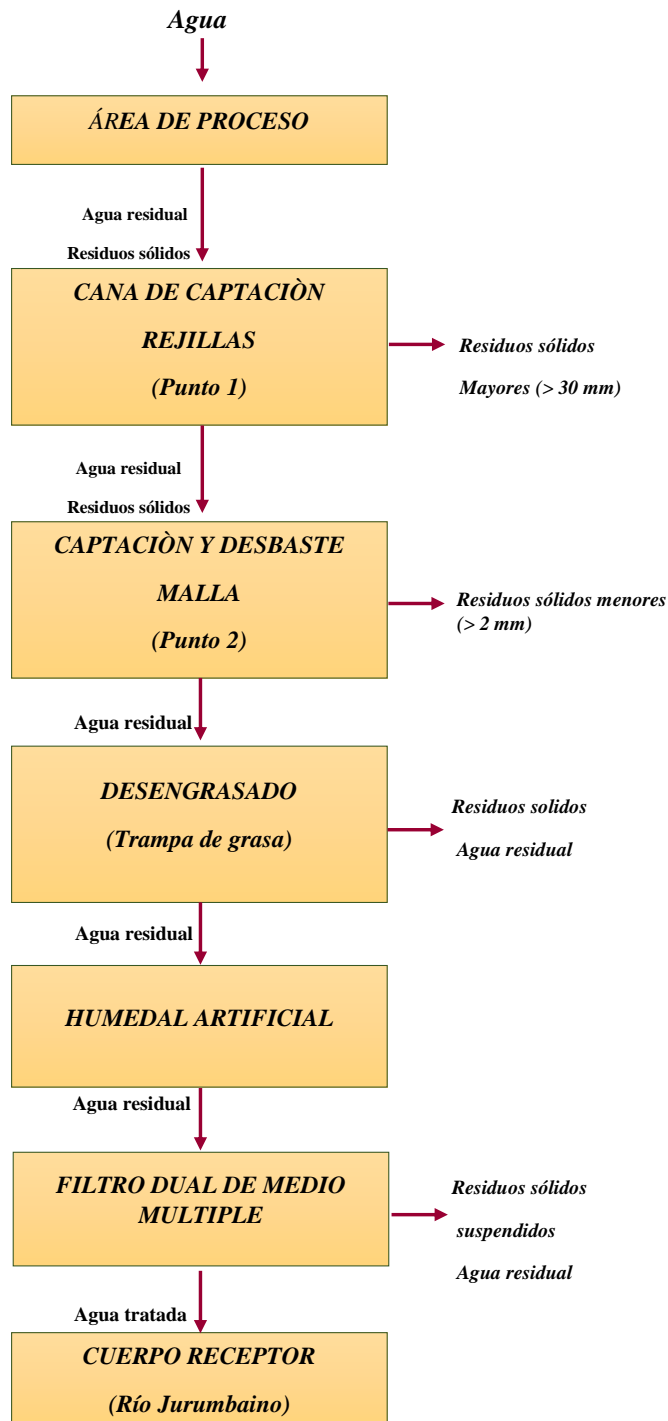
La caracterización físico-química y microbiológica inicial realizada a las aguas residuales generadas por los procesos de faena en el Camal Municipal de la Ciudad de Macas arrojó los siguientes resultados: Sólidos Totales 3534 mg/l, Sólidos Suspendidos 1271,33 mg/l, Fosfatos 57,03 mg/l, Nitrógeno Total 293,33 mg/l, Hierro 19,5 mg/l, Sólidos Sedimentables 35,43 mg/l, Demanda Química de Oxígeno (DQO) 7023,33 mg/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) 4190,67 mg/L, Aceites y Grasas 37,47 mg/L, Coliformes Fecales  $2,2 \times 10^8$  UFC/100 ml, mismos que según las normas del Texto Unificado de Legislación Ambiental (TULSMA), están fuera de los límites permisibles que se especifican en ella. (Ver tablas 22-1, 26-2)

Con la aplicación del humedal de flujo subsuperficial, los parámetros presentaron las siguientes características: Sólidos Totales 468 mg/l, Sólidos Suspendidos 24 mg/l, Fosfatos 6,9 mg/l, Nitrógeno Total 16,5 mg/l, Hierro 1,7 mg/l, Sólidos Sedimentables 24 mg/l, Demanda Química de Oxígeno (DQO) 110 mg/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) 85 mg/L, Aceites y Grasas 18 mg/L, Coliformes Fecales 1 700 UFC/100 ml. (Ver Gráfico 8-3,9-3, 10-3, 11-3)

Al finalizar la aplicación de todo el tratamiento se alcanzó resultados favorables que cumplían con los límites permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce de la normativa TULSMA, teniendo así: Sólidos Totales 12 mg/l, Sólidos Suspendidos 10 mg/l, Fosfatos 0,27 mg/l, Nitrógeno Total 10,8 mg/l, Hierro 1,7 mg/l, Sólidos Sedimentables 0 mg/l, Demanda Química de Oxígeno (DQO) 29,5 mg/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) 52 mg/L, Aceites y Grasas 12 mg/L, Coliformes Fecales 167 UFC/100 ml. (Ver Gráfico 12-3, 13-3, 14-3, 15-3)

Los porcentajes de remoción al concluir el tratamiento son los siguientes: Sólidos Totales 99,66 %, Sólidos Suspendidos 99,21 %, Fosfatos 99,53 %, Nitrógeno Total 96,32 %, Hierro 91,28 %, Sólidos Sedimentables 100 %, Demanda Química de Oxígeno (DQO) 99,58 %, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) 98,76 %, Aceites y Grasas 67,97 %, Coliformes Fecales 99,99 %. (Ver Tabla 37-3)

### 3.3.2 Análisis de la propuesta



**Gráfico 23-3** Diagrama del sistema de tratamiento

Realizado por: Jael Chacha 2016

El Camal Municipal de la Ciudad de Macas desarrolla distintas operaciones las cuales genera efluentes considerados peligrosos debido a la alta concentración de materia orgánica lo cual

genera gran cantidad de microorganismos, por lo es necesario dimensional un Sistema de tratamiento con la finalidad de minimizar la contaminación.

La legislación ambiental ecuatoriana obliga a todo tipo de industrias que generan aguas residuales en sus procesos a tratarlos antes de su respectiva descarga hacia el cuerpo de agua dulce, mediante el cumplimiento de las estipulaciones establecidas en la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua del TULSMA. Por lo tanto, el agua residual proveniente de las líneas de producción de la planta ingresará a Sistema de Tratamiento.

Con la finalidad de mejorar la calidad del vertido final se diseñó rejillas de limpieza manual en un canal ya existente, cuyo objetivo es retener sólidos de mayor tamaño ( $>0,03$  m), y por estar ubicada en el canal ésta tendrán el mismo ancho y longitud. (Ver tabla 27-3)

El sistema de tratamiento consta de un canal de recepción rectangular de 6 m de largo con una pendiente hidráulica de 0,0005 m/m con una base de 0,7 m, una altura 0,317 m de para evitar que haya desbordes; en el cual se inserta una malla porosa con la finalidad de retirar sólidos de menor tamaño ( $> 0,3$  cm) y tendrá el mismo ancho del canal. (Ver tabla 29-3)

Posteriormente el agua es dirigida a un desengrasador conocido como trampa de grasa, el cual se diseñó con la finalidad de reducir las concentraciones de grasas y aceites. Sus respectivas dimensiones son 1,50 m de ancho, una longitud de 2,70 m y una profundidad de 2,00 m. (Ver tabla 31-3)

A continuación se diseñó cuatro humedales para obtener una depuración más eficiente. La remoción de la carga contaminante en los humedales será mediante el uso de plantas de Lechuguines. Los humedales artificiales presentarán una profundidad de 0,6 m, una base de 13,183 m y una longitud de 13,183 m con un tiempo de retención de 3,267 días y una remoción de 97,972 % DBO y 98,434 % DQO (Ver tabla 32-3)

Finalmente se diseñó un filtro dual con medios múltiples que consta de carbón activado, arena y grava, cuyo objetivo es eliminar olores, sólidos suspendidos, sedimentables y clarificar el agua proveniente de Humedal Artificial para poder ser vertida al cuerpo receptor. Considerando el caudal se dimensionaron 2 filtros para una mejor operación y mantenimiento, teniendo de longitud 3,885 m, un ancho de 2,915 m, una altura de 2,915 m, una altura del lecho filtrante de 0,75 m y un volumen de 33,012 m<sup>3</sup> (Ver tabla 33-3)

La distribución para la instalación del Sistema de Tratamiento de aguas residuales provenientes de las operaciones de faena del Camal Municipal de la Ciudad de Macas será por gravedad,

teniéndose un tipo de terreno ondulado y un área disponible de 1,5 hectáreas para su implementación. Siendo la necesidad real de acuerdo al diseño 1.653 m<sup>2</sup>.

