

**ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA PTAR DE LA VEREDA PANTANOS, MUNICIPIO
DE TIMANÁ- DEPARTAMENTO DE HUILA.**

JUAN CARLOS MELO LUNA

JEIRSON ANDRES ORJUELA GUERRERO

DIRECTOR ING. JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA “JULIO GARAVITO”
ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HIDRÁULICOS Y MEDIO AMBIENTE
BOGOTÁ D.C. MAYO 2016**

NOTA DE ACEPTACIÓN

El proyecto final titulado “*Análisis conceptual de la PTAR de la vereda Pantanos, municipio de Timaná- departamento de Huila.*” Presentado por los ingenieros Jeirson Andres Orjuela Guerrero y Juan Carlos Melo Luna, en cumplimiento del requisito parcial para optar el título de *Especialista En Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente*, fue aprobado por el Director del Proyecto.

Ingeniero Jairo Alberto Romero Rojas
Director de Proyecto

CONTENIDO

INDICE DE FIGURAS	3
INDICE DE TABLAS	4
INTRODUCCION	6
CAPITULO 1. Características Vereda Pantanos.....	7
1.1 Ubicación.....	8
1.2 Orografía	9
1.3 Hidrografía.....	9
1.4 Geología.	10
1.5 Población.....	10
1.6 División Política	11
CAPITULO 2. Norma de Vertimiento	12
CAPITULO 3. Requisitos de medición y alternativas de tratamiento ARD.....	15
3.1 Parámetros mínimos de calidad del agua residual que deben medirse	16
3.2 Selección del tratamiento	17
3.3 Análisis de alternativas.....	17
3.4 Pretratamiento.....	19
3.5 Tratamiento Primario.....	20
3.6 Tratamiento Secundario.....	20
3.6.1 Tratamientos Anaerobios.....	21
3.7 Lagunas de Estabilización.....	22
3.8 Localización de Lagunas y Reactores.....	22
CAPITULO 4. Condiciones de diseño.....	24
4.1 Emisario Final	25
4.2 Rejilla de entrada	27
4.3 Canal de aducción	27
4.4 Lagunas en serie	28
4.5 Filtro percolador.....	29
CAPITULO 5. Diseño PTAR.....	31

5.1 Rejilla	32
5.2 Canal de Aducción	32
5.3 Canaleta Parshall	33
5.4 Planta De Tratamiento De Aguas Residuales	34
5.4.1 Lagunas en serie	34
5.4.2 Filtro percolador	36
5.5 Diseño tramo final de alcantarillado	36
CAPITULO 6. Análisis de costos	37
CAPITULO 7. Conclusiones	40
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	42

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	<i>Localización geográfica vereda Pantanos</i>	8
Figura 1.2	<i>Paisaje típico vereda Pantanos</i>	9
Figura 3.1	<i>Diagrama de flujo típico de tratamientos anaerobio con reactor UASB y lagunas facultativas</i>	21
Figura 3.2	<i>Diagrama de flujo típico de tratamiento anaerobio</i>	22
Figura 3.3	<i>Diagramas de flujo de lagunas de estabilización</i>	23
Figura 4.1	<i>Esquema de lagunas de estabilizacion</i>	28
Figura 4.2	<i>Diagrama de filtro percolador seleccionado</i>	30
Figura 5.1	<i>Geometría de la canaleta Parshall</i>	33
Figura 5.2	<i>Esquema lagunas en serie</i>	35

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	<i>Divisiones territoriales de Timaná.</i>	11
Tabla 2.1	<i>Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles</i>	14
Tabla 3.1	<i>Parámetros mínimos que deben medirse para cada nivel de complejidad</i>	16
Tabla 3.2	<i>Matriz de análisis para la utilización de una nueva planta de tratamiento de aguas residuales cerca de áreas residenciales</i>	17
Tabla 3.3	<i>Eficiencias típicas de remoción</i>	18
Tabla 3.4	<i>Localización en sistemas de tratamiento de aguas residuales donde se pueden generar problemas de olores</i>	18
Tabla 3.5	<i>Parámetros que deben ser regulados para que no contribuyan a los problemas de olores en sistemas de tratamiento de aguas residuales</i>	19
Tabla 3.6	<i>Clasificación de confiabilidad</i>	19
Tabla 4.1	<i>Cargas promedio de aguas residuales domésticas</i>	25
Tabla 4.2	<i>Parámetros de diseño alcantarillado y sistema de tratamiento</i>	26
Tabla 4.3	<i>Criterios de diseño rejilla</i>	27
Tabla 4.4	<i>Criterios de diseño de canal de aducción</i>	27
Tabla 4.5	<i>Criterios de diseño de las lagunas en serie</i>	29
Tabla 4.7	<i>Criterios de diseño filtro percolador y sedimentadores</i>	30
Tabla 5.1	<i>Resultado diseño rejilla</i>	32
Tabla 5.2	<i>Resultado diseño canal de aducción</i>	32
Tabla 5.3	<i>Dimensiones de la canaleta Parshall</i>	33
Tabla 5.4	<i>Resultados finales diseño lagunas</i>	34

Tabla 5.5	<i>Resultados de diseño filtro percolador</i>	36
Tabla 6.1	<i>Costos totales de plantas de tratamiento</i>	38
Tabla 6.2	<i>Costos totales anuales de operación y mantenimiento de plantas de tratamiento</i>	39
Tabla 6.3	<i>Comparativo general de costos.</i>	39

INTRODUCCION

En este informe se presenta el análisis conceptual de la PTAR para la vereda Pantanos, ubicada en el municipio de Timaná, departamento del Huila.

El informe tiene como objetivo seleccionar conceptualmente la planta de tratamiento de aguas residuales requerida para vertimiento al río Timaná,

Como referente técnico de evaluación de diseño se ha tenido en cuenta la resolución 0631 de 2015 la cual actualiza los requisitos del decreto 1594 de 1984 para vertimientos a cuerpos de agua superficiales, y el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000.

En el primer capítulo se hace una descripción de las características de la población y de la zona donde se construirá la PTAR. En los capítulos 2 y 3 se resume la normatividad colombiana y los requerimientos que esta exige para el diseño y desarrollo de la PTAR. Las variables de diseño se presentan en los capítulos 4 y 5. En el capítulo 6 se incluye el análisis de costos y en el capítulo 7 las conclusiones finales.

CAPITULO 1.

Características

Vereda Pantanos

1.1 Ubicación.

La vereda Pantanos se encuentra dentro del municipio de Timaná al sur del departamento del Huila a 512 km de la capital colombiana, rodeada de distintas veredas; prioriza el uso rural y la agronomía en sus tierras. Por el norte limita con la vereda Paquies, por el oeste colinda con la vereda Palmito, por el sur con el salto de Santa Barabara y por el este con la vereda Cascajal.