### 3.4 Presupuesto

**Tabla 38-3** Costo civil de la obra (Obras Preliminares)

Descripción	Unidades	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
<b>Obras Preliminares</b>				
Derrochamiento de estructura existente	m3	200	3,50	700,00
Limpieza y desbroce	m2	285	0,92	262,20
Replanteo y nivelación	m2	550	1,80	990,00
Excavación con maquinaria mayor a 4m	m3	380	3,75	1425,00
Desalojo de tierra y material	m3	580	3,00	1650,00
<b>Subtotal:</b>				<b>5.027,00</b>

Realizado por: Ivana Chacha, 2016

**Tabla 39-3** Costo civil de la obra (Rejillas)

Descripción	Unidades	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
<b>Desbaste o Rejillas</b>				
Adecuación del canal actual	m2	2,75	8,10	11,28
Encofrado recto	m2	2,75	10,84	29,81
Compuerta de volante de acero inoxidable	U	1,00	210	210,00
Hormigón S. F'c=210 kg/cm2	m3	1,00	110,38	110,38
Malla electrosoldada 6mm 15x15 cm	m2	2,00	7,25	21,75
Barras de acero inoxidable	U	4,00	9,70	38,80
Costo de instalación de rejillas en el actual canal	-	1,00	10,00	10,00
<b>Subtotal:</b>				<b>432,02</b>

Realizado por: Ivana Chacha, 2016

**Tabla 40-3** Costo civil de la obra (canal de recepción)

Descripción	Unidades	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
<b>Canal de ingreso</b>				
Excavación (altura de 0 hasta 2 m a máquina (retroexcavadora suelo normal)	m3	2,50	15,50	38,75

Adecuación del fondo de la zanja	m2	3,75	6,10	22,88
Encofrado recto	m2	3,65	12,84	46,87
Compuerta de volante de acero inoxidable	u	1,00	210	210,00
Hormigón S. F'c=210 kg/cm2	m3	3,10	206,55	640,31
Malla electrosoldada 6mm 15x15 cm	m2	3,50	1,38	4,83
Impermeabilizante	m2	3,50	10,40	36,40
<b>Subtotal:</b>				<b>1000,04</b>

Realizado por: Ivana Chacha, 2016

**Tabla 41-3** Costo civil de la obra (Malla Porosa)

Descripción	Unidades	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
<b>Malla Porosa</b>				
Malla perforada según el diseño de acero inoxidable de 1.5 x 0.5 m	U	1,00	60,00	60,00
Costo de instalación de la malla en el actual canal	-	1,00	10,00	10,00
Barras laterales de acero	M	3,00	5,00	15,00
Soldadura de la malla	-	2,00	5,00	10,00
<b>Subtotal:</b>				<b>95,00</b>

Realizado por: Ivana Chacha, 2016

**Tabla 42-3** Costo civil de la obra (Trampa de Grasas)

Descripción	Unidades	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
<b>Trampa de Grasas</b>				
Trazo y replanteo	m2	3,00	10,00	30,00
Excavación con maquinaria	m3	8,00	15,50	124,00
Eliminación de material de excavación	m3	8,00	17,00	136,00
Hormigón simple f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> y encofrado	m2	4,00	206,55	826,20
Capa impermeabilizante	m2	12,00	8,25	99,00
Malla Electrosoldada 6 mm de 15x15 cm	m2	6,23	1,38	8,59
Tubería PVC 110 mm	U	6,00	5,50	33,00
Codo de PVC 110 mm de 90°	U	7,00	4,75	33,25
<b>Subtotal:</b>				<b>1.290,04</b>

Realizado por: Ivana Chacha, 2016

**Tabla 43-3** Costo civil de la obra (Humedal Artificial)

--	--	--	--	--

Descripción	Unidades	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
<b>Humedales Artificiales ( 4 Unidades)</b>				
Exca. De 0 a 2 m a máquina (retroexcavadora)	m3	456,00	2,23	1.016,88
Desaajo del material con maquinaria	m3	460,00	3,20	1.472,00
Compactación mecánica	m2	169,00	0,98	165,62
Disposición e instalación de Geomembrana	m2	159,00	6,00	954,00
Disposición e instalación de Tubería PVC 110 mm	u	36,00	5,50	198,00
Codo de PVC 110 mm de 90°	u	40,00	4,75	190,00
Suministro y colocación Grava Gruesa	m3	13,00	12,55	163,15
Suministro y colocación arena de 30 mm	m3	17,00	25,00	425,00
Suministro y colocación Grava Fina	m3	15,00	13,00	195,00
Implementación de vegetación	u	5234,00	0,20	1046,80
<b>Subtotal:</b>				<b>5.826,45</b>
<b>Subtotal por las cuatro unidades:</b>				<b>23.305,80</b>

Realizado por: Ivana Chacha, 2016

**Tabla 44-3** Costo civil de la obra (Filtro Dual)

Descripción	Unidades	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
<b>Filtro Dual de Medio Múltiple ( 2 Unidades)</b>				
Exca. De 0 a 2 m a máquina (retroexcavadora)	m3	550,00	2,23	1.226,50
Desaajo del material con maquinaria	m3	560,00	3,20	1.792,00
Estructura con Hormigón S. F'c=210 kg/cm2	m3	5,00	105,38	526,90
Malla electrosoldada 6mm 15x15 cm	m2	12,50	7,25	90,63
Grava media (2-3 cm)	m3	33,00	12,80	422,40
Arena de 30 mm	m3	35,00	25,00	875,00
Carbón activado	m3	13,00	1000,00	13.000,00
Prov. Inst. De Tubería de PVC D=60 mm	M	50,00	5,30	265,00
Prov. Inst. De Tubería de PVC D=90 mm	M	75,00	5,50	412,50
Prov. Inst. De Codo de PVC D=60 mm x 90°	U	15,00	4,35	65,25
Prov. Inst. De Codo de PVC D=90 mm x 90°	U	20,00	4,75	95,00
Compuerta de volante de acero inoxidable	U	2,00	210	420,00
<b>Subtotal:</b>				<b>19.191,18</b>
<b>Subtotal por las dos unidades:</b>				<b>38.382,36</b>

Realizado por: Ivana Chacha, 2016

**Tabla 45-3** Costo civil de la obra (Mano de Obra)

--	--	--	--	--

Descripción	Unidades	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
<b>Mano de Obra</b>				
Chofer	-	2,00	400,00	800,00
Ayudante de maquinaria	-	2,00	500,00	1000,00
Albañil (jefe)	-	1,00	800,00	800,00
Albañil (ayudante)	-	4,00	500,00	2000,00
Soldador	-	1,00	200,00	200,00
			<b>Subtotal:</b>	<b>4.800,00</b>

Realizado por: Ivana Chacha, 2016

**Tabla 46-3** Costo civil de la obra (Total)

Descripción	Costo
❖ Obras Preliminares	5.027,00
❖ Desbaste o Rejillas	432,02
❖ Canal de recepción	1000,04
❖ Malla Porosa	95,00
❖ Trampa de grasas	1.290,04
❖ Humedales Artificiales ( 4 Unidades)	23.305,80
❖ Filtro Dual de Medio Múltiple ( 2 Unidades)	38.382,36
❖ Mano De Obra	4.800,00
<b>Costo Total:</b>	<b>74.332,26</b>
<b>Gastos Imprevistos (10%):</b>	<b>743,32</b>
<b>TOTAL:</b>	<b>75.075,58</b>

Realizado por: Ivana Chacha, 2016



## CONCLUSIONES

- Se diseñó un Sistema de Tratamiento de aguas residuales para el efluente generado en los procesos de faena en el Camal Municipal de la Ciudad de Macas, con la finalidad de prevenir la contaminación ambiental y el cumplimiento con la normativa ambiental TULSMA, Libro VI, Anexo I, Tabla 10, Recurso agua.
- Las características físicas, químicas y microbiológicas de las aguas residuales provenientes de los procesos de faena en el Camal Municipal de la Ciudad de Macas se determinaron a través de la caracterización de las mismas, identificando así los parámetros que se encuentran fuera de los límites estipulados en la normativa ambiental TULSMA, Libro VI, Anexo I, Tabla 10 límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, Recurso agua; obteniendo los siguientes valores: DQO 7 023,33 mg/L, DBO 4 190,67 mg/L, Aceites y Grasas 37,47 mg/L, Nitrógeno total 293,33 mg/L, Fosfatos 57,03 mg/L, Hierro 19,5 mg/L, Sólidos Totales 3 534 mg/L, Sólidos Sedimentables 35,43 mg/L, Sólidos Suspendedos 1 271,33 mg/L, Coliformes Fecales  $2,2 \times 10^8$  UFC/100 ml.
- En concordancia con los resultados de la caracterización se puede constatar que los parámetros de DQO y DBO<sub>5</sub> son valores altamente elevados debido a la gran carga orgánica del vertido y la relación entre ellos demuestra que el vertido es de naturaleza biodegradable, en consecuencia el agua puede ser tratada mediante un sistema biológico de Humedales Artificiales.
- Durante la realización de los cálculos para el dimensionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de la Ciudad de Macas se identificaron las variables de diseño más adecuadas, con respecto a las características de un efluente de naturaleza orgánica altamente biodegradable, estas son: Caudal 2,294 l/s con una proyección de 20 años, Demanda química de oxígeno 7 023,33 mg/l, Demanda bioquímica de oxígeno 4 190,67 mg/l,
- De acuerdo a los cálculos ingenieriles realizados para el diseño del Sistema de Tratamiento de aguas residuales para el Camal Municipal de la Ciudad de Macas, el mismo consta de las siguientes operaciones: un sistema de rejillas de limpieza manual, un canal de recepción, una malla porosa, un desengrasador, cuatro humedales artificiales de Lechuguines y dos filtros duales de medios múltiples. El proceso usado es eficiente para la disminución de los contaminantes presentes en el efluente de los procesos de faena.

- El diseño establecido para el sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes de los procesos de faena fue validado mediante la caracterización físico, química y microbiológica del agua residual al final del tratamiento, obteniendo resultados cuyos valores se encuentran dentro de los límites permisibles del TULSMA, Libro VI, Anexo I, Tabla 10 límites de descarga aun cuerpo de agua dulce, Recurso agua; siendo sus resultados los siguientes: DQO 29,5 mg/L, DBO 52 mg/L, Aceites y Grasas 12 mg/L, Nitrógeno total 10,8 mg/L, Fosfatos 0,27 mg/L, Hierro 1,7 mg/L, Solidos Totales 12 mg/L, Sólidos Sedimentables 0 mg/L, Solidos Suspendidos 10 mg/L, Coliformes Fecales 160 UFC/100 ml
- El costo de construcción e implementación del Sistema de tratamiento es de \$ 75.075,58 el cual implica operaciones desde la preparación del terreno hasta el funcionamiento del sistema, para ello se ha considerado los resultados del dimensionamiento de cada proceso y valores actuales de los materiales con el fin de obtener un análisis preciso de los costos.
- Se diseñó un sistema de tratamiento para las aguas residuales generadas en el Camal Municipal de la Ciudad de Macas, con la finalidad de evitar problemas de salubridad pública y medio ambiental, ya que no tenía una depuración previa antes de ser vertida al Rio Jurumbaino.

## RECOMENDACIONES

- Se implemente la propuesta ya que ayudara a evitar problemas de salubridad y medio ambiental a sus alrededores, además la entidad cumplirá con la normativa ambiental TULSMA, Libro VI, Anexo I, Tabla 10, Recurso agua.
- En el caso de que el proyecto se haga realidad se recomienda que el Camal Municipal de la Ciudad de Macas implemente en sus operaciones nuevas técnicas de recolección y minimización de residuos sólidos, para evitar que los mismos seas arrojados al vertido final. Tomando como alternativa la elaboración de un compost el mismo que servirá como un abono agrícola.
- Es recomendable que la limpieza de los diferentes equipos que conforman el sistema de tratamiento se lo haga de forma periódica para evitar los depósitos de partículas que pueden provocar el taponamiento de tuberías y equipos, especialmente la limpieza de las rejillas y la eliminación del material graso retenido en la trampa de grasa.
- Si existe un aumento de valor en las relaciones DQO/DBO5 el diseño utilizando sistema biológicos para el sistema de tratamiento propuesto seguirá siendo válido puesto que la degradación biológica es realizada por los mismos microorganismos.
- Para evitar la generación de malos olores o la proliferación de mosquitos causantes de enfermedades se recomienda realizar una inspección constante en los Humedales Artificiales.
- Realizar la caracterización físico, química y microbiológica de manera periódica, para así verificar que el efluente cumpla con los parámetros establecidos en la normativa ambiental del TULSMA, Libro VI, Anexo I, Tabla 10 límites de descarga aun cuerpo de agua dulce, Recurso agua

## BIBLIOGRAFÍA

**CASTILLO NÚÑEZ, Raúl Andrés.** *Valores agregados de la Biodigestión anaerobia del Jacinto de agua.* [En línea] (Tesis) (Ingeniería Ambiental) Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador. 2013. pp. 36-49. [Consulta: 2015-12-14]. disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/5052/1/TESIS.pdf>

**CARGUA LÓPEZ, María de los Ángeles.** Diseño de una planta de potabilización de agua en la comunidad Ainche del Cantón Chambo. (Tesis) (Ingeniería Química).Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2010. pp. 40-43.

**CERRO** Diseño de una planta de potabilización de agua en la comunidad Ainche del Cantón Chambo. (Tesis) (Ingeniería Química).Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2010. pp. 40-43.

**CISTERNA, Pedro; & PEÑA, Daisy.** *Determinación de la relación DQO/DBO<sub>5</sub> en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región* [en línea]. [Consulta: 2016-01-08]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf>

**CRITES, R.** *Tratamiento Preliminar de Aguas Residuales: Operaciones y Procesos.* Bogotá-Colombia: McGraw-Hill, 2000, pp. 242-280.

**CRITES, R. & TCHOBANOGLIOUS** *Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Tomo II.* Bogotá-Colombia: McGraw-Hill, 2000, pp. 610-619.

**DELGADILLO, Oscar; et al.** *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales.* Cochabamba-Bolivia : COV-AGUA, 2010, pp. 7-9,31-38.

**DONOSO VALLEJO, Daniel Paulina.** *Manejo del material vegetal Lechugín y Lenteja de agua generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia de Chaltura.* [En línea] (Tesis) (Ingeniería Civil). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. 2015. pp. 8-11. [Consulta: 2015-12-14]. disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/4327/1/03%20REC%20192%20TESIS.pdf>

**HUDSON, N.** *Medicion sobre el terreno del la erosion del suelo y de la escorrentia. primera edicion. roma, 1997. pp. 57,58.*

**JARAMILO JUMBO, Mariuxi del Cisne. & FLORES CAMPOVERDE, Edison Darío.** *Fitorremediacion mediante el uso de dos especies vegetales Lemna minor y Eichornia crassipes en aguas residuales producto de la actividad minera.*[En línea] (Tesis) (Ingeniería Ambiental)

Universidad Politecnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. 2012. pp. 36-47. [Consulta: 2016-01-29]. disponible en: [dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2939/1/UPS-CT002482.pdf](http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2939/1/UPS-CT002482.pdf).

**LÓPEZ JERVES, Daniela Nataly.** *Aprovechamiento del Lechugín para la generación de abono orgánico mediante la utilización de tres diseños diferentes de biodigestores.* [En línea] (Tesis) (Ingeniería Ambiental). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. 2012. pp. 36-49. [Consulta: 2015-12-14]. disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1938/12/UPS-CT002337.pdf>

**LÓPEZ, R. & CASP, A.** *Tecnología de mataderos.* pp. 105-119, 130-139, 300-321.

**Los vertidos de los mataderos e industrias cárnicas.** [En línea] 2008 . [Consulta:2016-01-26.] [http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:48153/componente48151.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:48153/componente48151.pdf).

**LUX MONROY, Manuel Agustín.** Medidores de flujo en canales abiertos [En línea] (Tesis) (Ingeniería Civil). Universidad de San Carlos de Guatemala. 2010. pp. 5-19. [Consulta: 2015-12-10]. Disponible en: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3165\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3165_C.pdf)

**METCALF & Eddy, Inc.** *Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, vertido y reutilización.* 3ª ed. Madrid-España: McGraw-Hill, 1995, pp. 507-577, 603-682, 865-992.

**MOROTO SÁNCHEZ, Juan Carlos.** Diseño de un sistema de tratamiento del agua residual de la lavandería Splendid-Riobamba (Tesis).Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2013. pp. 14, 25-27.

**Origen y composición de las aguas residuales en mataderos.** [En línea] 2014. [Consulta: 6 de Noviembre de 2014.] <http://aguasindustriales.es/origen-y-composicion-de-las-aguas-residuales-en-mataderos/#more-53>.

**OSORIO, F. TORRES, J. & SÁNCHEZ, M.** *Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes. Aplicaciones de procesos industriales a la reutilización de aguas residuales.* Madrid-España: Ediciones Díaz de Santos, 2010, pp. 1-3.

**RAY, A.** *Seguridad industrial y salud.* 4ª ed. Monterey-México: Pearson Educación, 2000, pp. 52.

**RODRÍGUEZ, P.** *Hidráulica de canales* [en línea]. 2008. [Consulta: 2016-03.25]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/CarlosPajuelo/hidraulica-de-canales-pedro-rodriguez>

**ROJAS, H.** *Diseño de canales* [en línea]. 2013. [Consulta: 2016-03-12 ]. Disponible en : <http://es.slideshare.net/linoolascuagacruzado/diseo-de-canales>.

**ROJAS, R.** *Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. CEPIS/OPS -OMS. Curso internacional: "Gestión Integral de tratamiento de aguas residuales"*. Perú, 2002. pp. 19.

**ROMERO, J.** *Tratamiento de aguas residuales Teoría y principios de diseño*. 2ª ed. Bogotá-Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002. pp. 164-169, 657-676.