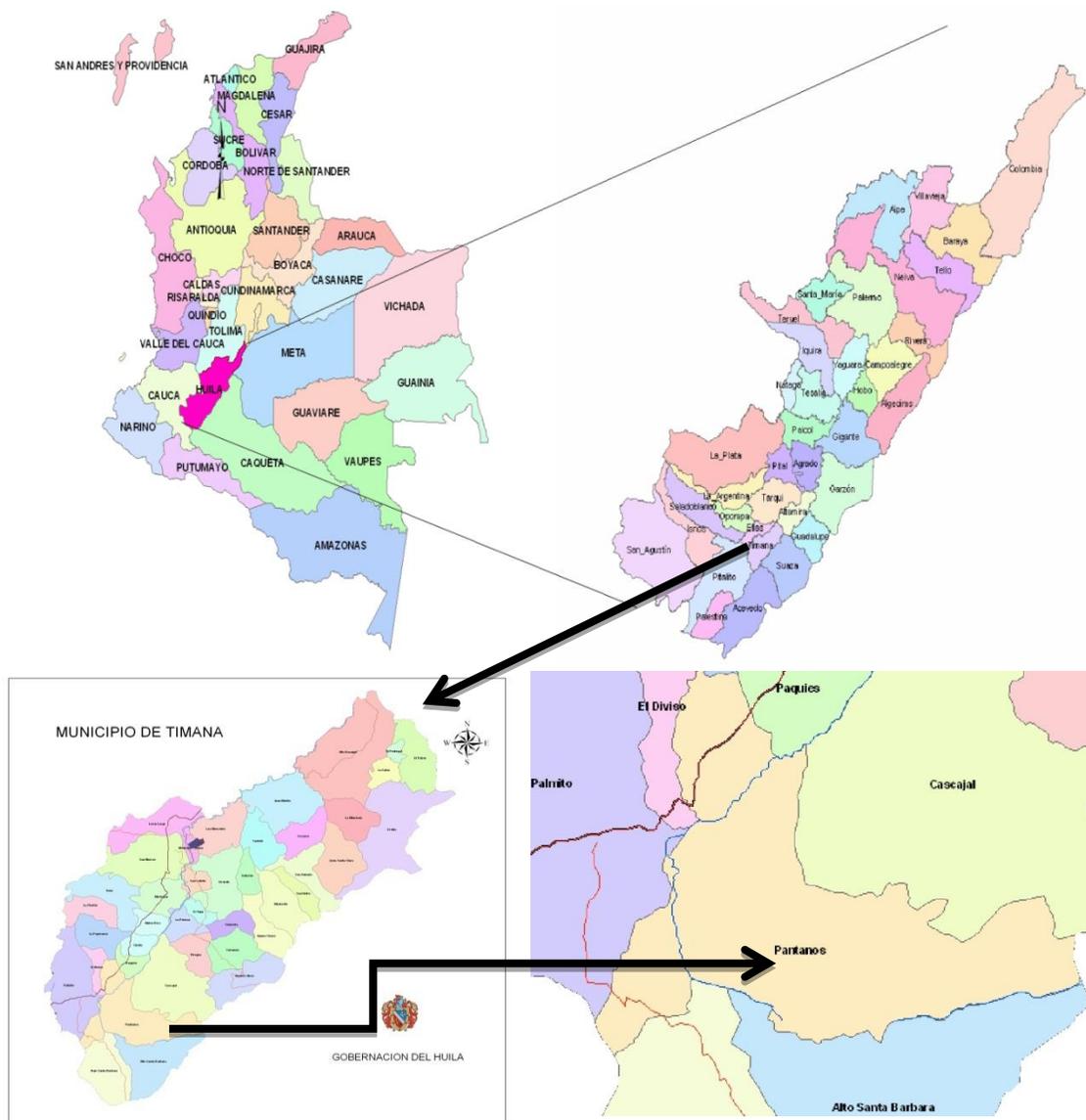


Figura 1.1 Localización geográfica vereda Pantanos¹

¹http://www.huila.gov.co/index.php?option=com_phocagallery&view=category&id=38&Itemid=3899

1.2 Orografía

El territorio de la vereda Pantanos es quebrado; contiene un ramal de la cordillera Oriental, que se extiende de sur a norte, separando los municipios de Acevedo y Suaza y dividiendo las hoyas de los ríos Timaná y Suaza.²



Figura 1.2 paisaje típico vereda Pantanos

La orografía se reduce a las estribaciones de la cordillera de la Ceja, montaña de las Delicias, y al este la serranía de San Isidro.

Toda el área de la vereda Pantanos presenta erosión antrópica con intensidad moderada como resultado de la tala de los pocos árboles de bosques y de mal manejo de las tierras, pues se trata de terrenos muy pendientes, si a esto se agrega que el clima se caracteriza por precipitaciones abundantes durante el período invernal, lógicamente se producen movimientos de masa (deslizamientos) y arrastre de la capa vegetal de los suelos.³

1.3 Hidrografía

El sistema hidrográfico fundamental del área estudiada es el río Timaná, que baña a la vereda del mismo nombre y el río Elías que tiene sus fuentes de origen en la serranía de San Isidro (al este del valle de Timaná).

Los afluentes principales del río Elías por su margen derecha (serranía de San Isidro), son las quebradas El Bosque (la Vega), El Huevo (Palmichala), Los Cauchos, Camenzo, La Turbia y Sicana. Por su margen izquierda (serranía de la Ceja) las quebradas de La Colorada, Tobo, Mansito, Raspacanillas y Olicual

²⁻³ <http://www.timana.gov.co/geopolitica/geografia.php>

1.4 Geología.

La región en general presenta las siguientes características: los suelos del valle del río Timaná son derivados de rocas sedimentarias. Al respecto dice el geólogo Carlos Buitrago: "Afloran arcillas que por su posición estratigráfica parecen del terciario inferior. Afloran en posición horizontal calizas de color claro y grano grueso, las calizas se extienden al oeste hasta el río Timaná en donde se puede observar que infrayacente a la caliza se encuentra una arenisca cuarática de grano fino y cemento calcáreo".

Los suelos de la serranía de la Ceja, en su vertiente del este, se caracterizan por ser desarrollados a partir de rocas ígneas: geológicamente andesitas, basaltos y sus tobas de edad cenozoica. (IGAC, 1973).⁴

1.5 Población

Según los datos arrojados en el diagnóstico de vivienda y población realizado paralelamente a la etapa de recolección de datos del plan de ordenamiento territorial para Vereda Pantanos, se establece que en el área urbana hay 8.217 personas, y en el área rural 14.985, encontrando la mayor población en el área rural, para un total de 23.202 habitantes, que conforman el 100% de la población. Según la certificación de población de fecha 27 de mayo de 1998, emanada del Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, derivada -

La vereda Pantanos cuenta con una población de 1080 habitantes para el año 2015 para el año 2030 con periodo de diseño 15 años, se obtuvo una población de diseño de 1351 habitantes.

Estimación de la población:

$$k_a = \frac{P_{CF} - P_{CI}}{A_F - A_I}$$

$$k_a = \frac{20025 - 19808}{2005 - 1993} = 18.08$$

$$P_F = P_{UC} + k_a n$$

$$P_F = 1080 + 18.08(2030 - 2015)$$

$$P_F = 1351 \text{ Habitantes}$$

Dónde:

P_F= Población final vereda, año 2030

P_{CF}= Población censo 2005 Timaná

P_{CI}= Población censo 1993 Timaná

n= Número de años de proyección

k_a= Tasa de crecimiento

A_F= 2005

A_I= 1993

1.6 División Política

El municipio de Timaná está integrado por dos (2) inspecciones: Cosanza y Naranjal y por treinta y siete (37) veredas. (Tabla 1.1).

Tabla 1.1 Divisiones territoriales de Timaná.

VEREDA O INSPECCIÓN	AREA km ²	PORCENTAJE SOBRE EXTENSIÓN TOTAL
Inspección de Naranjal	15,5	8,5
Alto Naranjal	11,6	6,4
PANTANOS	10,8	5,9
Cascajal	10,5	5,8
Palmito	8,5	4,7

De los 182,5 kilómetros cuadrados con los que cuenta el municipio de Timaná, la vereda Pantanos ocupa el 5,92% del área total del municipio siendo la segunda vereda con mayor extensión del municipio y una de las más importantes en desarrollo.

⁴ <http://www.timana.gov.co/geopolitica/geografia.php>

CAPITULO 2.

Norma de Vertimiento

La resolución 0631 del 17 de marzo de 2015 establece los parámetros y valores límites máximos permisibles que deberán cumplir quienes realicen vertimientos puntuales a los cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.

De igual forma establece los parámetros físicos, químicos, microbiológicos y de temperatura con los que debe de contar un agua residual antes de verter a un cuerpo de agua superficial. Estos se definen para usos comerciales, industriales o de servicio.

La resolución establece:

No se admite vertimientos:

1. En las cabeceras de las fuentes de agua.
2. En acuíferos.
3. En los cuerpos de aguas o aguas costeras, destinadas para recreación y usos afines que impliquen contacto primario, que no permita el cumplimiento del criterio de calidad para este uso.
4. En un sector aguas arriba de las bocatomas para agua potable, en extensión que determinará, en cada caso, la autoridad ambiental competente.
5. En cuerpos de agua que la autoridad ambiental competente declare total o parcialmente protegidos, de acuerdo con los artículos 70 y 137 del Decreto-ley 2811 de 1974.
6. En calles, calzadas y canales o sistemas de alcantarillados para aguas lluvias, cuando quiera que existan en forma separada o tengan esta única destinación.
7. No tratados provenientes de embarcaciones, buques, naves u otros medios de transporte marítimo, fluvial o lacustre, en aguas superficiales dulces, y marinas.
8. Sin tratar, provenientes del lavado de vehículos aéreos y terrestres, del lavado de aplicadores manuales y aéreos, de recipientes, empaques y envases que contengan o hayan contenido agroquímicos u otras sustancias tóxicas.

9. Que alteren las características existentes en un cuerpo de agua que lo hacen apto para todos los usos determinados en el artículo 9° del decreto 2811 de 1974.

10. Que ocasionen altos riesgos para la salud o para los recursos hidrobiológicos.

Actividades no permitidas:

1. El lavado de vehículos de transporte aéreo y terrestre en las orillas y en los cuerpos de agua, así como el de aplicadores manuales y aéreos de agroquímicos y otras sustancias tóxicas y sus envases, recipientes o empaques.

2. La utilización del recurso hídrico, de las aguas lluvias, de las provenientes de acueductos públicos o privados, de enfriamiento, del sistema de aire acondicionado, de condensación y/o de síntesis química, con el propósito de diluir los vertimientos, con anterioridad al punto de control del vertimiento.

3. Disponer en cuerpos de aguas superficiales, subterráneas, marinas, y sistemas de alcantarillado, los sedimentos, lodos, y sustancias sólidas provenientes de sistemas de tratamiento de agua o equipos de control ambiental y otras tales como cenizas, cachaza y bagazo. Para su disposición deberá cumplirse con las normas legales en materia de residuos sólidos.