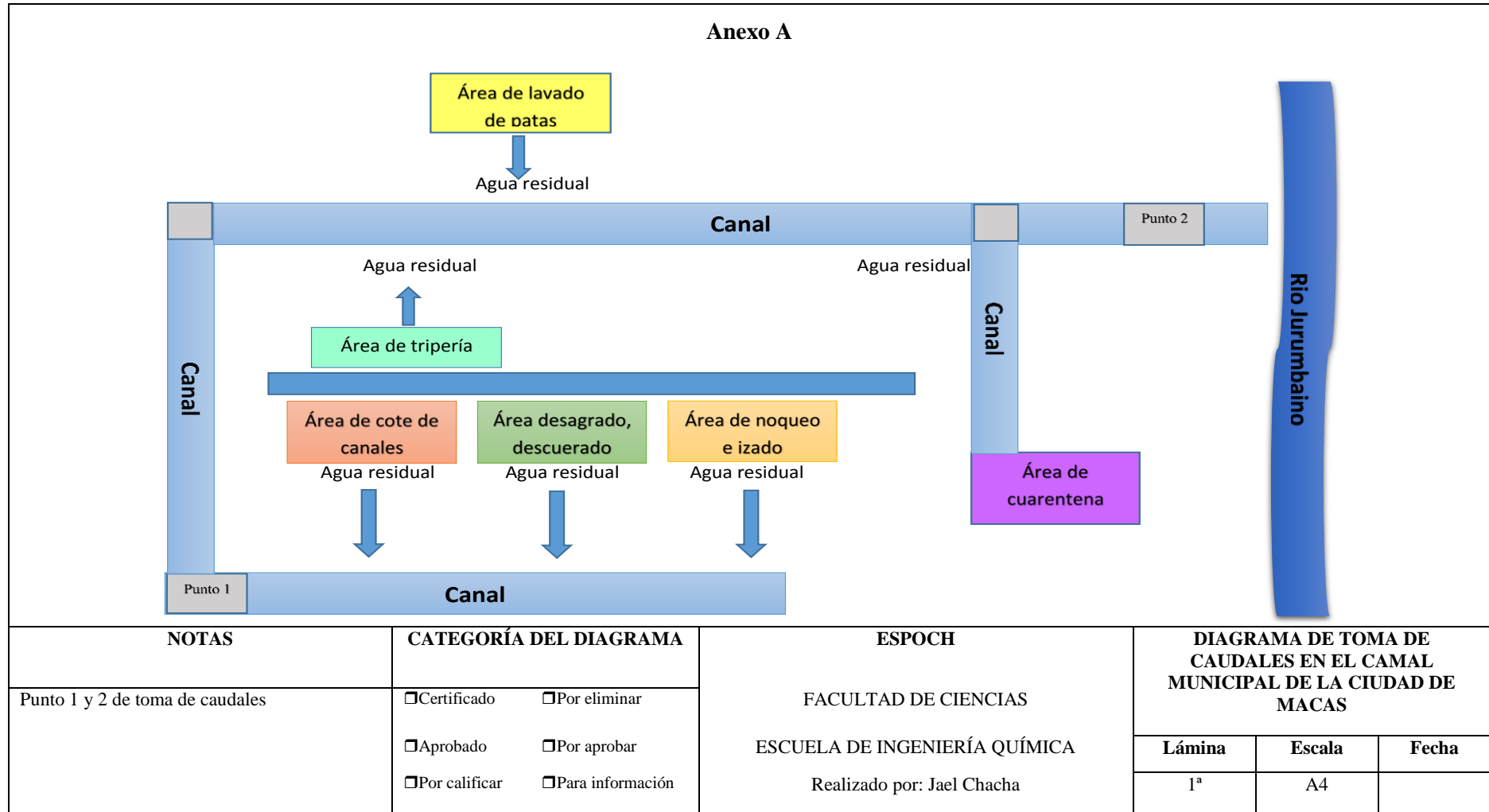
**ROMERO, J.** *Purificación del agua*. 2ª ed. Bogotá-Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2006. pp. 213-264.

**RUZ DÁVILA, Saskia Deyanira.** Plan de gestión de residuos del Camal del Cantón Antonio Ante (Tesis). (Ingeniería Ambiental) Escuela Superior Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2011. pp. 9-11, 21-23, 39-41.

**TULSMA.** *Anexo I del Libro VI: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua*. Quito-Ecuador : s.n., 2015, pp. 80,98,99.

**UNATSABAR.** *Especificaciones Técnicas para el diseño de Trampa de Grasa*. Lima-Perú : s.n., 2003, p. 10

**ANEXOS**



## Anexo B


**LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES**  
 Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación No. OAE/LE C.12-006  
 Nº SE: 073 - 15

---

**INFORME DE ANALISIS**

**NOMBRE:** Srta. Jael Chacha      **INFORME N°:** 073 - 15  
**EMPRESA:** Proyecto de Tesis ESPOCH      **N° SE:** 073 - 15  
**DIRECCION:** Cda. Juan Montalvo  
**FECHA DE RECEPCIÓN:** 05 - 10 - 15  
**TELEFONO:** 0982656888      **FECHA DE INFORME:** 12 - 10 - 15

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1      **TIPO DE MUESTRA:** Agua Residual Canal, Macas  
**IDENTIFICACIÓN:** MA - 114-15      Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

**RESULTADO DE ANÁLISIS**

MA - 114-15

PARAMETROS	UNIDADES	METODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	UM(*)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	-	PC/LSA 01	6.91	17.008	05 - 10 - 15
Conductividad	µSiem/cm	PC/LSA 02	522	22.8%	05 - 10 - 15
* Temperatura	°C	STANDARD METHOD 2550 B	19.9	N/A	05 - 10 - 15
Sólidos Totales	mg/L	PC/LSA 03	308	22.4%	05 - 10 - 15
* Sólidos Suspendedos	mg/L	STANDARD METHOD 2540 D	288	N/A	05 - 10 - 15
* Fosfatos	mg/L	STANDARD METHOD 4500 SO4 P	100	N/A	05 - 10 - 15
* Nitratos	mg/L	STANDARD METHOD 4500 NO3 P	30.6	N/A	05 - 10 - 15
* Sólidos Sedimentables	mg/L	STANDARD METHOD 2540 F	138.2	N/A	05 - 10 - 15
* Sólidos Totales	mg/L	STANDARD METHOD 2540 F	4.3	N/A	05 - 10 - 15
* Aceites y grasas	mg/L	APHA 419	58.4	N/A	05 - 10 - 15
* Detergentes	mg/L	STANDARD METHOD 2540 C (mg)	5.3	N/A	05 - 10 - 15
* Turbiedad	FTU - NTU	STANDARD METHOD 2130 B	216	N/A	05 - 10 - 15
* DBO5	mg O2/L	STANDARD METHOD 5210 B	972	N/A	05 - 10 - 15
DQO	mg/L	STANDARD METHOD 5220 D (mg)	1170	21.10%	05 - 10 - 15
* Coliformes Totales	UFC/100 ml	STANDARD METHOD 8221 C	13000	N/A	05 - 10 - 15
* Coliformes Fecales	UFC/100 ml	STANDARD METHOD 8221 C	8400	N/A	05 - 10 - 15

Los resultados de este informe corresponden únicamente a los métodos aquí detallados.  
 Este informe es válido solo si el usuario garantiza el correcto uso de los métodos del OAE.  
 No se permite la reproducción parcial o total sin la autorización del laboratorio.

FMC2101-01

### ESPOCH

**INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS**  
 Análisis solicitado por: Srta. Ivana Chacha  
 Fecha de Análisis: 01 de Diciembre del 2015  
 Fecha de Entrega de Resultados: 7 de Diciembre del 2015  
 Tipo de muestras: Agua Residual de canal cruda. Muestra compuesta  
 Localidad: Camal Municipal de la Ciudad de Macas

**TRABAJO DE TESIS**      Código LAT/052-15


**Análisis Químico**

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
Ph	Und.	4500-B	5-9	6.98
Conductividad	µSiemens/cm	2510-B	--	1 040
Turbiedad	UNT	2130-B	--	1 432
Nitrógeno total	mg/L	10072	50	200
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	200	9 600
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	5 400
Hierro	mg/L	3500-Fe-D	10	21.5
Fosfatos	mg/L	4500- P-D	10	79
Sulfatos	mg/L	4500- SO4-B	1 000	1 050
Coliformes fecales	UFC/100mL	Micro filtración	10 000	6.1x10 <sup>4</sup>
Sólidos Suspendedos	mg/L	2540-D	130	2 432
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	1	74
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1 600	6 144

\*Métodos Normalizados: APHA, AWWA, WPCF 17 ed  
 \*\*TULSMA TABLA 10. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:

Atentamente,

  
 Dra. Gina Álvarez R.  
 RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS  
 Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

### ESPOCH

**INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS**  
 Análisis solicitado por: Srta. Ivana Chacha  
 Fecha de Análisis: 23 de Noviembre del 2015  
 Fecha de Entrega de Resultados: 30 de Noviembre del 2015  
 Tipo de muestras: Agua Residual de canal cruda. Muestra compuesta  
 Localidad: Camal Municipal de la Ciudad de Macas

**TRABAJO DE TESIS**      Código LAT/052-15


**Análisis Químico**

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
Ph	Und.	4500-B	5-9	7.47
Conductividad	µSiemens/cm	2510-B	--	1 210
Turbiedad	UNT	2130-B	--	1 520
Nitrógeno total	mg/L	10072	50	350
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	200	10 300
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	6 200
Hierro	mg/L	3500-Fe-D	10	19
Fosfatos	mg/L	4500- P-D	10	61.5
Sulfatos	mg/L	4500- SO4-B	1 000	1 000
Coliformes fecales	UFC/100mL	Micro filtración	10 000	5x10 <sup>4</sup>
Sólidos Suspendedos	mg/L	2540-D	130	1 084
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	1	28
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1 600	3 560

\*Métodos Normalizados: APHA, AWWA, WPCF 17 ed.  
 \*\*TULSMA TABLA 10. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:

Atentamente,

  
 Dra. Gina Álvarez R.  
 RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS  
 Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA RESIDUAL CRUDA		
Caracterización físico-química y microbiológica del agua residual; prueba 1,2 y 3.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información	FACULTAD DE CIENCIAS  ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  Realizado por: Jael Chacha	Lámina	Escala	Fecha
			2A	A4	25/05/2016



## Anexo C

**ESPOCH**

**INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS**  
 Análisis solicitado por: Srta. Ivana Chacha  
 Fecha de Análisis: 01 de Febrero del 2016  
 Fecha de Entrega de Resultados: 8 de Febrero del 2016  
 Tipo de muestras: Agua Residual de camal después del tratamiento biológico.  
 Localidad: Camal Municipal de la Ciudad de Macas

**TRABAJO DE TESIS** Código LAT/052-15


**Análisis Químico**

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
Nitrógeno total	mg/L	10072	50	26
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	200	148
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	126
Hierro	mg/L	3500-Fe-D	10	1,7
Fosfatos	mg/L	4500-P-D	10	8,9
Coliformes fecales	UFC/100mL	Micro filtración	10 000	1 100
Sólidos Suspensivos	mg/L	2540-D	130	24
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	1	1,8
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1 600	468

\*Métodos Normalizados: APHA, AWWA, WPCF 17 ed.  
 \*\*TULSMA TABLA 10. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:

Atentamente,

  
 Dra. Gina Álvarez R.  
**RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS**  
 Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

**LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES**  
 Laboratorio de ensayo acreditado por el OAF con acreditación No. OAE LE C 12-006  
 N° SE: 006 - 16

**INFORME DE ANALISIS**

**NOMBRE:** Srta. Jael Chacha **INFORME N°:** 006 - 16  
**EMPRESA:** Proyecto de Tesis ESPOCH **N° SE:** 006 - 16  
**DIRECCIÓN:** Cofa Juan Montalvo

**TELÉFONO:** 0963809888 **FECHA DE RECEPCIÓN:** 02 - 02 - 16  
**FECHA DE INFORME:** 10 - 02 - 16

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1 Agua Residual Tratada Camal, Macas **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA - 016-16 Filtrada Agua  
 MA - 017-16 No filtrada Agua

El laboratorio no responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

**RESULTADO DE ANALISIS**

**MA - 016-16**

PARAMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	UIK-3)	FECHA DE ANÁLISIS
* Aceites y grasas	mg/l	6PA-41E3	12	N/A	02 - 02 - 16
* DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	4.10	N/A	02 - 02 - 16
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	6	N/A	02 - 02 - 16
* Nitrógeno Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - N - B mod	6.6	N/A	02 - 02 - 16
* Coliformes fecales	NMP/100 ml	STANDARD METHODS 9221 - B	2300	N/A	02 - 02 - 16

**MA - 017-16**

PARAMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	UIK-2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Aceites y grasas	mg/l	6PA-41E	18	N/A	02 - 02 - 16
* DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	72	N/A	02 - 02 - 16
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	44	N/A	02 - 02 - 16
* Nitrógeno Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - N - B mod	7.0	N/A	02 - 02 - 16
* Coliformes fecales	NMP/100 ml	STANDARD METHODS 9221 - B	200	N/A	02 - 02 - 16

En resultado de este análisis se encuentran únicamente a los resultados analizados.  
 Los valores marcados con \* no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAF.  
 Se prohíbe la reproducción parcial o total sin el consentimiento del laboratorio.

Página 1 de 2 FMC2101-01

L.S.A. Campus Maab - Edificio Bona 308 1 y 1/2 Via 3 Cuatro Bajas Administrativas

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	<b>RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA RESIDUAL DESPUES DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO</b>		
Caracterización físico-química y microbiológica del agua residual; prueba 1 y2	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  Realizado por: Jael Chacha	Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar		3A	A4	25/05/2016
	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información				

## Anexo D

### ESPOCH

#### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Ivana Chacha  
 Fecha de Análisis: 01 de Febrero del 2016  
 Fecha de Entrega de Resultados: 8 de Febrero del 2016  
 Tipo de muestras: Agua Residual de camal tratada.  
 Localidad: Camal Municipal de la Ciudad de Macas

TRABAJO DE TESIS Código LAT/052-15

#### Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
Nitrógeno total	mg/L	10072	50	15
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	200	50
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	98
Hierro	mg/L	3500-Fe-D	10	1,7
Fosfatos	mg/L	4500-P-D	10	0,27
Coliformes fecales	UFC/100mL	Micro filtración	10.000	121
Sólidos Suspendidos	mg/L	2540-D	130	10
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	1	0
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1.600	12


\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.  
 \*\*TULSMA TABLA 10. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:

Atentamente,

  
 Dra. Gina Álvarez R.  
 RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.


**LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES**  
 Laboratorio de ensayo acreditado por el OAF con acreditación No. OAF LE C 12-006  
 Nº SE: 005-16

---

**INFORME DE ANALISIS**

**NOMBRE:** Srta. Jael Chacha **INFORME Nº:** 006-16  
**EMPRESA:** Proyecto de Tesis ESPOCH **Nº SE:** 005-16  
**DIRECCIÓN:** Cda Juan Montalvo  
**FECHA DE RECEPCIÓN:** 02-02-16  
**FECHA DE INFORME:** 10-02-16  
**TELÉFONO:** 0983609888

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1 Agua Residual Tratada Camal, Macas **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA-016-16 Filtrada Agua  
 MA-017-16 No filtrada Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

**RESULTADO DE ANALISIS**


**MA-016-16**

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	UIK(2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Acorches y gases	mg/l	EPA 418-T	12	N/A	02-02-16
* DBO	mg/l	STANDARD METHODS 5203-D mod	4.10	N/A	02-02-16
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5212-B	6	N/A	02-02-16
* Nitrógeno Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500-N-B mod	6.6	N/A	02-02-16
* Coliformes fecales	NMP/100 ml	STANDARD METHODS 9221-B	2300	N/A	02-02-16

**MA-017-16**

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	UIK(2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Acorches y gases	mg/l	EPA 418-T	18	N/A	02-02-16
* DBO	mg/l	STANDARD METHODS 5203-D mod	72	N/A	02-02-16
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5212-B	44	N/A	02-02-16
* Nitrógeno Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500-N-B mod	7.0	N/A	02-02-16
* Coliformes fecales	UFC	STANDARD METHODS 9221-B	200	N/A	02-02-16

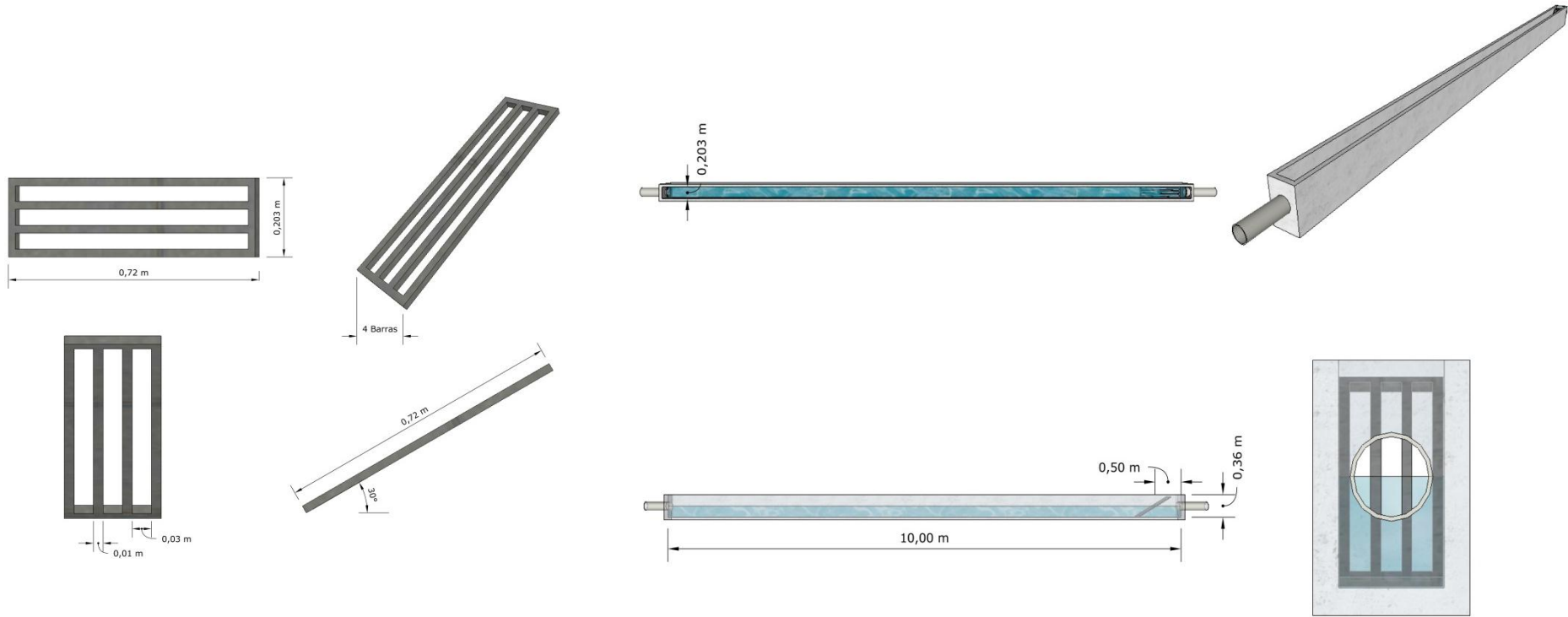
\*En resultado de 2016 se utiliza en consecuencia incremento a 100 (100000) unidades/l.  
 Los ensayos realizados con el presente informe son de alcance de la acreditación del OAF.  
 No aplica la reproducción previa de este informe con la autorización del laboratorio.