En la tabla 2.1 se incluyen los límites de la resolución para un vertimiento como el de la vereda Pantanos.

Tabla 2.1 parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles

PARAMETRO	UNIDADES	AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS -ARD	PRESTADORES DE SERVICIO PUBLICOS A CUERPOS DE AGUA SUPERFICIAL CON UNA CARGA MENOR O IGUAL A 625 KG/DIA DBOS
<i>pH</i>	<i>unidades de pH</i>	<i>6,00 -9,00</i>	<i>6,00 - 9,00</i>
<i>DQO</i>	<i>mg/L O2</i>	<i>200,00</i>	<i>180,00</i>
<i>DBO5</i>	<i>mg/L O2</i>	<i>90,00</i>	<i>90,00</i>
<i>SST</i>	<i>mg/L</i>	<i>100,00</i>	<i>90,00</i>
<i>SSED</i>	<i>mg/L</i>	<i>5,00</i>	<i>5,00</i>
<i>GRASAS Y ACEITES</i>	<i>mg/L</i>	<i>20,00</i>	<i>20,00</i>
<i>SAAM</i>	<i>mg/L</i>	<i>-</i>	<i>Analisis y Reporte</i>
<i>HTP</i>	<i>mg/L</i>	<i>-</i>	<i>Analisis y Reporte</i>
<i>ORTOFOSFATOS</i>	<i>mg/L</i>	<i>-</i>	<i>Analisis y Reporte</i>
<i>FOSFORO TOTAL</i>	<i>mg/L</i>	<i>-</i>	<i>Analisis y Reporte</i>
<i>NITRATOS</i>	<i>mg/L</i>	<i>-</i>	<i>Analisis y Reporte</i>
<i>NITRITOS</i>	<i>mg/L</i>	<i>-</i>	<i>Analisis y Reporte</i>
<i>NITROGENO AMONICAL</i>	<i>mg/L</i>	<i>-</i>	<i>Analisis y Reporte</i>
<i>NITROGENO TOTAL</i>	<i>mg/L</i>	<i>-</i>	<i>Analisis y Reporte</i>

CAPITULO 3.

Requisitos de medición y alternativas de tratamiento ARD

3.1 Parámetros mínimos de calidad del agua residual que deben medirse

Para la caracterización de aguas residuales debe realizarse, para cada descarga importante, por lo menos cinco jornadas de medición y muestreo horario de 24 horas, con determinaciones de caudal y temperatura en el campo. Las campañas deben efectuarse en días diferentes. En las muestras preservadas e integradas debe procederse a la determinación de, por lo menos, los parámetros que se especifican en la tabla 3.1, para cada nivel de confiabilidad. (Tabla 3.1)

Tabla 3.1 Parámetros mínimos que deben medirse para cada nivel de complejidad (tabla E.2.5 del RAS 2000)

Parámetro	Bajo	Medio	Medio alto	Alto
Oxígeno disuelto	X	X	X	X
DBO ₅				
Soluble	X	X	X	X
Total	X	X	X	X
SS				
SST	X	X	X	X
SSV	X	X	X	X
DQO				
Soluble	X	X	X	X
Total	X	X	X	X
NITRÓGENO				
Total	X	X		
Orgánico				X
Soluble				X
Particulado				
Amoniacal				X
Soluble				X
Particulada				X
Nitritos				X
Nitratos				
FOSFORO TOTAL				
Soluble	X	X	X	X
Particulado	X	X	X	X
CLORUROS			X	X
ALCALINIDAD				X
ACEITES Y GRASAS			X	X
COLIFORMES				
Fecales			X	X
Totales			X	X
PH	X	X	X	X
ACIDEZ	X	X	X	X
DETERGENTES			X	X

Para la selección del sitio se recomienda la utilización de la matriz de análisis que se puede observar en la Tabla 3.2

Tabla 3.2 Matriz de análisis para la utilización de una nueva PTAR cerca a áreas residenciales (tabla E.4.1 del RAS 2000)

		CONSIDERACIONES DE OLORES									
Sitio	Aspectos Ambientales	Distancia del sitio a la zona residencial mas cercana	Dirección del viento hacia la zona residencial mas cercana	Frecuencia de la dirección del viento a la zona residencial mas cercana	Distancia entre los vientos principales y la zona residencial mas cercana	Zonificación y propiedad privada adyacente	Disponibilidad de tierras	Trazado de planicies de inundación	Estimativos de costos	Consideraciones de ingeniería	Comentarios
X	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Y	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Z	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

3.2 Selección del tratamiento

Se debe asegurar la integración entre la planta de tratamiento y el sistema de recolección de aguas servidas calculando:

1. Cobertura poblacional del sistema de alcantarillado.
2. Proyección de expansión de cobertura para el periodo de diseño de la planta.
3. Porcentaje de infiltración y afluentes.
4. Porcentaje de conexiones erradas.
5. Porcentaje de recolección real de aguas residuales producidas por la población.
6. Aporte industrial de caudales y cargas.
7. Ubicación y cuantificación de reboses de excesos.⁵

3.3 Análisis de alternativas

De acuerdo con el nivel de tratamiento deseado existen diferentes alternativas para lograr el objetivo. La tabla 3.3 presenta un resumen de los rendimientos típicos que se logran con las diferentes etapas y procesos de tratamiento; la tabla 3.4 presenta una matriz con las ubicaciones más probables de generación de olores, así como su agente generador. En la tabla 3.5 se presenta una lista de los parámetros que deben ser regulados para prevenir la generación de olores. Todas estas guías deben ser usadas por el diseñador en la selección del proceso.

⁵ RAS 2.000. Tratamiento de Aguas Residuales Municipales E.4.3 selección del tratamiento

Tabla 3.3 Eficiencias típicas de remoción (tabla E.4.2 del RAS 2000)

Unidades de tratamiento	Eficiencia en la remoción de constituyentes, porcentaje						
	DBO	DQO	SS	P	N Org	NH ₃ -N	Patógenos
Rejillas	desp ¹	desp.	desp.	Desp.	desp.	desp.	Desp.
Desarenadores	0-5	0-5	0-10	Desp.	desp.	desp.	Desp.
Sedimentación primaria	30-40	30-40	50-65	10-20	10-20	0	desp.
Lodos activados (convencional)	80-95	80-95	80-90	10-25	15-20	8-15	desp.
Filtros percoladores							desp.
Alta tasa, roca	65-80	60-80	60-85	8-12	15-50	8-15	
Super tasa, plástico	65-85	65-85	65-85	8-12	15-50	8-15	
Cloración	desp.	desp.	desp.	Desp.	desp.	desp.	100
Reactores UASB	65-80	60-80	60-70	30-40	---	---	desp.
Reactores RAP	65-80	60-80	60-70	30-40	---	---	desp.
Filtros anaerobios	65-80	60-80	60-70	30-40	---	---	desp.
Lagunas de oxidación							
Lagunas anaerobias	50-70	---	20-60	---	---	---	90-99.99
Lagunas aireadas	80-95	---	85-95	---	---	---	90-99.99
Lagunas facultativas	80-90	---	63-75	30	---	---	90-99.99
Lagunas de maduración	60-80	---	85-95	---	---	---	90-99.99
Ultravioleta	desp.	desp.	desp.	Desp.	desp.	desp.	100

Tabla 3.4 Localización en sistemas de tratamiento de aguas residuales donde se pueden generar problemas de olores (tabla E.4.3 del RAS 2000)

Agente generador de olores Instalación	Aguas residuales	Arenas	Material cernido	Espumas	Lodos	Desechos orgánicos sobre la superficie	Áreas de corto circuito
Alcantarillados	X						
Estaciones de bombeo	X			X		X	X
Desarenadores	X	X		X	X	X	
Rejillas	X		X			X	
Manejo de arenas, grasas y material cernido	X	X	X	X	X	X	
Tanques de homogeneización	X			X	X	X	
Tanques de sedimentación primaria	X			X	X	X	X
Adición química							
Tanques de aireación	X						X
Filtros percoladores	X			X		X	X
Lagunas	X			X		X	
Biodiscos	X					X	
Tanques de sedimentación final	X			X	X	X	X
Filtros de medio granular	X					X	
Bombeo de lodos					X	X	
Espesamiento de lodos				X	X	X	
Almacenamiento de lodos				X	X	X	
Acondicionamiento de lodos				X	X	X	
Secado de lodos	X			X	X	X	
Digestión de lodos					X	X	
Canales para drenaje	X			X		X	X
Tanques de contacto químico						X	X
Incineración de lodos					X	X	
Compostaje de lodos					X	X	

Tabla 3.5 Parámetros que deben ser regulados para que no contribuyan a la generación de olores en sistemas de tratamiento de aguas residuales (tabla E.4.4 del RAS 2000)

Parámetros	Problema
Limitaciones de pH	A pHs por debajo de 8.0, el sulfuro cambia a sulfuro de hidrógeno gaseoso.
Temperatura	Altas temperaturas incrementan la acción microbial de bacterias anaerobias. Altas temperaturas incrementan la liberación de componentes orgánicos volátiles del líquido a la fase gaseosa.
Descargas tóxicas	Inhibe o mata microorganismos involucrados en sistemas de tratamiento biológico.
Aceites y grasas	Se pueden degradar anaerobiamente.
Descargas químicas	Gases olorosos.