  
 FMC2101-01

Página 1 de 2  
 L.S.A. Campus Macas-Edificio Base Km 1 1/2 vía a Guano Bologu Administrativo.

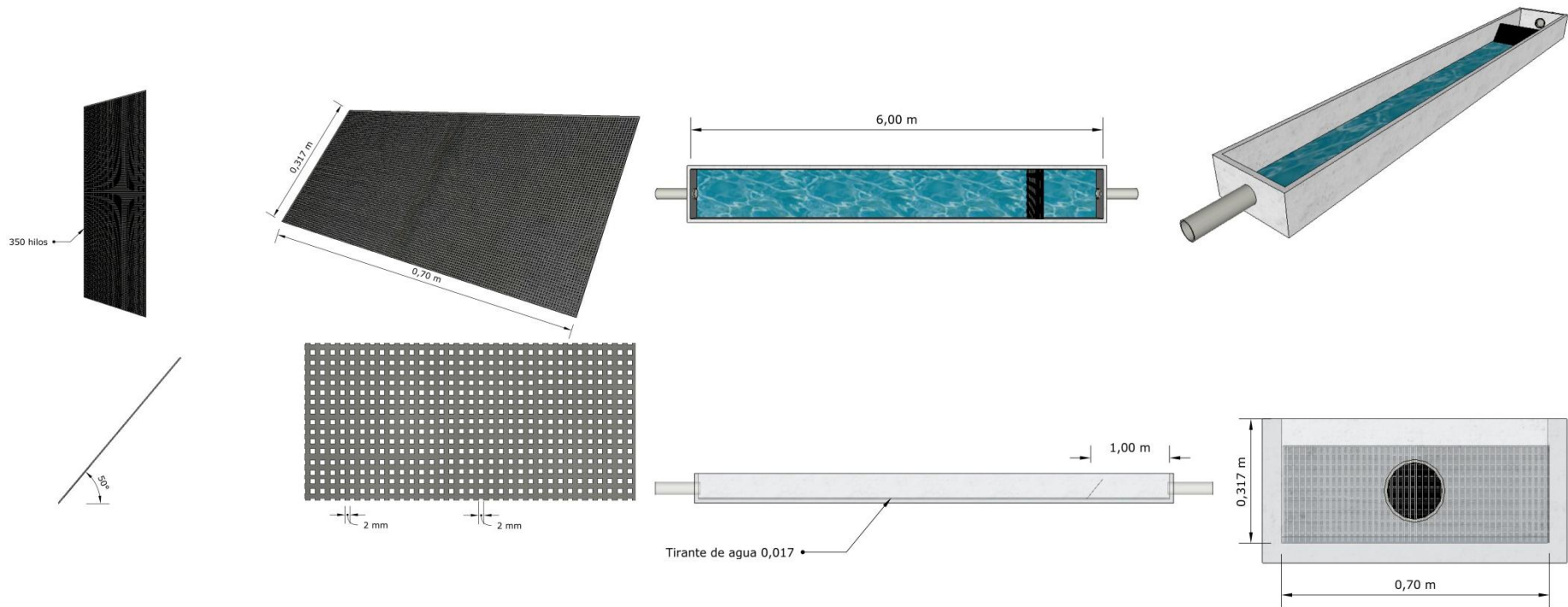
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA RESIDUAL TRATADA		
Caracterización físico-química y microbiológica del agua residual tratada; prueba 1 y 2	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información	FACULTAD DE CIENCIAS  ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  Realizado por: Jael Chacha	Lámina	Escala	Fecha
			4A	A4	25/05/2016

### Anexo E



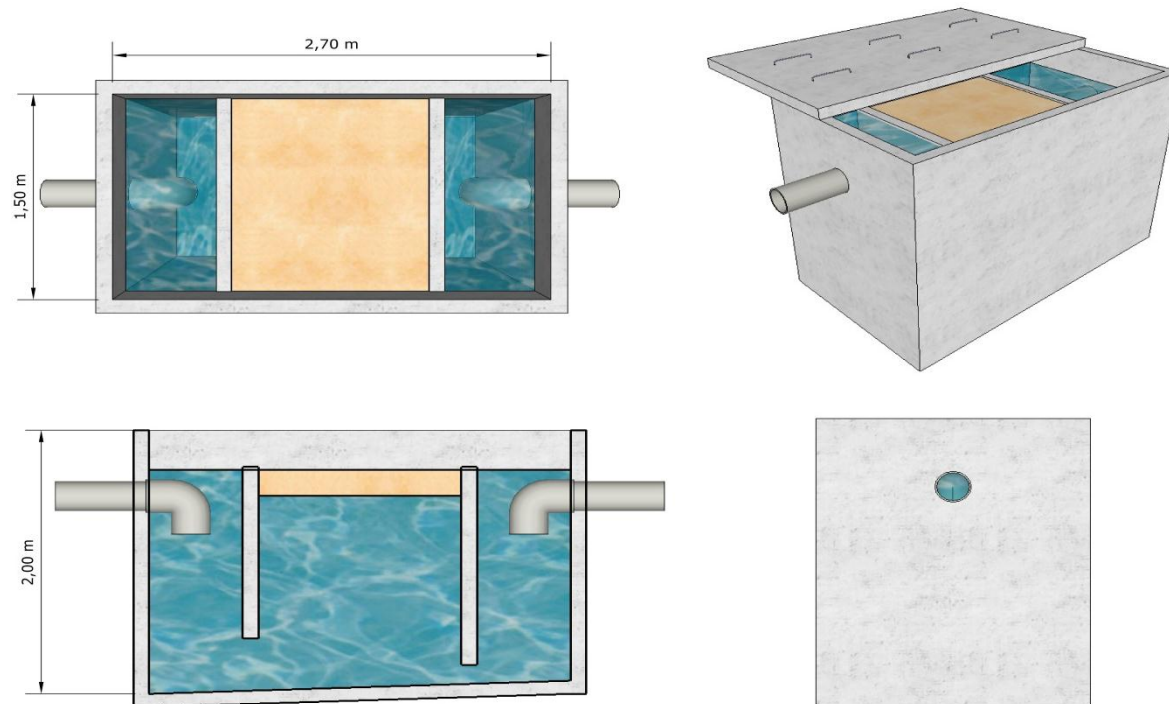
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	REJILLA METÁLICA Y CANAL DE ENTRADA		
Dimensión de la rejilla metálica y canal de entrada	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Jael Chacha	Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar		5A	A4	25/05/2016
	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información				

### Anexo F



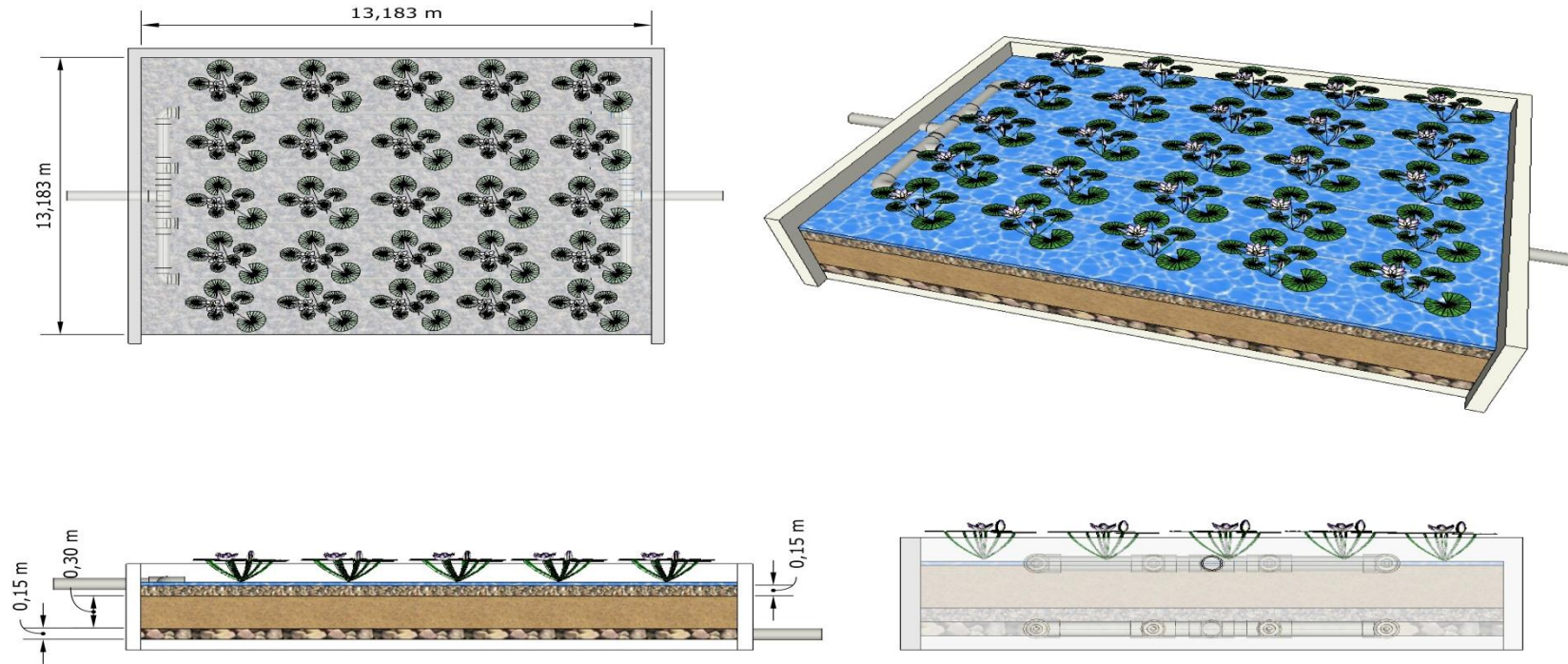
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	MALLA PARA FINOS Y CANAL		
Dimensiones de la malla para finos y canal.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Jael Chacha	Lámina	Escala	Fecha
	6A		A4	25/05/2016	