Tabla 3.6 Clasificación de confiabilidad (tabla E.4.5 del RAS 2000)

Componente	CLASIFICACION DE CONFIABILIDAD					
	I		II		III	
	Tratamiento	Fuente de energía propia	Tratamiento	Fuente de energía propia	Tratamiento	Fuente de energía propia
Tanque de homogeneización	Capacidad adecuada para todos los caudales		No aplicable		No aplicable	
Desarenador		Opcional		No		No
Sedimentación primaria	Unidades múltiples ^a	si	Igual para la clase I		Dos mínimo ^d	si
Filtros percoladores	Unidades múltiples ^b	si	Igual para la clase I	Opcional		No
Tanques de aireación	Mínimo dos de igual volumen	si	Igual para la clase I	Opcional	Una unidad sencilla es permisible	No
Aireadores mecánicos	Unidades múltiples ^c	si	Igual para la clase I	Opcional	Dos mínimo ^c	No
Difusores	Secciones múltiples ^d		Igual para la clase I		Igual para la clase I	
Sedimentación final	Unidades múltiples ^b	si	Unidades múltiples ^a	Opcional	Dos mínimo ^d	No
Mezcladores de químicos	Dos mínimo	Opcional		Opcional	Igual para la clase II	No
Sedimentación química	Unidades múltiples	Opcional		Opcional	Igual para la clase II	No
Floculación	Dos mínimo	Opcional		Opcional	Igual para la clase II	No
Tanques de desinfección	Unidades múltiples ^b	si	Unidades múltiples ^a	Si	Igual para la clase II	

3.4 Pretratamiento

Debe realizarse por medio de procesos físicos y/o mecánicos, como rejillas, desarenadores y trampas de grasa, dispuestos convencionalmente de modo que permitan la retención y remoción del material extraño presente en las aguas residuales y que pueda interferir los procesos de tratamiento.

3.5 Tratamiento Primario

El objeto de este tratamiento básicamente, es la remoción de los sólidos suspendidos y DBO en las aguas residuales, mediante el proceso físico de asentamiento en tanques de sedimentación. Se recomienda utilizar el método de laboratorio por tandas para estimar la tasa de desbordamiento superficial necesaria, el tiempo de retención o profundidad del tanque y el porcentaje de remoción de sólidos suspendidos. Deben utilizarse las gráficas de porcentaje de remoción de DBO y sólidos suspendidos totales como función de la tasa de desbordamiento superficial y del tipo de clarificador que se tenga (circular o rectangular). En los casos que el ingeniero considere necesario, se pueden adicionar coagulantes para incrementar la eficiencia de remoción de fósforo, sólidos suspendidos y DBO.

Tiempo de retención de sedimentadores

Se basa en el caudal de aguas residuales y en el volumen del tanque. Se recomienda un período de retención mínimo de 1 hora tanto para los sedimentadores circulares como para los rectangulares.

Profundidad de almacenamiento de lodos de sedimentadores

La profundidad depende del tipo de limpieza de lodos que se practique en la planta. Se recomienda una capa de lodos de 30 a 45 cm por motivos operacionales.⁶

3.6 Tratamiento Secundario

Los procesos biológicos, o secundarios, se emplean para convertir la materia orgánica fina coloidal y disuelta en el agua residual en floc biológico sedimentable y sólidos inorgánicos que pueden ser removidos en tanques de sedimentación. Estos procesos se emplean junto con procesos físicos y químicos para el tratamiento preliminar y primario del agua residual. El objetivo de un tratamiento secundario es remover la DBO soluble que escapa de un tratamiento primario, además de remover cantidades adicionales de sólidos suspendidos. Estas remociones se efectúan fundamentalmente por medio de procesos biológicos.

⁶ RAS 2.000. Tratamiento de Aguas Residuales Municipales E.4.5 Tratamiento primario

Los procesos biológicos son eficientes en remoción de sustancias orgánicas que presentan tamaño coloidal e inferior. Un tratamiento secundario típico remueve aproximadamente 85% de DBO de SST, aunque no remueve cantidades significativas de nitrógeno, fósforo, metales pesados ni organismos patógenos

Los procesos biológicos más comúnmente usados son: procesos de lodos activados, lagunas aireadas, filtros percoladores, biodiscos, lagunas de estabilización⁷

3.6.1 Tratamientos Anaerobios

El tratamiento anaerobio es el proceso de degradación de la materia orgánica por la acción coordinada de microorganismos, en ausencia de oxígeno; Como subproducto se obtiene biogás, cuya composición básica es metano CH_4 , y dióxido de carbono CO_2 pero con la presencia adicional de nitrógeno, hidrógeno, amoníaco y sulfuro de hidrógeno, usualmente en proporciones inferiores al 1%.⁸

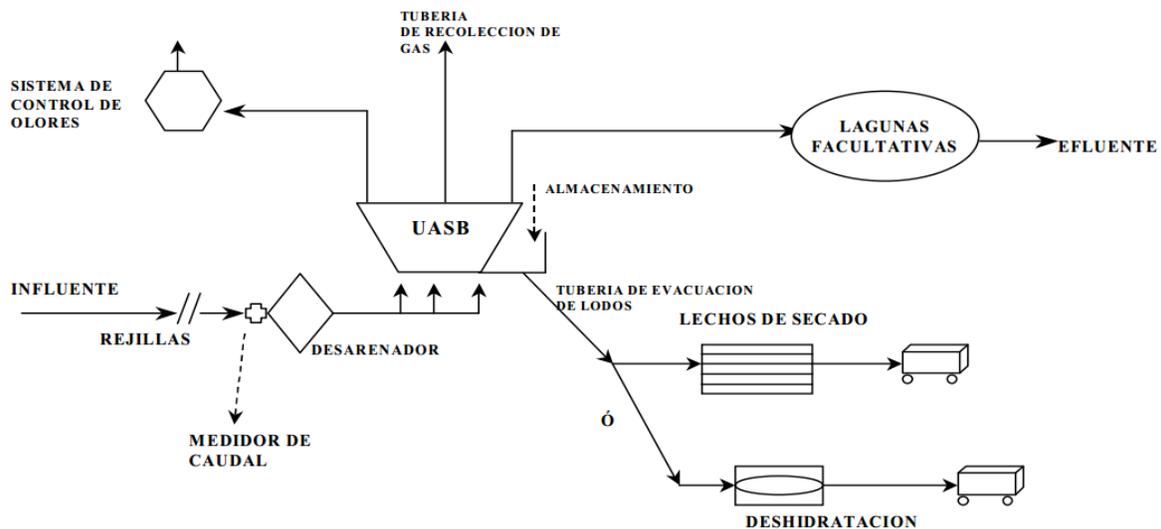


Figura 3.1 Diagrama de flujo típico de tratamientos anaerobios con reactor UASB y lagunas facultativas (RAS 2000)

⁷ RAS 2.000. Tratamiento de Aguas Residuales Municipales E.4.6 Tratamiento secundario

⁸ RAS 2.000. Tratamiento de Aguas Residuales Municipales E.4.7 Tratamientos Anaerobios.

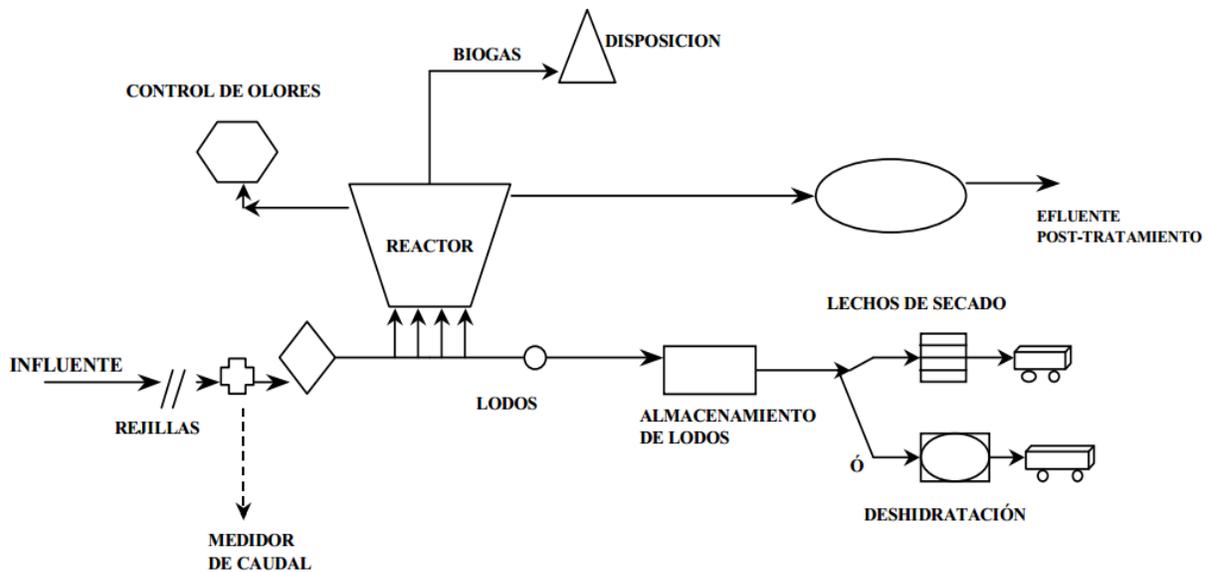


Figura 3.2 Diagrama de flujo típico de tratamiento anaerobio (RAS 2000)

3.7 Lagunas de Estabilización

El tratamiento por lagunas de estabilización puede ser aplicable en los casos en los cuales la biomasa de algas y los nutrientes que se descargan en el efluente puedan ser asimilados sin problema por el cuerpo receptor.