### Anexo G



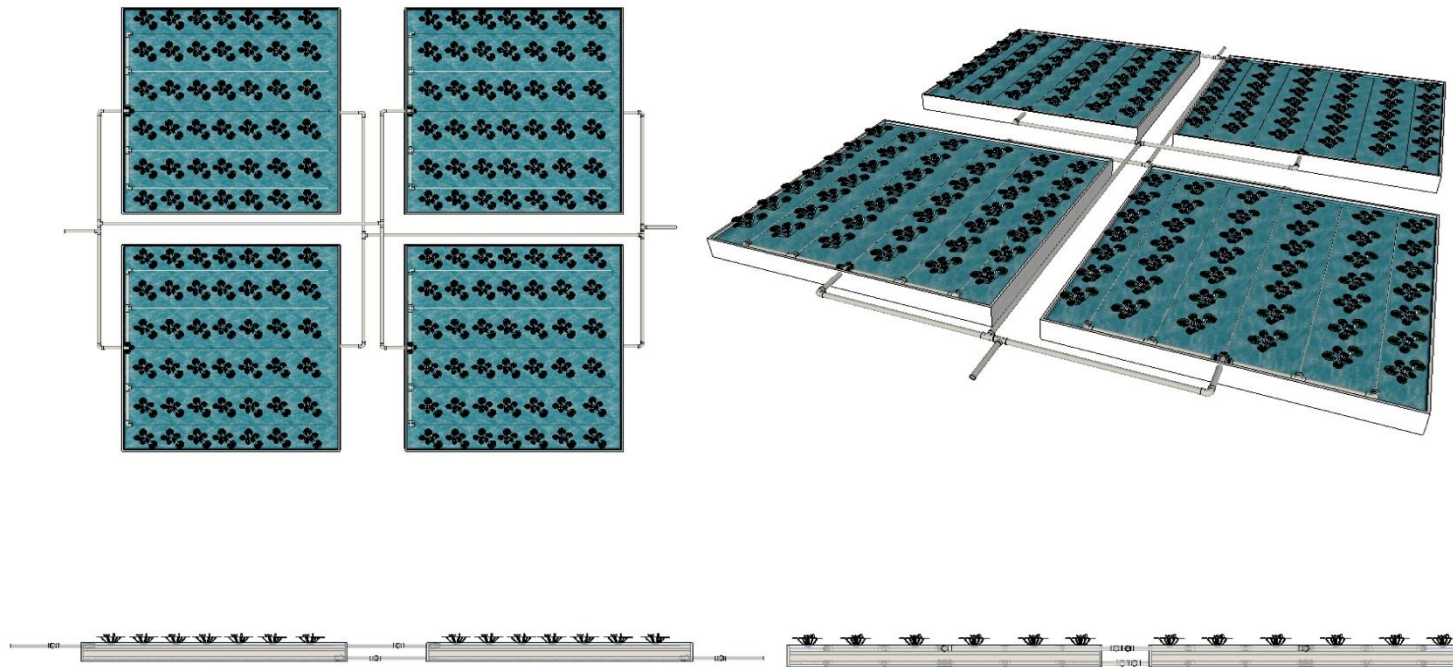
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	TRAMPA DE GRASAS		
Distribución de la trampa de grasas	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Jael Chacha			
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar		Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información		7A	A4	25/05/2016

### Anexo H



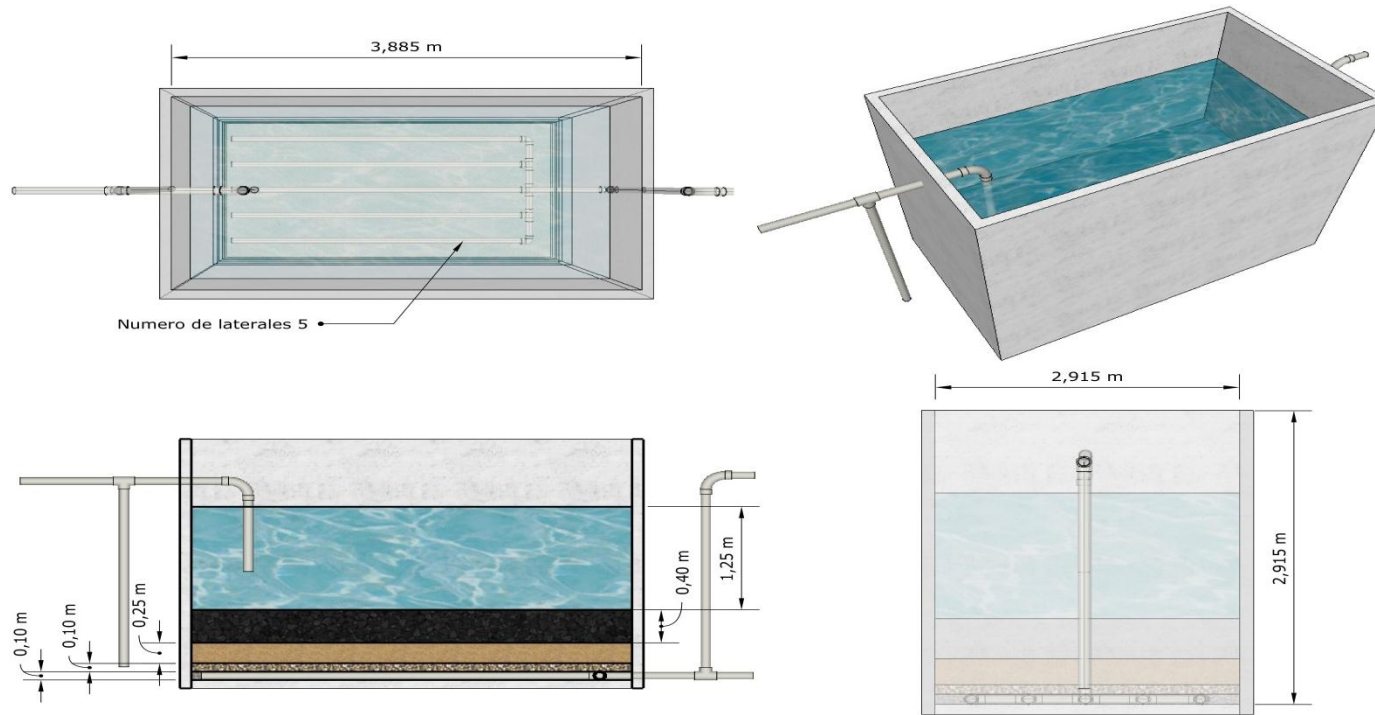
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL		
Dimensiones de los humedales artificiales de flujo subsuperficial.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar	Realizado por: Jael Chacha	Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar		8A	A4	25/05/2016
	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información				

### Anexo I



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	HUMEDAL ARTIFICIAL		
Distribución de los humedales artificiales.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Jael Chacha			
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar		Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información		9A	A4	25/05/2016