En caso de que las algas descargadas al cuerpo receptor generen una demanda de oxígeno adicional, que impida cumplir con los objetivos de calidad estipulados, debe incluirse en el proyecto la remoción de éstas del efluente final antes de ser descargado.

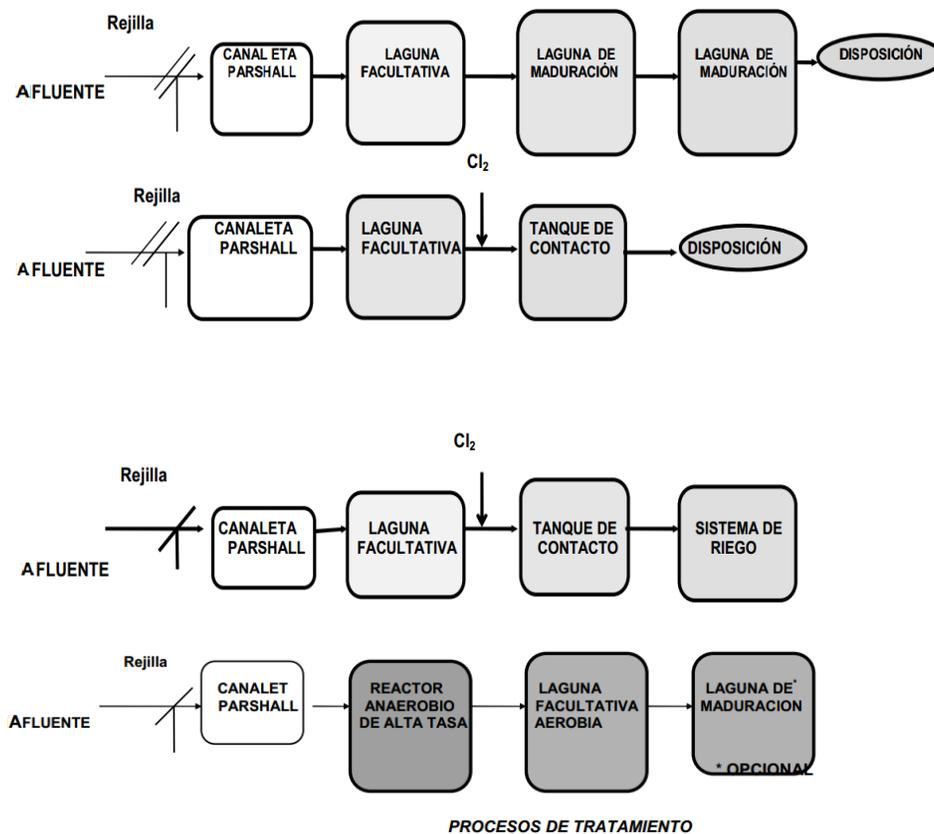
En los **niveles bajo, medio y medio alto de complejidad** deben siempre considerarse las lagunas de estabilización dentro de la evaluación de alternativas que se realiza para la selección del sistema de tratamiento.⁹

3.8 Localización de Lagunas y Reactores

La ubicación de un sistema de lagunas debe estar aguas abajo de la cuenca hidrográfica, en un área extensa y fuera de la influencia de cauces sujetos a inundaciones y avenidas. En el caso de no ser posible, deben proyectarse obras de protección. El área debe estar lo más alejada posible de urbanizaciones con viviendas ya existentes; se recomiendan las siguientes distancias:

⁹RAS 2.000.Tratamiento de Aguas Residuales Municipales E.4.8 Lagunas de oxidación o de estabilización

- 1000 m como mínimo para lagunas anaerobias y reactores descubiertos.
- 500 m como mínimo para lagunas facultativas y reactores cubiertos.
- 100 m como mínimo para sistemas con lagunas aireadas.¹⁰



DIAGRAMAS DE FLUJO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

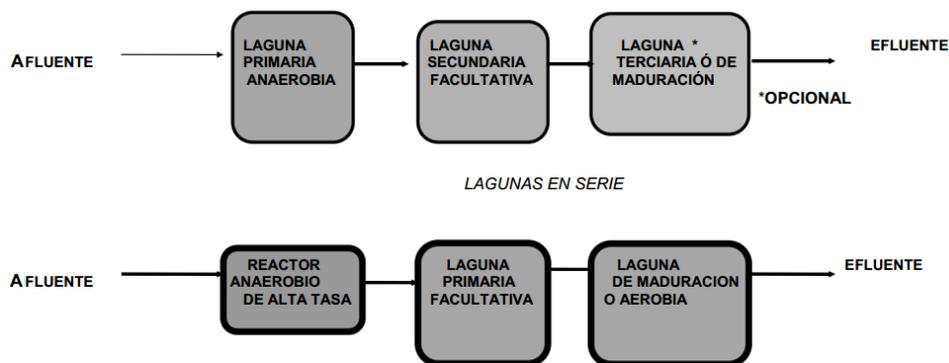


Figura 3.3 Diagramas de flujo de lagunas de estabilización (figura E.4.28 del RAS 2000)

¹⁰ RAS 2.000.Tratamiento de Aguas Residuales Municipales E.4.8.3 Lagunas de oxidación o de estabilización

CAPITULO 4.

Condiciones de diseño

La norma RAS 2000, establece los parámetros para el diseño del sistema de tratamiento y demás estructuras complementarias. Además de la normativa definida es importante tener en cuenta las características físico-químicas de las aguas a ser tratadas y las características socio-económicas de la región.

4.1 Emisario Final

Las cargas promedio de las aguas residuales de la vereda Pantanos, área rural del municipio de Timaná, mayoría de gente campesina dedicada al agro, se pueden suponer corresponden a las de aguas residuales domésticas (tabla 4.1).

Tabla 4.1 Cargas promedio de las aguas residuales domésticas

Parámetros	Valor	Referencia
Caudal de Dotación	100 l/c.d	Res 2320/2009
DQO	100 g/c.d	RAS 2000
DBO	50 g/c.d	RAS 2000
Sólidos Suspendidos	50 g/c.d	RAS 2000
Nitrógeno total	12 g/c.d	RAS 2000
Fósforo	3,5-4 g/c.d	RAS 2000
Coliformes Totales	$2 * 10^{11}$, NMP/100mL	RAS 2000

Para diseño del emisario final se tienen en cuenta los aspectos consignados en la normativa vigente, a partir de la definición de nivel de complejidad asignado de acuerdo con el número de habitantes de la región. (Tabla 4.2)

Tabla 4.2 Parámetros de diseño alcantarillado y sistema de tratamiento

Parámetros	Valor	Referencia	Observaciones
Nivel de complejidad	Bajo	RAS 2000	De acuerdo con tabla A3.1
Área del proyecto (PTAR)	8090 m ²	POT	Área del lote para la construcción de planta de tratamiento de aguas residuales según oficina de planeación del municipio.
Área de aporte al Alcantarillado	63,32 ha	Área de la vereda	Obtenida a partir de datos de diseño de alcantarillado para la región.
Población	1351 habitantes	Censo del DANE	Progresión aritmética para un periodo de 15 años.
Periodo de diseño	15 años	RAS 2000	De terminado por el nivel de complejidad.
Diámetro Alcantarillado	Diámetro >6"	RAS2000	Diámetros comerciales.
Coefficiente de rugosidad	0,009	Catalogo de PAVCO	PAVCO NOVAFORT
Distancia máxima entre pozos de inspección	100m	RAS 2000	Necesaria para facilitar el mantenimiento de los tramos.
Unión de colectores	Cota clave	Elementos para diseño de acueductos y alcantarillados, Ricardo Alfredo López Cualla	Conveniente para diámetro <36"
Factor de retorno	0,7	RAS 2000	De acuerdo con el nivel de complejidad.
Caudal promedio diario	135m ³ /día	Elementos para diseño de acueductos y alcantarillados, Ricardo Alfredo López Cualla	$\bar{Q}_d = \frac{\text{Consumo} \cdot \text{Población}}{86400}$
Caudal residual comercial	6.85m ³ /día	Estimado	Considerando un 5% del área total del proyecto como comercial. 3.17 ha
Caudal de infiltración	0,05Ls*ha	RAS2000	De acuerdo a nivel de complejidad.
Factor de mayoración	Harmon	Elementos para diseño de acueductos y alcantarillados, Ricardo Alfredo López Cualla	De acuerdo al numero de habitantes. (1351)
Caudal de diseño	648 m ³ /día	Calculado	Sumatoria de todos los caudales.
Profundidad cota clave	0,75m - 1,2m	RAS 2000	Dependiendo si son zonas peatonales o vehiculares.
DBO/SS	300mg/L	Experiencia	Operación de la planta
Velocidad	0,45m/s-5m/s	RAS 2000	Para garantizar autolimpieza.