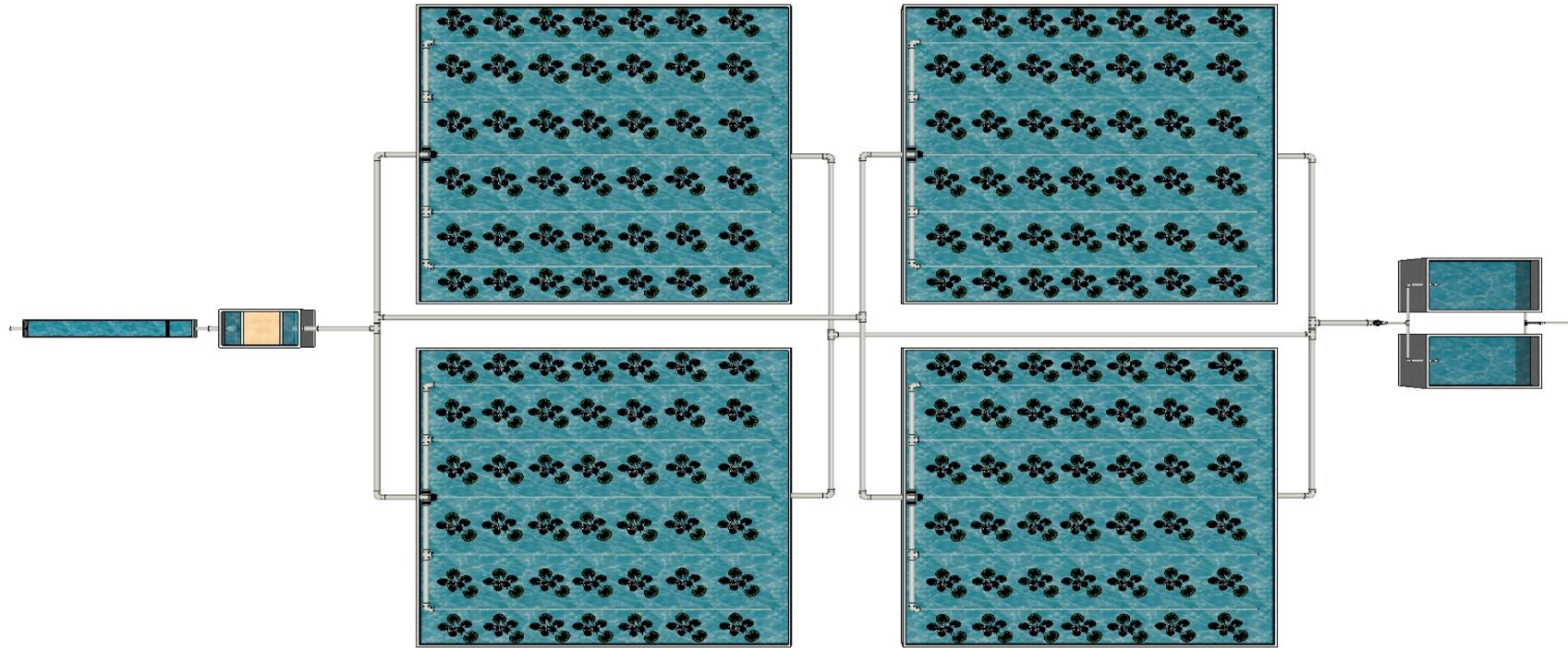
### Anexo J



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	FILTRO DUAL		
Dimensiones del filtro dual de medios múltiples	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Jael Chacha			
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar		Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información		10A	A4	25/05/2016

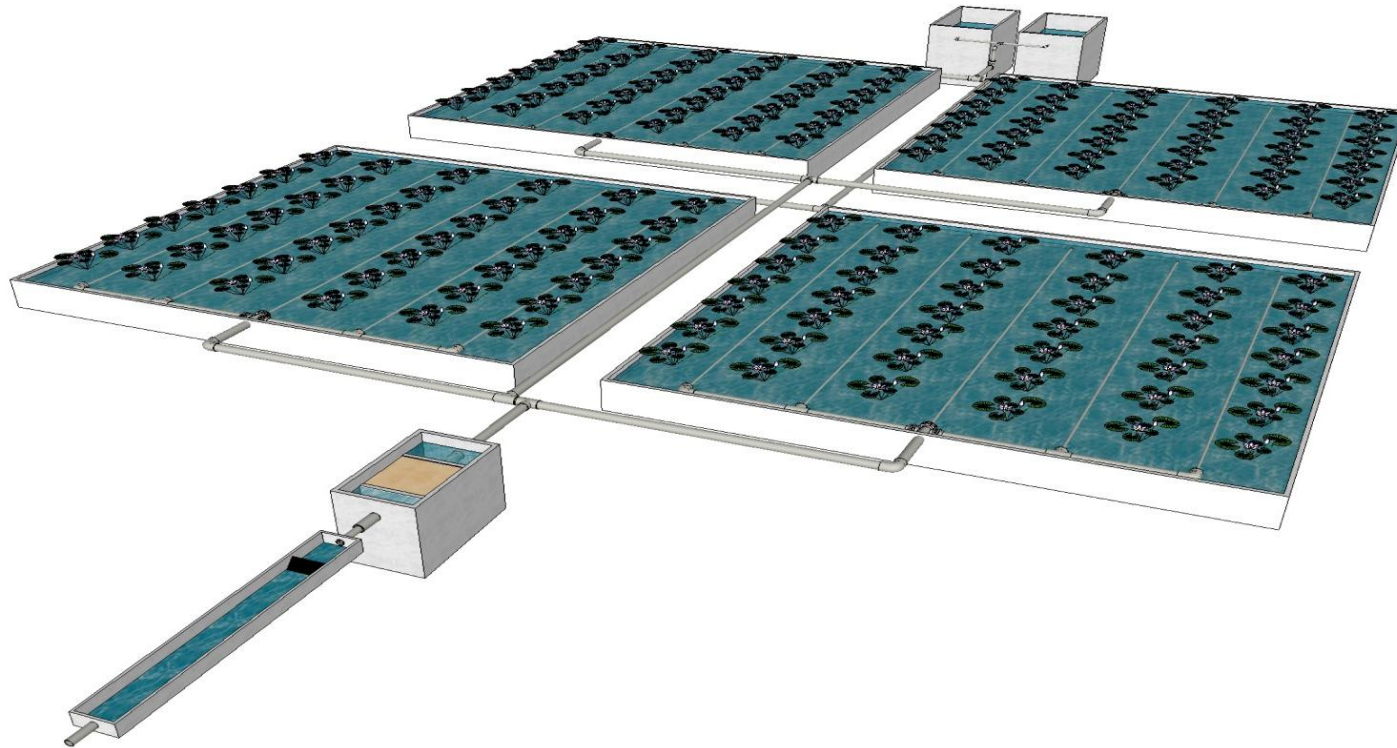


### Anexo K



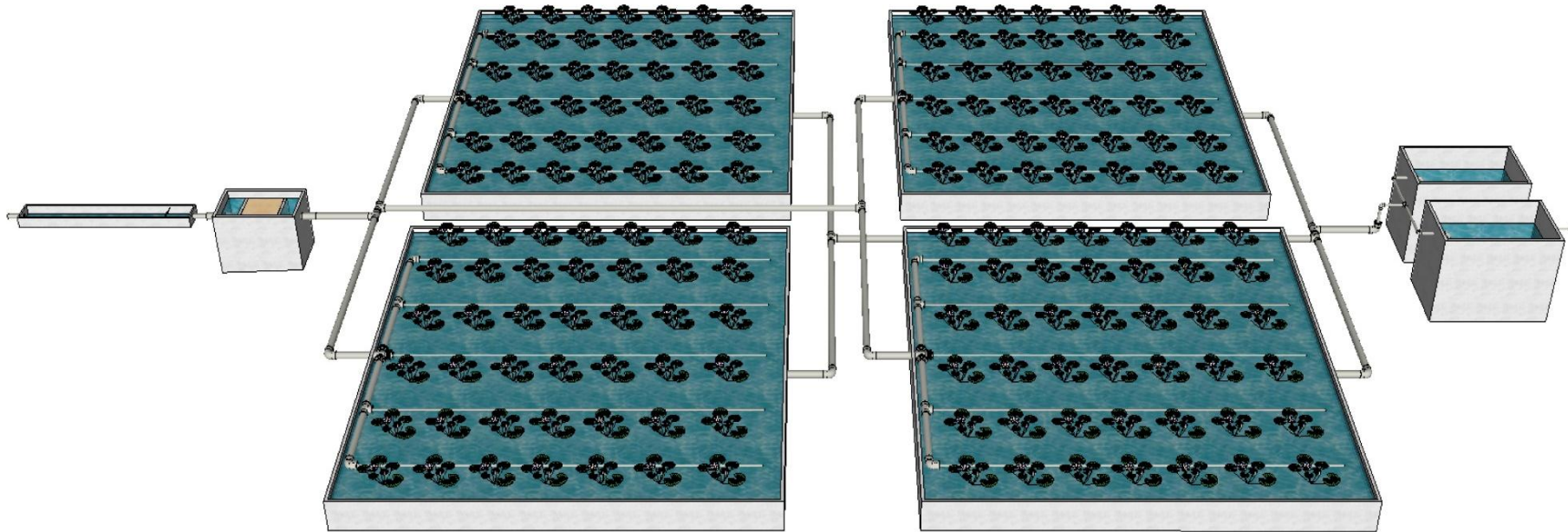
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		
Etapas del sistema de tratamiento de aguas residuales, vista superior.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS  ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  Realizado por: Jael Chacha	Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar		11A	A4	25/05/2016
	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información				

### Anexo L



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH  FACULTAD DE CIENCIAS  ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		
Etapas del sistema de tratamiento de aguas residuales, vista frontal.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar	Realizado por: Jael Chacha	Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar		12A	A4	25/05/2016
	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información				

### Anexo M



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		
Etapas del sistema de tratamiento de aguas residuales, vista lateral.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Jael Chacha	Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar		13A	A4	25/05/2016
	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información				