4.2 Rejilla de entrada

La rejilla a la entrada de la planta de tratamiento tiene como objetivo la retención de material sólido que podría llegar a afectar los procesos de tratamiento de aguas residuales. En este caso se optó por el diseño de una rejilla vertical con varillas circulares, la cual se encuentra al finalizar el sistema de alcantarillado de aguas residuales.

Para el diseño de la rejilla se tuvieron en cuenta las medidas del canal de aducción y de la canaleta Parshall y se determinó el diámetro de las varillas y la separación entre las mismas teniendo en cuenta el tamaño del material que se deseaba retener. En la tabla 4.3 se enuncian los criterios para el diseño de la rejilla.

Tabla 4.3 Criterios de diseño rejilla

Parámetro	Cálculo	Referencia
Ancho de la Rejilla	0,50 m	Ancho del canal de aducción y de la canaleta Parshall
Altura de la Rejilla	0,15m	Altura de canal de Aducción
Diámetro de Varillas	1"	Criterio diseñador

4.3 Canal de aducción

El canal de aducción tiene el propósito de conducir las aguas residuales a la canaleta Parshall, para esta estructura se seleccionó una estructura rectangular con capacidad de transportar el caudal total del sistema. (Tabla 4.4)

Tabla 4.4 Criterios de diseño de canal de aducción

Parámetro	Cálculo	Referencia
Ancho del canal	0,50 m	Ancho de la canaleta Parshall
Caudal	648m ³ /d	Caudal de diseño del sistema
Velocidad	0,6 m/s	Jairo Alberto Romero
Coefficiente de rugosidad (n Manning)	0,013	Coefficiente para concreto

4.4 Lagunas en serie

Las lagunas de estabilización constituyen un sistema de tratamiento, generalmente sin recirculación de sólidos sedimentados.

La laguna anaerobia es un biorreactor que combina la sedimentación de lodos y su acumulación en el fondo, con la flotación de materiales del agua residual en la superficie y con biomasa activa suspendida residual o adherida a los lodos sedimentados y a la nata flotante. Por su parte las lagunas facultativas cuentan con dos componentes principales que son algas y bacterias, encargados de los procesos de tratamiento.

Para el diseño de las lagunas se tuvo en cuenta el siguiente esquema, de acuerdo con las características de las aguas residuales y del terreno dispuesto para el sistema de tratamiento.¹¹

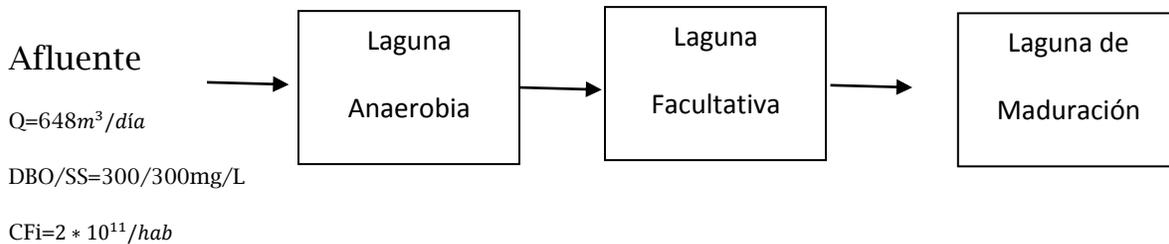


Figura 4.1 Esquema de lagunas de estabilización

¹¹ *Lagunas de estabilización de aguas residuales, Jairo Alberto Romero Rojas*

Tabla 4.5 Criterios de diseño de las lagunas en serie.

Parámetro	Cálculo	Referencia
Remoción DBO en laguna Anaerobia	40%, Según temperatura	Lagunas de estabilización de aguas residuales, Jairo Alberto Romero Rojas
Carga superficial laguna facultativa	<400 kg/ha*d	McGarry Pescod
Remoción DBO laguna de Maduración, Kg/Ha*d	$CRS=0,941*CSA-7,16$	RAS-2000
Coliformes Fecales del efluente, NMP/100 ml	$CFe=CFa/(1+2,60*TR)$	Marais
Temperatura	20°C	Temperatura promedio de la region.
Tiempo de retención laguna Anaerobia, días	5-10	RAS-2000
Tiempo de retención laguna Facultativa, días	5-30	RAS-2000
Tiempo de retención laguna de Maduración, días	>5	RAS-2000
Profundidad laguna Anaerobia	2,5-5m	RAS-2000
Profundidad laguna Facultativa	1-2,5m	RAS-2000
Profundidad laguna de Maduración	0.9-1,5m	RAS-2000

4.5 Filtro percolador

Para la segunda alternativa de tratamiento se seleccionó el esquema de la figura 4.2.

Un filtro percolador es una cama de grava o un medio plástico sobre el cual se rocían las aguas negras pretratadas. En este sistema de filtro percolador, los microorganismos se apegan al medio del lecho y forman una capa biológica sobre éste. A medida que las aguas negras percolan por el medio, los microorganismos digieren y eliminan los contaminantes del agua.

¹² *Lagunas de estabilización de aguas residuales, Jairo Alberto Romero Rojas*

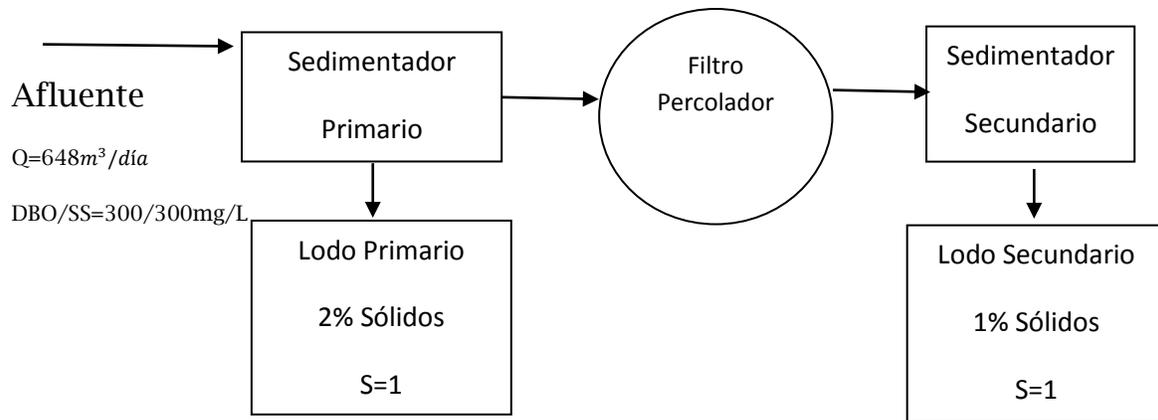


Figura 4.2 Diagrama de filtro percolador seleccionado

Tabla 4.6 Criterios de diseño filtro percolador y sedimentadores.

Parámetro	Cálculo	Referencia
Medio filtrante	Roca, Escoria	RAS 2000
Carga hidráulica, m/d	<33	RAS 2000
DBO Efluente filtro percolador	$\%EDBO = 1 / (1 + 0,443 \sqrt{CO / (V * F)})$	NCR
Carga orgánica, kg/m ³ *d	0,1-0,4	RAS 2000

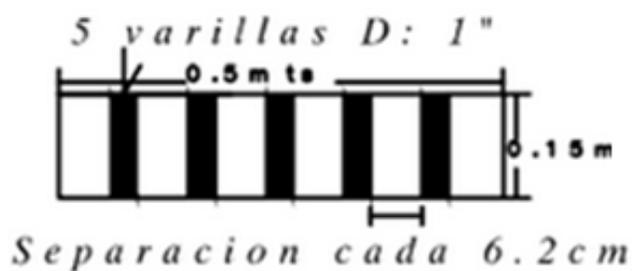
CAPITULO 5.

Diseño PTAR

5.1 Rejilla

Parámetro	Cálculo	Referencia
Separación entre Varillas	0,062m	Diseño de acueductos y alcantarillados, Ricardo Alfredo López Cualla
Área Efectiva de la Rejilla	0,0558m ²	Calculado
Velocidad de entrada al sistema	0,6 m/s	Diseño de acueductos y alcantarillados, Ricardo Alfredo López Cualla
Caudal	7,5 L/s	Calculado

Tabla 5.1 Resultados de diseño rejilla.



5.2 Canal de Aducción

Tabla 5.2 Resultados diseño canal de aducción.

Parámetro	Calculo
Ancho del Canal	0,5 m
Altura del Canal	0,15m
Pendiente del Canal	0,004%
Caudal	7,5 L/s
Longitud del Canal	3m

5.3 Canaleta Parshall

De acuerdo con el caudal de diseño y a las medidas estándares para la canaleta, se obtienen las siguientes medidas para cada uno de los elementos del vertedero a partir de un ancho de garganta $W= 2,54$ cm.

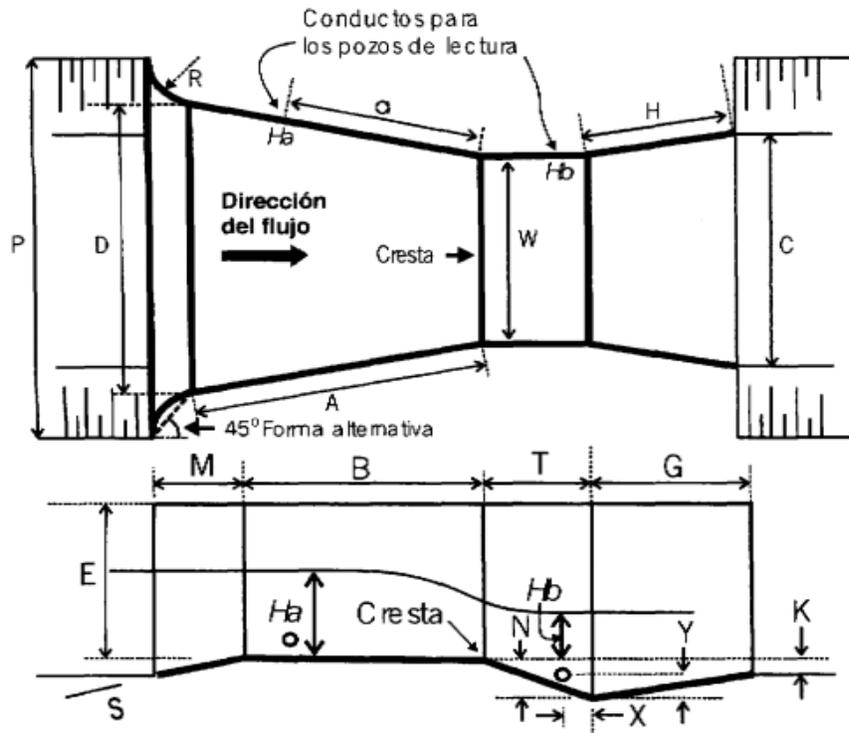


Figura 5.1 Geometría de la canaleta Parshall

Tabla 5.3 Dimensiones de la canaleta Parshall

W	A	B	C	D	E	F	G	K	N	P	X	Y
(cm)												
2.54	36.3	35.6	9.3	16.8	22.9	7.6	20.3	1.9	2.9	50	0.8	1.3

5.4 Planta De Tratamiento De Aguas Residuales

5.4.1 Lagunas en serie

Tabla 5.4 Resultados finales diseño lagunas.

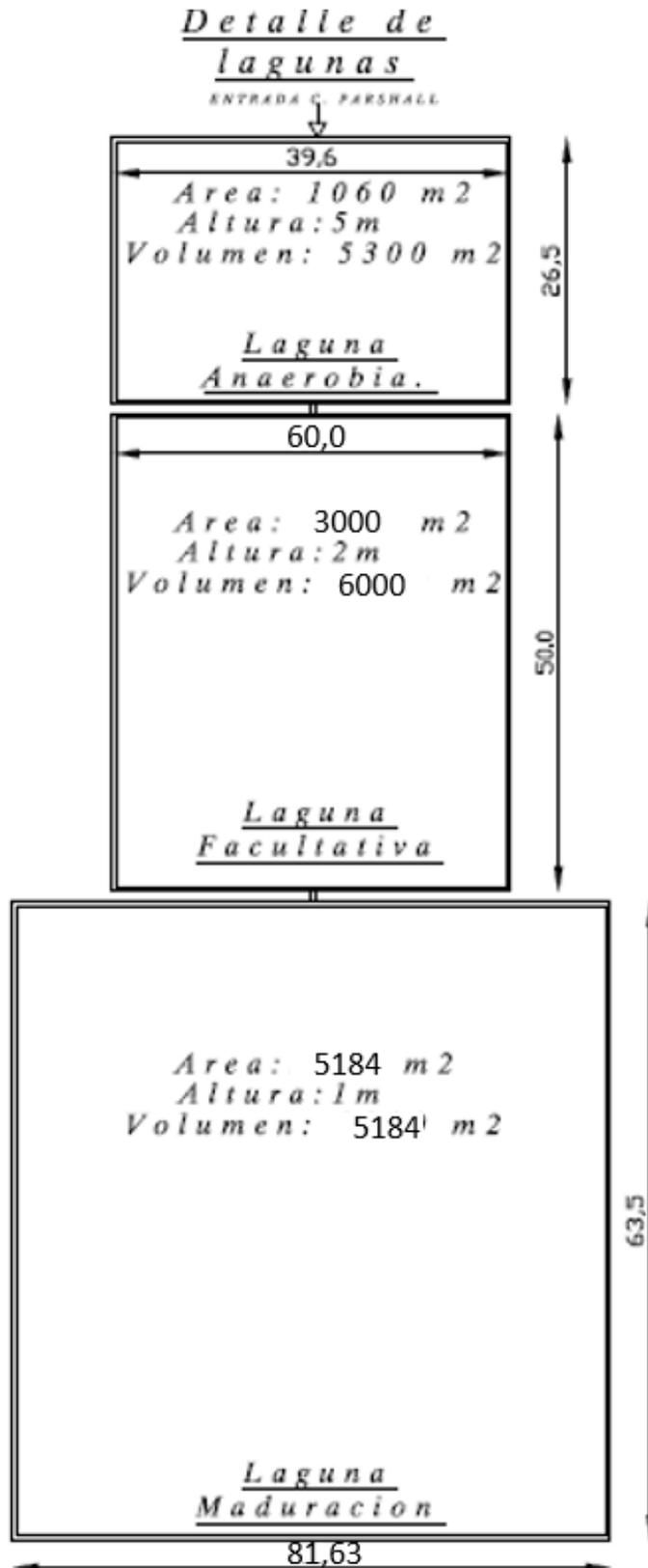
Parámetro	Unidad	Primaria	Secundaria	Terciaria
Población	HAB	1351	1351	1351
Caudal	m ³ /d	648	648	648
Àrea	m ²	1060	3000	5184
Volumen	m ³	5300	6000	5184
Profundidad	m	5	2	1
CO Afluente	kg/d	194,4	116,64	29,16
CO Superficial	kg/ha*d	1834	388,8	56,25
CO Volumetrica	g/m ³ *d	36,68	19.44	5.62
TR	d	8,17	9,26	8
DBO Efluente	mg/L	180	45	20
CF Efluente	NMP/100mL	1,87*10 ⁶	7,45*10 ⁴	3,42*10 ³
Tipo Laguna		Anaerobia	Facultativa	Maduración
Eficiencia DBO	%	40	75	55
Eficiencia CF	%	95,5	96	94
Acumulacion Lodo	m ³ /hab*año	0,04	0,03	0.02

A partir de los cálculos y los resultados previamente presentados se obtuvieron los siguientes porcentajes finales de remoción.

Eficiencia total de remoción de DBO: 93%

Eficiencia total de remoción de coliformes fecales: 99.99%

Figura 5.2 Esquema lagunas en serie.



5.4.2 Filtro percolador

Tabla 5.5 Resultados de diseño filtro percolador

Parametro	Unidad	Sedimentador Primario	Filtro Percolador	Sedimentador Secundario
<i>Caudal</i>	<i>m³/día</i>	648	642,17	642,17
<i>Área</i>	<i>m²</i>	100	600	125
<i>Volumen</i>	<i>m³</i>	250	1200	312,5
<i>CO Afluente</i>	<i>kg/d</i>	194,4	116,64	-
<i>COS</i>	<i>kg/m²*d</i>	1,94	0,19	-
<i>COV</i>	<i>Kg/m³*d</i>	0,78	0,096	-
<i>TR</i>	<i>Hora</i>	9,26	-	11,75
<i>DBO Efluente</i>	<i>mg/L</i>	180	-	22
<i>CHS</i>	<i>m/d</i>	6,48	1,06	5,1
<i>Eficiencia Remoción DBO</i>	<i>%</i>	40	88	-

Según estos resultados se obtiene que la eficiencia total de remoción de DBO sea del 93%.

5.5 Diseño tramo final de alcantarillado.

El emisario final consta de 4 tramos de alcantarillado (anexo 1).

CAPITULO 6.

Análisis de costos

Para efectos únicamente comparativos de costos de las dos opciones de tratamiento se presenta como indicado la relación de costos según la agencia ambiental americana EPA. En la tabla 6.1 se incluyen las ecuaciones de la EPA para el cálculo de los costos totales de un proyecto de tratamiento de aguas residuales: costos de construcción, de planeación, de administración, de legalización y de ingeniería básica e imprevista.

*Tabla 6.1 Costos totales de plantas de tratamiento.*¹³

Tipo de planta	Ecuación de costo	Total
Lagunas de estabilización	$C = 2303 * (648)^{0.77}$	US\$ 336.672
Filtros percoladores	$C = 5473 * (648)^{0.73}$	US\$ 617.554

C= Costo en dólares a 1978

Q= Caudal diseño m³/día=648

Para calcular los costos de la PTAR para el año 2015 se aplica el factor de corrección a 2015 de acuerdo con los índices anuales de construcción del Engineering News Record.

$$Factor\ corrección = \frac{9552 \text{ (índice para 2015)}}{2776 \text{ (índice para 1978)}} = 3,44$$

Aplicando el factor de corrección a los costos totales de la tabla 6.1 se obtiene

- Costo lagunas de estabilización.= US\$ 1.158.151
- Costos filtro percolador = US\$ 2.124.385

¹³ Romero Jairo (2004) Tratamiento de aguas residuales.

En la tabla 6.2 se presentan los costos totales anuales de operación y mantenimientos de cada una de las alternativas basados en las ecuaciones de costos de la EPA.

*Tabla. 6.2 Costos totales anuales de operación y mantenimiento de plantas de tratamiento.*¹⁴

Tipo de planta	Ecuación de costo	Total
Laguna de estabilización	$C = 11.02 * Q^{1.01}$	US\$ 7.618
Filtro percoladores	$C = 26.07 * Q^{0.94}$	US\$ 11.455

Aplicando factor de corrección se obtiene:

- Costos totales anuales de operación y mantenimiento para lagunas de estabilización = **US\$ 26.205**
- *Costos totales anuales de operación y mantenimiento para filtros percoladores* = **US\$ 39.405**

En la tabla 6.3 se incluyen los costos comparados de las dos alternativas:

Tabla 6.3 Comparativo general de costos.

Descripción	Precio Lagunas	Precio Filtro Percolador	Diferencia Valor
<i>1- Costos totales de proyectos de plantas de tratamiento - EPA.</i>	US\$ 1.158.151	US\$ 2.124.385	US\$ 966.234
<i>2 - Costos totales anuales de operación y mantenimiento PTARM- EPA.</i>	US\$ 26.205	US\$ 39.405	U\$ 13.200

¹⁴Romero Jairo (2004) Tratamiento de aguas residuales

CAPITULO 7.

Conclusiones

1. Las lagunas de estabilización son la opción más económica para la PTAR de la vereda Pantanos.
2. Los Costos totales de construcción así como los costos anuales de operación y mantenimiento para las lagunas de estabilización deben cuantificarse para las condiciones reales de la vereda Pantanos.
3. Las lagunas de estabilización permiten una remoción de coliformes más alta que la del filtro percolador lo que representa una ventaja adicional para su adopción como PTAR de la vereda Pantanos.
4. Por su simplicidad de mantenimiento las lagunas de estabilización constituyen el mejor sistema de tratamiento para la vereda Pantanos.
5. La vereda Pantanos se encuentra en el área rural del municipio de Timaná favoreciendo la construcción de las lagunas de estabilización que demandan un área más extensa que el filtro percolador.
6. Para el tratamiento de las aguas residuales de la vereda Pantanos es más recomendable un sistema de lagunas de estabilización en serie.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Página oficial de la gobernación de Huila [en línea], Colombia 2014 [fecha de consulta: Noviembre de 2014]. Disponible en <http://www.huila.gov.co> **Referencia. 1.**
2. Página oficial del Municipio de Timaná [en línea] Colombia 2014 [fecha de consulta: Noviembre de 2014] disponible en <http://www.timana.gov.co> **Referencia. 2-3.**
3. Ministerio de Desarrollo Económico. Reglamento técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2.000. Títulos A, E, D y J. **Referencia 5-6-7-8-9-10.**
4. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 0631 de 2015 **Referencia. 10.**
5. ROMERO ROJAS JAIRO (2005) Lagunas de estabilización de aguas residuales. Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia. **Referencia. 11-12.**
6. ROMERO ROJAS JAIRO (2004) Tratamiento de aguas residuales. Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia. **Ref. 13-14.**

ANEXO 1

DISEÑO DEL EMISARIO FINAL.

ANEXO 1

TRAMO	Q (1) (lts/s)	Longitud (2) (m)	Cota rasante 1 (3) (m)	Cota rasante 2 (4) (m)	COTA CLAVE 1 (5) (m)	COTA CLAVE 2 (6) (m)	COTA BATEA 1 (7) (m)	COTA BATEA 2 (8) (m)
1-2	7.50	30.0	1248.5	1247.8	1247.7	1247.00	1247.52	1246.82
2-3	7.50	50.0	1247.8	1247	1247	1246.20	1246.82	1246.02
3-4	7.50	80.0	1247	1247.1	1246.2	1245.80	1246.02	1245.62
4-5	7.50	47.0	1247.1	1246.5	1245.80	1245.20	1245.62	1245.02

PROFUNDIDAD 1 (9) (m)	PROFUNDIDAD 2 (10) (m)	prof. Tubería llegada (11) (m)	S (12) (m/m)	diámetro (13)		diámetro comercial (14)		
				m	pulg.	mm	m	pulg.
0.98	0.98	0.80	0.023	0.085	3.365	181.7	0.18	7.15
0.98	0.98	0.80	0.016	0.092	3.611	181.7	0.18	7.15
0.98	1.48	1.30	0.005	0.114	4.491	181.7	0.18	7.15
1.48	1.48	1.30	0.013	0.096	3.767	181.7	0.18	7.15

Q flujo lleno (15) Qo	V flujo lleno (16) (m/s)	Q/Qo (17)	Vre/Vo (18)	Vreal (19) (m/s)	d/D (20)	d (21) h lamina h2o	D/4 (22) (m)	R/Ro (23)
0.056	2.16	0.13	0.58	1.26	0.28	0.051	0.045	0.65
0.046	1.79	0.16	0.61	1.10	0.31	0.056	0.045	0.70
0.026	1.00	0.29	0.72	0.72	0.42	0.076	0.045	0.89
0.041	1.60	0.18	0.63	1.01	0.32	0.059	0.045	0.73

R (24) (m)	V ² /2g (25)	E (26)	H/D (27)	H (28)	Nfroude (29)	τ (30)	EXCAVACION (31) (m3)	RELLENO (32) (m3)
0.030	7.77	7.82	0.20	0.036	2.12	6.76	11.24	10.46
0.032	5.91	5.97	0.22	0.040	1.75	5.02	18.74	17.44
0.040	2.55	2.62	0.31	0.056	0.97	1.97	37.61	35.54
0.033	5.05	5.11	0.24	0.043	1.56	4.15	26.58	25.36

1	Caudal del tramo, Q	17	Relación de caudales (caudal tramo- caudal tubo lleno)
2	Longitud del tramo	18	Relación de velocidades
3	Cota rasante inicial del tramo	19	Velocidad real del tramo (velocidad de tubo lleno- relación de velocidades)
4	Cota rasante final del tramo	20	Relación de diámetros
5	Cota clave inicial del tramo (cota clave 2 del tramo anterior)	21	Altura lamina de agua
6	Cota clave final del tramo (cota rasante 1- profundidad tubería llegada)	22	Cuarto de diámetro
7	Cota batea inicial del tramo (cota clave 1- diámetro)	23	Relaciones de radio
8	Cota batea final del tramo (cota clave 2- diámetro)	24	Radio hidráulico
9	Profundidad inicial de la tubería (Cota rasante 1- cota batea 1)	25	$V^2/2g$
10	Profundidad final de la tubería (Cota rasante 2- cota batea 2)	26	Energía
11	Profundidad tubería de llegada	27	Relación altura/ diámetro
12	Pendiente del tramo $((5)-(6)/2)$	28	Altura
13	Diámetro teórico de la tubería	29	Numero froude
14	Diámetro ajustado a diámetro comercial de la tubería	30	Fuerza cortante
15	Caudal a tubo lleno (mannig)	31	Material excavado para el tramo
16	Velocidad a tubo lleno	32	Material de relleno para el tramo

